

Εθνικό και Καποδιστριακό
Πανεπιστήμιο Αθηνών

Τμήμα Βιολογίας

Τομέας Οικολογίας και Ταξινομικής

**Διερεύνηση της ιστορικής παρουσίας της φωτιάς και
πρότυπα χωρικής μεταπυρικής αναγέννησης σε δασικά
οικοσυστήματα *Pinus nigra* J. F. Arnold του όρους Ταϋγέτου**



Διδακτορική διατριβή

Χριστοπούλου Αναστασία

Βιολόγος

Αθήνα, 2014

ΑΝΑΣΤΑΣΙΑ ΧΡΙΣΤΟΠΟΥΛΟΥ

**Διερεύνηση της ιστορικής παρουσίας της φωτιάς και
πρότυπα χωρικής μεταπυρικής αναγέννησης σε δασικά
οικοσυστήματα *Pinus nigra* J. F. Arnold του όρους Ταϋγέτου**

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Βιολογίας

Τομέας Οικολογίας και Ταξινομικής

Εξεταστική Επιτροπή

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή

Μ. Αριανούτσου- Φαραγγιτάκη, Καθηγήτρια Τμήματος Βιολογίας ΕΚΠΑ
(Επιβλέπουσα)

Π. Δημητρακόπουλος, Αναπληρωτής Καθηγητής Παν. Αιγαίου

Αθ. Καλλιμάνης, Επίκουρος Καθηγητής Παν. Πατρών

Μέλη Επταμελούς Εξεταστικής Επιτροπής

Θ. Κωνσταντινίδης, Επίκουρος Καθηγητής Τμήματος Βιολογίας ΕΚΠΑ

Κ. Θάνος, Καθηγητής Τμήματος Βιολογίας ΕΚΠΑ

Κ. Γεωργίου, Αναπληρωτής Καθηγητής Τμήματος Βιολογίας ΕΚΠΑ

Ν. Κούτσιας, Επίκουρος Καθηγητής Παν. Πατρών

Αφιερωμένη σε αυτούς που έφυγαν και σε αυτούς που έρχονται

“Las montañas son un ámbito diferenciado, un mundo en el mundo”

Eduardo Martínez de Pisón

GUIA de las Zonas de Montaña de la Península Ibérica 1988

«Η έγκριση της παρούσης Διδακτορικής Διατριβής από το Τμήμα Βιολογίας του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών δεν υποδηλώνει αποδοχή των γνωμών του συγγραφέως».

(Ν. 5343/1932, άρθρο 202, παρ. 2).

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	4
SUMMARY.....	8
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	11
1.1 Η οικολογική σημασία της φωτιάς	11
1.2 <i>Pinus nigra</i> J. F. Arnold	14
1.2.1 Φυσική εξάπλωση- Συστηματική κατάταξη.....	16
1.2.2 Οικοφυσιολογία	17
1.2.3 Δάση Μαύρης πεύκης στην Ελλάδα	19
1.2.4 Πυρκαγιές σε δάση Μαύρης πεύκης	20
1.3 Ερευνητικό αντικείμενο της διατριβής.....	21
2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	24
2.1 Γεωγραφική θέση - Μορφολογία	25
2.2 Γεωλογία	26
2.3 Κλίμα	26
2.3.1 Μετεωρολογικά στοιχεία.....	27
Θερμοκρασία	27
Βροχοπτώσεις.....	29
Άνεμοι	30
2.3.2 Υψομετρικές ζώνες βλάστησης.....	31
2.3.3 Βιοκλιματικά στοιχεία	32
2.4 Οικολογική σημασία του όρους Ταϋγέτου	33
2.5 Δασικές πυρκαγιές στην περιοχή του Ταϋγέτου	35
3. ΑΝΑΣΥΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΙΣΤΟΡΙΚΟΥ ΤΗΣ ΦΩΤΙΑΣ	37
3.1 Εισαγωγή.....	37
3.1.1 Η μέθοδος της δενδροχρονολόγησης.....	37
Αυξητικοί δακτύλιοι	39
Πυρκαγιές και ετήσιοι δακτύλιοι.....	43
3.1.2 Ανάλυση των σημαδιών φωτιάς (fire scars)	44
3.2 Υλικά και μέθοδοι	47
3.2.1 Περιοχή μελέτης.....	47
3.2.2 Δειγματοληψίες πεδίου	49

3.2.3	Εργαστηριακή επεξεργασία και μετρήσεις.....	51
3.2.4	Στατιστική ανάλυση δεδομένων.....	54
3.3	Αποτελέσματα.....	57
3.3.1	Περιστατικά πυρκαγιών.....	57
3.3.2	Εποχή των πυρκαγιών.....	59
3.3.3	Συχνότητα της φωτιάς.....	60
3.3.4	Εκδήλωση πυρκαγιών και έκταση	61
3.3.5	Χωρικά και χρονικά πρότυπα	63
3.3.6	Αλληλεπίδραση κλίματος- πυρκαγιών	64
3.4	Συζήτηση	65
4.	ΜΕΤΑΠΥΡΙΚΗ ΑΝΑΓΕΝΝΗΣΗ ΜΑΥΡΗΣ ΠΕΥΚΗΣ.....	70
4.1	Εισαγωγή	70
4.2	Υλικά και μέθοδοι	74
4.2.1	Περιοχή μελέτης	74
4.2.2	Χαρτογράφηση της κατανομής της βλάστησης και των καμένων εκτάσεων	75
	Πρόβλεψη της δυνατότητας εποίκισμού των καμένων εκτάσεων	76
4.2.3	Επιλογή θέσεων δειγματοληψίας και έρευνες πεδίου	77
4.2.4	Ανάλυση δεδομένων – Στατιστική επεξεργασία	83
4.3	Αποτελέσματα	87
4.3.1	Χωρική ανάλυση για την πρόβλεψη της δυνατότητας εποίκισμού των καμένων εκτάσεων.....	87
	Χαρτογράφηση της κατανομής της βλάστησης και των καμένων εκτάσεων	87
	Πρόβλεψη της δυνατότητας εποίκισμού των καμένων εκτάσεων	90
4.3.2	Πρότυπα μεταπυρικής αναγέννησης	92
	Περιγραφική στατιστική (descriptive statistics)	92
	Ηλικιακή σύνθεση αναγεννώμενων κοινοτήτων <i>Pinus nigra</i>	98
	Πρότυπα χωρικής διασποράς των νεαρών ατόμων της <i>Pinus nigra</i>	101
	Αναγεννώμενες φυτοκοινότητες	106
	Επίδραση περιβαλλοντικών παραμέτρων και χαρακτηριστικών του μικροενδιαιτήματος στην εγκατάσταση νεαρών ατόμων <i>Pinus nigra</i>	107
4.4	Συζήτηση	111
5.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	117
6.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	120

Ξενόγλωσση	120
Ελληνική	140
Ιστοσελίδες.....	144
7. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ	146
Παράρτημα Ι- Πρωτόκολλα πεδίου και εργαστηρίου	146
Παράρτημα ΙΙ- Αποτελέσματα ανά θέση δειγματοληψίας, διατομή και κλάση απόστασης για την παρακολούθηση της μεταπυρικής αναγέννησης της <i>Pinus nigra</i>	148
Παράρτημα ΙΙΙ- Αναγεννώμενες φυτοκοινότητες	154
Παράρτημα ΙV- Το πρόγραμμα COFECHA	161
1. Εκκίνηση του προγράμματος	161
2. Τελικό αρχείο του προγράμματος	162
3. Διαδοχικά στάδια εκκίνησης του προγράμματος COFECHA	165
4. Αποτελέσματα του προγράμματος COFECHA	168
Παράρτημα V- Το πρόγραμμα FHX2	181
1. Τελικό αρχείο - αποτελέσματα του προγράμματος FHX2.....	183
Συνοπτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων	183
Ανάλυση της εποχικότητας εκδήλωσης των πυρκαγιών	184
Ανάλυση του διαστήματος μεταξύ των πυρκαγιών	186
Χωρική ανάλυση των αποτελεσμάτων	189
Συγχρονισμός των δύο τμημάτων της περιοχής μελέτης.....	192
Ανάλυση της επαλληλίας των εποχών (SEA)	194
Παράρτημα VI- Βιβλιοθήκες και λειτουργίες στο R	198
Παράρτημα VII- Φωτογραφίες.....	200
Παράρτημα VIII- Δημοσιεύσεις.....	205
ΑΝΤΙ ΕΠΙΛΟΓΟΥ	207

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών, σε πολλές περιοχές του κόσμου, παρατηρείται μια σημαντική τάση αύξησης, τόσο του αριθμού των πυρκαγιών, όσο και των καμένων εκτάσεων. Επιπλέον, υπάρχει προβληματισμός για την αυξανόμενη παρουσία επικόρυφων πυρκαγιών σε δασικά οικοσυστήματα που ιστορικά δέχονταν κυρίως έρπουσες πυρκαγιές. Ανάμεσα στα πρόσφατα ευρέως επηρεαζόμενα από μεγάλες δασικές πυρκαγιές οικοσυστήματα περιλαμβάνονται και τα δάση *Pinus nigra* J. F. Arnold (Μαύρη πεύκη). Η *Pinus nigra* είναι ένα είδος μεγάλης οικολογικής και οικονομικής σημασίας, με ευρεία κατανομή στη Μεσογειακή λεκάνη. Σκοπός της παρούσας διδακτορικής διατριβής ήταν η διερεύνηση της ιστορικής παρουσίας της φωτιάς σε δασικά οικοσυστήματα Μαύρης πεύκης του όρους Ταϋγέτου, καθώς και η παρακολούθηση των χωρικών προτύπων μεταπυρικής αναγέννησης του είδους, ύστερα από τη μεγάλη σε ένταση και έκταση πυρκαγιά του 2007.

Για την ανασύσταση της ιστορίας της φωτιάς στα δασικά οικοσυστήματα Μαύρης πεύκης εφαρμόστηκε η μέθοδος της δενδροχρονολόγησης και ειδικότερα η ανάλυση των σημαδιών φωτιάς. Οι δειγματοληψίες που πραγματοποιήθηκαν τον Ιούνιο του 2011, έλαβαν χώρα κυρίως εντός των ορίων των δύο πρόσφατων πυρκαγιών (2007 και 1998), προκειμένου να γίνει σύγκριση των πρόσφατων πυρκαγιών με τα παλαιότερα περιστατικά στις ίδιες θέσεις. Ο σχεδιασμός της δειγματοληψίας έγινε έτσι ώστε να μεγιστοποιηθούν οι καταγραφές της φωτιάς από κάθε θέση, να εκτιμηθεί η έκταση του κάθε περιστατικού και να διαπιστωθεί η ύπαρξη περιστατικών όσο το δυνατόν παλαιότερα στο χρόνο. Κατά τη διάρκεια των ερευνών πεδίου έγινε λήψη σφηνών από πεσμένους ή / και κομμένους κορμούς, ενώ για τα όρθια, ζωντανά ή νεκρά δένδρα, λήφθηκαν σφήνες μικρότερου μεγέθους, κοντά στο σημάδι της φωτιάς. Συνολικά, συλλέχθηκαν δείγματα από 62 άτομα: 25 από ζωντανά δένδρα, 23 από όρθιους καμένους κορμούς ή νεκρά δένδρα, 16 από υπολείμματα κομμένων κορμών και 1 από πεσμένο κορμό. Το υψόμετρο των θέσεων δειγματοληψίας κυμαινόταν από 1125 - 1588 m (μέσο υψόμετρο: 1361 m). Μετά την κατάλληλη επεξεργασία των δειγμάτων στο εργαστήριο, μετρήθηκε το πλάτος των ετησίων δακτυλίων αύξησης, έγινε διασταυρούμενη χρονολόγηση, τόσο οπτική, όσο και με χρήση του ειδικού προγράμματος COFECHA, και προσδιορίστηκε το έτος των περιστατικών πυρκαγιάς. Η εκτίμηση της εποχής εκδήλωσης των πυρκαγιών έγινε με βάση τη σχετική θέση των σημαδιών εντός των ετήσιων δακτυλίων. Το μεσοδιάστημα μεταξύ των πυρκαγιών και το μέσο πιθανό διάστημα του Weibull υπολογίστηκαν για το σύνολο των πυρκαγιών, καθώς και για τις μεγαλύτερες μόνο πυρκαγιές, οι οποίες αντιστοιχούν σε αυτές που σημάδεψαν ποσοστό $\geq 25\%$ των εκάστοτε διαθέσιμων δένδρων καταγραφών. Ως καταγραφείς θεωρούνται τα δένδρα που διαθέτουν ανοιχτή πληγή και στα οποία είναι πιο εύκολο να σχηματιστεί νέο σημάδι από τη δράση της φωτιάς. Για τα περιστατικά των μεγαλύτερων

πυρκαγιών, δημιουργήθηκαν χάρτες εκτιμώμενης καμένης έκτασης, μέσω της ανάλυσης εγγύτητας.

Κατέστη δυνατό να γίνει διασταυρούμενη χρονολόγηση σε 54 δένδρα (87%), στα οποία και έγινε προσδιορισμός των ημερομηνιών των πυρκαγιών. Η ανασύσταση του ιστορικού της φωτιάς καλύπτει περίοδο 290 ετών (1721-2010). Το παλαιότερο περιστατικό πυρκαγιάς εντοπίστηκε το 1801, ενώ κατά τα έτη 1823 και 1830 σημειώνονται οι πρώτες πυρκαγιές που καταγράφονται σε περισσότερα από ένα δένδρα. Κατά τη διάρκεια των τελευταίων 165 ετών (1845-2010) εντοπίστηκαν 34 περιστατικά πυρκαγιών στο σύνολο της περιοχής μελέτης. Από το σύνολο των πυρκαγιών, 11 περιστατικά σημάδεψαν σημαντικό αριθμό δένδρων και μπορούν να θεωρηθούν πυρκαγιές μεγαλύτερης έκτασης, ενώ οι υπόλοιπες αφορούσαν σε περιστατικά μάλλον τοπικού χαρακτήρα. Οι περισσότερες πυρκαγιές σημειώθηκαν κατά την καλοκαιρινή περίοδο. Το μεσοδιάστημα μεταξύ δύο διαδοχικών πυρκαγιών σε επίπεδο συστάδας ήταν 4,9 χρόνια για το σύνολο των πυρκαγιών και 16,2 για τις μεγαλύτερες πυρκαγιές, ενώ σε επίπεδο ατόμου το αντίστοιχο διάστημα ήταν 29,5 χρόνια. Κατά τη διάρκεια των 165 ετών ανάλυσης δεν διέφεραν σημαντικά ούτε η συχνότητα των πυρκαγιών, ούτε το ποσοστό των σηματομενών δένδρων. Ωστόσο, τόσο το μέγεθος της καμένης έκτασης όσο και ο τύπος της φωτιάς φαίνεται να έχει αλλάξει, με την πυρκαγιά του 2007 να αποτελεί το πιο εκτεταμένο και το μεγαλύτερο σε ένταση περιστατικό στην περιοχή μελέτης.

Για την παρακολούθηση της αναγέννησης της *Pinus nigra*, μετά τη μεγαπυρκαγιά του 2007, ακολουθήθηκε ειδικός σχεδιασμός με έμφαση στην παρουσία άκαυτων συστάδων. Σύμφωνα με την υφιστάμενη βιβλιογραφία, σε περιπτώσεις μεγάλης έντασης επικόρυφων πυρκαγιών η φυσική αναγέννηση του είδους εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την επιβίωση, την παραγωγή και τη διασπορά σπερμάτων από ώριμα άτομα 'μητέρες' που βρίσκονται, είτε εντός των καμένων εκτάσεων (άκαυτες νησίδες), είτε στα όρια της άκαυτης έκτασης. Για τον καθορισμό των ορίων της πυρκαγιάς του 2007, τη διερεύνηση της διαθεσιμότητας άκαυτων νησίδων *P. nigra* και την πρόβλεψη της πορείας εποικισμού των καμένων εκτάσεων έγινε συνδυασμένη χρήση τεχνικών δορυφορικής τηλεπισκόπησης και τεχνικών Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών. Επί των αρχικών χαρτών που προέκυψαν από την εφαρμογή αυτών των τεχνικών, εφαρμόστηκε μία σειρά κριτηρίων με τα οποία αφενός μεν έγινε χωρική πρόβλεψη της δυνατότητας φυσικής αναγέννησης της *P. nigra* και αφετέρου επιλέχθηκαν οι θέσεις δειγματοληψίας πεδίου για την παρακολούθηση της μεταπυρικής αναγέννησης. Το βέλτιστο σενάριο μεταπυρικής αναγέννησης στο μοντέλο που εφαρμόστηκε προβλέπει σημαντική απώλεια δασικών οικοσυστημάτων Μαύρης πεύκης στην περιοχή του Ταυγέτου της τάξης του 12% και αφορά σε θέσεις απομακρυσμένες από άκαυτες συστάδες.

Στη συνέχεια, επιλέχθηκε ένα δίκτυο 18 θέσεων δειγματοληψίας για την υλοποίηση ερευνών πεδίου. Εξ αυτών, οι 12 θέσεις βρίσκονταν στα όρια άκαυτων συστάδων ή νησίδων, ενώ οι 6 αφορούσαν σε τελείως καμένες εκτάσεις, που βρίσκονταν σε

μεγάλη απόσταση από άκαυτες συστάδες ή νησίδες. Σε κάθε θέση δειγματοληψίας, η πυκνότητα των αρτιβλάστων και των νεαρών ατόμων *Pinus nigra* μετριοταν σε δειγματοληπτικές επιφάνειες 1x1m κατά μήκος 3 διατομών, μήκους 100m και πλάτους 2m. Συνολικά έγιναν δειγματοληψίες σε 10.800 δειγματοληπτικές επιφάνειες 1x1m. Οι δειγματοληψίες για την παρακολούθηση της μεταπυρικής αναγέννησης ξεκίνησαν τον Απρίλιο του 2010 και ολοκληρώθηκαν το Σεπτέμβριο του 2012. Για τον προσδιορισμό των μεταβλητών που έχουν τη μεγαλύτερη σημασία στην ερμηνεία της μεταπυρικής αναγέννησης της *P. nigra* χρησιμοποιήθηκε η στατιστική ανάλυση με ενισχυμένα δένδρα παλινδρόμησης.

Στατιστικώς σημαντικές διαφορές βρέθηκαν ως προς την πυκνότητα νεαρών ατόμων Μαύρης πεύκης στις θέσεις που βρίσκονταν κοντά σε άκαυτες συστάδες και στις τελείως καμένες και απομονωμένες εκτάσεις. Η μέση πυκνότητα νεαρών ατόμων Μαύρης πεύκης στις θέσεις κοντά σε άκαυτες συστάδες ήταν 0,406 άτομα m⁻², ενώ στις τελείως καμένες και απομονωμένες εκτάσεις η αναγέννηση παραμένει πρακτικά μηδενική, με τη μέση πυκνότητα να είναι ίση με 0.007 άτομα m⁻². Ο σημαντικότερος παράγοντας που ουσιαστικά καθορίζει το ρυθμό αναγέννησης της *Pinus nigra* είναι η απόσταση από την άκαυτη συστάδα. Από τις περιβαλλοντικές παραμέτρους που εξετάστηκαν, ο αριθμός των πυρκαγιών και η παρουσία του είδους *Pteridium aquilinum* έχουν μέτρια επίδραση στην πυκνότητα Μαύρης πεύκης, ενώ ακολουθούν το θερμικό φορτίο, η διάμετρος των άκαυτων δένδρων και το υψόμετρο. Η παρουσία ποωδών ειδών, πεσμένων ή όρθιων καμένων ή και κομμένων κορμών, το βάθος εδάφους και ο αριθμός των άκαυτων δένδρων έχουν σχετικά μικρή επίδραση.

Η παρούσα έρευνα παρέχει πρόσθετα αποδεικτικά στοιχεία ότι η *Pinus nigra* είναι ένα είδος ανθεκτικό στη φωτιά, με την προϋπόθεση ότι εκτίθεται σε έρπουσες πυρκαγιές, ακόμα και όταν συμβαίνουν κατ' επανάληψη. Σε περιπτώσεις μεγάλης έντασης επικόρουφων πυρκαγιών η μεταπυρική της αναγέννηση εξαρτάται σχεδόν αποκλειστικά από τη διασπορά σπερμάτων από γειτονικές άκαυτες συστάδες. Η αξιολόγηση της παρουσίας και η διατήρηση των άκαυτων συστάδων και νησίδων, ιδίως αυτών με μεγάλα ενήλικα άτομα, είναι πρωτεύουσας σημασίας για τη μεταπυρική διαχείριση των οικοσυστημάτων του είδους αυτού. Παρόλα αυτά, διάφοροι περιβαλλοντικοί παράγοντες, καθώς και τα χαρακτηριστικά του μικροενδιαίτηματος επηρεάζουν το ρυθμό φυσικής μεταπυρικής αναγέννησης. Ο έλεγχος των ποωδών ειδών και της πυκνότητας της φτέρης εκτιμάται ότι μπορεί να προωθήσει τη φυσική αναγέννηση της *Pinus nigra*. Παράλληλα, θα πρέπει να αποφεύγεται η απομάκρυνση των νεκρών πεσμένων ή όρθιων καμένων κορμών, οι οποίοι, εκτός από την προστασία του εδάφους από τη διάβρωση και την παροχή θρεπτικών, μπορούν να προσφέρουν και κατάλληλα μικροενδιαίτηματα για τη φυσική μεταπυρική αναγέννηση της *P. nigra*. Για την αποτελεσματική διαχείριση και προστασία των δασών απαιτούνται περισσότερες έρευνες όσον αφορά στη διαχείριση της καύσιμης ύλης, καθώς και στις πιθανές επιπτώσεις που μπορεί να επιφέρει η κλιματική αλλαγή, προκειμένου να προσδιοριστούν οι παράγοντες που

οδηγούν στην εμφάνιση πυρκαγιών μεγαλύτερης έντασης και έκτασης. Η υλοποίηση παρόμοιων ερευνών καθίσταται ιδιαίτερα σημαντική στην περιοχή της Μεσογείου, η οποία αναμένεται να επηρεασθεί σημαντικά από την κλιματική αλλαγή.

SUMMARY

During the recent decades there is an increasing trend of both fire activity and area burned in many regions of the world. Moreover, there is a worldwide concern regarding the increasing presence of crown fires in forest types that were historically prone to surface fires. Among the recently affected mountainous forest ecosystems are those of *Pinus nigra* J. F. Arnold, an ecologically and economically important species that is widely distributed around the Mediterranean Basin. The aims of this study were to investigate the historical presence of fire in Black pine forest ecosystems, as well as to document the spatial patterns of its post-fire regeneration on Taygetos mountain range of Southern Greece that was severely burned in 2007.

Dendrochronology has been used to investigate whether fire-regime attributes can be reconstructed from fire-scarred trees and also to examine the consistency of fire occurrence and spatial extent through time within the study area. Partial cross-sections from fire scarred *Pinus nigra* trees were sampled in June 2011 mainly within the perimeters of the 2007 and/or 1998 fires in order to be able to contrast recent fires with the long-term fire regime on the same sites. The sampling was designed to maximize the completeness of fire occurrence dates over as long a time period as possible. The total number of individual trees sampled was 62: twenty five samples were collected from living trees, 23 from snags, 16 from cut stumps and 2 from logs. The elevation of sampling points varied between 1125 - 1588 m (mean 1361 m). Tree rings of the fire-scarred samples were measured and cross-dated. The COFECHA software was used with the tree-ring measurements to check the quality of dating and to assist in dating trees that could not be dated visually. The season of fire occurrence was estimated based on the relative position of fire injuries within each annual ring. FHX2 software was used for analyzing the fire scar data. The mean fire interval and the Weibull median probability interval were calculated for all fires, as well as for "major" fire years, estimated by filtering only years in which $\geq 25\%$ of the recording samples (those with open injuries, susceptible to further scarring) were scarred. For the events representing "major" fires their expected fire-extent has been interpolated in space through a proximity analysis (Thiessen polygons) and the areas of *Pinus nigra* forests affected by each "major" fire event have been presented in maps.

We were able to cross-date samples derived from 54 trees (87%) and identify their fire dates. The period covered by the fire-scarred samples was 290 years (1721-2010). The oldest confirmed fire date was 1801, while 1823 and 1830 represented the first fire dates recorded on more than one sample. During the last 165 years, 34 fire events have been recorded in the Black pine forest of the study area. The overall mean fire interval was 4.9 yrs, while 16.2 yrs was the mean fire interval for the larger in size fires (25%-scarred filter). Even at the individual-sample scale, with the sample mean fire interval equalling 29.5 years, the fire frequency still falls within the range of the "predictable stand-thinning fire" regime. The majority of fire scars recorded were dated to the warm and dry season of summer to fall. During the last

165 years of fire reconstruction, neither fire frequency nor percentage of trees scarred by fires varied significantly. Nevertheless, the size of the area burned as well as the type of fire seem to have changed, with the 2007 event being the most extended crown fire encountered so far.

For monitoring regeneration of *Pinus nigra*, after the megafire of 2007, a special design was followed by taking into consideration distance from unburned patches. It is reported that active post-fire regeneration of Black pine is ensured only from neighboring unburned patches or sparse individuals of the species. Remote sensing techniques and GIS analysis were applied in order to extract information on the unburned patches within the fire perimeter and to spatially predict the potential recolonization of the burned areas. The spatial model predicts a regeneration failure over an area representing 12% of the pre-fire species distribution across the study area.

A network of 18 sites was established for monitoring regeneration of Black pine during three consecutive years from 2010 to 2012. Twelve sites were selected at the edges of the unburned patches, while six sites were established in completely burned areas, where the post-fire regeneration was expected to be practically zero. Densities of Black pine seedlings and saplings were measured in plots of 1x1m² sequentially located along 3 transects of 100m long x 2m wide, established in each of the above sites. A total of 10,800 plots were sampled. Boosted regression tree analysis was used for identifying environmental and microhabitats variables with the most explanatory power concerning interpretation of Black pine post-fire regeneration.

Statistically significant differences have been detected among pines densities recorded at sites located at the edges of the unburned patches and sites in completely burned areas. Mean density in sites located at the edges of the unburned patches was 0.406 individuals m⁻², while in the completely burned areas, five years after fire, the regeneration remains practically nil, with mean density being equal to 0.007 individuals m⁻². Number of fires and presence of recovering ferns have a moderate effect on Black pine densities, followed by heat load, altitude and diameter at breast height of the remaining unburned trees, while presence of herbs, coarse woody debris, soil depth and number of mature unburned trees have a relatively weak effect. The most important variable defining Black pine post-fire natural regeneration is distance from the unburned patch.

Our study has provided additional evidence that *Pinus nigra* is indeed a fire-resistant tree species provided that it is exposed to surface fires, even if they are recurrently occurring. In the case of severe and extended crown fires its post-fire recovery depends almost exclusively on seed dispersal from neighboring unburned patches. Therefore, after a fire event, the assessment of the existence and the conservation of any unburned patch must be of primary importance. Environmental variables and microhabitat characteristics such as vegetation and presence of fallen branches and trunks, stumps and snags can greatly affect Black pine recruitment. Control of

perennial herbs and reduction of ferns presence to a moderate level can promote Black pine regeneration. Removal of coarse woody debris should be avoided as apart from soil protection from erosion can also provide suitable microhabitats for Black pine regeneration. To assist integrated forest management further research into fuel management, as well as and potential effects from changes in climate, is needed to clarify the factors leading to increasingly large and severe wildfires, in a region that is expected to be severely impacted by climatic change.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Η οικολογική σημασία της φωτιάς

Για πολλά χερσαία οικοσυστήματα η φωτιά αποτελεί έναν καθοριστικό οικολογικό παράγοντα που παίζει σημαντικό ρόλο στη σύνθεση και κατανομή των φυτοκοινοτήτων (Rundel 1981, Bond et al. 2005). Στους φυσικούς παράγοντες που μπορούν να προκαλέσουν πυρκαγιά ανήκουν οι κεραυνοί αλλά και οι αστραπές που μπορούν να προκαλέσουν ανάφλεξη της βλάστησης (Komarek 1967), η ηφαιστειακή δραστηριότητα (Agee 1998), η παραγωγή σπύθας κατά τη διάρκεια κατολισθήσεων και η ανάφλεξη εύφλεκτων φυτικών παραγόντων (π.χ. αιθέρια έλαια, ρητίνη) σε συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας (Trabaud 1981). Βέβαια, η εκδήλωση μιας πυρκαγιάς εξαρτάται κι από τις επικρατούσες συνθήκες υγρασίας και θερμοκρασίας (Naveh 1967, 1973), καθώς και από την ίδια τη δομή του οικοσυστήματος (πυκνότητα βλάστησης, παραγωγή νεκρής βιομάζας, τάχος αποικοδόμησης στρωμνής) (Christensen 1987). Για το λόγο αυτό, ένα ποσοστό χερσαίων οικοσυστημάτων δεν έχει γνωρίσει τη φωτιά ως σημαντικό οικολογικό παράγοντα (π.χ. αλπικά και ερημικά οικοσυστήματα) (Agee 1974, Trabaud 1987). Η φωτιά διαφοροποιείται από άλλους φυσικούς παράγοντες διαταραχής, όπως οι κυκλώνες ή οι πλημμύρες, καθώς με τη δράση της ρυθμίζει την ποσότητα της εύφλεκτης ύλης και των θρεπτικών και ανόργανων συστατικών. Η δράση της φωτιάς μπορεί όμως να παρομοιαστεί με τις αραιώσεις και άλλες διαταραχές που αφαιρούν την υπέργεια βιομάζα (Paula et al. 2009), καθώς και με τη δράση των φυτοφάγων ζώων (Bond and Keeley 2005). Επιπλέον, αποτελεί την πιο κοινή διαταραχή για πολλούς τύπους οικοσυστημάτων, επηρεάζοντας τη δομή και τη λειτουργία των φυτοκοινοτήτων αλλά και την παραγωγικότητα των δασικών οικοσυστημάτων (Sousa 1984, Agee 1993, Bond and van Wilgen 1996, Kazanis and Arianoutsou 1996, Arianoutsou 1998, Barnes et al. 1998, Arianoutsou and Ne'eman 2000, Ojeda et al. 2010, Αριανούτσου 1979, Καζάνης και Αριανούτσου 1998, Αριανούτσου 2007).

Ο βαθμός επίδρασης της φωτιάς εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του καθεστώτος της, την εποχή και το αναπτυξιακό στάδιο των φυτών και διακρίνεται ανάλογα με τη φυσιολογική απόκριση των φυτών στη θερμότητα, την ένταση της φωτιάς και τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος (Trabaud 1987). Το καθεστώς της φωτιάς (fire regime, Malanson 1987) προσδιορίζεται από την έντασή (intensity) της, τη συχνότητα με την οποία καίγεται ένα οικοσύστημα, την εποχή κατά την οποία λαμβάνει χώρα το γεγονός και το μέγεθος της συνολικά καμένης έκτασης. Σύμφωνα με τους Bond and Keeley (2005), οι οποίοι βασίστηκαν στην αντίληψη του καθεστώτος της φωτιάς, όπως αυτή παρουσιάστηκε από τον Gill (1975), το καθεστώς της φωτιάς περιλαμβάνει: α) την κατανάλωση της νεκρής βιομάζας και τα πρότυπα εξάπλωσης της φωτιάς (fuel consumption and fire spread patterns), β) την ένταση (intensity), γ) τη δριμύτητα (severity), δ) τη συχνότητα (frequency) και την εποχικότητα (seasonality).

Παρά το γεγονός ότι η φωτιά αποτελεί σημαντικό οικολογικό παράγοντα, η εμφάνιση του ανθρώπινου είδους και στη συνέχεια η αύξηση του ανθρώπινου πληθυσμού έχουν επηρεάσει σε σημαντικό βαθμό τόσο το καθεστώς, όσο και τη συχνότητα των πυρκαγιών (Pausas and Keeley 2009). Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα της Μεσογειακής λεκάνης, όπου υπάρχουν μαρτυρίες για πυρκαγιές ανθρωπογενούς προέλευσης από το 2.600 π.Χ., όταν οι κτηνοτρόφοι και οι καλλιεργητές συνήθιζαν να βάζουν φωτιές για να εκμεταλλευτούν στη συνέχεια τις καμένες εκτάσεις ως βοσκοτόπους ή καλλιέργειες (Papanastasis et al. 2010), πρακτική που σε μικρότερο βαθμό συνεχίζει να λαμβάνει χώρα μέχρι και σήμερα - για παράδειγμα: πυρκαγιές από τους κτηνοτρόφους για τη «βελτίωση» των λιβαδιών (Ξανθόπουλος και Ξανθάκης 2008). Αναφέρεται εξάλλου ότι στην ανατολική Μεσόγειο, κατά τη διάρκεια των ετών 1980-1996 δεν έχουν καταγραφεί φωτιές φυσικής προέλευσης (natural fires) (Keidar 2001). Βέβαια, οι φωτιές στη Μεσόγειο ήταν ιδιαίτερα κοινές ήδη από το Τεταρτογενές (Carrión et al. 2003), ενώ πιθανότατα ήταν συχνές πολύ νωρίτερα (Pausas et al. 2008).

Η ικανότητα του ανθρώπου να χρησιμοποιεί τη φωτιά, σε κλίμακα γεωλογικού χρόνου, είναι σχετικά πρόσφατη και το γεγονός αυτό αποτελεί ισχυρή απόδειξη της ανεξάρτητης του ανθρώπου δράσης της. Σε αντίθετη περίπτωση, αν δηλαδή η φωτιά άρχιζε να επηρεάζει συστηματικά τα χερσαία οικοσυστήματα μόνο από τη στιγμή που ο άνθρωπος θα μπορούσε να την αξιοποιήσει, τότε δεν θα υπήρχε το απαραίτητο χρονικό περιθώριο που θα επέτρεπε στα είδη να αναπτύξουν προσαρμοστικούς μηχανισμούς επιβίωσης και αναγέννησης (Naveh 1975). Υποστηρίζεται, άλλωστε, ότι η φωτιά έχει επηρεάσει σε μεγάλο βαθμό την εξέλιξη των Μεσογειακών φυτών, πολύ περισσότερο από κάθε άλλη ανθρώπινη διαταραχή, όπως οι υλοτομίες ή/ και η βόσκηση (Naveh 1974, 1990, Ne'eman et al. 2004). Παρόλα αυτά, ιδιαίτερα μετά το Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο, η ενδυνάμωση της ανθρώπινης παρέμβασης στα μεσογειακά οικοσυστήματα έχει αλλάξει σε μεγάλο βαθμό τα πρότυπα φυτοκάλυψης του εδάφους και το φυσικό καθεστώς δράσης της φωτιάς, με συνήθως περισσότερα περιστατικά να ξεσπούν στην ίδια περιοχή (Grove and Rackham 2001, Arianoutsou 2001, 2004, Arianoutsou et al. 2002).

Οι αλλαγές που παρατηρούνται ως προς το καθεστώς της φωτιάς, εκτός από τον ανθρώπινο παράγοντα, οφείλονται και στις αλλαγές των κλιματικών συνθηκών. Ειδικά για τη Μεσογειακή περιοχή, η αυξανόμενη τάση των μεγάλων και καταστροφικών πυρκαγιών που παρατηρείται από τη δεκαετία του 1970 (Pausas and Fernández-Muñoz 2012, Koutsias et al. 2013) φαίνεται να σχετίζεται με τις επικρατούσες κλιματικές συνθήκες (Pausas and Fernández-Muñoz 2012). Η κλιματική αλλαγή συνδέεται με την αύξηση της συχνότητας, της δριμύτητας και της έκτασης των δασικών πυρκαγιών (Piñol et al. 1998, Ordóñez et al. 2005), καθώς και την πρόσφατη αύξηση των περιστατικών φωτιάς στα υγρότερα και ψυχρότερα περιβάλλοντα των ορεινών δασικών οικοσυστημάτων (Ordóñez et al. 2006, Αριανούτσου και συν. 2008). Τα τελευταία χρόνια, η κλιματική αλλαγή έχει προστεθεί στις σημαντικότερες απειλές όσον αφορά στην απώλεια της βιοποικιλότητας (Secretariat of the Convention on Biological Diversity 2006). Το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής είναι ιδιαίτερα περίπλοκο και περιλαμβάνει

αλληλεπίδραση διαφόρων παραγόντων. Μεταξύ των πιο ευαίσθητων περιοχών στην κλιματική αλλαγή περιλαμβάνεται και η Μεσογειακή λεκάνη, όπου με βάση πρόσφατα κλιματικά σενάρια της IPCC (Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή) (2007) προβλέπεται περαιτέρω μείωση του ετήσιου ύψους βροχόπτωσης. Η κλιματική αλλαγή επηρεάζει το σύνολο των οικοτόπων, ενώ αποτελεί σημαντικότερη απειλή ιδίως για τα περισσότερα τρωτά οικοσυστήματα (Millennium Ecosystem Assessment 2005). Επιπλέον, αποτελεί σημαντική απειλή και για τα είδη χλωρίδας, με τα τοπικά ενδημικά είδη που πολλές φορές είναι ήδη απειλούμενα, να υποστηρίζεται ότι είναι από τα πρώτα που θα επηρεαστούν (Kazakis et al. 2007). Υπό το πρίσμα της κλιματικής αλλαγής, το νότιο τμήμα της Μεσογειακής λεκάνης προβλέπεται να επηρεαστεί ακόμα περισσότερο από τις δασικές πυρκαγιές (Moriondo et al. 2006, Giannakopoulos et al. 2009).

Οι πυρκαγιές αποτελούν ένα βασικό στοιχείο των Μεσογειακών οικοσυστημάτων (Naveh 1975, Trabaud and Lepart 1980, Ordóñez 2004) και μεγάλο εύρος της βιβλιογραφίας υποστηρίζει ότι τα φυτά, τόσο στη Μεσόγειο, όσο και στα υπόλοιπα μεσογειακού κλίματος οικοσυστήματα, έχουν αναπτύξει προσαρμογές απέναντι στη δράση της φωτιάς όπως η αναβλάστηση, η ενεργοποιημένη φύτευση σπερμάτων, η βραδυχωρία των κώνων και ο παχύς φλοιός (για παράδειγμα: Naveh 1975, Gill 1981, Arianoutsou and Margaritis 1981, Thanos and Georgiou 1988, Keeley 1993, Arianoutsou and Thanos 1996, Arianoutsou and Ne'eman 2000, Thanos 2004).

Σύμφωνα με τους Bradshaw et al. (2011) τα χαρακτηριστικά που συνήθως αναφέρονται ως προσαρμογές απέναντι στη δράση της φωτιάς (fire adaptations), θα πρέπει να αναφέρονται ως εξαρμογές (exaptations), καθώς στην πραγματικότητα άλλοι παράγοντες οδήγησαν στην εξέλιξή τους, ενώ ένα συγκεκριμένο καθεστώς φωτιάς προώθησε την επιβίωση και την αρμοστικότητα τους. Σύμφωνα με τους Keeley et al. (2011) τα χαρακτηριστικά που είναι προσαρμοσμένα στη φωτιά (fire-adaptive traits) μπορεί να είναι αποτέλεσμα διαφόρων εξελικτικών μονοπατιών και η διάκριση ανάμεσα στις προσαρμογές και τις εξαρμογές δεν είναι πάντοτε δυνατή. Υπογραμμίζεται επίσης ότι κανένα είδος δεν είναι γενικά προσαρμοσμένο στη φωτιά. Αντίθετα, τα είδη είναι προσαρμοσμένα σε ένα συγκεκριμένο καθεστώς φωτιάς, και η αλλαγή του καθεστώτος αυτού μπορεί να έχει πολύ καταστροφικές επιδράσεις στη βιωσιμότητα πολλών στοιχείων των οικοσυστημάτων (Pausas and Keeley 2009).

1.2 *Pinus nigra* J. F. Arnold

Το γένος *Pinus* θεωρείται ένα από τα παλαιότερα γένη του φυτικού βασιλείου. Περιλαμβάνει περισσότερα από 100 είδη δένδρων ή σπανιότερα θάμνων και αποτελεί το πλέον ευρέως εξαπλωμένο γένος Γυμνοσπέρμων του Βορείου Ημισφαιρίου (Miron 1967, Vidakovic 1991, Scaltsoyiannes et al. 2009). Το εύρος εξάπλωσής του μπορεί να συγκριθεί με το γένος *Quercus* στο Βόρειο και το γένος *Eucalyptus* στο Νότιο ημισφαίριο. Σε αντίθεση με τα δύο Αγγειόσπερμα που είναι πολύ πιθανό να εμφανίστηκαν στον Καινοζωικό αιώνα, το γένος *Pinus* εμφανίστηκε στο Μεσοζωικό αιώνα (Keeley 2012).

Η προέλευση των πεύκων εντοπίζεται στην υπερήπειρο της Λαυρασίας όπου περί τα μέσα της Κρητιδικής περιόδου (145,5 -65,5 εκατομμύρια χρόνια πριν) έγινε η απόκλιση στα δύο υπογένη: *Strobus* (Haploxyton) και *Pinus* (Diploxyton) (Millar 1998). Τα είδη του πρώτου υπογένους εντοπίζονται κυρίως σε αλπικά ή ερημικά περιβάλλοντα, ενώ τα είδη του δεύτερου υπογένους εντοπίζονται σε περιβάλλοντα που διαταράσσονται από την περιοδική δράση της φωτιάς (Keeley and Zedler 1998, Schwilk and Ackerly 2001, Keeley 2012). Σύμφωνα με τους He et al. (2012) οι προσαρμογές στη δράση της φωτιάς, ιδίως όσον αφορά στα είδη του υπογένους *Pinus*, εμφανίστηκαν πριν από 126 εκατομμύρια χρόνια. Στη Μεσογειακή λεκάνη, τα είδη του γένους *Pinus* αποτελούν σημαντική συνιστώσα της βλάστησης και καλύπτουν περισσότερα από 13 εκατομμύρια εκτάρια (ha) σε όλα τα υψόμετρα (Barbéro et al 1998), ενώ υποστηρίζεται ότι η περιοδική δράση της φωτιάς έχει ευνοήσει την εξάπλωσή τους (Quézel 1980, Thanos and Marcou 1991, Agee 1998, Richardson and Rundel 1998). Σύμφωνα με τους Miron (1967) και Klaus (1989), όσον αφορά στα Μεσογειακά πεύκα, στο πρώτο υπογένος περιλαμβάνονται δύο είδη, ενώ στο υπογένος *Pinus*, όπου ανήκει και η *Pinus nigra*, περιλαμβάνονται 11 είδη.

Η Μαύρη πεύκη (*Pinus nigra* J.F. Arnold) περιγράφηκε επιστημονικά από το Βιεννέζο φυσικό Arnold, στο «Journey to Mariazell» (1785). Πρόκειται για είδος με ευρεία γεωγραφική κατανομή (Klaus 1989) και μεγάλη ενδοειδική ποικιλότητα. Χαρακτηρίζεται από μεγάλη οικολογική και οικονομική σημασία, καθώς το ξύλο του είναι υψηλής τεχνολογικής ποιότητας και χρησιμοποιείται για πολλούς σκοπούς, όπως κατασκευές, σανίδες δαπέδου, κούτσουρα, παρασκευή χαρτοπολτού και καυσίμων (Christensen 1997, Retana et al. 2012). Τόσο στην Ευρώπη, όσο και στην Αμερική, έχει χρησιμοποιηθεί ως καλλωπιστικό φυτό σε πάρκα, αστικές και βιομηχανικές περιοχές (Isajev et al. 2004, Earle 2012). Είναι είδος ιδιαίτερα ανθεκτικό στην αστική μόλυνση (Earle 2012), αλλά και στην ξηρασία (Martin-Benito et al. 2011, Mataruga et al. 2012). Επιπλέον, έχει χρησιμοποιηθεί σε μεγάλο βαθμό σε αναδασώσεις, τόσο στην Ελλάδα (Απατσίδης 1977, Κακούρος και Ντάφης 2009, Thanasis et al. 2007), όσο και σε άλλες χώρες της Μεσογείου (Martín-Benito et al. 2008, Retana et al. 2012).

Τα οικοσυστήματα Μαύρης πεύκης περιλαμβάνονται στο Παράρτημα Ι της Οδηγίας 92/43/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 21^{ης} Μαΐου 1992 των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων «Για τη Διατήρηση των Φυσικών Βιότοπων και της άγριας πανίδας και αυτοφυούς

χλωρίδας», βάσει της οποίας ο τύπος οικοτόπου «Μεσογειακά δάση Πεύκης με ενδημικά είδη μαύρης πεύκης» (9530) αποτελεί οικότοπο προτεραιότητας, καθώς κινδυνεύει με εξαφάνιση, ενώ η προστασία του αποτελεί σημαντική προτεραιότητα για την επιτυχή διαχείριση των περιοχών του Δικτύου Natura 2000 όπου αυτός απαντάται. Ανάμεσα στις οικολογικές υπηρεσίες και παροχές του οικοτόπου περιλαμβάνονται η αποθήκευση διοξειδίου του άνθρακα, η προστασία από τη διάβρωση του εδάφους κ.ά. (Zaghi 2008).

Στις κυριότερες απειλές για τα δάση Μαύρης πεύκης συμπεριλαμβάνονται η κακή διαχείριση των δασών, ο κατακερματισμός των ενδιαιτημάτων, η αλλοίωση του γενετικού υλικού, η εισαγωγή ξενικών ειδών και οι προσβολές από έντομα (Isajen et al. 2004, Zaghi 2008). Όπως ισχύει για τα περισσότερα είδη του γένους *Pinus* (Battisti 2005), η *Pinus nigra* αποτελεί κατάλληλο ενδιαίτημα για πλήθος εντόμων, πολλά εκ των οποίων χαρακτηρίζονται ως παράσιτα και επηρεάζουν αρνητικά την κατάσταση διατήρησης των δασών Μαύρης πεύκης, προκαλώντας μείωση της ανάπτυξης ή / και του αναπαραγωγικού δυναμικού, φυλλόπτωση ή ακόμα και νεκρώσεις δένδρων. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η επέκταση της παρουσίας ορισμένων ειδών εντόμων που μπορούν να επιτεθούν και στην *Pinus nigra*, σε μεγαλύτερα υψόμετρα και εκτός των ορίων του εύρους κατανομής τους, γεγονός που συνδέεται με την αύξηση της θερμοκρασίας και τα σενάρια κλιματικής αλλαγής (Faccoli 2007, FAO 2009, Global Invasive Species Database 2011).

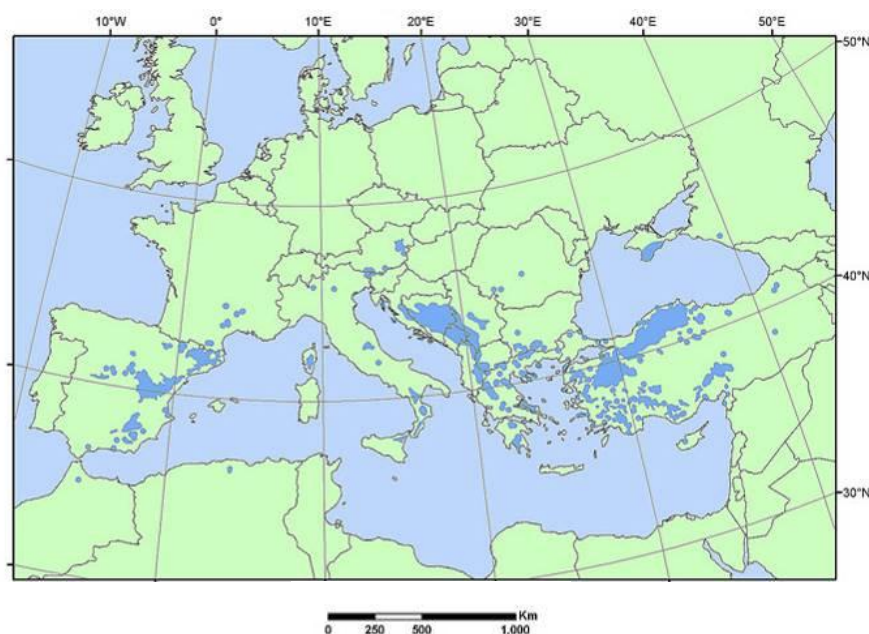


Εικόνα 1.1 Δάσος Μαύρης πεύκης

1.2.1 Φυσική εξάπλωση- Συστηματική κατάταξη

Η παρουσία της *Pinus nigra* εκτείνεται γύρω από τη Μεσόγειο και εξαπλώνεται από το Μαρόκο έως την Κύπρο, την ανατολική Τουρκία και την Κριμαία, ενώ η συνολική έκταση της περιοχής εξάπλωσης του είδους ξεπερνάει τα 3,5 εκατομμύρια ha (Isajev et al. 2004). Στην **Εικόνα 1.2** παρουσιάζεται η περιοχή φυσικής εξάπλωσης της *P. nigra*, σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό Πρόγραμμα για τους Δασικούς Γενετικούς Πόρους (EUFORGEN 2009).

Υπάρχουν διαφορετικές συστηματικές θεωρήσεις του είδους με σημαντικές αποκλίσεις μεταξύ τους. Σύμφωνα με τον Christensen (1993) μπορούν να διαχωριστούν μόνο δύο καλά διευκρινισμένα, αλλοπάτρια υποείδη: το υποείδος *salzmannii* (Dunal) Franco (=subsp. *occidentalis* Delevoey) που εντοπίζεται στη ΒΔ Αφρική, τη Δυτική Ισπανία έως τη Ν. Γαλλία, την Κορσική, τη Ν. Ιταλία και τη Σικελία και το υποείδος *nigra* (=subsp. *occidentalis* Delevoey) που εντοπίζεται στην Κεντρική και Β.Α Ιταλία, την Αυστρία, τη Βαλκανική χερσόνησο, την Ανατολική Τουρκία και την Κριμαία. Με βάση πιο πρόσφατες αναλύσεις, βασισμένες σε γενετικές μεθόδους (Fady et al. 2011), επιβεβαιώνεται η ύπαρξη δύο κύριων φυλογενετικών ομάδων *Pinus nigra*: της ομάδας της Ανατολικής Μεσογείου, που περιλαμβάνει τα υποείδη *nigricans* και *pallasiana*, και της ομάδας της Δυτικής Μεσογείου, που περιλαμβάνει τα υποείδη *mauretanica* και *salzmannii*, ενώ το υποείδος *P. nigra* subsp. *laricio* βρίσκεται στα όρια μεταξύ των δύο κύριων ομάδων. Με βάση το Vascular Plants of Greece: An annotated checklist (Dimopoulos et al. 2013) στην Ελλάδα απαντάται η *Pinus nigra* J. F. Arnold subsp. *nigra*.



Εικόνα 1.2 Φυσική εξάπλωση της *Pinus nigra* (EUFORGEN 2009).

1.2.2 Οικοφυσιολογία

Η *Pinus nigra* είναι μόνικο κωνοφόρο δένδρο, ύψους 25-45m, με στηθαία διάμετρο 1-1,8m. Μπορεί να ζήσει για πολλούς αιώνες (Tapias et al. 2004) και έχει χρησιμοποιηθεί εκτενώς στη δενδροκλιματολογία (Fernández et al. 1996). Τα μεγαλύτερης ηλικίας άτομα χαρακτηρίζονται από ευθύ κορμό και παχύ φλοιό (Earle 2012), χαρακτηριστικά που τους επιτρέπουν να επιβιώνουν ύστερα από μικρή ένταση, έρπουσες πυρκαγιές (Tapias et al. 2004, Fulé et al. 2008). Η παραγωγή ώριμων κώνων και σπερμάτων αρχίζει στα 15-40 έτη (Skordilis and Thanos 1997), ενώ πριν τα 15 έτη η παραγωγή κώνων υποστηρίζεται ότι είναι ιδιαίτερα περιορισμένη (Tapias et al. 2001). Οι θηλυκοί κώνοι έχουν μήκος 4.5(-5)-10(-12)cm είναι κωνικοί, συμμετρικοί ή σχεδόν συμμετρικοί, αρχικά πράσινοι, που στη συνέχεια γίνονται γκρι- κίτρινοι. Οι αρσενικοί κώνοι (ίουλοι) είναι κίτρινου χρώματος και έχουν μέγεθος 10-15 mm (Isajev et al. 2004, Earle 2012). Η ανθοφορία είναι ετήσια και τα σπέρματα παράγονται 2 χρόνια μετά την ανθοφορία (Isajev et al. 2004). Οι κώνοι του είδους είναι μικρότεροι από τους κώνους του *Pinus halepensis* (Habrouk et al. 1999) και κάθε κώνος περιέχει 30-40 σπέρματα (Van Haverbeke 1986, Isajev et al. 2004), αν και ο αριθμός αυτός διαφοροποιείται σημαντικά μεταξύ των διακριτών πληθυσμών (Panayiotopoulos and Thanos 2002).

Όπως έχει βρεθεί και για άλλα είδη, η *Pinus nigra* παρουσιάζει μεγάλη διακύμανση στην παραγωγή κώνων και σπερμάτων από έτος σε έτος (Ordóñez et al. 2006). Σύμφωνα με τον Kerr (2000), έχει την ικανότητα να παράγει έναν κάποιο αριθμό σπερμάτων κάθε χρόνο, αλλά οι καλές χρονιές σπερμάτων επαναλαμβάνονται μόνο κάθε 2-5 χρόνια (Haverbeke 1986). Η καλή χρονιά ως προς την παραγωγή σπερμάτων (good seed year) είναι ιδιαίτερα σημαντική για τη φυσική αναγέννηση του είδους (Ordóñez et al. 2006). Τυχαία γεγονότα, όπως μια διακύμανση στις καιρικές συνθήκες ή μια προσβολή από έντομα, μπορούν να επηρεάσουν την παραγωγή κώνων, η οποία και θα είναι πολύ χαμηλή (Karlson and Orlander 2000).

Η ωρίμανση των σπερμάτων και των κώνων λαμβάνει χώρα στο τέλος του χειμώνα και η φύτευση των σπερμάτων γίνεται στην αρχή της άνοιξης, αμέσως μετά τη διασπορά, δίχως να απαιτείται ψυχρή στρωμάτωση (stratification), όπως ισχύει για άλλα είδη ορεινών κωνοφόρων (Thanos et al. 2010). Η διασπορά των σπερμάτων είναι κυρίως ανεμόχωρη (Catalán 1985), αν και δευτερογενής μεταφορά σπερμάτων, μετά τη διασπορά, μπορεί να γίνει και από διάφορα είδη τρωκτικών και μυρμηγκιών (Lanner 1998, Ordóñez and Retana 2004, Ordóñez 2004).

Στις περισσότερες περιοχές, η διασπορά των σπερμάτων λαμβάνει χώρα την περίοδο Μαρτίου- Απριλίου, ακριβώς πριν την περίοδο της φύτευσης (Skordilis and Thanos 1997, Habrouk et al. 1999, Kerr et al. 2008). Ωστόσο, σύμφωνα με έρευνες από την Ισπανία και τη νότια Βρετανία (Tíscar 2007, Kerr et al. 2008) διασπορά σπερμάτων, ακόμα και σε μικρές ποσότητες, παρατηρείται καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Τα αρτίβλαστα Μαύρης πεύκης φέρουν, κατά μέσο όρο, 7 ή 8 κοτυληδόνες (Panayiotopoulos and Thanos 2002).



Εικόνα 1.3 Αρσενικοί κώνοι (ίουλοι) Μαύρης πεύκης



Εικόνα 1.4 Αρτίβλαστα Μαύρης πεύκης και πεσμένος κώνος

1.2.3 Δάση Μαύρης πεύκης στην Ελλάδα

Με βάση την Flora Hellenica, στην Ελλάδα η *Pinus nigra* σχηματίζει δάση σε ορεινές περιοχές σε μεγάλο τμήμα της ηπειρωτικής ενδοχώρας, και τοπικά στη Θάσο, τη Λέσβο και τη Σάμο. Ο Θάνος (2008) αναφέρει ότι οι πληθυσμοί της είναι σχετικά απομονωμένοι στις ορεινές περιοχές του Ταυγέτου, του Πάρνωνα, της Κυλλήνης, του Μαύρου Όρους (Ευρωστίνης), στην οροσειρά της Πίνδου, στον Όλυμπο και στα υπόλοιπα βουνά της Μακεδονίας και της Θράκης, στη βόρειο Εύβοια, τη Θάσο, τη Λέσβο και τη Σάμο. Σύμφωνα με την Πρώτη Εθνική Απογραφή Δασών (Τσαπρούνης 1992) καλύπτουν γύρω στα 3.000.000 στρ. και είναι από τα σημαντικότερα δάση όσον αφορά στην ετήσια παραγωγή τεχνικής ξυλείας (Απατσίδης 1977).

Η *Pinus nigra* συνήθως απαντάται σε υγρές και μεσαίου υψομέτρου θέσεις (Barbéro et al. 1998). Στην Ελλάδα, δάση Μαύρης πεύκης απαντώνται συνήθως σε ασβεστολιθικά ή σερπεντινικά εδάφη, σε υψόμετρα 400-1.800 m (Christensen 1997), ενώ σε άλλες εργασίες αναφέρεται ότι φτάνουν μέχρι και τα 2.150m (Skordilis and Thanos 1997). Σύμφωνα με τους Ντάφη και συν. (2001) τα δάση Μαύρης πεύκης απαντούν σε υπόστρωμα που στην πλειονότητα των περιπτώσεων είναι υπερβασικό οφιολιθικό, αλλά σε αρκετές περιπτώσεις και σε ασβεστόλιθο, γνεύσιο ή σχιστόλιθο, και σπάνια σε γρανίτη. Το ανάγλυφο σπάνια είναι επίπεδο. Συνήθως απαντά σε πλαγιές με ποικίλες εκθέσεις και κλίσεις.

Η χλωριδική σύνθεση του υπορόφου των δασών Μαύρης πεύκης ποικίλει στις διάφορες περιοχές και εξαρτάται από παράγοντες όπως οι επικρατούσες κλιματικές συνθήκες, η εδαφολογία, η τοπογραφία και η ιστορία της συστάδας (Retana et al. 2012). Σύμφωνα με φυτοκοινωνιολογικές έρευνες που έγιναν για την ένταξη περιοχών στο Δίκτυο Natura 2000, για τέσσερα όρη της Νότιας Ελλάδας, στα δάση Μαύρης πεύκης έχουν καταγραφεί 100 φυτικά είδη, εκ των οποίων 28 αφορούν σε ξυλώδη και 72 σε ποώδη είδη (Kazanis 2010). Από τα ξυλώδη είδη, ιδιαίτερα κοινή σε όλη την Ελλάδα είναι η παρουσία ειδών των γενών *Erica*, *Juniperus*, *Crataegus* και *Quercus* (Ντάφης και συν. 2001, Kazanis et al. 2011, Retana et al. 2012).

Η κατάσταση διατήρησης των δασών Μαύρης πεύκης στην Ελλάδα, σύμφωνα με την 2^η εθνική έκθεση για την εφαρμογή της Οδηγίας 92/43/ΕΟΚ (Χρυσοπολίτου και Χατζηχαλαράμπους 2008), κρίνεται γενικά ως ικανοποιητική. Κυριότεροι παράγοντες υποβάθμισης είναι η κατασκευή δασικών δρόμων και οι πυρκαγιές και, δευτερευόντως, η επιλεκτική υλοτομία δέντρων με συγκεκριμένη λειτουργία και η εντατική βόσκηση από υπερβολικό αριθμό ζώων (Δημόπουλος και συν. 2005). Στις σημαντικές απειλές για το είδος περιλαμβάνονται και οι προσβολές από έντομα, με σημαντικότερη την πιτυοκάμψη (κάμπια των πεύκων) (*Thaumetopoea pityocampa*), η οποία αποτελεί ένα από τα πιο κοινά και καταστροφικά έντομα των πευκοδασών (Antzlis 1986, 1998) και απαντάται σχεδόν παντού, από το επίπεδο της θάλασσας μέχρι τα 1800m.

1.2.4 Πυρκαγιές σε δάση Μαύρης πεύκης

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών όλοι οι τύποι πευκοδασών της Μεσογείου έχουν καεί (Daskalaku and Thanos 1996, Arianoutsou and Ne'eman 2000, Retana et al. 2002). Σύμφωνα με τον Agee (1998) σχεδόν όλα τα είδη του γένους *Pinus* έχουν προσαρμογές απέναντι στη δράση της φωτιάς. Ωστόσο, οι προσαρμογές αυτές διαφέρουν σημαντικά μεταξύ των διαφόρων ειδών του γένους. Σύμφωνα με την ταξινόμηση των Keeley and Zedler (1998) η *Pinus nigra* υπάγεται στην κατηγορία των οικοσυστημάτων που χαρακτηρίζονται από αυξημένη παραγωγή βιομάζας και συχνή παρουσία ερπουσών πυρκαγιών, με πιθανή την κατά τόπους εκδήλωση επικόρουφων πυρκαγιών, οι οποίες τελικά ευνοούν την αραίωση της συστάδας. Τα οικοσυστήματα αυτά απαντώνται σε περιοχές όπου η δράση της φωτιάς είναι απρόβλεπτη (Fyllas et al. 2008).

Τα ενήλικα άτομα *Pinus nigra* διαθέτουν παχύ φλοιό, είναι ψηλά και συνήθως φέρουν λίγα κλαδιά στα χαμηλότερα τμήματα του κορμού, με αποτέλεσμα να επιβιώνουν ύστερα από πυρκαγιές μικρής ή μέτριας έντασης (Tapias et al. 2001, 2004, Pausas et al. 2008). Σύμφωνα με πρόσφατες έρευνες στην Ισπανία, είναι συχνή η ύπαρξη σημαδιών φωτιάς (fire scars) σε ζωντανά άτομα μεγάλης ηλικίας, γεγονός που φανερώνει μια εξελικτική στρατηγική προσαρμογής στη φωτιά και συγκεκριμένα στις έρπουσες πυρκαγιές (Fulé et al. 2008). Ωστόσο, η επιβίωση των ενήλικων ατόμων *P. nigra*, μετά από μία πυρκαγιά, εξαρτάται από το βαθμό καταστροφής της κόμης και το μέγεθος του δένδρου (Ordóñez et al. 2005, Fernandes et al. 2008), με τα μεγαλύτερα δένδρα να έχουν γενικά μεγαλύτερες πιθανότητες επιβίωσης (Ordóñez et al. 2005).

Αντίθετα, σε περιπτώσεις επικόρουφων πυρκαγιών, η μεταπυρική αναγέννηση του είδους είναι σχεδόν μηδενική (Trabaud and Campant 1991, Retana et al. 2002, Ordóñez et al. 2004, Ordóñez 2004, Pausas et al. 2008), καθώς η *Pinus nigra* σε αντίθεση με τα θερμόβια μεσογειακά είδη πεύκων, δεν σχηματίζει βραδύχωρους κώνους και δεν διατηρεί τράπεζα σπερμάτων (Habrouk et al. 1999, Ordóñez et al. 2005). Σε αυτές τις περιπτώσεις, η μεταπυρική ανάκαμψη και επανεποίκιση των καμένων εκτάσεων βασίζεται, σχεδόν αποκλειστικά, στη διασπορά σπερμάτων από τις εναπομείνουσες άκαυτες νησίδες ή συστάδες (Retana et al. 2002, Ordóñez and Retana 2004, Ordóñez et al. 2005, Ordóñez et al. 2006, Arianoutsou et al. 2010). Τα περισσότερα δεδομένα για την αναγέννηση της *P. nigra* προέρχονται από το Δυτικό τμήμα της Μεσογειακής λεκάνης, ενώ σε επίπεδο φυτοκοινότητας τα δεδομένα προέρχονται κυρίως από την Τουρκία (Ocak et al. 2007, Tavşanoğlu 2008) και πιο πρόσφατα από την Ελλάδα και την Ισπανία (Arianoutsou et al. 2010, Kazanis 2010, Kazanis et al. 2011, Retana et al. 2012).

Στην Ελλάδα, η *Pinus nigra* έχει μελετηθεί κυρίως από δασολογική (Απασιδής 1977), γενετική (Τραγουδάρα 2008) και οικοφυσιολογική άποψη (Ντάφης και Παπαγεωργίου 1980, Skordilis and Thanos 1997, Panayiotopoulos and Thanos 2002, Thanos et al. 2010), ενώ τα δάση Μαύρης πεύκης σε σχέση με τη φωτιά, έχουν

αρχίσει να μελετώνται τα τελευταία χρόνια, λόγω των αυξανόμενων περιπτώσεων μεγάλων πυρκαγιών που δέχονται.

1.3 Ερευνητικό αντικείμενο της διατριβής

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μία σημαντική παρέκκλιση όσον αφορά στο καθεστώς της φωτιάς με αξιοσημείωτη αύξηση, τόσο του αριθμού των πυρκαγιών, όσο και των καμένων εκτάσεων (Piñol et al. 1998, Ordóñez et al. 2005, Miller et al. 2012). Επιπλέον, υπάρχει μια γενική ανησυχία όσον αφορά στην αυξανόμενη παρουσία επικόρυφων πυρκαγιών σε δασικά οικοσυστήματα που ιστορικά ήταν συνηθισμένα σε έρπουσες πυρκαγιές (Ordóñez et al. 2005, Fernandes et al. 2008, Keeley 2012, Stephens et al. 2013). Ανάμεσα στα πρόσφατα ευρέως επηρεαζόμενα από μεγάλες πυρκαγιές δασικά οικοσυστήματα περιλαμβάνονται και τα δάση Μαύρης πεύκης. Στην Ισπανία, στη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών έχει επηρεαστεί περισσότερο από το 25% της συνολικής περιοχής εξάπλωσης της *Pinus nigra*, εξαιτίας μεγάλων δασικών πυρκαγιών (Gracia et al. 2002, Espelta et al. 2003). Αντίστοιχα, σε διάφορες περιοχές της Ελλάδας, παρατηρείται μια τάση αύξησης των επικόρυφων, μεγάλης έντασης και έκτασης πυρκαγιών, σε αμιγή και μικτά δάση Μαύρης πεύκης. Μεταξύ των δασικών οικοσυστημάτων που επηρεάστηκαν σε μεγάλο βαθμό από τις πυρκαγιές το καλοκαίρι του 2007, περιλαμβάνονται και τα δάση Μαύρης πεύκης. Σημαντικές εκτάσεις Μαύρης πεύκης κάηκαν στην περιοχή του Ταυγέτου και του Πάρνωνα (Κακούρος και Χρυσοπολίου 2010), ενώ πυρκαγιές εκδηλώθηκαν και σε δάση Μαύρης πεύκης στα Γρεβενά στη Δυτική Μακεδονία και στην Κόνιτσα Ιωαννίνων (Κακούρος και Ντάφης 2009).

Στην Ελλάδα, ανασύσταση της ιστορικής παρουσίας της φωτιάς σε δάση Μαύρης πεύκης έχει γίνει, σε περιορισμένη κλίμακα, στην περιοχή της Βάλια Κάλντα (Touchan et al. 2012), ενώ δράσεις παρακολούθησης των επιπτώσεων μεγάλων επικόρυφων πυρκαγιών, καθώς και δράσεις αποκατάστασης των καμένων εκτάσεων έχουν πραγματοποιηθεί στο όρος Πάρνωνα (Γεωργιάδης και Δημητρέλος 2010, Κακούρος 2010) στο πλαίσιο του Έργου LIFE+ «Αποκατάσταση των δασών *Pinus nigra* στον Πάρνωνα (GR2520006) μέσω μιας δομημένης προσέγγισης», το οποίο υλοποιήθηκε από το Μουσείο Γουλανδρή Φυσικής Ιστορίας/Ελληνικό Κέντρο Βιοτόπων - Υγροτόπων σε συνεργασία με την Περιφέρεια Πελοποννήσου, την Περιφέρεια Ανατολικής Μακεδονίας - Θράκης και τον Φορέα Διαχείρισης Όρους Πάρνωνα και Υγροτόπου Μουστού (<http://www.parnonaslife.gr/>). Για την περιοχή του Ταυγέτου προκαταρκτική διερεύνηση του οικολογικού ρόλου των άκαυτων νησίδων στην αναγέννηση των καμένων δασών Μαύρης πεύκης και στη διατήρηση της βιοποικιλότητας μετά την πυρκαγιά του 2007 έγινε από την Ομάδα Χερσαίας Οικολογίας του Τομέα Οικολογίας-Ταξινομικής του Πανεπιστημίου Αθηνών στο πλαίσιο του προγράμματος του WWF Ελλάς «Το Μέλλον των Δασών» (Αριανούτσου και συν. 2009, 2010α, 2010β), έρευνα που αποτέλεσε πρόδρομη εργασία για την ευρύτερη έρευνα που υλοποιήθηκε στο πλαίσιο του Ευρωπαϊκού Προγράμματος FUME (grant agreement no. 7243888).

Σκοπός της παρούσας διδακτορικής διατριβής είναι η διερεύνηση της ιστορικής παρουσίας της φωτιάς σε δασικά οικοσυστήματα *Pinus nigra* J. F. Arnold στο όρος Ταΰγετος, καθώς και η παρακολούθηση των χωρικών προτύπων μεταπυρικής αναγέννησης του είδους, ύστερα από την μεγάλη σε ένταση και έκταση πυρκαγιά του 2007. Επιμέρους αντικείμενα της διδακτορικής διατριβής είναι:

A. Η διερεύνηση της ιστορικής παρουσίας της φωτιάς στα δασικά οικοσυστήματα Μαύρης πεύκης, με χρήση της μεθόδου της δενδροχρονολόγησης και ειδικότερα μέσω της ανάλυσης των σημαδιών φωτιάς (fire scars). Τα σημάδια της φωτιάς εμφανίζονται στη ζώνη του καμβίου, όταν το ξύλο και τα κύτταρα του καμβίου νεκρώνονται από τις υψηλές θερμοκρασίες που προκαλούνται από τη φωτιά (Brown and Smith 2000). Η τεχνική αυτή είναι ευρέως χρησιμοποιούμενη για τη χρονολόγηση της συχνότητας της φωτιάς (Brown et al. 1999, Brown and Wu 2006, Van Horne and Fulé 2006, Fulé et al. 2008). Μέσω των ατόμων μεγάλης ηλικίας που φέρουν σημάδια φωτιάς, καθώς και των θέσεων εντοπισμού τους, μπορεί να ελεγχθεί η συχνότητα των πυρκαγιών, το χωρικό και το χρονικό τους πρότυπο, καθώς και το σχετικό μέγεθος των καμένων εκτάσεων (Brown et al. 1999). Επιμέρους στόχοι της έρευνας είναι:

- Η ανασύσταση του ιστορικού της φωτιάς στα δάση Μαύρης πεύκης του Ταΰγετου κατά τη διάρκεια των 2 τελευταίων αιώνων
- Ο εντοπισμός πιθανών αλλαγών στο καθεστώς της φωτιάς (εκδήλωση, έκταση, συχνότητα και ένταση)
- Η σύγκριση των χαρακτηριστικών των πρόσφατων μεγαπυρκαγιών (έκταση, εποχικότητα, δριμύτητα) με αυτές των προηγούμενων ετών
- Η εύρεση πιθανής συσχέτισης του κλίματος με την εκδήλωση και την έκταση των πυρκαγιών.

B. Η μελέτη των χωρικών προτύπων φυσικής αναγέννησης της *Pinus nigra* μετά την πιο πρόσφατη μεγάλη σε ένταση και έκταση πυρκαγιά του 2007. Η αναγέννηση του είδους εξαρτάται άμεσα από τη διαθεσιμότητα άκαυτων νησίδων, με ενήλικα αναπαραγωγικά ώριμα άτομα που συνεισφέρουν στον επανεποικισμό των καμένων εκτάσεων μέσω της διασποράς σπερμάτων (Retana et al. 2002, Ordóñez and Retana 2004, Ordóñez et al. 2005, 2006, Arianoutsou et al. 2010, Αριανούτσου και συν. 2009, 2010α, 2010β), ενώ στις τελείως καμένες εκτάσεις που βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση από άκαυτες συστάδες ή νησίδες η αναγέννηση είναι πρακτικά μηδενική (Trabaud and Campant 1991, Retana et al. 2002, Ordóñez et al. 2004, Ordóñez 2004, Pausas et al. 2008). Επιμέρους στόχοι της έρευνας είναι:

- Η διερεύνηση της σημασίας των άκαυτων συστάδων

- Η καταγραφή της μεταπυρικής αναγέννησης σε καμένες εκτάσεις, που βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση από άκαυτες συστάδες και νησίδες
- Ο έλεγχος της επίδρασης των αβιοτικών παραμέτρων και των χαρακτηριστικών του μικροενδιαιτήματος στη μεταπυρική αναγέννηση του είδους.

Τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας αναμένεται να συμβάλλουν στην πρόταση κατάλληλων διαχειριστικών και οικολογικών πρακτικών για την επίτευξη ικανοποιητικής κατάστασης διατήρησης (favourable conservation status) των δασών Μαύρης πεύκης, σε σχέση και με τον παράγοντα φωτιά.

2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Ευρύτερη περιοχή μελέτης αποτελεί το όρος Ταϋγέτος. Η **οροσειρά του Ταϋγέτου** συνδέθηκε, από πολύ νωρίς, με την αρχαία ελληνική μυθολογία και πήρε την ονομασία της από την Ταϋγέτη, μία από τις επτά Ατλαντίδες ή Πλειάδες, κόρες του Άτλαντα και της Πλειόνης. Στα βυζαντινά χρόνια, η οροσειρά αναφέρεται με την ονομασία **Πενταδάκτυλος**, εξ αιτίας των πέντε κορυφών της. Κατά την περίοδο της Φραγκοκρατίας επικράτησε η ονομασία Ζυγός του Μελιγού, από το σλαβικό φύλο των Μελιγγών οι οποίοι, μαζί με τους επίσης σλαβόφωνους Εζερίτες, κατοικούσαν εκεί. Στα χρόνια της Επανάστασης του 1821, η οροσειρά λεγόταν "Αγιολιάς ο μακρυνός", εξαιτίας του μεγάλου της μήκους, μέχρι που τελικά ξαναπήρε το αρχαίο όνομα, Ταϋγέτος (<http://www.mani.org.gr/taigetos/>).

Ενδιαφέρον παρουσιάζει και η ιστορία του Ταϋγέτου, καθώς είναι γνωστός για τις μάχες και τις αντεκδικήσεις μεταξύ των αρχαίων Σπαρτιατών και Μεσσηνίων (Αποστολίδης και συν. 2004), αλλά και για τις δράσεις του ΕΑΜ-ΕΛΑΣ κατά τη διάρκεια της εθνικής αντίστασης (Αντωνακάκης 2006). Από τους αρχαιολογικούς και ιστορικούς χώρους που σώζονται σήμερα ξεχωρίζουν το Μοναστήρι της Δήμιοβας και η αρχαία γέφυρα του Ριντόμου (Αποστολίδης και συν. 2004).

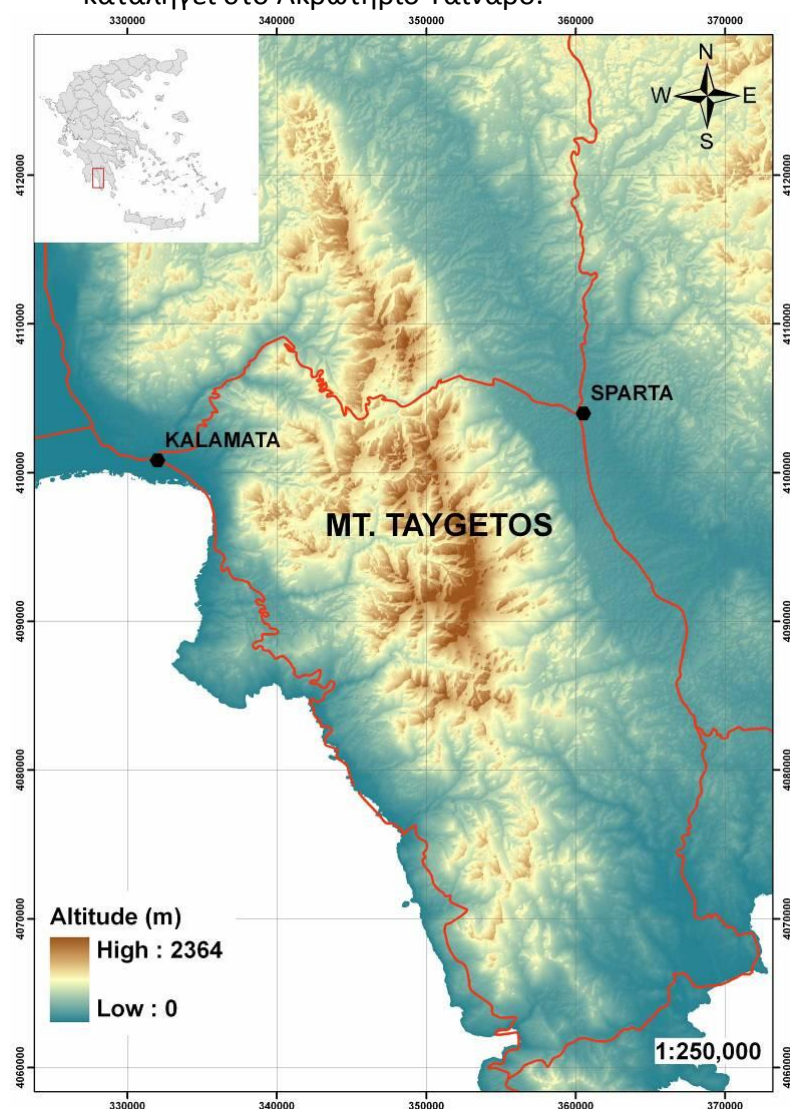


Εικόνα 2.1 Άποψη του όρους Ταϋγέτου

2.1 Γεωγραφική θέση - Μορφολογία

Ο Ταΰγετος αποτελεί τον υψηλότερο (2.407m, Προφήτης Ηλίας), και πλέον εκτεταμένο ορεινό όγκο της Πελοποννήσου, με μήκος 115 km, μέγιστο πλάτος 30 km και έκταση περί τα 2500 km². Η κύρια έκτασή του μοιράζεται διοικητικά μεταξύ των Περιφερειακών Ενοτήτων Μεσσηνίας και Λακωνίας, ενώ οι βόρειες υπώρειες ανήκουν στην Αρκαδία. Συγκροτείται από τέσσερα κύρια τμήματα:

- τον Βόρειο (προς την Μεγαλόπολη),
- τον Μέσο Ανατολικό (προς την Σπάρτη),
- τον Δυτικό και
- το Νότιο Ταΰγετο που σχηματίζει τη χερσόνησο της Μάνης η οποία και καταλήγει στο Ακρωτήριο Ταΐναρο.



Εικόνα 2.2

Τοπογραφικός χάρτης της οροσειράς του Ταΰגעτου. Η χρωματική κλίμακα αποδίδει τα υψόμετρα, όπως αυτά προκύπτουν από το ψηφιακό μοντέλο εδάφους του δορυφόρου ASTER (30m) [1]. Οι συντεταγμένες είναι σε μέτρα στο ΕΓΣΑ87. (Επεξεργασία: Π. Ανδριόπουλος).

1 ASTER GDEM is a product of METI and NASA (<http://www.gdem.aster.ersdac.or.jp/>)

2.2 Γεωλογία

Σύμφωνα με τον Γεωλογικό Χάρτη των Μπορνόβα και Ροντογιάννη-Τσιαμπάου (1983) στον Ταϋγέτο παρατηρούνται πετρώματα της Φυλιτικής- Χαλαζιτικής σειράς, η οποία αναπτύσσεται σε μεγάλη έκταση, είναι έντονα πτυχωμένα και επωθημένα στη σειρά Plattenkalk και υπόκειται τεκτονικά των στρωμάτων Τυρού ή των ανθρακικών πετρωμάτων της ζώνης Τρίπολης. Αποτελείται κυρίως από σχιστόλιθους που εναλλάσσονται με χαλαζίτες, μετακροκαλοπαγή, μεταβασάλτες, μάρμαρα και σε μία θέση παρεμβάλλεται σερπεντινίτης. Τα ανώτερα τμήματα των στρωματογραφικών στηλών είναι αυτά της ενότητας της Τρίπολης (Γάκη-Παπαναστασίου και συν. 1995), όπου και επικρατεί ο ασβεστόλιθος.

Ειδικά όσον αφορά στο Δασικό Σύμπλεγμα του Δημόσιου Δάσους Ανατολικού και Δυτικού Ταϋγέτου τα δύο βασικά πετρώματα είναι οι φυλλίτες, με τη μορφή κυρίως του μαρμαρυγιακού σχιστολίθου και του μαρμαρυγιακού γνεύσιου και οι ασβεστόλιθοι που παρουσιάζονται, είτε ως δολομιτικοί, είτε ως κρυσταλλικοί, είτε ως άλλης μορφής ασβεστόλιθοι (Αποστολίδης και συν. 2004).

Τα ασβεστολιθικά πετρώματα του Ταϋγέτου είναι πορώδη και τα νερά της βροχής και του χιονιού που κάθε χρόνο διαπερνούν τα έγκατα του βουνού, σχηματίζουν πολυάριθμες πηγές. Σημαντικές πηγές είναι: της Αγίας Μαρίνας στην Άρνα, αλλά και οι πηγές «Πενταυλοί», «Μαγγανιάρη», «Άη-Γιάννη» της Τρύπης, «Άη Δημήτρη» του δάσους της Βασιλικής, «Μουζιά» κ.ά. Επιπλέον, στη Μάνη υπάρχουν μεταλλικές πηγές που χρησιμοποιούνται για θεραπευτικούς σκοπούς. Οι πηγές αυτές, ανάλογα με τη σύνθεσή τους, διακρίνονται σε χλωριονατριούχες, σιδηρούχες και αλατούχες ή πικροπηγές.

Αυξημένο επιστημονικό, αλλά και αισθητικό ενδιαφέρον, παρουσιάζουν τα φαράγγια του Ταϋγέτου, εκ των οποίων σημαντικότερα κρίνονται: η Μεγάλη Λαγκάδα, το φαράγγι της «Μπαρδούνιας», το φαράγγι του «Ριντόμου», το φαράγγι του «Βυρού» και το φαράγγι της «Νούπαντης» στη παραλία του Φονέα.

2.3 Κλίμα

Το κλίμα διαφέρει σημαντικά στις επιμέρους κλιματικές ζώνες που απαντώνται στην περιοχή του Ταϋγέτου. Μετεωρολογικά στοιχεία για την περιοχή μπορούν να αντληθούν από τρεις Μετεωρολογικούς Σταθμούς (Μ.Σ):

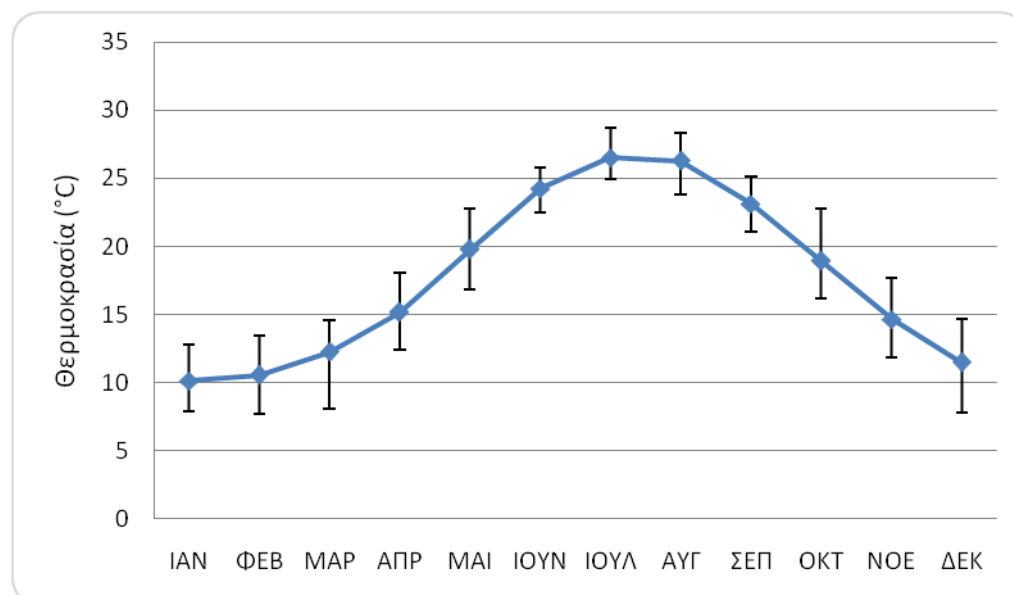
1. **Μετεωρολογικός σταθμός Καλαμάτας**, που ανήκει στην Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (ΕΜΥ) κα έχει όλα τα όργανα και μετρήσεις. Βρίσκεται στο υψόμετρο της θάλασσας, σε Γεωγραφικό πλάτος $37^{\circ} 03' N$ και Γεωγραφικό μήκος $22^{\circ} 00' E$. Τα στοιχεία αυτού του σταθμού, για να χρησιμοποιηθούν για θέσεις επί του όρους, χρειάζονται τις αντίστοιχες προσαρμογές, αφού ο σταθμός βρίσκεται στο επίπεδο της θάλασσας και σε πεδιάδα.

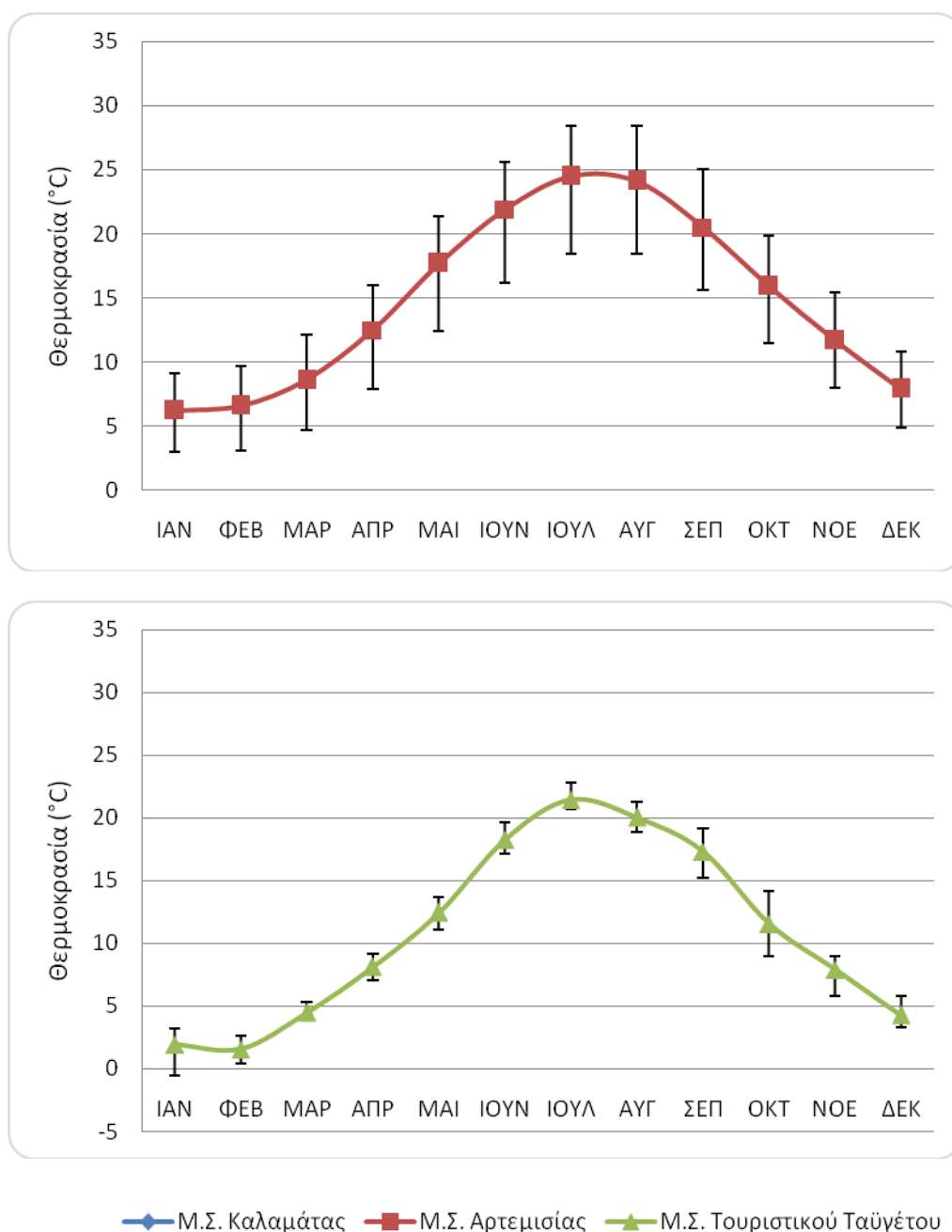
2. **Μετεωρολογικός σταθμός Αρτεμισίας**, που ανήκει στο Εθνικό Ίδρυμα Αγροτικής Έρευνας (ΕΘΙΑΓΕ) και παλαιότερα στο Ινστιτούτο Δασικών Ερευνών Αθηνών (ΙΔΕΑ). Ο σταθμός αυτός βρίσκεται σε υψόμετρο 760m σε επαφή με το δάσος, σε Γεωγραφικό πλάτος $37^{\circ} 06' N$ και Γεωγραφικό μήκος $22^{\circ} 13' E$. Τα στοιχεία του για ορισμένα δεδομένα όπως η μέση θερμοκρασία αέρα, η υγρασία και η βροχόπτωση μπορούν να χαρακτηρισθούν ως αντιπροσωπευτικά και πλήρη. Όμως, επειδή δεν υπάρχουν όλα τα όργανα, τα υπόλοιπα στοιχεία του κλίματος χρειάζονται συμπλήρωση από άλλο σταθμό.
3. **Μετεωρολογικός Σταθμός Τουριστικού Ταυγέτου**. Βρίσκεται σε υψόμετρο 1.310 m, σε Γεωγραφικό πλάτος $37^{\circ} 03' 59'' N$ και μήκος $22^{\circ} 15' 57'' E$. Η λειτουργία του άρχισε από τον Ιανουάριο του 2006 και τα δεδομένα του σταθμού δημοσιεύονται απευθείας στο διαδίκτυο (<http://www.weather-messinia.gr/taygetos/>).

2.3.1 Μετεωρολογικά στοιχεία

Θερμοκρασία

Στα ακόλουθα διαγράμματα παρουσιάζονται οι μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες και τα αντίστοιχα εύρη τιμών για τους τρεις Μ.Σ. της ευρύτερης περιοχής μελέτης. Τα δεδομένα για τον Μ.Σ. Καλαμάτας αφορούν στην περίοδο 1959-2004, για τον Μ.Σ. Αρτεμισίας στην περίοδο 1960-2003 και για τον Μ.Σ. Τουριστικού Ταυγέτου στα έτη 2009-2012.





Διάγραμμα 2.1-2.3 Μέση μηνιαία θερμοκρασία και εύρος τιμών στους 3 Μ.Σ. της ευρύτερης περιοχής μελέτης.

Μέση ετήσια θερμοκρασία

Η μέση ετήσια θερμοκρασία για τον Μ.Σ. Καλαμάτας ανέρχεται στους 17,8°C. Σημαντικά μικρότερη είναι η μέση ετησία θερμοκρασία στους 2 Μ.Σ. μεγαλύτερου υψομέτρου. Ειδικότερα, για το Μ.Σ. Αρτεμισίας η μέση ετήσια θερμοκρασία είναι 14,8°C, ενώ για τον Μ.Σ. στο Τουριστικό είναι 10,8°C.

Η μέγιστη τιμή της μέσης θερμοκρασίας παρατηρείται και στους τρεις σταθμούς τον Ιούλιο ($26,5^{\circ}\text{C}$ για τον Μ.Σ. Καλαμάτας, $24,5^{\circ}\text{C}$ στην Αρτεμισία και $21,4^{\circ}\text{C}$ στο Τουριστικό), ενώ υψηλή τιμή έχει και τον Αύγουστο ($26,3^{\circ}\text{C}$, $24,1^{\circ}\text{C}$ και $20,0^{\circ}\text{C}$ αντιστοίχως).

Η ελάχιστη τιμή της μέσης θερμοκρασίας παρουσιάζεται και στους τρεις Μ.Σ. τον μήνα Ιανουάριο ($10,1^{\circ}\text{C}$, $6,2^{\circ}\text{C}$ και $1,9^{\circ}\text{C}$ αντιστοίχως). Χαμηλές τιμές παρατηρούνται επίσης το Φεβρουάριο ($10,5^{\circ}\text{C}$, $6,6^{\circ}\text{C}$ και $1,6^{\circ}\text{C}$ αντιστοίχως) και το Δεκέμβριο ($11,5^{\circ}\text{C}$, $7,9^{\circ}\text{C}$ και $4,3^{\circ}\text{C}$ αντιστοίχως).

Μέγιστη θερμοκρασία

Η ετήσια μέση μέγιστη θερμοκρασία στο Μ.Σ. Καλαμάτας ανέρχεται σε $27,8^{\circ}\text{C}$, ενώ στον Μ.Σ. Αρτεμισίας είναι $18,5^{\circ}\text{C}$ και στο Τουριστικό $15,5^{\circ}\text{C}$. Οι μεγαλύτερες τιμές μέσης μέγιστης θερμοκρασίας παρατηρούνται τους μήνες Ιούλιο ($37,4^{\circ}\text{C}$, $28,5^{\circ}\text{C}$ και $27,9^{\circ}\text{C}$ αντιστοίχως) και Αύγουστο ($36,5^{\circ}\text{C}$, $28,4^{\circ}\text{C}$ και $26,4^{\circ}\text{C}$ αντιστοίχως), όποτε και σημειώνονται και οι απολύτως μέγιστες θερμοκρασίες.

Ελάχιστη θερμοκρασία

Η ετήσια μέση ελάχιστη θερμοκρασία στο Μ.Σ. Καλαμάτας είναι $11,5^{\circ}\text{C}$, ενώ στον Μ.Σ. Αρτεμισίας $10,3^{\circ}\text{C}$ και στο Τουριστικό $7,4^{\circ}\text{C}$. Οι ελάχιστες τιμές μέσης ελάχιστης θερμοκρασίας παρατηρούνται τους μήνες Ιανουάριο ($5,6^{\circ}\text{C}$, $3,0^{\circ}\text{C}$ και $1,3^{\circ}\text{C}$ αντιστοίχως) και Φεβρουάριο ($5,6^{\circ}\text{C}$, $3,1^{\circ}\text{C}$ και $-1,0^{\circ}\text{C}$ αντιστοίχως), όποτε και σημειώνονται και οι απολύτως ελάχιστες θερμοκρασίες.

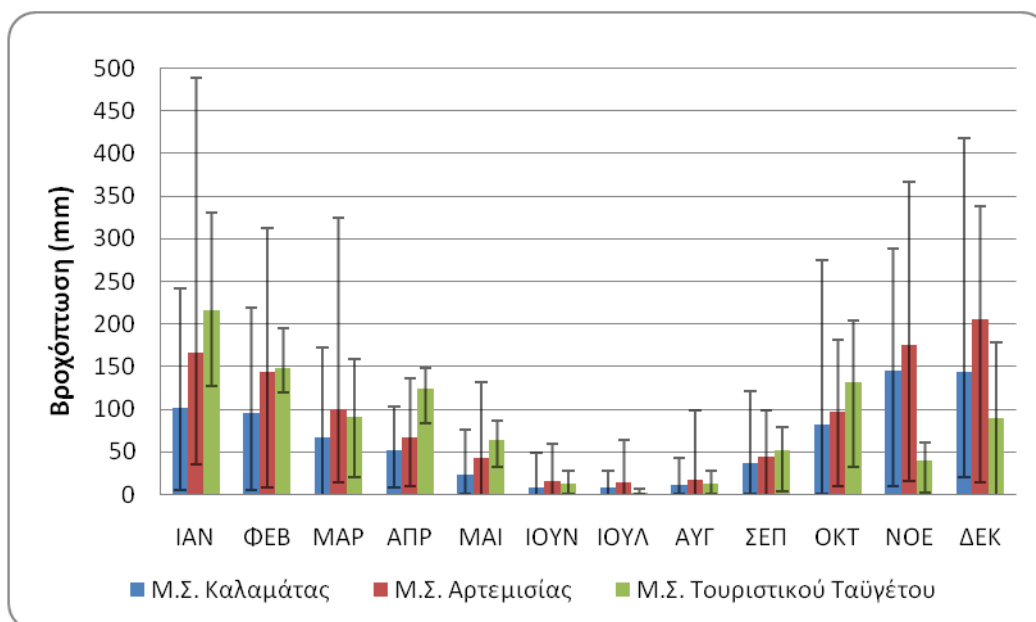
Βροχοπτώσεις

Στο ακόλουθο διάγραμμα παρουσιάζεται το μηνιαίο μέσο ύψος υετού σε mm για τους τρεις Μ.Σ. της ευρύτερης περιοχής μελέτης. Τα δεδομένα για τον Μ.Σ. Καλαμάτας αφορούν στην περίοδο 1956-2008. Σημειώνεται ωστόσο ότι για τα έτη 1960-1970 δεν υπάρχουν δεδομένα. Για τον Μ.Σ. Αρτεμισίας τα δεδομένα αφορούν στην περίοδο 1960-2003, και για τον Μ.Σ. Τουριστικού Ταυγέτου στα έτη 2009-2012.

Το ετήσιο ύψος βροχόπτωσης διαφέρει σημαντικά στους τρεις Μ.Σ. και αυξάνεται αυξανόμενου του υψομέτρου. Στο Μ.Σ. Καλαμάτας το ετήσιο ύψος βροχόπτωσης είναι $776,8\text{ mm}$, με πιο βροχερούς μήνες το Νοέμβριο ($144,7\text{ mm}$) και το Δεκέμβριο ($144,0\text{ mm}$). Το μικρότερο ύψος βροχόπτωσης σημειώνεται τον Ιούλιο ($8,9\text{ mm}$) και τον Ιούνιο ($9,0\text{ mm}$).

Στην Αρτεμισία, το ετήσιο ύψος βροχόπτωσης ανέρχεται σε $1098,0\text{ mm}$, με πιο βροχερούς μήνες τον Δεκέμβριο ($205,3\text{ mm}$) και το Νοέμβριο ($176,0\text{ mm}$). Το μικρότερο ύψος βροχόπτωσης σημειώνεται και σε αυτό το σταθμό τον Ιούλιο ($14,5\text{ mm}$) και τον Ιούνιο ($16,4\text{ mm}$).

Με βάση το Μ.Σ. στο Τουριστικό Ταΰγέτου, το ετήσιο ύψος βροχόπτωσης ανέρχεται σε 983,4 mm, με πιο βροχερούς μήνες τον Ιανουάριο (216,1 mm) και το Φεβρουάριο (147,6 mm). Το μικρότερο ύψος βροχόπτωσης σημειώνεται τον Ιούλιο (2,5 mm).



Διάγραμμα 2.4 Μέσο μηνιαίο ύψος βροχόπτωσης σε mm και εύρος τιμών στους 3 Μ.Σ. της ευρύτερης περιοχής μελέτης.

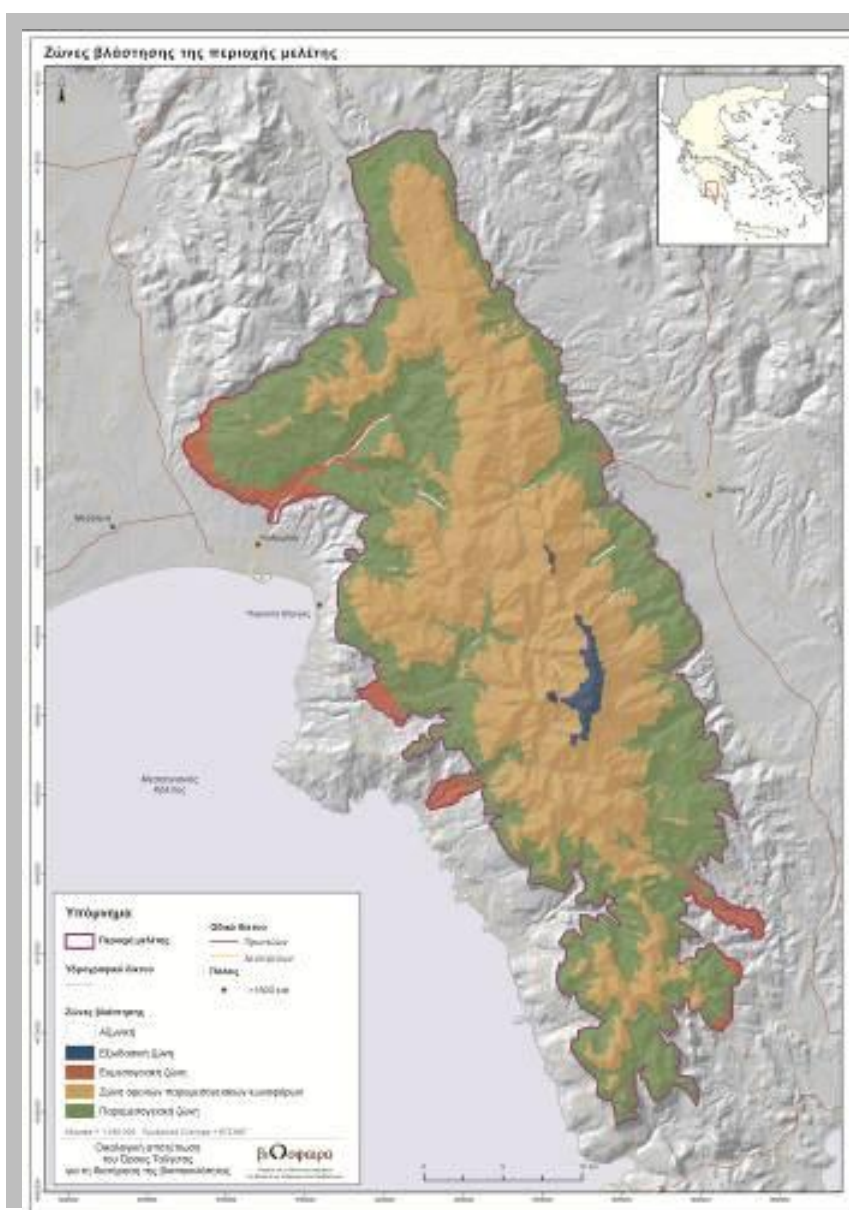
Άνεμοι

Στην Καλαμάτα, οι άνεμοι που επικρατούν έχουν κατά κανόνα Βόρεια διεύθυνση και οι ισχυρότεροι άνεμοι σημειώνονται τους μήνες Ιανουάριο και Φεβρουάριο.

Με βάση τα στοιχεία από το Μ.Σ. Τουριστικού Ταΰγέτου ισχυροί άνεμοι σημειώνονται καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, με τον ισχυρότερο να καταγράφεται τον Απρίλιο του 2011 (7,8 Beaufort). Οι άνεμοι που επικρατούν είναι οι Α-ΒΑ, ΒΑ, Α, Ν, με μεγαλύτερη συχνότητα ανέμων την Ανατολική- Βορειοανατολική κατεύθυνση.

2.3.2 Υψομετρικές ζώνες βλάστησης

Στον Ταΰγετο διακρίνονται οι τέσσερις βασικές υψομετρικές ζώνες βλάστησης των ορέων της ηπειρωτικής Ελλάδας: α) η ζώνη των Μεσογειακών θαμνώνων (< 700-800 m), β) η ζώνη των ορεινών κωνοφόρων (έως 1700 m), γ) η υποαλπική ζώνη (έως 2000 m), και δ) η αλπική ζώνη (> 2000 m) (Αριανούτσου και συν. 2010β). Ωστόσο, σύμφωνα με τον Ιατρού (1986) δεν υπάρχουν επαρκή στοιχεία που να υποστηρίξουν την ύπαρξη αλπικής ζώνης ή εξωζωνικής βλάστησης στην Πελοπόννησο. Στη **ζώνη των ορεινών κωνοφόρων** αναπτύσσονται αμιγή και μικτά δάση *Pinus nigra* J. F. Arnold (Μαύρης πεύκης) και *Abies cephalonica* Loudon (Κεφαλληνιακής ελάτης).

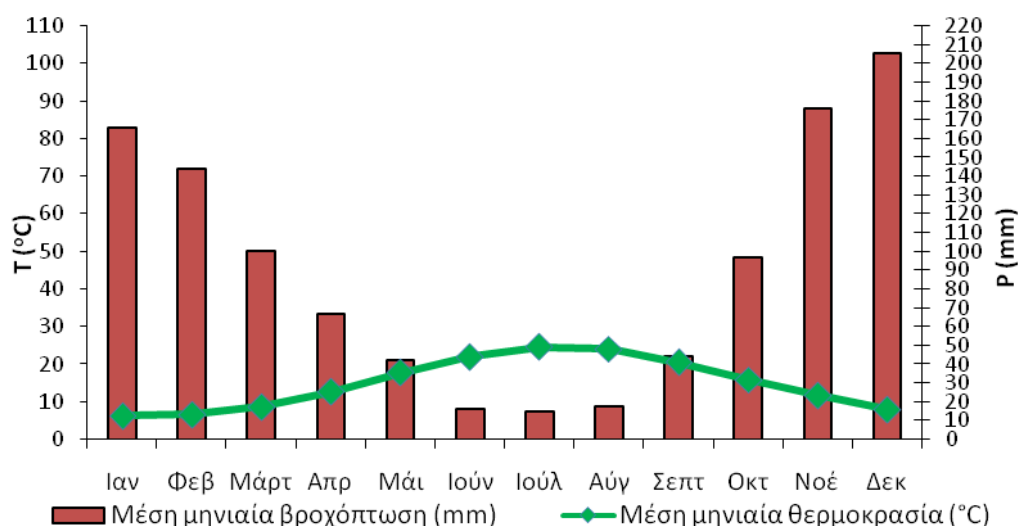


Εικόνα 2.3 Ζώνες βλάστησης στην ευρύτερη περιοχή του όρους Ταΰγету. Με κίτρινο σημειώνεται η ζώνη των ορεινών κωνοφόρων (Βιόσφαιρα 2011).

Για την περιγραφή των κλιματικών συνθηκών και του βιοκλίματος, στη ζώνη των ορεινών κωνοφόρων, θεωρείται ασφαλέστερη η χρήση μετεωρολογικών στοιχείων από τους δύο Μ.Σ. μεγαλύτερου υψομέτρου: Μ.Σ. Αρτεμισίας και Τουριστικού Ταυγέτου. Ειδικότερα, κλιματικά δεδομένα μπορούν να εξαχθούν με μεγαλύτερη ασφάλεια από το σταθμό της Αρτεμισίας, για τον οποίο και υπάρχουν μετεωρολογικά στοιχεία για μεγαλύτερη σειρά ετών.

2.3.3 Βιοκλιματικά στοιχεία

Για την κατασκευή του ομβροθερμικού διαγράμματος (Bagnouls and Gaussen 1953) στην περιοχή του Ταυγέτου και ειδικότερα στη ζώνη των ορεινών κωνοφόρων χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα από το Μ.Σ. Αρτεμισίας, που βρίσκεται σε μεγαλύτερο υψόμετρο και διαθέτει στοιχεία για περισσότερα από 30 έτη (περίοδος 1960-2003).



Διάγραμμα 2.5 Ομβροθερμικό διάγραμμα Μ.Σ. Αρτεμισίας για την περίοδο 1960-2003.

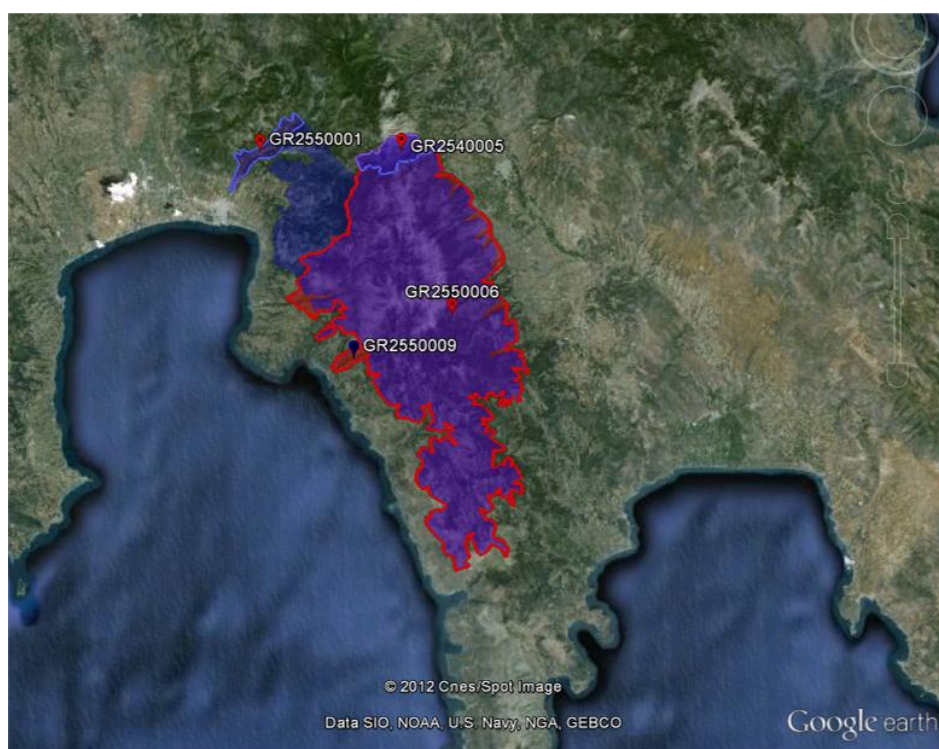
Με βάση το παραπάνω ομβροθερμικό διάγραμμα παρατηρούμε ότι η ξηροθερμική περίοδος διαρκεί πέντε μήνες και αντιστοιχεί στο διάστημα Μαΐου- Σεπτεμβρίου, όπου και σημειώνονται οι υψηλότερες θερμοκρασίες και τα χαμηλότερα επίπεδα βροχόπτωσης.

2.4 Οικολογική σημασία του όρους Ταϋγέτου

Εξαιρετικά σημαντική είναι η αξία του Ταϋγέτου όσον αφορά στα είδη **χλωρίδας** και ειδικότερα στα ενδημικά (Tan and Iatrou 2001). Αποτελεί το σημαντικότερο κέντρο ενδημισμού της Πελοποννήσου (Ιατρού 1986), αλλά και την περιοχή με το μεγαλύτερο αριθμό ενδημικών φυτικών taxa εντός του Δικτύου Natura 2000 για την Ελλάδα (Papastergiadou 1998). Για την περιοχή του Ταϋγέτου, ο ακριβής αριθμός των ενδημικών και τοπικών ενδημικών φυτικών taxa ποικίλει στις διάφορες εργασίες (Iatrou 1992, Dafis et al. 1996). Με βάση την αξιολόγηση της υφιστάμενης βιβλιογραφίας, στην ευρύτερη περιοχή του Ταϋγέτου απαντούν τουλάχιστον 851 φυτικά taxa (Βιόσφαιρα 2011), εκ των οποίων 47 κρίνονται ως ιδιαίτερα σημαντικά είτε γιατί χαρακτηρίζονται ως απειλούμενα σύμφωνα με τους Εθνικούς Κόκκινους Καταλόγους Χλωρίδας (Φοίτος και συν. (εκδ.) 2009, Phitos et al. (eds) 1995), είτε γιατί αποτελούν στενότοπα ενδημικά του Ταϋγέτου.

Ιδιαίτερα σημαντική είναι η αξία της περιοχής και όσον αφορά στα **είδη πανίδας**. Σύμφωνα με τα Τυποποιημένα Δελτία Δεδομένων (ΤΔΔ) του Δικτύου Natura 2000 στην ευρύτερη περιοχή του Ταϋγέτου απαντάται σημαντικός αριθμός ειδών θηλαστικών, ερπετών, αμφιβίων και ασπόνδυλων που περιλαμβάνονται στο Παράρτημα II της Οδηγίας 92/43/ΕΟΚ (5 είδη ερπετών, 2 είδη θηλαστικών και 2 είδη ασπόνδυλων). Πρόκειται για είδη κοινοτικού ενδιαφέροντος, των οποίων η διατήρηση επιβάλλει τον καθορισμό ειδικών ζωνών διατήρησης. Επιπλέον, 15 είδη ερπετών, 6 είδη θηλαστικών, 6 είδη αμφιβίων και 1 ασπόνδυλο περιλαμβάνονται στο Πεδίο «Άλλα σημαντικά είδη» των ΤΔΔ. Αυξημένο ενδιαφέρον παρουσιάζει και η **Ορνιθοπανίδα** του Ταϋγέτου, γεγονός που διαφαίνεται από το ότι συμπεριλαμβάνεται στις Σημαντικές Περιοχές για τα Πουλιά της Ελλάδας (IBA), με ονομασία «Όρος Ταϋγετος» και κωδικό GR120. Σύμφωνα με παλαιότερες αναφορές στην περιοχή αναπαράγονται απειλούμενα είδη όπως: ο Σφηκιάρης (*Pernis ptilorhynchus*), ο Φιδαετός (*Circaetus gallicus*) και ο Χρυσαιτός (*Aquila chrysaetos*) (ΕΟΕ 1994).

Η οικολογική σημασία της οροσειράς του Ταϋγέτου διαφαίνεται από την ένταξη τριών περιοχών της στο Δίκτυο Natura 2000 ως Ειδικών Ζωνών Διατήρησης (ΕΖΔ-SAC) (GR2550006 «Όρος Ταϋγετος», GR2540005 «Λαγκάδα Τρύπης» και GR2550001 «Φαράγγι Νέδωνα»), ενώ μεγάλο τμήμα της έχει επίσης ενταχθεί στο Δίκτυο Natura 2000 ως Ζώνη Ειδικής Προστασίας (ΖΕΠ-SPA) (GR2550009 «Όρος Ταϋγετος – Λαγκάδα Τρύπης»). Είδη χαρακτηρισμού της ΖΕΠ GR2550009 είναι το Κιρκινέζι (*Falco naumanni*), ο Σπιζαετός (*Hieraetus fasciatus*) και η Κοκκινοκαλιακούδα (*Pyrrhocorax pyrrhocorax*). Και τα τρία είδη χαρακτηρίζονται ως απειλούμενα σε εθνικό επίπεδο, σύμφωνα με το Κόκκινο Βιβλίο Απειλούμενων Ζώων της Ελλάδας (Λεγάκης και Μαργακού 2009). Ειδικότερα, η Κοκκινοκαλιακούδα χαρακτηρίζεται ως Κινδυνεύον (EN), ενώ το Κιρκινέζι και ο Σπιζαετός χαρακτηρίζονται ως Τρωτά (VU).



Εικόνα 2.4 Περιοχές του Δικτύου Natura 2000 στην οροσειρά του Ταυγέτου. Τα όρια των ΕΖΔ (με μπλε) και της ΖΕΠ (με κόκκινο) προέρχονται από τη βάση δεδομένων του Natura 2000 (<http://natura2000.eea.europa.eu/>) και παρουσιάζονται σε υπόβαθρο του προγράμματος Google Earth.

Πολλές φορές, έχει εκφραστεί η ανάγκη να τεθεί η περιοχή υπό ενεργό καθεστώς προστασίας και διαχείρισης και να χαρακτηριστεί ως προστατευόμενη, ενώ απαραίτητη κρίνεται και η έμπρακτη προστασία και φύλαξή της μέσω των αρμόδιων Φορέων και Υπηρεσιών.

2.5 Δασικές πυρκαγιές στην περιοχή του Ταυγέτου

Οι πυρκαγιές που σημειώθηκαν το καλοκαίρι του 2007 θεωρούνται από τις σοβαρότερες των τελευταίων ετών όχι μόνον για την Ελλάδα, αλλά και σε Ευρωπαϊκό επίπεδο (Joint Research Centre, 2007). Η Πελοπόννησος αποτελεί την περιοχή που επηρεάστηκε σε μεγαλύτερο βαθμό, με τη συνολική καμένη έκταση να ανέρχεται σε 189.952 ha, εκ των οποίων 117.188 ha αφορούσαν σε δάση και δασικές εκτάσεις (Koutsias et al. 2012).

Η πυρκαγιά που έκαψε μεγάλο μέρος του Ταυγέτου ξεκίνησε στις 23 Αυγούστου. Η φωτιά εκδηλώθηκε τις απογευματινές ώρες στην περιοχή ανατολικά της Αρτεμισίας και γρήγορα κατευθύνθηκε προς τις κατασκηνώσεις της Αγίας Μαρίνας. Στη συνέχεια, πέρασε τη δύσβατη περιοχή και κατευθύνθηκε προς τους οικισμούς Λαδά και Καρβέλι, οι οποίοι και εκκενώθηκαν. Την επόμενη μέρα, έφτασε στο Ελαιοχώρι, μόλις λίγα χιλιόμετρα από την Καλαμάτα. Από την άλλη μεριά, το μέτωπο της φωτιάς κατευθύνθηκε προς το χωριό Πηγές, ενώ στις 25 Αυγούστου η φωτιά έφτασε και στην Αλαγονία (Ρηγοπούλου 2010).



Εικόνα 2.5 Πυρκαγιές στην Πελοπόννησο -Αύγουστος 2007 (Πηγή: NASA).

Στην περιοχή του Ταυγέτου έχουν εκδηλωθεί στο παρελθόν πολλές πυρκαγιές, με σημαντικότερη σε έκταση αυτή του έτους 1998, όποτε και είχαν καεί 28.370

στρέμματα (στρ.) (Ρηγοπούλου 2010). Η πυρκαγιά του 2007 είχε πολύ μεγάλη έκταση και επηρέασε πολλούς διαφορετικούς τύπους οικοσυστημάτων. Στην καμένη περιοχή περιλαμβάνονταν εκτάσεις ελατοδάσους και δάσους Μαύρης πεύκης, καθώς και εκτάσεις που είχαν καεί ξανά το καλοκαίρι του έτους 1998. Σύμφωνα με τις αρχικές εκτιμήσεις του Δασαρχείου Καλαμάτας η συνολική καμένη έκταση στον Ταΰγετο ανερχόταν σε 11.300 ha, εκ των οποίων τα 4.500 ha αντιστοιχούσαν σε δάση Μαύρης πεύκης και Κεφαλληνιακής ελάτης και τα 3.800 ha σε αραιότερες δασικές εκτάσεις. Το Ελληνικό Ταμείο για τη Διατήρηση της Φύσης (WWF Ελλάς 2007) αναφέρει ότι κάηκαν 8.654 ha της προστατευόμενης περιοχής «Όρος Ταΰγετος» (GR2550006) του Δικτύου Natura 2000 (16,3% της συνολικής της έκτασης). Εκτός από τη φυσική βλάβηση, η πυρκαγιά του 2007 επηρέασε και σημαντικό τμήμα αγροτικών και καλλιεργούμενων εκτάσεων. Σε 20.000 στρ. υπολογίζονται οι καμένες εκτάσεις με ελαιώνες, καστανιές, κερασιές, αμπέλια κλπ. Στο κτηνοτροφικό κεφάλαιο σημειώθηκαν μικρές μόνο απώλειες. Όσον αφορά στις κατοικίες και στα κτίρια δημόσιων υπηρεσιών, σύμφωνα με την καταγραφή από τους αρμόδιους φορείς του Νομού Μεσσηνίας, καταστράφηκαν μερικώς ή ολοσχερώς οι κατασκηνώσεις Ταΰγету, το κτίριο και οι υποδομές του Δασαρχείου στον Ταΰγετο, το Ξυλοπριστήριο της Αρτεμισίας, το δασονομείο Αλαγονίας, μικρός αριθμός κατοικιών, ναοί και ξωκλήσια (Ρηγοπούλου 2010).

Μετά την πυρκαγιά η καμένη έκταση κηρύχθηκε αναδασωτέα, ενώ λήφθηκαν τα απαραίτητα μέτρα για την αντιμετώπιση των επιπτώσεών της. Μεταξύ άλλων έγινε απαγόρευση της βόσκησης και άσκησης της θήρας, κατασκευή αντιδιαβρωτικών έργων για την προστασία του εδάφους, εκπόνηση μελέτης αναδάσωσης, συλλογή σπερμάτων για τη χρήση τους σε σπορές κ.ά. (Κατσιπόδας 2010). Οι αναδασώσεις έλαβαν χώρα κυρίως σε τμήματα της περιοχής που είχαν επηρεαστεί και από την πυρκαγιά του 1998.



Εικόνα 2.6 Αναδάσωση στην περιοχή του Ταΰγету, Ιούνιος 2013.

3. ΑΝΑΣΥΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΙΣΤΟΡΙΚΟΥ ΤΗΣ ΦΩΤΙΑΣ

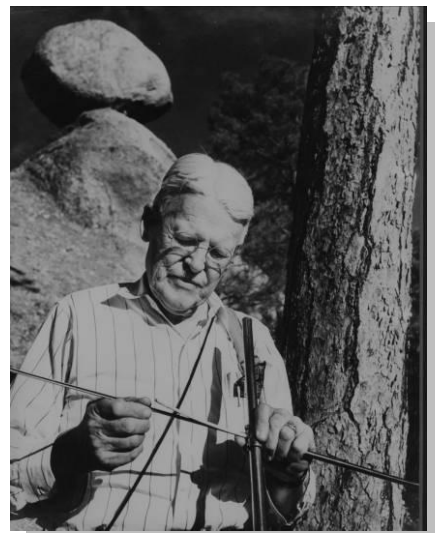
3.1 Εισαγωγή

3.1.1 Η μέθοδος της δενδροχρονολόγησης

Η ανασύσταση του ιστορικού της φωτιάς βασίζεται στη μέθοδο της δενδροχρονολόγησης. Η **δενδροχρονολόγηση (Dendrochronology)** αποτελεί τη βασική μέθοδο της επιστήμης της Δενδροχρονολογίας που μελετά τη χρονολόγηση του ξύλου (ετήσιων δακτυλίων) και μέσω αυτής τη χρονολόγηση και μελέτη γεγονότων του παρελθόντος (Fritts 1976, Cook and Kairiukstis 1990). «Πατέρας» της σύγχρονης δενδροχρονολόγησης θεωρείται ο Andrew E. Douglass, ο οποίος ξεκίνησε τις έρευνές του το 1901, μελετώντας άτομα του είδους *Pinus ponderosa* στο Flagstaff της Αριζόνα. Το 1904 εισήγαγε τη χρήση της διασταυρούμενης χρονολόγησης (crossdating) για το συγχρονισμό των δεδομένων από τους ετήσιους δακτυλίους (Cook and Kairiukstis 1990).



Εικόνα 3.1 Βασική αρχή της δενδροχρονολόγησης: διασταυρούμενη χρονολόγηση δειγμάτων διαφορετικής ηλικίας.



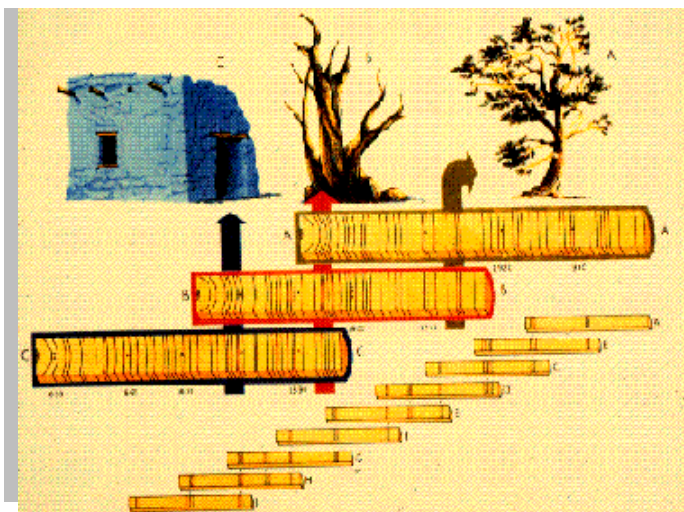
Εικόνα 3.2 Andrew E. Douglass (1867-1962), «πατέρας» της σύγχρονης δενδροχρονολόγησης.

Η δενδροχρονολόγηση αποτελεί μία ταχέως αναπτυσσόμενη μέθοδο, με εφαρμογές σε διάφορες επιστημονικούς τομείς. Σημαντικότερος κλάδος της Δενδροχρονολογίας είναι η **Δενδροοικολογία (Dendroecology)** που αφορά στη μελέτη της σχέσης μεταξύ του προτύπου των ετήσιων δακτυλίων και των διαφόρων οικολογικών παραγόντων που επηρεάζουν το πρότυπο αυτό (Schweingruber 1996). Ευρεία χρήση έχει η δενδροχρονολόγηση και στη **Δενδροκλιματολογία (Dendroclimatology)**, μέσω της οποίας μελετώνται προβλήματα κλιματικής φύσης ενώ ερευνάται και η σχέση μεταξύ των ετήσιων δακτυλίων των δέντρων και των κλιματικών συνθηκών. Μεταξύ άλλων, με τη μέθοδο της δενδροχρονολόγησης μπορεί να γίνει ανασύσταση των κλιματικών συνθηκών του παρελθόντος, σε περίπτωση απουσίας μετεωρολογικών δεδομένων που να πηγαίνουν πολύ πίσω

στο χρόνο (Briffa et al. 1992, Cook et al. 1995, Schweingruber 1996, Touchan et al. 1999, Jones et al. 2009).

Η δενδροχρονολόγηση χρησιμοποιείται επίσης στην Αρχαιολογία (Δενδροαρχαιολογία - Dendroarcheology), όπου είναι εφικτή η χρονολόγηση, με την ανάλυση προτύπων ετήσιων δακτυλίων, ενός ξύλου από αρχαίο κτίσμα ή κάποιου είδους αρχαίου ευρήματος. Με αυτόν τον τρόπο, μπορεί να υπολογιστεί με ακρίβεια ημερολογιακού έτους η κατασκευή του εν λόγω κτίσματος ή ευρήματος. Άλλοι επιστημονικοί τομείς όπου εφαρμόζεται η δενδροχρονολόγηση είναι: η μελέτη της γεωμορφολογίας (δενδρογεωμορφολογία), της τεκτονικής (δενδροτεκτονική), των παγετώνων (dendroglaciology), των μελετών σε χιόνι (dendroniveology) κ.ά. (Schweingruber 1996).

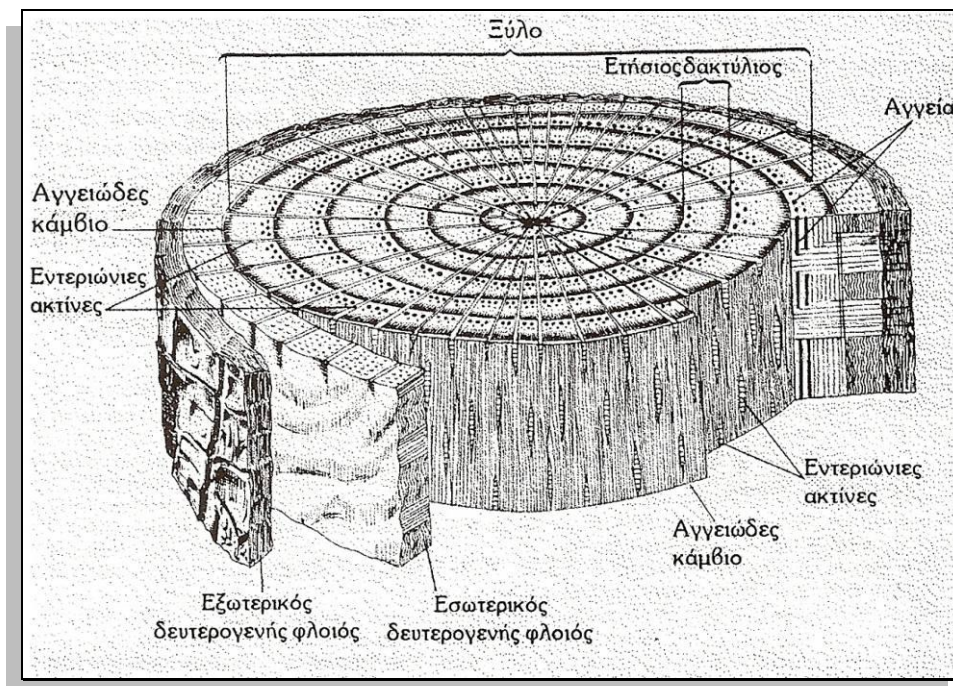
Υπάρχουν πολλές δενδροχρονολογικές τεχνικές, οι οποίες παρέχουν οικολογικές και κλιματολογικές πληροφορίες. Ανάλογα με τον σκοπό της έρευνας επιλέγεται η κατάλληλη τεχνική. Οι ευρύτερα χρησιμοποιούμενες είναι: (α) η μελέτη της ετήσιας αύξησης των δένδρων με διάγραμμα καταγραφής με ακραίων τιμών (skeleton plot), (β) η μέτρηση του πλάτους αυξητικών δακτυλίων (ring width), (γ) η μέτρηση πυκνότητας του ξύλου με ακτίνες Χ (X-ray densitometry) και (δ) η ανάλυση με σταθερά ισότοπα (stable isotopes). Επιπλέον, άλλες τεχνικές περιλαμβάνουν την ανάλυση εικόνας (image analysis), την καταγραφή αντανάκλασης και απορρόφησης φωτός (light reflection and absorption) και την μαγνητική τομογραφία (NMR-tomography) (Eddy 1992). Στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης, με τον όρο δενδροχρονολόγηση αναφέρεται η επιστημονική μέθοδος χρονολόγησης της ηλικίας ενός δένδρου, μέσω της ανάλυσης του προτύπου των **αυξητικών δακτυλίων (growth rings) ή δακτυλίων του δένδρου (tree rings)** (Schweingruber 1996). Μία από τις βασικές αρχές της δενδροχρονολόγησης, που βοηθάει τους επιστήμονες να «πάνε πίσω στο χρόνο» (βλ. **Εικόνα 3.3**) είναι και η τεχνική της **διασταυρούμενης χρονολόγησης (crossdating)**, μέσω της οποίας συγκρίνονται οι χρονοσειρές διαφόρων δένδρων, προκειμένου να βρεθεί ένα κοινό πρότυπο όσον αφορά στο πλάτος των δακτυλίων (Yamaguchi 1991).



Εικόνα 3.3 Σχηματική απεικόνιση εφαρμογής της διασταυρούμενης χρονολόγησης (crossdating) (Grissino-Mayer H.D.-The Ultimate Tree-Ring Web Pages: <http://web.utk.edu/~grissino/>)

Αυξητικοί δακτύλιοι

Ο **αυξητικός δακτύλιος** (growth ring) είναι το τμήμα του δευτερογενούς ξυλώματος που παράγεται σε μία βλαστητική περίοδο στα ξυλώδη φυτά και σχηματίζεται επειδή το αγγειώδες κάμβιο έχει περιοδική δραστηριότητα (βλ. **Εικόνα 3.4**). Στα φυτά των εύκρατων περιοχών, το κάμβιο δραστηριοποιείται την άνοιξη που η θερμοκρασία και η υγρασία είναι ευνοϊκές, παραμένει ενεργό μέχρι το φθινόπωρο και εισέρχεται σε λήθαργο το χειμώνα, όταν οι περιβαλλοντικές συνθήκες είναι μη ευνοϊκές (Γαλάτης και συν. 1998)



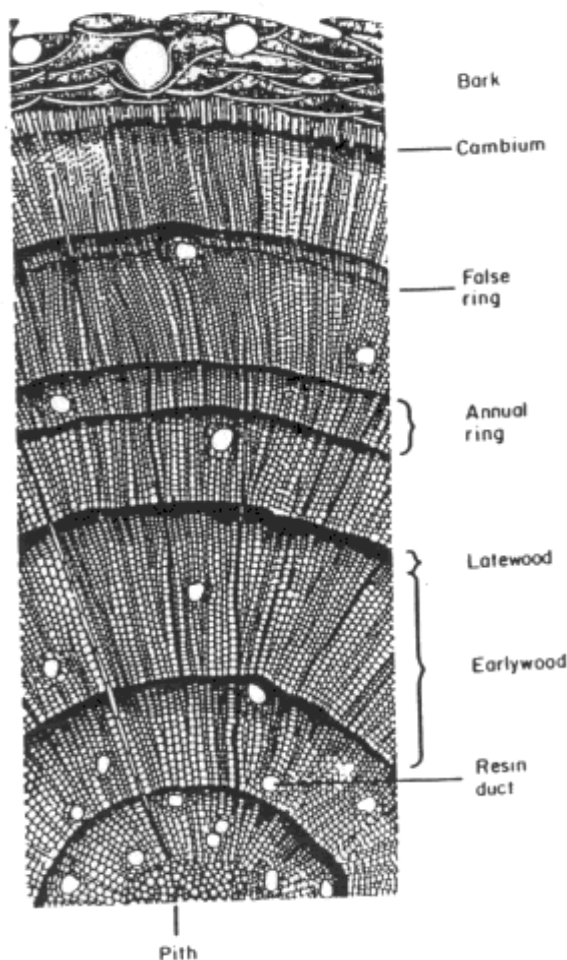
Εικόνα 3.4 Δομή τμήματος βλαστού δικοτυλήδονου φυτού με δευτερογενή ανάπτυξη (Fahn 1982, αναφορά από Γαλάτης και συν. 1998).

Όταν κατά τη διάρκεια ενός έτους υπάρχει μία μόνο βλαστητική περίοδος, τότε ο αυξητικός δακτύλιος αναφέρεται ως ετήσιος δακτύλιος (annual ring) (Γαλάτης και συν. 1998). Κάθε ετήσιος δακτύλιος αποτελείται από το **πρώιμο ξύλο** (earlywood), που σχηματίζεται στην αρχή της βλαστητικής περιόδου και το **όψιμο ξύλο** (latewood), που σχηματίζεται προς το τέλος της βλαστητικής περιόδου (βλ. **Εικόνα 3.5**).

Το πρώιμο ξύλο συνίσταται από τραχειώδη στοιχεία που είναι λεπτότοιχα και έχουν μεγάλη διάμετρο, ενώ το όψιμο ξύλο συνίσταται από στενόπορα και παχύτοιχα τραχειώδη στοιχεία. Τα χαρακτηριστικά αυτά σχετίζονται με τις απαιτήσεις μεταφοράς που έχει το δένδρο την κάθε χρονική περίοδο. Συγκεκριμένα, στην αρχή της βλαστητικής περιόδου το φυτό έχει υψηλό ρυθμό αύξησης και υψηλές απαιτήσεις μεταφοράς, ενώ αντίθετα στο τέλος της περιόδου οι απαιτήσεις μεταφοράς είναι μικρές. Η μετάβαση από το όψιμο στο πρώιμο ξύλο είναι βαθμιαία, ενώ η μετάβαση από το όψιμο ξύλο του παλαιότερου δακτυλίου στο

πρώιμο ξύλο του επόμενου δακτυλίου είναι απότομη. Αυτή η εναλλαγή των στρωματώσεων δημιουργεί τη συγκεκριμένη ιστολογική εμφάνιση σε εγκάρσια τομή του βλαστού, δηλαδή ομόκεντρους κύκλους, και καθιστά ευδιάκριτους τους ετήσιους δακτυλίους. Το γεγονός αυτό επιτρέπει τον υπολογισμό της ηλικίας ενός δέντρου (Χριστοδουλάκης και Ψαράς 2001, Σαρρής 2008).

Το πλάτος των αυξητικών δακτυλίων επηρεάζεται από πλήθος βιοτικών και αβιοτικών παραγόντων, οι οποίοι ρυθμίζουν την αύξηση των δένδρων. Σύμφωνα με τον Schweingruber (1996), ένας ετήσιος δακτύλιος είναι το τελικό προϊόν από μία πολύπλοκη αλυσίδα γεγονότων και συνήθως είναι αδύνατον να αποδείξει κανείς την επίδραση ενός και μόνο παράγοντα. Εξαιρετικά σημαντική είναι ωστόσο η επίδραση του κλίματος στην αύξηση των δένδρων και κατ' επέκταση στο σχηματισμό και στο πλάτος των ετήσιων δακτυλίων αύξησης. Η πρώτη παρατήρηση της σχέσης μεταξύ κλίματος και ετήσιας αύξησης των δένδρων φαίνεται να έγινε από τον Leonardo da Vinci σε συστάδες πεύκων στην Τοσκάνη.



Εικόνα 3.5 Ανατομική κατασκευή του βλαστού νεαρού κωνοφόρου (Fritts 1976).



"Rings in the branches of sawed trees show the number of years and, according to their thickness, the years which were more or less dry. Thus, they reflect the individual worlds to which they belong, in the north [of Italy] they are much thicker than in the south."

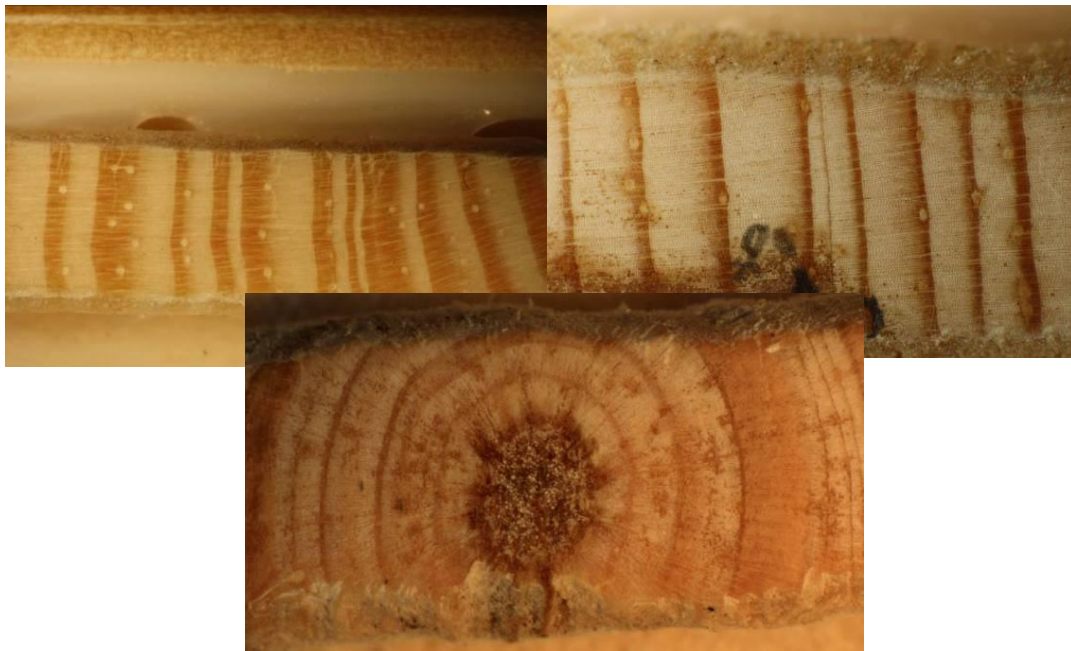
Εικόνα 3.6 Leonardo da Vinci. Πιθανώς, η πρώτη παρατήρηση της σχέσης κλίματος και ετήσιας αύξησης των δένδρων, περί το 1500 μ.Χ.

Σύμφωνα με τον Schweingruber (1996) όλα τα ξυλώδη είδη με δευτερογενή αύξηση μπορούν θεωρητικά να χρησιμοποιηθούν στη δενδροχρονολόγηση. Ωστόσο, σε ορισμένα είδη, όπως για παράδειγμα στην αριά (*Quercus ilex*), η χρονολόγηση των ετήσιων δακτυλίων δύναται να είναι ιδιαίτερα δύσκολη (Campelo et al. 2009, Patón et al. 2009). Αντίθετα, η χρήση μεθόδων δενδροχρονολόγησης σε κωνοφόρα δένδρα, όπως για παράδειγμα στα διάφορα είδη του γένους *Pinus*, είναι ευρέως διαδεδομένη (π.χ.: Andreu et al. 2007, Leal et al. 2008). Και σε αυτή την περίπτωση βέβαια, ανάλογα και με το εκάστοτε είδος, παρατηρούνται διάφορες δυσκολίες στις μετρήσεις. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι οι **ψευδοδακτύλιοι (false rings)**. Σε ορισμένες περιπτώσεις, όπως για παράδειγμα εάν σημειωθούν έντονες βροχοπτώσεις κατά το τέλος της βλαστητικής περιόδου, ένα δένδρο μπορεί να αρχίσει να παράγει ξανά μεγάλα κύτταρα και στη συνέχεια, να σχηματίσει πάλι μικρά κύτταρα λόγω της επαναφοράς των συνθηκών ξηρασίας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να σχηματιστεί ένας δεύτερος δακτύλιος που ονομάζεται ψευδοδακτύλιος. Το φαινόμενο αυτό είναι αρκετά κοινό σε διάφορα είδη του γένους *Pinus*, όπως για παράδειγμα στο *Pinus caribaea*, όπου είναι δυνατό με τον τρόπο αυτό να σχηματιστούν μέχρι και 4-5 δακτύλιοι ανά έτος. Η απλή μέτρηση των δακτυλίων μπορεί επομένως να οδηγήσει σε σημαντική υπερεκτίμηση της ηλικίας του ατόμου. Ωστόσο, στις εύκρατες και υπο-τροπικές περιοχές με προσεκτική παρατήρηση της δομής των κυττάρων του δακτυλίου μπορεί να προσδιοριστεί το αν πρόκειται για ψευδοδακτύλιο ή όχι (Earle 2012). Στα κωνοφόρα, αλλαγές στις συνθήκες αύξησης, κατά τη διάρκεια της αυξητικής περιόδου, συχνά έχουν ως αποτέλεσμα τις **διακυμάνσεις πυκνότητας (density fluctuations)**, οι οποίες αντιστοιχούν επίσης σε ψευδοδακτύλιους. Η διακύμανση πυκνότητας αποτελείται από κύτταρα διαφόρων μεγεθών, με διαφορές στο πάχος του κυτταρικού τοιχώματος και μπορεί να παρατηρηθεί, τόσο στο πρώιμο, όσο και στο όψιμο ξύλο (Schweingruber 1996).

Αντίθετο πρόβλημα, υποεκτίμησης της ηλικίας ενός δένδρου, μπορεί να δημιουργηθεί στην περίπτωση των **τοπικά απόντων δακτυλίων (missing rings/ locally or partially absent rings)**. Ένα περιοριστικό περιστατικό (απουσία βροχοπτώσεων κατά την άνοιξη ή/ και το χειμώνα σε ξηρές περιοχές ή παρουσία παρατεταμένου παγετού σε πιο εύκρατα κλίματα) μπορεί να εμποδίσει πλήρως τη δραστηριότητα του καμβίου, με αποτέλεσμα τη μερική απουσία δακτυλίων. Η

συχνότητα ύπαρξης μερικώς ή πλήρως απόντων δακτυλίων καθορίζεται από το είδος και τα χαρακτηριστικά της εκάστοτε θέσης. Σε γενικές γραμμές, οι απόντες δακτύλιοι είναι πιο συνηθισμένο φαινόμενο στις σειρές μικρών δακτυλίων, από ότι στα τμήματα με μεγάλους δακτυλίους (Schweingruber 1996). Τοπική απουσία δακτυλίων μπορεί να παρατηρηθεί και μετά από μία πυρκαγιά, έναν κεραυνό, επίθεση από έντομα, καθώς και διάφορους άλλους τραυματισμούς του δένδρου. Για τον εντοπισμό των απόντων δακτυλίων χρησιμοποιείται η διαδικασία της διασταυρούμενης χρονολόγησης (cross-dating).

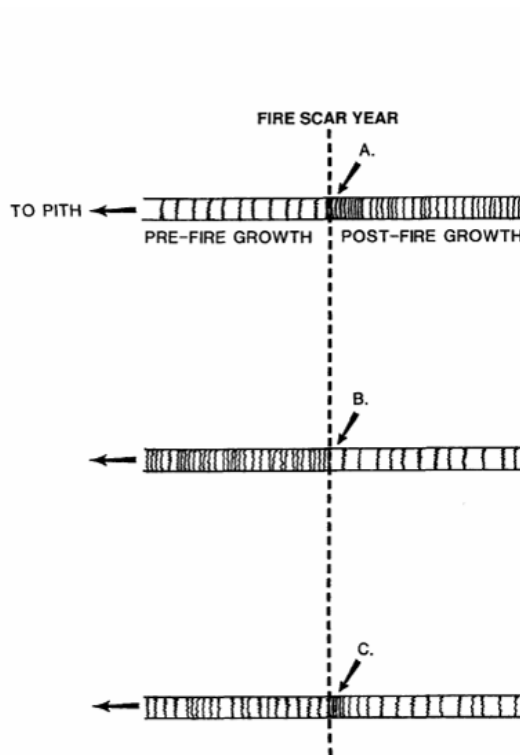
Η *Pinus nigra* έχει αποτελέσει αντικείμενο δενδροοικολογικών και δενδροκλιματολογικών μελετών (για παράδειγμα: Strumia et al. 1997, Martín-Benito et al 2008, 2011, Brandes 2009, Sarris et al. 2011, Shishkova and Panayotov 2013). Οι ετήσιοι δακτύλιοι αύξησης της *P. nigra* είναι ευδιάκριτοι και σχετικά εύκολο να μετρηθούν, αν και το πρότυπό τους επηρεάζεται από τις επικρατούσες κλιματικές συνθήκες, με τα ξηρά έτη να αντιστοιχούν, συχνά, σε πολύ μικρούς δακτυλίους. Σύμφωνα με τους Strumia et al. (1997) προβλήματα στις μετρήσεις μπορούν να δημιουργηθούν λόγω της διακύμανσης πυκνότητας (density fluctuations), η οποία και παρατηρείται κυρίως στους πρώτους δακτυλίους αύξησης, κοντά στο κέντρο (εντεριώνη). Αντίστοιχα, ο Brandes (2009) κατέγραψε τη συχνή ύπαρξη τοπικά απόντων δακτυλίων σε πυρήνες Μαύρης πεύκης από την περιοχή του Ταϊγέτου. Ωστόσο, τα προβλήματα αυτά μπορούν να ξεπεραστούν μέσω της διασταυρούμενης χρονολόγησης.



Εικόνα 3.7 Ετήσιοι αυξητικοί δακτύλιοι Μαύρης πεύκης, από παρατήρηση σε στερεοσκόπιο (Zeiss, Stemi 2000-C). Διακρίνονται το πρώιμο (ανοιχτόχρωμο) και το όψιμο (σκουρόχρωμο) ξύλο, καθώς και διαφορές στο πλάτος των δακτυλίων αύξησης από έτος σε έτος. Στο κάτω μέρος απεικονίζεται η εντεριώνη.

Πυρκαγιές και ετήσιοι δακτύλιοι

Οι δασικές πυρκαγιές μπορούν να προκαλέσουν αλλαγές στη φυσιολογία και στη διαδικασία αύξησης (growth processes) των δένδρων (Beghin et al. 2011). Οι αλλαγές αυτές επηρεάζουν και το πρότυπο των ετήσιων δακτυλίων αύξησης. Σύμφωνα με τους Barrett and Arno 1988, το πρότυπο των ετήσιων δακτυλίων ενός δένδρου, μετά από ένα περιστατικό πυρκαγιάς, μπορεί να επηρεαστεί με τρεις διαφορετικούς τρόπους, όπως αυτοί απεικονίζονται στην **Εικόνα 3.8**.



Εικόνα 3.8 Πρότυπο αύξησης των ετήσιων δακτυλίων μετά από ένα περιστατικό πυρκαγιάς (Barrett and Arno 1988).

Στην πρώτη περίπτωση (βλ. **Σχήμα Α, Εικόνα 3.8**), η δράση της φωτιάς προκαλεί μείωση στην αύξηση, με αποτέλεσμα το σχηματισμό πολύ μικρών ή/ και τοπικά απόντων δακτυλίων. Στην περίπτωση αυτή η επανάκαμψη του δένδρου είναι μία ιδιαίτερα αργή διαδικασία.

Στη δεύτερη περίπτωση (βλ. **Σχήμα Β, Εικόνα 3.8**), η φωτιά προκαλεί βελτίωση των συνθηκών αύξησης λόγω της θανάτωσης γειτονικών δένδρων από τη φωτιά, της μείωσης του ανταγωνισμού και της αύξησης των διαθέσιμων θρεπτικών του εδάφους. Στην περίπτωση αυτή, οι δακτύλιοι μετά το περιστατικό της πυρκαγιάς είναι μεγαλύτεροι από ότι πριν.

Στην τρίτη περίπτωση (βλ. **Σχήμα C, Εικόνα 3.8**), η δράση της φωτιάς προκαλεί αρχικά μείωση της αύξησης, η οποία αποτυπώνεται σε μικρούς δακτυλίους στα έτη αμέσως μετά το περιστατικό της πυρκαγιάς. Στη συνέχεια όμως το δένδρο επανακάμπτει και ο ρυθμός αύξησής του βελτιώνεται, με σχηματισμό μεγάλων δακτυλίων, λόγω της ταυτόχρονης μείωσης του ανταγωνισμού και της αύξησης των διαθέσιμων θρεπτικών του εδάφους.

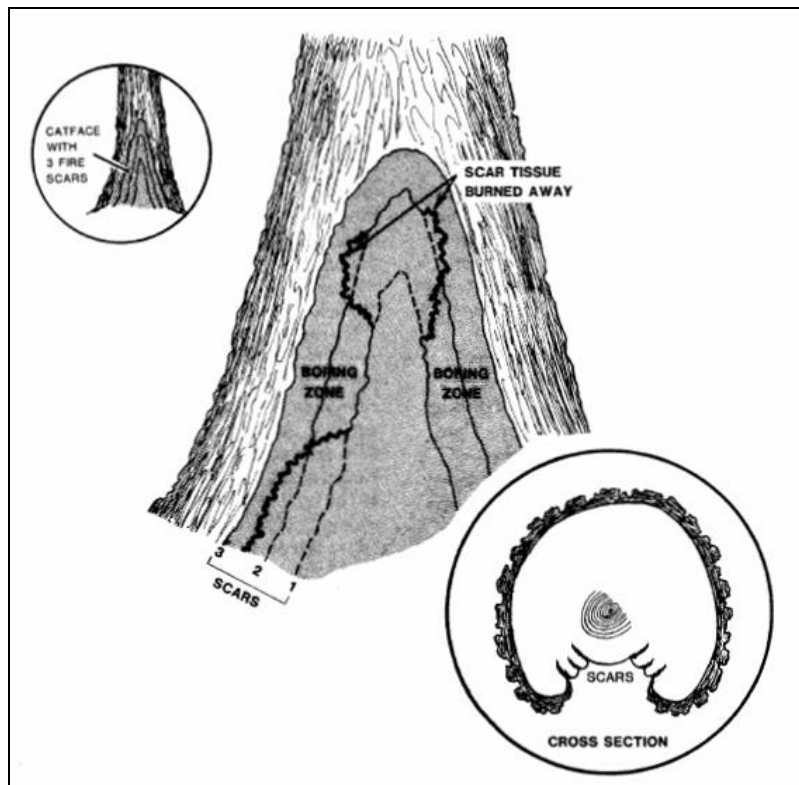
Ωστόσο, οι επιπτώσεις της δράσης της φωτιάς στο πρότυπο αύξησης των ετήσιων δακτυλίων διαφέρουν σημαντικά μεταξύ των διαφόρων ειδών, ενώ εξαρτώνται και από τα χαρακτηριστικά της πυρκαγιάς και, γενικότερα, από το καθεστώς της φωτιάς (Rozas et al. 2011). Σύμφωνα με τους Peterson et al. (1994), μετά από έρπουσες πυρκαγιές σε δάση *Pinus ponderosa*, μπορεί να παρατηρηθεί είτε αύξηση είτε μείωση του ρυθμού αύξησης των δένδρων, ανάλογα με τη συχνότητα των πυρκαγιών. Οι Py et al. (2006) παρατήρησαν σταδιακή βελτίωση της αύξησης σε άτομα του είδους *Pinus monophylla*, που βρίσκονταν στα όρια μεγάλης έντασης επικόρυφης πυρκαγιάς (stand replacing fire), γεγονός που σύμφωνα με τους συγγραφείς, μπορεί να οφείλεται είτε στη μείωση του ενδοειδικού ανταγωνισμού, είτε στην αύξηση των διαθέσιμων θρεπτικών του εδάφους. Στο *Pinus canariensis*, που αποτελεί ένα από τα λίγα είδη του γένους *Pinus* που αναγεννώνται μεταπυρικά μέσω επικορμικής αναβλάστησης, ο ρυθμός αύξησης μειώνεται μετά από επικόρυφες πυρκαγιές μεγάλης δριμύτητας, ενώ οι έρπουσες πυρκαγιές δεν φαίνεται να επηρεάζουν το πρότυπο των ετήσιων δακτυλίων αύξησης (Rozas et al. 2011). Όσον αφορά στην *P. nigra* δεν έχουν υλοποιηθεί ειδικές μελέτες που να αφορούν στην επίδραση των πυρκαγιών στο πρότυπο αύξησης των ετήσιων δακτυλίων.

3.1.2 Ανάλυση των σημαδιών φωτιάς (fire scars)

Η ανασύσταση της ιστορίας της φωτιάς με τη μέθοδο της δενδροχρονολόγησης, γίνεται, συνήθως, μέσω της ανάλυσης των σημαδιών φωτιάς (fire scars). Πρόκειται για μια ευρέως χρησιμοποιούμενη τεχνική, που μπορεί να παρέχει ποιοτική πληροφορία για το καθεστώς της φωτιάς, σε διάφορα επίπεδα (Baisan and Swetnam 1990, Brown et al. 1999, Brown and Wu 2005, Van Horne and Fulé 2006, Fulé et al. 2008), αν και η απουσία ύπαρξης σημαδιών φωτιάς δεν συνεπάγεται απαραίτητα την μη ύπαρξη πυρκαγιάς, καθώς τα περιστατικά πυρκαγιών δεν σημαδεύουν απαραίτητα τα δένδρα, ενώ παράλληλα δεν επιβιώνει το σύνολο των δένδρων που φέρουν σημάδια φωτιάς (Swetnam and Baisan 1996, Farris et al. 2010).

Το σημάδι της φωτιάς (fire scar) είναι αποτέλεσμα της μερικής νέκρωσης του καμβίου στη βάση του δένδρου, η οποία προκαλείται από τις υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται κατά τη διάρκεια της φωτιάς και καταγράφεται εντός των ετήσιων δακτυλίων (Gutsell and Johnson 1996, Brown and Wu 2005). Σε περίπτωση που το κάμβιο τραυματιστεί από μία πυρκαγιά ή μια μηχανική βλάβη, είναι συχνά πιο ευάλωτο στο σχηματισμό περισσότερων σημαδιών φωτιάς (Brown and Smith 2000). Τα δένδρα με ανοικτές πληγές, που είναι περισσότερο ευάλωτα στο σχηματισμό νέων σημαδιών φωτιάς, καλούνται δένδρα καταγραφείς (recorders) (Van Horne and Fulé 2006). Τα σημάδια της φωτιάς συνήθως σχηματίζονται σε ώριμα δένδρα, με παχύ φλοιό, που είναι προσαρμοσμένα στις έρπουσες πυρκαγιές. Αντίθετα, σπάνια σχηματίζονται σε νεαρής ηλικίας άτομα, καθώς η φωτιά είναι περισσότερο πιθανό να τα απονεκρώσει παρά να τα σημαδέψει (Schweingruber 1996, Gutsell and Johnson 1996, Van Horne and Fulé 2006). Τα σημάδια της φωτιάς

μπορεί να είναι εσωτερικά ή εξωτερικά. Η αρχική παρατήρηση, στο πεδίο, βασίζεται στα εξωτερικά σημάδια φωτιάς τα οποία μπορούν να παρατηρηθούν στην κοιλότητα-ουλή (catface) που δημιουργείται από τη δράση της φωτιάς στον κορμό του δένδρου. Τα σημάδια της φωτιάς συνήθως βρίσκονται στην πάνω πλευρά του δένδρου (Gutsell and Johnson 1996), καθώς στις θέσεις αυτές υπάρχει μεγαλύτερη εναπόθεση βιομάζας (Arno and Sneek 1977). Για την εύρεση του συνόλου των σημαδιών φωτιάς και των πυρκαγιών που έχουν σημαδέψει κάθε δένδρο καταγραφέα γίνεται λήψη σφηνών (cross-section) στο ύψος της κοιλότητας-ουλής, όπου παρατηρείται ο μεγαλύτερος αριθμός σημαδιών φωτιάς.



Εικόνα 3.9 Σχηματική απεικόνιση της κοιλότητας - ουλής (catface) που δημιουργείται στον κορμό του δένδρου από τη δράση της φωτιάς και των σημαδιών της φωτιάς στην κοιλότητα και σε σφήνα (cross-section) που λήφθηκε από την κοιλότητα του κορμού (Barrett and Arno 1988).

Σύμφωνα με τους Barrett and Arno (1988) και τους Sheppard et al. (1988), ανασύσταση της ιστορίας της φωτιάς μπορεί να γίνει και με την ανάλυση πυρήνων (increment cores). Ωστόσο, με την τεχνική αυτή δεν μπορούν πάντα να προσδιοριστούν οι ακριβείς ημερομηνίες των πυρκαγιών (Baisan and Swetnam 1990).

Η ανασύσταση του καθεστώτος της φωτιάς μέσω της δενδροχρονολόγησης, και ειδικότερα μέσω της ανάλυσης των σημαδιών φωτιάς, αποτελεί τη μόνη μέθοδο με την οποία μπορούν να αποκτηθούν δεδομένα για πυρκαγιές που έχουν συμβεί πριν τη δεκαετία του 1940, πληροφορία που για την Ελλάδα συχνά δεν μπορεί να

εξαχθεί από τα αρχεία των Δασαρχείων ή μέσω ανάλυσης αεροφωτογραφιών ή δορυφορικών εικόνων. Αντίστοιχες εργασίες είναι ιδιαίτερα διαδεδομένες στη Βόρεια και Νότια Αμερική (ανασκόπηση από Falk et al. 2011), ενώ στην Ευρώπη έχουν μελετηθεί ελάχιστες περιοχές (Niklasson et al. 2010). Για την περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου, ανασύσταση της ιστορίας της φωτιάς, μέσω της ανάλυσης των σημαδιών φωτιάς, έχει γίνει μόνο σε μία περιοχή (Touchan et al. 2012).

Οι πληροφορίες για το ιστορικό καθεστώς της φωτιάς (έκταση, συχνότητα, εποχικότητα και ένταση) στα δάση Μαύρης πεύκης είναι πολύ περιορισμένες. Στην Ισπανία (Fulé et al. 2008) διαπιστώθηκε συχνή παρουσία σημαδιών φωτιάς σε άτομα μεγάλης ηλικίας, γεγονός που φανερώνει ότι τα δάση αυτά έχουν εξελιχθεί υπό την παρουσία μικρής έντασης, ερπουσών πυρκαγιών. Στη Βάλια Κάλντα οι Touchan et al. (2012) κατέγραψαν, με μεθόδους δενδροχρονολόγησης, περιστατικά πυρκαγιών από το 1309 έως το 1891. Ωστόσο, ο αριθμός των δειγμάτων που συλλέχθηκαν για την ανασύσταση του ιστορικού της φωτιάς ήταν πολύ χαμηλός (οκτώ δείγματα).

Σκοπός της παρούσας έρευνας είναι η ανασύσταση, σε επίπεδο τοπίου, της ιστορίας της φωτιάς, σε δάση Μαύρης πεύκης στην περιοχή του Ταυγέτου και ειδικότερα στα τμήματα που επηρεάστηκαν από τις μεγάλες πυρκαγιές των τελευταίων ετών (1998 και 2007). Για το σκοπό αυτό έγινε χρήση δένδρων με σημάδια φωτιάς, καθώς και των δεδομένων των περιστατικών πυρκαγιών των τελευταίων ετών από τα Αρμόδια Δασαρχεία, προκειμένου να απαντηθούν τα ακόλουθα ερωτήματα: (1) Μπορεί να γίνει ανασύσταση των χαρακτηριστικών του καθεστώτος της φωτιάς μέσω της ανάλυσης των σημαδιών φωτιάς; (2) Είναι η συχνότητα της φωτιάς και η έκταση που καίγεται σταθερές στο χρόνο; Επιπλέον, ελέγχθηκε κατά πόσο η εμφάνιση των μεγάλων πυρκαγιών μπορεί να σχετίζεται με τις επικρατούσες κλιματικές συνθήκες.

Η παρούσα έρευνα αποτελεί την πρώτη, μεγάλης κλίμακας, προσπάθεια ανασύστασης της ιστορίας της φωτιάς στην Ελλάδα με χρήση της μεθόδου της δενδροχρονολόγησης.

3.2 Υλικά και μέθοδοι

3.2.1 Περιοχή μελέτης

Για την ανασύσταση της ιστορίας της φωτιάς διερευνήθηκε μεγάλο τμήμα της κατανομής εξάπλωσης της *Pinus nigra* στο Βόρειο Ταΰγετο. Ειδικότερα, εξετάστηκαν τμήματα της περιοχής μελέτης που καλύπτονται από αμιγή δάση, και σε μικρότερο βαθμό, από μικτά δάση Μαύρης πεύκης και Κεφαλληνιακής ελάτης (*Abies cerhalonica* Loudon). Προκαταρκτικές έρευνες πεδίου για την αναζήτηση κατάλληλων θέσεων δειγματοληψίας έλαβαν χώρα τον Ιούνιο του 2010, ενώ οι δειγματοληψίες ολοκληρώθηκαν ένα χρόνο αργότερα (Ιούνιος 2011).

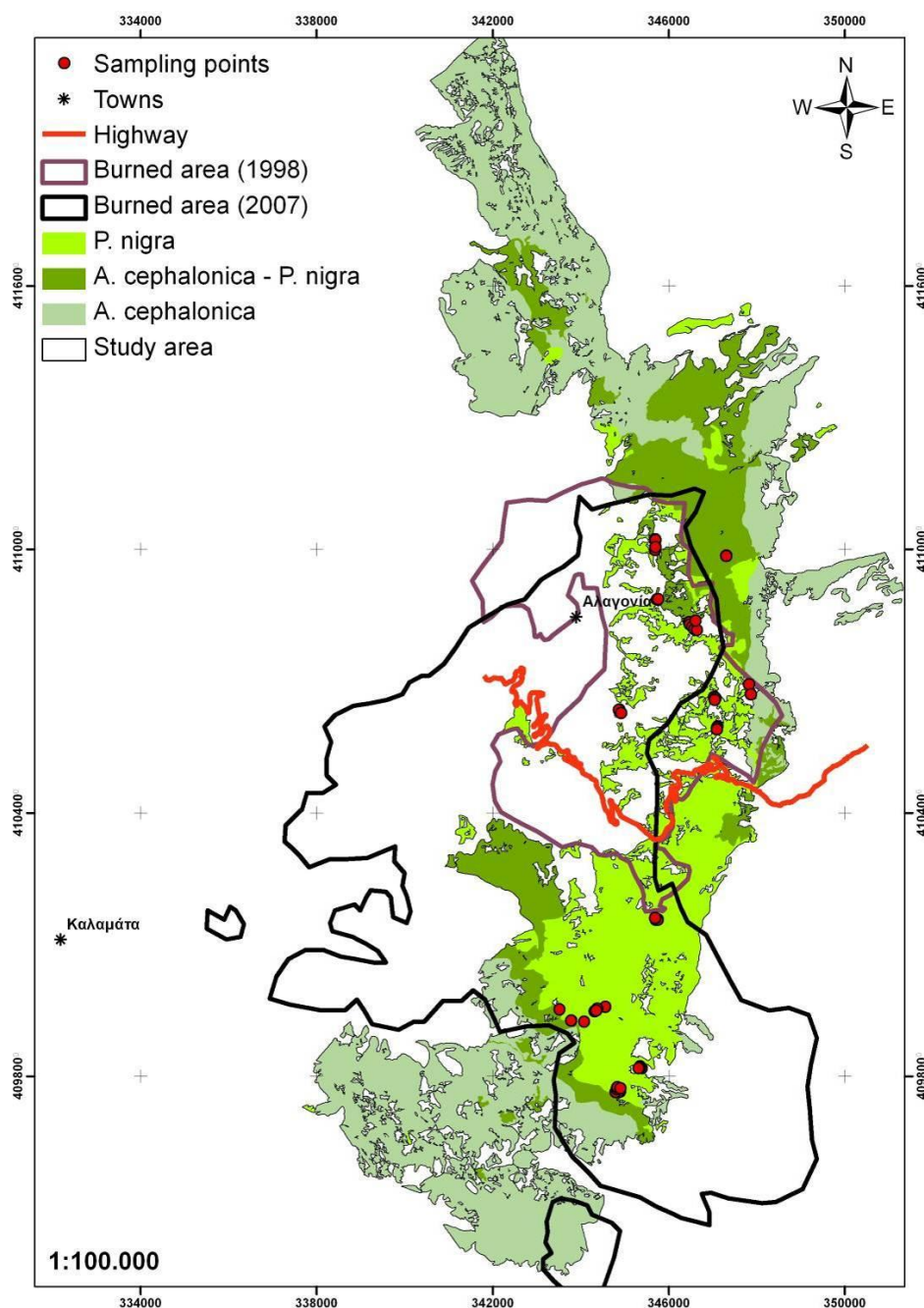
Με βάση τα στοιχεία του Δασαρχείου Καλαμάτας (βλ. **Πίνακα 3.1**) που είναι διαθέσιμα για τα τελευταία 33 χρόνια (1977-2010) οι πυρκαγιές του 1998 και του 2007 έχουν κάψει τη μεγαλύτερη έκταση δασών Μαύρης πεύκης στην περιοχή μελέτης. Για το λόγο αυτό, και προκειμένου να γίνει σύγκριση των πρόσφατων πυρκαγιών με τα παλαιότερα περιστατικά φωτιάς στις ίδιες θέσεις, οι δειγματοληψίες έλαβαν χώρα κυρίως εντός των ορίων των δύο πρόσφατων πυρκαγιών (2007 ή/ και 1998) (Χριστοπούλου και συν. 2010). Η φωτιά του 1998 έκαψε κυρίως το Βόρειο τμήμα της περιοχής μελέτης, ενώ η φωτιά του 2007 έκαψε τόσο το Βόρειο, όσο και το Νότιο κομμάτι. Οι θέσεις δειγματοληψίας ομαδοποιήθηκαν σε δύο ομάδες, ανάλογα με τη θέση τους στο Βόρειο (θέσεις- σημεία που συμβολίζονται ως TN_i) ή στο Νότιο κομμάτι (θέσεις- σημεία που συμβολίζονται ως TS_i), χρησιμοποιώντας ως ορόσημο την εθνική οδό Καλαμάτα- Σπάρτη, που διασχίζει την περιοχή μελέτης.

Πίνακας 3.1 Περιστατικά πυρκαγιών σε δάση Μαύρης πεύκης στο Βόρειο Ταΰγετο, με βάση τα δεδομένα πυρκαγιών του Δασαρχείου Καλαμάτας, για τα τελευταία 33 χρόνια (1977-2010). Η έκταση αφορά στις εκτάσεις που χαρακτηρίστηκαν ως αναδασωτέες.

Έτη πυρκαγιάς	Αριθμός περιστατικών πυρκαγιάς	Συνολική καμένη έκταση (ha)	Καμένη έκταση δασών Μαύρης πεύκης (ha)
1977	5	659.1	176.0
1981	2	109.4	11.0
1982	1	31.7	3.3
1987	2	77.4	8.3
1989	1	140.0	37.8
1993	1	1.9	0.3
1998	1	3599.0	851.4
2007	3	8807.6	1885.4

Η κατανομή των θέσεων δειγματοληψίας σε σχέση με τα δάση κωνοφόρων της περιοχής μελέτης και τα όρια των δύο πυρκαγιών παρουσιάζονται στην **Εικόνα**

3.10. Για τη δημιουργία του υποβάθρου του χάρτη χρησιμοποιήθηκαν μέθοδοι χωρικής ανάλυσης, όπως αυτές περιγράφονται λεπτομερώς στο επόμενο Κεφάλαιο.



Εικόνα 3.10 Χάρτης ευρύτερης περιοχής μελέτης και θέσεων δειγματοληψίας για την ανασύσταση του ιστορικού της φωτιάς. Οι διαφορετικές αποχρώσεις του πράσινου αντιστοιχούν στους τύπους δασών κωνοφόρων. Με μαύρο σημειώνονται τα όρια της πυρκαγιάς του 2007 και με μωβ τα όρια της πυρκαγιάς του 1998. Η κόκκινη γραμμή αντιστοιχεί στην εθνική οδό Καλαμάτας- Σπάρτης, ενώ με αστερίσκο σημειώνονται οι πόλεις και οι οικισμοί. Οι κόκκινες κουκίδες αντιστοιχούν στις θέσεις δειγματοληψίας. Οι συντεταγμένες είναι σε μέτρα στο ΕΓΣΑ87.

3.2.2 Δειγματοληψίες πεδίου

Για την ανασύσταση της ιστορίας της φωτιάς λήφθηκαν σφήνες (cross-sections) από άτομα *Pinus nigra*. Ο σχεδιασμός της δειγματοληψίας έγινε έτσι ώστε να μεγιστοποιηθούν οι καταγραφές της φωτιάς από κάθε θέση, να εκτιμηθεί η έκταση του κάθε περιστατικού και να διαπιστωθεί η ύπαρξη περιστατικών όσο το δυνατόν πιο πίσω στο χρόνο. Κατά τη διάρκεια των δειγματοληψιών εξετάζονταν όλα τα άτομα: ζωντανά δένδρα, όρθιοι καμένοι κορμοί ή νεκρά δένδρα, υπολείμματα κομμένων κορμών και πεσμένοι κορμοί. Συλλέχθηκαν δείγματα από τα άτομα που έφεραν το μεγαλύτερο αριθμό καλά διατηρημένων σημαδιών φωτιάς, ενώ προσοχή δόθηκε στο να είναι ευρέως κατανομημένα στην περιοχή μελέτης (Van Horne and Fulé 2006, Skinner et al. 2008). Ωστόσο, παράγοντες όπως η αδυναμία πρόσβασης εμπόδισαν την ομοιόμορφη κατανομή των θέσεων δειγματοληψίας. Επιπλέον, σε μεγάλα τμήματα της περιοχής δεν βρέθηκαν σημάδια φωτιάς, είτε λόγω της νεαρής ηλικίας των δένδρων, είτε λόγω της μη ύπαρξης περιστατικών πυρκαγιών (Swetnam and Baisan 1996, Van Horne and Fulé 2006, Farris et al. 2010).

Για κάθε θέση δειγματοληψίας σημειωνόταν το υψόμετρο, η έκθεση, η κλίση και η σχετική υγρασία, ενώ για κάθε άτομο καταγραφόταν η κατάστασή του, η στηθαία διάμετρος (dbh), ο αριθμός και η έκθεση των σημαδιών φωτιάς και ο αριθμός των δειγμάτων που συλλέχθηκαν. Η λήψη των σφηνών έγινε με χρήση αλυσοπρίονου STIHL MS 310. Σφήνες ολόκληρης της περιφέρειας του δένδρου (cross-sections) λαμβάνονταν μόνο από τους πεσμένους ή / και κομμένους κορμούς, ενώ για τα όρθια, ζωντανά ή νεκρά δένδρα, λαμβάνονταν σφήνες μικρότερου μεγέθους, κοντά στο σημάδι της φωτιάς (partial cross-sections), έτσι ώστε να μειωθεί ο κίνδυνος πρόκλησης ζημιάς στο δένδρο (Heyerdahl and McKay 2001, 2008). Οι συντεταγμένες των ατόμων δειγματοληψίας καταγράφονταν με τη βοήθεια συσκευής GPS.

Οι κύριοι παράγοντες που περιόρισαν τον αριθμό των σφηνών ήταν οι διαχειριστικές πρακτικές του παρελθόντος, καθώς και οι πρακτικές χρήσεις γης, λόγω των οποίων η διαθεσιμότητα μεγάλης ηλικίας δένδρων, τα οποία θα μπορούσαν να έχουν περισσότερες πληροφορίες για παλαιότερες πυρκαγιές, ήταν σχετικά περιορισμένη. Συνολικά, συλλέχθηκαν δείγματα από 62 άτομα (31 στο Βόρειο και 31 στο Νότιο τμήμα της περιοχής μελέτης): 25 από ζωντανά δένδρα, 23 από όρθιους καμένους κορμούς ή νεκρά δένδρα, 16 από υπολείμματα κομμένων κορμών και 1 από πεσμένο κορμό. Το υψόμετρο των θέσεων δειγματοληψίας κυμαινόταν από 1125 - 1588 m (Μέσο υψόμετρο: 1361 m). Η μέση κλίση ήταν 47% και κυμαινόταν μεταξύ 9 και 75%. Δείγματα συλλέχθηκαν από όλους τους προσανατολισμούς. Η βλάστηση του υπορόφου διέφερε από θέση σε θέση, με κυρίαρχο είδος το *Pteridium aquilinum*. Στις θέσεις χαμηλότερου υψομέτρου ήταν παρόντα και δένδρα και θάμνοι όπως τα *Castanea sativa*, *Erica manipuliflora*, *Cistus creticus* και *Genista acanthoclada*.



Εικόνα 3.11 Λήψη σφηνών από ζωντανά δένδρα και υπολείμματα κομμένων κορμών.



Εικόνα 3.12 Εξωτερική πληγή και σημάδια φωτιάς σε άτομο *Pinus nigra* - Δένδρο καταγραφέα (recorder), σφήνα (Partial cross-section) από ζωντανό δένδρο και σφήνα (cross-section) από υπόλειμμα κομμένου κορμού (stump).

Υπόδειγμα του πρωτοκόλλου πεδίου που συμπληρωνόταν για κάθε δείγμα παρουσιάζεται στο **Παράρτημα Ι**- Πρωτόκολλα πεδίου και εργαστηρίου.

3.2.3 Εργαστηριακή επεξεργασία και μετρήσεις

Μετά τη συλλογή των δειγμάτων- σφηνών στο πεδίο, ακολούθησε η τοποθέτησή τους σε κούτες και η μεταφορά τους στο εργαστήριο, για την περαιτέρω επεξεργασία τους. Η επεξεργασία και οι μετρήσεις των δειγμάτων ξεκίνησαν στις εγκαταστάσεις του Τομέα Οικολογίας και Ταξινομικής του Πανεπιστημίου Αθηνών και ολοκληρώθηκαν στο School of Forestry and Ecological Restoration Institute, Northern Arizona University (NAU), την περίοδο Μαρτίου- Μαΐου 2012.

Αρχικά, τα δείγματα κολλήθηκαν και αφέθηκαν να στεγνώσουν και να αποξηραθούν σε εγκαταστάσεις ξυλουργείου. Στη συνέχεια, κόπηκαν και ισιώθηκαν σε ειδική κορδέλα. Η τελική λείανση των επιφανειών έγινε με χρήση παλμικού τριβείου με γυαλόχαρτα διαφορετικού πάχους (έως 1200P για τα δείγματα με πολύ στενούς δακτυλίους-narrow rings), έως ότου να είναι δυνατή η παρατήρηση των κυττάρων στο στερεοσκόπιο. Το πλάτος των ετήσιων δακτυλίων αύξησης μετρήθηκε με χρήση κλασικών τεχνικών δενδροχρονολόγησης (Stokes and Smiley 1968), με τη χρήση στερεοσκοπίου και κινητής τράπεζας μετρήσεων, με ακρίβεια 0.001 mm.



Εικόνα 3.13 Αρχική επεξεργασία των δειγμάτων σε εγκαταστάσεις ξυλουργείου. Οι σφήνες κολλήθηκαν σε ξύλινες βάσεις και στη συνέχεια ισιώθηκαν σε ειδική κορδέλα. Για τη μεταφορά των δειγμάτων στο Πανεπιστήμιο της Αριζόνα στο Flagstaff έγινε αποπαρασιτοποίηση με βιολογικές μεθόδους και τοποθέτησή τους σε κούτες.



Εικόνα 3.14 Λείανση των επιφανειών των δειγμάτων με χρήση παλμικού τριβείου με γυαλόχαρτα διαφορετικού πάχους και μέτρηση του πλάτους των ετήσιων δακτυλίων αύξησης με χρήση στερεοσκοπίου και κινητής τράπεζας μετρήσεων.

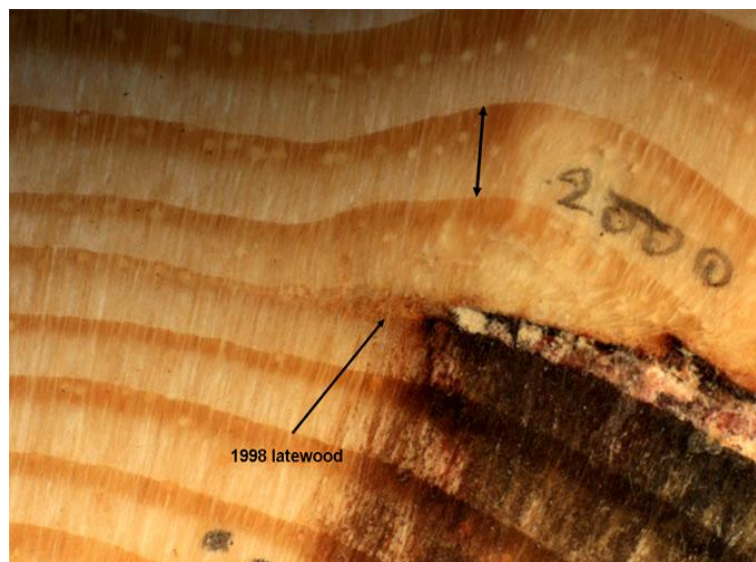
Στη συνέχεια, έγινε διασταυρούμενη χρονολόγηση των δειγμάτων με μια τοπική χρονοσειρά που έχει προκύψει από άτομα *Pinus nigra* στην περιοχή του Ταϋγέτου (Kuniholm and Groneman 2012), η οποία λήφθηκε από τη Διεθνή Βάση Ετήσιων Δακτυλίων -International Tree-ring Data Bank (<http://www.ncdc.noaa.gov/paleo/treering.html>). Σε όλα τα δείγματα έγινε οπτική διασταύρωση (visual cross-dating), με βάση το πρότυπο αναγνώρισης των δακτυλίων και τη χρήση ετών που χαρακτηρίζονται ως δείκτες (marker years) και αφορούν στα έτη με πολύ στενούς δακτυλίους (Yamaguchi 1991). Για τον έλεγχο της ποιότητας της χρονολόγησης αλλά και τη χρονολόγηση των δειγμάτων όπου αυτή δεν μπορούσε να γίνει οπτικά (Grissino-Mayer 2001a) χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα COFECHA.

Το πρόγραμμα COFECHA δημιουργήθηκε από τον Richard L. Holmes το 1982, και σήμερα αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά και ευρέως χρησιμοποιούμενα εργαλεία της δενδροχρονολόγησης. Η χρήση του προγράμματος, μετά την ολοκλήρωση των μετρήσεων του πλάτους των ετήσιων δακτυλίων αύξησης και την οπτική διασταύρωση των δειγμάτων, αυξάνει την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων. Ειδικότερα, το πρόγραμμα εντοπίζει την ύπαρξη πιθανών λαθών στις μετρήσεις και στη χρονολόγηση των δειγμάτων, ενώ γίνεται και έλεγχος της συσχέτισης μεταξύ των χρονοσειρών. Πριν την αναγνώριση των πιθανών λαθών, κάθε χρονοσειρά μετατρέπεται σε ενισχυμένα χαρακτηριστικά που σχετίζονται με τη διασταυρούμενη χρονολόγηση. Οι διακυμάνσεις χαμηλής συχνότητας απομακρύνονται μέσω κυβικής

συνάρτησης εξομάλυνσης (cubic smoothing spline). Η παραμένουσα πρόβλεψη (persistence) αφαιρείται μέσω μοντέλου αυτοπαλινδρόμησης (autoregressive modeling). Για να γίνει υπολογισμός των αναλογικών διαφορών γίνεται λογαριθμοποίηση των χρονοσειρών. Στη συνέχεια, κάθε τροποποιημένη χρονοσειρά συγκρίνεται με τη χρονοσειρά αναφοράς (master dating series). Η σύγκριση γίνεται σε τμήματα (segments), με τα διαδοχικά τμήματα να έχουν 50% αλληλοεπικάλυψη. Αναλυτικότερα στοιχεία για το περιβάλλον του προγράμματος παρουσιάζονται στο **Παράρτημα IV**- Το πρόγραμμα COFECHA.

Η εκτίμηση της περιόδου εκδήλωσης της κάθε πυρκαγιάς έγινε με βάση τη σχετική θέση των σημαδιών φωτιάς εντός των ετήσιων δακτυλίων (Baisan and Swetnam 1990) και σημειωνόταν ως εξής:

- EE (early earlywood- αρχή πρώιμου ξύλου)
- ME (middle earlywood- μέση πρώιμου ξύλου)
- LE (late earlywood- τέλος πρώιμου ξύλου)
- LW (latewood- όψιμο ξύλο)
- D (dormant or ring boundary- αδρανές ξύλο ή στα όρια των δακτυλίων)
- U (undetermined- απροσδιόριστο).



Εικόνα 3.15 Χρονολόγηση σημαδιού φωτιάς και εκτίμηση της εποχής εκδήλωσης της πυρκαγιάς. Η πυρκαγιά του 1998 καταγράφεται στο όψιμο ξύλο. Παρατηρείται επίσης η προσπάθεια του δένδρου να επουλώσει την πληγή, η οποία έχει ως αποτέλεσμα το σχηματισμό μεγαλύτερων δακτυλίων κοντά στο σημάδι της φωτιάς.

Μετά τη χρονολόγηση των ετών με παρουσία σημαδιών φωτιάς (έτη πυρκαγιάς), έγινε σύγκριση με τα δεδομένα του Δασαρχείου Καλαμάτας, ενώ υπολογίστηκε και η εκτιμώμενη, συνολικά, καμένη έκταση, με βάση τη μεθοδολογία που περιγράφεται στην εργασία των Farris et al (2010).

Υπόδειγμα των φύλλων δεδομένων που συμπληρώνονταν για κάθε δείγμα- σφήνα στο εργαστήριο, παρουσιάζεται στο **Παράρτημα Ι-** Πρωτόκολλα πεδίου και εργαστηρίου.

3.2.4 Στατιστική ανάλυση δεδομένων

Η ανάλυση των δεδομένων της φωτιάς έγινε στο πρόγραμμα FHX2 (Grissino-Mayer 2001b), το οποίο έχει σχεδιαστεί: 1) για την ανάλυση των δεδομένων της ιστορίας της φωτιάς, 2) τη δημιουργία διαγραμμάτων που παρουσιάζουν τα χωρικά και χρονικά χαρακτηριστικά της ιστορίας της φωτιάς, 3) τη στατιστική ανάλυση του διαστήματος μεταξύ διαδοχικών πυρκαγιών και την εποχικότητα και 4) την ανάλυση της επαλληλίας των εποχών (superposed epoch analysis-SEA), μέσω της οποίας διερευνάται η σχέση μεταξύ των κλιματικών συνθηκών και των πυρκαγιών. Αναλυτικότερα στοιχεία για το περιβάλλον του προγράμματος παρουσιάζονται στο **Παράρτημα V-** Το πρόγραμμα FHX2.

Το διάστημα μεταξύ δύο διαδοχικών πυρκαγιών στην ίδια θέση προσδιορίστηκε με δύο τρόπους. Αρχικά, συμπεριλήφθηκαν όλα τα έτη με περιστατικά πυρκαγιών που καταγράφηκαν στην περιοχή μελέτης. Στη συνέχεια, ακολουθήθηκε η ίδια ανάλυση μόνο για τα έτη των μεγαλύτερων πυρκαγιών, τα οποία αντιστοιχούν στις πυρκαγιές που σημάδεψαν ποσοστό $\geq 25\%$ των εκάστοτε διαθέσιμων δένδρων καταγραφών (φίλτρο 25%). Ως καταγραφείς (recorders) θεωρούνται τα δένδρα που διαθέτουν ανοιχτή πληγή και στα οποία είναι πιο εύκολο να σχηματιστεί νέο σημάδι από τη δράση της φωτιάς. Το φίλτρο του 25% αναφέρεται ευρέως στη βιβλιογραφία ότι αντιπροσωπεύει τις μεγαλύτερες πυρκαγιές, οι οποίες σημαδεύουν περισσότερα δέντρα από ότι οι μικρότερες (Swetnam and Baisan 1996, Van Horne and Fulé 2006, Fulé et al. 2009, Farris et al. 2010).

Το μεσοδιάστημα μεταξύ των πυρκαγιών (MFI - mean fire interval) αντιστοιχεί στο μέσο όρο των ετών μεταξύ δύο διαδοχικών περιστατικών φωτιάς σε μια ολοκληρωμένη χρονοσειρά της φωτιάς (composite fire chronology) και χρησιμοποιείται ευρέως για την περιγραφή της συχνότητας της φωτιάς (Brown et al. 1999). Το MFI υπολογίστηκε για το σύνολο της περιοχής μελέτης, καθώς και για το Βόρειο και Νότιο τμήμα της. Δεν κατέστη δυνατή η περαιτέρω διαίρεση της περιοχής σε μικρότερα τμήματα, καθώς με κάθε διαίρεση μειωνόταν σημαντικά ο αριθμός των δειγμάτων. Το MFI και το 95% διάστημα εμπιστοσύνης (95% confidence intervals) με τη μέθοδο Bootstrap, υπολογίστηκαν στο στατιστικό πακέτο R (R Core Team 2012). Το μέσο πιθανό διάστημα του Weibull (Weibull median probability interval -WMPI) υπολογίστηκε στο πρόγραμμα FHX2 (Grissino-Mayer 2001b). Το WMPI είναι το χρονικό διάστημα μεταξύ των πυρκαγιών που σχετίζεται με την πιθανότητα υπέρβασης του 50% στη μοντελοποιημένη κατανομή του Weibull όλων των μεσοδιαστημάτων της χρονοσειράς της φωτιάς. Αποτελεί καλύτερη εκτίμηση

της κεντρικής τάσης της ασύμμετρης κατανομής (skewed distribution), που είναι περισσότερο τυπική της κατανομής των διαστημάτων μεταξύ των πυρκαγιών (Grissino-Mayer 1999). Το MFI και το WMPI θα είναι ίδια σε περίπτωση που τα διαστήματα μεταξύ διαδοχικών πυρκαγιών εμφανίζουν κανονική κατανομή. Στην πραγματικότητα όμως τα δεδομένα παρουσιάζουν, συνήθως, θετική ασύμμετρη κατανομή (positively skewed), καθώς δεν υπάρχει ανώτερο όριο στο διάστημα μεταξύ δύο διαδοχικών πυρκαγιών, ενώ το 1 έτος είναι το χαμηλότερο δυνατό μεσοδιάστημα (Brown et al. 1999).

Τα δεδομένα ελέγχθηκαν επίσης για την εύρεση πιθανής χωρικής διαφοροποίησης μεταξύ του Βόρειου και του Νότιου τμήματος της περιοχής μελέτης. Για την εύρεση πιθανών χρονικών αλλαγών στο καθεστώς της φωτιάς, η περίοδος της ανάλυσης χωρίστηκε σε δύο διακριτές, μη αλληλεπικαλυπτόμενες περιόδους: 1) Από το 1845 μέχρι τον Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο (1845-1945), που αποτελεί μια περίοδο με σημαντική ανθρώπινη παρουσία στην περιοχή και έναν αυξανόμενο αριθμό μαχών στην οροσειρά του Ταϋγέτου, ιδίως κατά τη διάρκεια του Δευτέρου Παγκοσμίου Πολέμου (Αντωνακάκης 2006) και 2) τα πιο πρόσφατα έτη (1946-2010), περίοδος που αντιστοιχεί στο ξεκίνημα της σύγχρονης ιστορίας της Ελλάδας, με την σταδιακή εμφάνιση και λειτουργία των Δασαρχείων, αλλά και τις αλλαγές στις χρήσεις γης που σχετίζονται με την εγκατάλειψη της ορεινής γεωργίας και τη σταδιακή δασοκάλυψη των εγκαταλελειμμένων χωραφιών (Koutsias et al. 2012).

Για την ανάλυση των χωρικών και χρονικών προτύπων υπολογίστηκαν το MFI και το WMPI, χρησιμοποιώντας όλες τις πυρκαγιές, καθώς και τις μεγαλύτερες μόνο πυρκαγιές, όπως αυτές προέκυψαν μετά την εφαρμογή του φίλτρου του 25%. Για την εύρεση πιθανών αλλαγών στο χρονικό πρότυπο του ποσοστού των καμένων εκτάσεων εφαρμόστηκε η ανάλυση Mann-Whitney στο στατιστικό πακέτο STATISTICA (Statsoft Inc. v7).

Για τα περιστατικά των μεγαλύτερων πυρκαγιών (φίλτρο 25%) δημιουργήθηκαν χάρτες εκτιμώμενης καμένης έκτασης, μέσω της ανάλυσης εγγύτητας (Thiessen polygons). Τα δένδρα καταγραφείς για κάθε περιστατικό ταξινομούνταν ως «καμένα» ή «μη καμένα», με βάση την ανάλυση των σημαδιών φωτιάς. Ο χαρακτηρισμός της έκτασης ως «καμένη» ή «μη καμένη» γινόταν με βάση τον εκάστοτε πλησιέστερο καταγραφέα. Η επιλογή των πολυγώνων Thiessen έγινε επειδή καθιστούν δυνατό το σχεδιασμό της έκτασης μιας πυρκαγιάς, μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ποσοτικές αναλύσεις, ενώ ταυτόχρονα απαιτούν περιορισμένη παραμετροποίηση και μειώνουν τα υποκειμενικά κριτήρια του χρήστη (Farris et al. 2010).

Τέλος, για τη διερεύνηση της σχέσης μεταξύ των κλιματικών διακυμάνσεων και της εμφάνισης πυρκαγιών χρησιμοποιήθηκε η ανάλυση της επαλληλίας των εποχών (SEA) στο πρόγραμμα FHx2 (Grissino-Mayer 2001b). Σε μελέτες ανασύστασης της ιστορίας της φωτιάς η SEA χρησιμοποιείται για να αναλυθεί η

επίδραση του κλίματος στην εμφάνιση των πυρκαγιών στο τρέχον έτος της κάθε πυρκαγιάς, στα προηγούμενα και στα επόμενα έτη. Παρότι οι κλιματικές συνθήκες των ετών $t+1$, $t+2$ κλπ δεν ασκούν επιρροή στην εκδήλωση μιας πυρκαγιάς στο έτος t , η εν λόγω ανάλυση επιτρέπει τον εντοπισμό συγκεκριμένων προτύπων του κλίματος στα χρόνια που προηγούνται ή έπονται των πυρκαγιών. Για τη διεξαγωγή της ανάλυσης των πυρκαγιών απαιτούνται δύο παράμετροι: 1) τα έτη με πυρκαγιές και 2) μία δακτυλιοχρονοσειρά που εκτείνει το μήκος της επιθυμούμενης περιόδου και χρησιμοποιείται ως ανακατασκευή του κλίματος ή κλιματικοί δείκτες που έχουν προκύψει από ετήσιους δακτυλίους αύξησης (Grissino-Mayer 2001b). Στην παρούσα έρευνα για τη διεξαγωγή της SEA χρησιμοποιήθηκε η τοπική χρονοσειρά που έχει προκύψει από άτομα *Pinus nigra* στην περιοχή του Ταϋγέτου (Kuniholm and Groneman 2012), καθώς και οι χρονοσειρές ανασύστασης της βροχόπτωσης και της θερμοκρασίας που προέκυψαν από το πρότυπο των ετήσιων δακτυλίων αύξησης από άτομα Μαύρης πεύκης και Κεφαλληνιακής ελάτης (Αγγελονίδη 2012, Sarris et al. 2013). Στην SEA υπολογίστηκε ο μέσος όρος των τιμών του κλίματος όλων των ετών με περιστατικά πυρκαγιών, καθώς και των ετών που αντιστοιχούσαν στις μεγαλύτερες πυρκαγιές (φίλτρο 25%) και συγκρίθηκε με το μέσο όρο των τιμών του κλίματος σε ένα παράθυρο που αντιστοιχούσε στα 6 προγενέστερα και στα 4 επόμενα της πυρκαγιάς έτη (Skinner et al. 2008, Fulé et al. 2009). Στην ανάλυση που γίνεται μέσω του FHX2 χρησιμοποιείται η μέθοδος Bootstrap προκειμένου να αναπτυχθούν διαστήματα εμπιστοσύνης (Confidence Intervals-CI) του 95%, του 99% και του 99.9%.

3.3 Αποτελέσματα

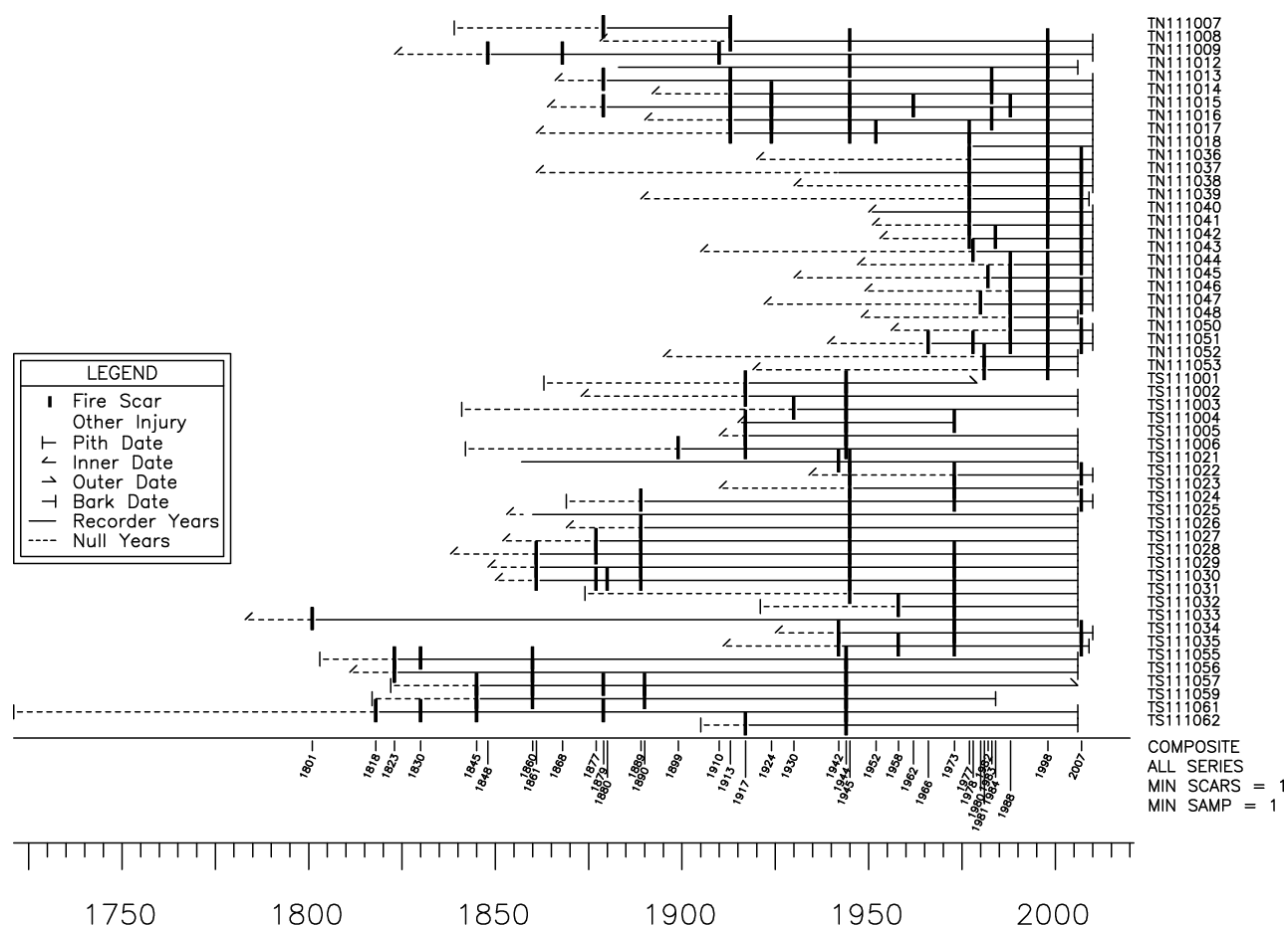
3.3.1 Περιστατικά πυρκαγιών

Κατέστη δυνατό να γίνει διασταυρούμενη χρονολόγηση σε 54 δένδρα (87%), τα οποία και ήταν ισομερώς κατανεμημένα στο Βόρειο και στο Νότιο τμήμα της περιοχής μελέτης (27 σε κάθε τμήμα). Στα δείγματα αυτά προσδιορίστηκαν οι ημερομηνίες των πυρκαγιών. Η ανασύσταση του ιστορικού της φωτιάς καλύπτει περίοδο 290 ετών (1721-2010). Στην εν λόγω περίοδο εντοπίστηκαν 173 σημάδια φωτιάς, τα οποία αντιστοιχούσαν σε 38 έτη πυρκαγιών. Εντοπίστηκαν ακόμα 12 σημάδια, τα οποία αφορούσαν σε άλλες πληγές.

Το παλαιότερο περιστατικό πυρκαγιάς εντοπίστηκε το 1801, ενώ κατά τα έτη 1823 και 1830 σημειώνονται οι πρώτες πυρκαγιές που καταγράφονται σε περισσότερα από ένα δείγματα. Για την περαιτέρω ανάλυση του καθεστώτος της φωτιάς λήφθηκε υπόψη το διάστημα στο οποίο ο αριθμός των δειγμάτων θεωρείται ικανοποιητικός, όπου δηλαδή είχαμε τουλάχιστον το 10% του συνολικού αριθμού των δένδρων και έναν ελάχιστο αριθμό από 6 δένδρα καταγραφείς. Το διάστημα αυτό αντιστοιχεί στην περίοδο 1845-2010 (**Διάγραμμα 3.1**).

Η σύγκριση των αποτελεσμάτων, που προέκυψαν από την ανάλυση των σημαδιών φωτιάς, με τα διαθέσιμα δεδομένα από το Δασαρχείο Καλαμάτας απέδειξε ότι τα 3 μεγαλύτερα περιστατικά πυρκαγιάς των τελευταίων 33 ετών, που έκαψαν έκταση μεγαλύτερη των 100 ha, ήτοι τα έτη: 1977, 1998 και 2007, προσδιορίστηκαν σωστά.

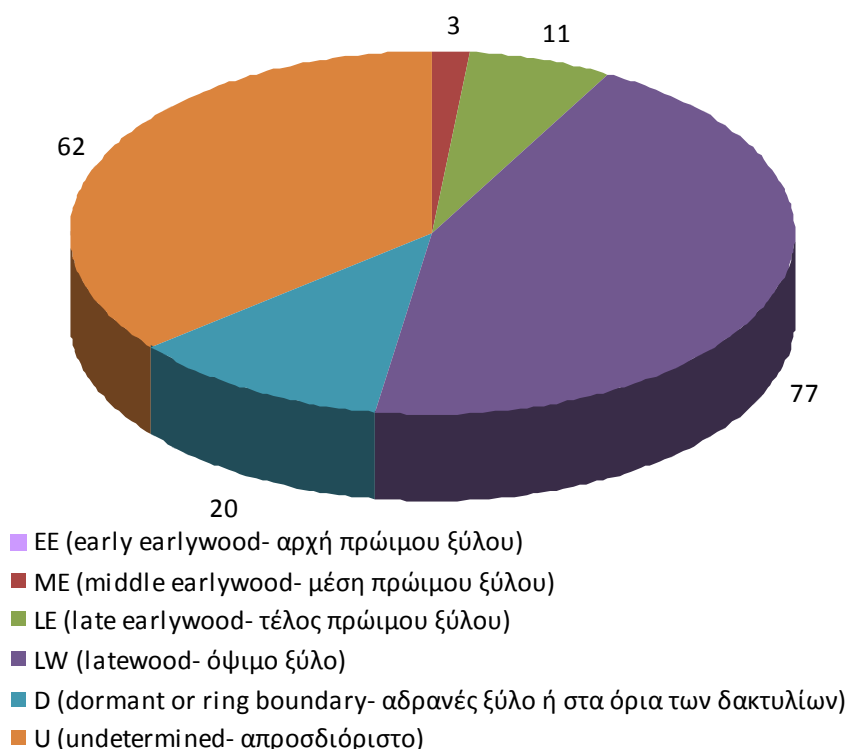
3. Ανασύσταση του ιστορικού της φωτιάς



Διάγραμμα 3.1 Ιστορικό της φωτιάς στην περιοχή μελέτης. Στον άξονα γ απεικονίζονται τα δένδρα καταγραφείς: με TNi σημειώνονται τα δένδρα του Βόρειου τμήματος και με TSi τα δένδρα του Νότιου τμήματος. Στον μικρό άξονα χ σημειώνονται τα έτη των πυρκαγιών. Οι κάθετες ράβδοι αντιστοιχούν στις ημερομηνίες των περιστατικών πυρκαγιών που καταγράφονται σε κάθε δένδρο. Οι συμπαγείς οριζόντιες γραμμές αντιστοιχούν στην περίοδο όπου το κάθε δένδρο είναι καταγραφέας, ενώ οι διακεκομμένες οριζόντιες γραμμές αντιστοιχούν στην περίοδο πριν τη δημιουργία του πρώτου σημαδιού, όπου το δένδρο δεν καταγράφει πυρκαγιές. Το σύμβολο I— στην αρχή της κάθε οριζόντιας γραμμής-κάθε δένδρου- σημαίνει ότι ο πρώτος δακτύλιος του δείγματος αντιστοιχεί στο κέντρο (εντερώνη), ενώ το σύμβολο /— σημαίνει ότι ο πρώτος δακτύλιος του δείγματος αντιστοιχεί σε εσωτερικό δακτύλιο. Αντίστοιχα, το σύμβολο —I στο τέλος κάθε οριζόντιας γραμμής-κάθε δένδρου- σημαίνει ότι ο τελευταίος δακτύλιος αντιστοιχεί στο φλοιό, ενώ το σύμβολο —\ σημαίνει ότι ο τελευταίος δακτύλιος που μετρήθηκε δεν είναι ο τελευταίος δακτύλιος του δένδρου.

3.3.2 Εποχή των πυρκαγιών

Η εποχικότητα προσδιορίστηκε για το 64% των σημαδιών φωτιάς. Για τα υπόλοιπα, παρότι μπορούσε να προσδιοριστεί το έτος, η θέση των σημαδιών εντός των δακτυλίων ήταν ασαφής, εξαιτίας της αποσύνθεσης ή άλλης φυσικής φθοράς στην εγγύτερη περιοχή τους. Η πλειονότητα των σημαδιών εντοπίστηκε την περίοδο καλοκαιριού-φθινοπώρου, με το 97% των σημαδιών να εντοπίζονται στο όψιμο ξύλο (latewood), στο τέλος του πρώιμου ξύλου (late earlywood) ή στα όρια μεταξύ δύο διαδοχικών δακτυλίων (dormant). Το 69% των σημαδιών εντοπίστηκαν στο όψιμο ξύλο. Τα δεδομένα του Δασαρχείου Καλαμάτας, όσον αφορά στην εποχή εκδήλωσης των πυρκαγιών, είναι ανεπαρκή. Ωστόσο, το 60% των καταγεγραμμένων πυρκαγιών αφορούν στο τέλος της θερινής περιόδου (Ιούλιος- Αύγουστος).



Διάγραμμα 3.2 Εποχικότητα των σημαδιών φωτιάς. Σημειώνεται και ο αριθμός των σημαδιών ανά περίοδο.

3.3.3 Συχνότητα της φωτιάς

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων 165 ετών (1845-2010) εντοπίστηκαν 34 περιστατικά πυρκαγιών στο σύνολο της περιοχής μελέτης που καλύπτεται από δάση Μαύρης πεύκης (3370 ha), με το διάστημα μεταξύ διαδοχικών πυρκαγιών να κυμαίνεται από 1 έως 12 έτη. Με το φίλτρο του 25% προέκυψαν 11 μεγάλες πυρκαγιές, με το διάστημα μεταξύ των πυρκαγιών να κυμαίνεται από 1 έως 31 έτη. Σε επίπεδο ατόμου, το μέσο διάστημα μεταξύ διαδοχικών πυρκαγιών ήταν 29,5 έτη και κυμαινόταν από 8 έως 103 έτη.

Στον ακόλουθο Πίνακα παρουσιάζονται το μεσοδιάστημα μεταξύ των πυρκαγιών (MFI), με το 95% διάστημα εμπιστοσύνης (95% CI) με βάση τη μέθοδο Bootstrap, και το μέσο πιθανό διάστημα του Weibull (WMPI), για τα διάφορα τμήματα της περιοχής μελέτης και τις επιμέρους χρονικές περιόδους, όπως αυτά υπολογίστηκαν στο στατιστικό πακέτο R.

Πίνακας 3.2 Εκτίμηση της συχνότητας της φωτιάς στα δάση Μαύρης πεύκης στην περιοχή του Ταυγέτου. Το MFI υπολογίστηκε για το σύνολο της περιοχής μελέτης, καθώς και για το Βόρειο και Νότιο τμήμα της, για την περίοδο ανάλυσης 165 ετών (1845-2010), αλλά και για τις δύο διακριτές, μη αλληλεπικαλυπτόμενες περιόδους: 1845-1945 και 1946-2010. Το MFI και το 95% διάστημα εμπιστοσύνης υπολογίστηκαν με τη χρήση της bootstrap αναδειγματοληψίας (resampling). Παρουσιάζεται επίσης το μέσο πιθανό διάστημα του Weibull (WMPI) και η τυπική απόκλιση. Το μέγεθος του δείγματος (n) είναι 54 δένδρα- καταγραφείς για το σύνολο της περιοχής μελέτης (n=27 για το Βόρειο τμήμα και n=27 για το Νότιο τμήμα).

Περιοχή	Περίοδος	Αριθμός διαστημάτων μεταξύ πυρκαγιών	MFI boot ^a	Διάστημα εμπιστοσύνης Bootstrap		WMPI (±SD) ^b
				Κατώτερο όριο	Ανώτερο όριο	
Χωρίς φίλτρο						
Σύνολο περιοχής μελέτης	1845-2010	33	4.9	3.7	6.1	4.1±3.7
Βόρειο τμήμα		18	8.4	5.0	12.3	5.9±8.2
Νότιο τμήμα		16	10.1	6.1	14.6	7.2±9.7
Σύνολο περιοχής μελέτης	1845-1945	18	5.6	3.8	7.3	4.6±4.1
Βόρειο τμήμα		6	8.4	9.0	23.8	14.9±9.2
Νότιο τμήμα		13	7.7	4.2	11.1	5.5±7.4
Σύνολο περιοχής μελέτης	1946-2010	14	4.1	2.7	5.7	3.5±3.0
Βόρειο τμήμα		12	4.8	2.7	6.9	3.7±4.1
Νότιο τμήμα		2	20.7	13.0	34.0	20.1±9.3

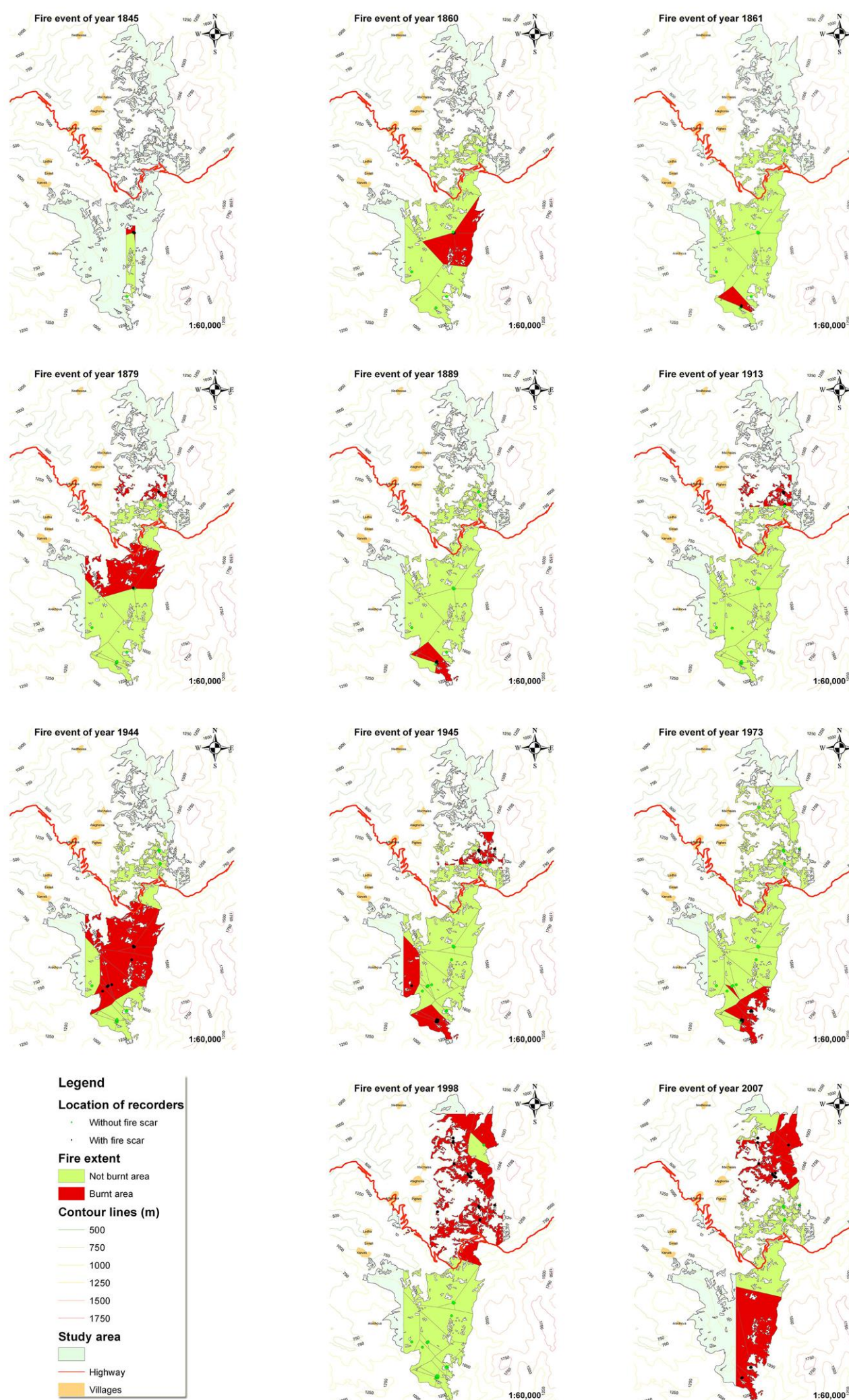
Περιοχή	Περίοδος	Αριθμός διαστημάτων μεταξύ πυρκαγιών	MFI boot ^a	Διάστημα εμπιστοσύνης Bootstrap		WMPI (±SD) ^b
				Κατώτερο όριο	Ανώτερο όριο	
Φίλτρο 25%						
Σύνολο περιοχής μελέτης	1845-2010	10	16.2	9.9	22.4	13.0±12.4
Βόρειο τμήμα		4	32.0	15.3	47.8	30.4±15.6
Νότιο τμήμα		8	20.3	9.3	32.8	13.7±20.9
Σύνολο περιοχής μελέτης	1845-1945	7	14.3	6.7	21.9	10.4±13.3
Βόρειο τμήμα		2	33.0	31.0	34.9	33.2±1.1
Νότιο τμήμα		6	16.7	4.8	33.2	9.5±20.8
Σύνολο περιοχής μελέτης	1946-2010	2	20.7	9.1	32.2	20.5±7.8
Βόρειο τμήμα		1	31.0	9.0	53.0	25.7±23.2
Νότιο τμήμα		1	31.0	25.1	36.9	31.4±3.1

^a. Μεσοδιάστημα μεταξύ των πυρκαγιών (Mean fire interval) με χρήση της bootstrap αναδειγματοληψίας (resampling)

^b. Μέσο πιθανό διάστημα του Weibull (Weibull median probability interval) με την πιθανότητα υπέρβασης του 50% σε έτη και τυπική απόκλιση (standard deviation).

3.3.4 Εκδήλωση πυρκαγιών και έκταση

Οι δύο τελευταίες πυρκαγιές (2007 και 1998) σημάδεψαν το 80 και 50% των αντίστοιχα διαθέσιμων δένδρων καταγραφών και αποτελούν τα μεγαλύτερα περιστατικά πυρκαγιές στην περιοχή μελέτης. Η διάταξη των δένδρων καταγραφών, που φέρουν σημάδι φωτιάς στο χώρο και η εκτιμώμενη έκταση της πυρκαγιάς, όπως αυτή προκύπτει από τη σχετική τους θέση (βλ. **Εικόνα 3.16**) επιβεβαιώνουν ότι η πυρκαγιά του 2007 αποτελεί το μεγαλύτερο περιστατικό που έχει καταγραφεί εντός των ορίων της περιοχής μελέτης (κατέκαψε το 84% της περιοχής μελέτης για την οποία είχαμε δεδομένα). Οι δύο πυρκαγιές του 19^{ου} αιώνα, που σημάδεψαν το μεγαλύτερο αριθμό δένδρων, είναι το 1845 και το 1860 (50% και 44% αντίστοιχα) (βλ. **Πίνακα 3.3**). Ωστόσο, και τα δύο αυτά περιστατικά καταγράφηκαν σε γειτονικά δένδρα. Με βάση την ανάλυση εγγύτητας (Thiessen polygons), το 1879 αποτελεί το πιο εκτεταμένο περιστατικό πυρκαγιές του 19^{ου} αιώνα, λόγω του γεγονότος ότι τα δένδρα καταγραφείς ήταν περισσότερα διασκορπισμένα στο χώρο (βλ. **Εικόνα 3.16**). Οι πυρκαγιές των ετών 1944 και 1945 μπορούν επίσης να θεωρηθούν μεγάλες πυρκαγιές. Ωστόσο, είναι εξαιρετικά πιθανό να σχετίζονται με τον αυξημένο αριθμό μαχών που έλαβαν χώρα στην οροσειρά, κατά τη διάρκεια και μετά το τέλος του 2^{ου} Παγκοσμίου Πολέμου.



Εικόνα 3.16 Απεικόνιση των τμημάτων της περιοχής που κάηκαν από τις μεγαλύτερες πυρκαγιές (φίλτρο 25%) για τη χρονική περίοδο 1845- 2007, με βάση τα δεδομένα που προέκυψαν από την ανάλυση των σημαδιών φωτιάς. Με κόκκινο χρώμα απεικονίζονται οι καμένες εκτάσεις που βρίσκονται πλησίον των δένδρων καταγραφών που έχουν επηρεαστεί από την κάθε πυρκαγιά (μαύρες κουκίδες), όπως αυτές προέκυψαν από τη χρήση των πολυγώνων Thiessen. Στο χάρτη απεικονίζονται επίσης τα τοπογραφικά χαρακτηριστικά (ισοϋψείς ανά 250 m), καθώς και οι υφιστάμενες ανθρώπινες υποδομές (χωριά και κεντρικοί δρόμοι).

Πίνακας 3.3 Τα έντεκα (11) μεγαλύτερα περιστατικά πυρκαγιών (φίλτρο του 25%) στην περιοχή μελέτης κατά τη διάρκεια των 165 ετών ανάλυσης (1845-2010). Το μέγεθος του δείγματος (n) είναι 54 δένδρα- καταγραφείς.

Έτος	Συνολικός αριθμός σημαδιών	Αριθμός δένδρων καταγραφέων	Ποσοστό δένδρων με σημάδι φωτιάς	Αριθμός διαστημάτων μεταξύ πυρκαγιών	Ποσοστό καμένης έκτασης ^a
1845	3	6	50		12
1860	4	9	44	15	21
1861	3	12	25	1	5
1879	5	16	31	18	32
1889	6	19	32	10	7
1913	7	24	29	24	6
1944	12	32	38	31	58
1945	17	35	49	1	23
1973	12	38	32	28	10
1998	25	50	50	25	36
2007	40	50	80	9	84

^a Αντιπροσωπεύει το ποσοστό της καμένης έκτασης κάθε περιστατικού πυρκαγιάς για το τμήμα της περιοχής μελέτης για το οποίο έχουμε δεδομένα, με βάση την ανάλυση των Thiessen polygons.

3.3.5 Χωρικά και χρονικά πρότυπα

Μεταξύ του Βόρειου και του Νότιου τμήματος της περιοχής μελέτης δεν βρέθηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές όσον αφορά στο διάστημα μεταξύ των πυρκαγιών ή στο ποσοστό των δένδρων καταγραφέων με σημάδια φωτιάς, για την περίοδο ανάλυσης των 165 ετών (1845-2010) (βλ. **Πίνακα 3.2**). Οι χρονοσειρές της φωτιάς των δύο τμημάτων της περιοχής μελέτης ήταν στατιστικά ανεξάρτητες (δεν υπήρχε συγχρονισμός των πυρκαγιών του Βόρειου και του Νότιου τμήματος), τόσο για το σύνολο των πυρκαγιών, όσο και για τα περιστατικά που απομονώθηκαν με την εφαρμογή του φίλτρου του 25%. Μόνο τρεις (3) πυρκαγιές έκαψαν ταυτόχρονα και τα δύο τμήματα της περιοχής μελέτης: το 1879, το 1945 και το 2007 (βλ. **Πίνακα 3.2** και **Εικόνα 3.16**).

Συγκρίνοντας τις δύο διακριτές, μη αλληλεπικαλυπτόμενες, περιόδους από το 1845 μέχρι το τέλος του 2^{ου} Παγκοσμίου Πολέμου (1845-1945) και τα πιο πρόσφατα έτη (1946-2010), δεν βρέθηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές, ούτε για όλες τις πυρκαγιές, ούτε για τις μεγαλύτερες πυρκαγιές (φίλτρο του 25%) όσον αφορά στο μεσοδιάστημα μεταξύ των πυρκαγιών ή στο ποσοστό των δένδρων με σημάδι φωτιάς.

Ακολουθώντας την ίδια ανάλυση για το Βόρειο και το Νότιο τμήμα της περιοχής, το MFI για όλες τις πυρκαγιές βρέθηκε να είναι στατιστικώς σημαντικά διαφορετικό για τα πιο πρόσφατα έτη (1946-2010), με υψηλότερες τιμές MFI στο Νότιο τμήμα (βλ. **Πίνακα 3.2**). Στη διάρκεια των τελευταίων 34 ετών, μικρές πυρκαγιές (8 έτη

πυρκαγιάς) καταγράφηκαν στο Βόρειο τμήμα, καθώς και η μεγάλη πυρκαγιά του 1998. Αντίθετα, το Νότιο τμήμα δεν είχε καεί από το 1973, με ένα διάστημα 34 ετών δίχως πυρκαγιές, από το 1973 έως το 2007.

Οι διαφορές που παρατηρούνται μεταξύ του Βόρειου και του Νότιου τμήματος για τις περιόδους 1845-1945 και 1946-2010 μετά την εφαρμογή του φίλτρου του 25%, δεν αναλύθηκαν περαιτέρω λόγω του μικρού αριθμού δειγμάτων.

Το μέσο ποσοστό της καμένης έκτασης ανά έτος πυρκαγιάς ήταν 25%. Με την εξαίρεση του 1879 στο 19^ο αιώνα, τα έτη πυρκαγιών που ξεπερνούν το μέσο ποσοστό καμένης έκτασης ήταν το 1944, το 1998 και το 2007, με το 2007 να αντιστοιχεί στο μεγαλύτερο ποσοστό καμένης έκτασης. Μάλιστα, από το 1944 παρατηρείται μια τάση αύξησης του ποσοστού της καμένης έκτασης (βλ. **Πίνακα 3.3**), η οποία και είναι στατιστικώς σημαντική (Mann-Whitney U= 4.0, p=0.045).

3.3.6 Αλληλεπίδραση κλίματος- πυρκαγιών

Η ανάλυση της επαλληλίας των εποχών (SEA), μέσω της οποίας εξετάζεται αν υπάρχει ένα σταθερό πρότυπο στη σχέση κλίματος- πυρκαγιών δεν έδειξε στατιστικώς σημαντική συσχέτιση μεταξύ του κλίματος και των ετών εκδήλωσης πυρκαγιών, ούτε για το σύνολο των πυρκαγιών, ούτε για τις μεγαλύτερες πυρκαγιές (φίλτρο του 25%). Με τη χρήση της μεθόδου bootstrap αναδειγματοληψίας (resampling) για τις μεγαλύτερες πυρκαγιές παρατηρούνται ελαφρώς χαμηλότερες τιμές των κλιματικών δεικτών για τα 2 έτη που προηγούνται του έτους των πυρκαγιών (t-2 και t-1), οι οποίες όμως επίσης δεν είναι στατιστικώς σημαντικές (βλ. **Παράρτημα V**).

3.4 Συζήτηση

Τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας συνεισφέρουν στα περιορισμένα δεδομένα που υπάρχουν (Fulé et al. 2008, Touchan et al. 2012) ως προς την ανασύσταση του ιστορικού καθεστώτος της φωτιάς, μέσω της ανάλυσης των σημαδιών φωτιάς, για την περιοχή της Μεσογειακής λεκάνης. Σε προηγούμενη μελέτη ανασύστασης της φωτιάς σε δάση Μαύρης πεύκης στην Ισπανία (Fulé et al. 2008) το μεγαλύτερο διάστημα χωρίς πυρκαγιά (fire-free interval) ήταν ίσο με 57 έτη, ενώ καταγράφηκαν 11 περιστατικά πυρκαγιάς στα 172 χρόνια ανάλυσης. Στην εργασία των Touchan et al. (2012) στη Βάλια Κάλντα υπήρχαν μόλις 8 δείγματα με σημάδια φωτιάς από μία συστάδα Μαύρης πεύκης, έκτασης 4 ha, με αποτέλεσμα το μέγεθος του δείγματος να είναι πολύ μικρό για την ασφαλή εξαγωγή συμπερασμάτων όσον αφορά στο διάστημα μεταξύ των πυρκαγιών. Ωστόσο, στην εν λόγω εργασία τεκμηριώνεται η παρουσία ερπουσών πυρκαγιών για περισσότερους από 7 αιώνες.

Στο πλαίσιο της παρούσας έρευνας και σε περίοδο ανάλυσης 165 ετών, εντοπίστηκαν 34 περιστατικά πυρκαγιάς. Το μεσοδιάστημα μεταξύ των πυρκαγιών για τη συνολική έκταση της περιοχής μελέτης, δηλαδή για τα 3.370 ha Μαύρης πεύκης στην περιοχή Ταϋγέτου, ήταν 4,9 έτη, ενώ το αντίστοιχο διάστημα για τις μεγαλύτερες πυρκαγιές (φίλτρο του 25%) ήταν 16,2 έτη. Σε επίπεδο ατόμου, το αντίστοιχο διάστημα βρέθηκε ίσο με 29,5 έτη. Το εύρος του μεσοδιαστήματος που καταγράφηκε κατατάσσει τα οικοσυστήματα Μαύρης πεύκης στην κατηγορία των “Predictable stand-thinning fire», όπου σύμφωνα με τους Keeley and Zedler (1998) περιλαμβάνονται τα οικοσυστήματα που χαρακτηρίζονται από αυξημένη παραγωγή βιομάζας και συχνή παρουσία ερπουσών πυρκαγιών, με πιθανή την κατά τόπους εκδήλωση επικόρυφων πυρκαγιών, οι οποίες τελικά ευνοούν την αραιώση της συστάδας.

Πλήθος δεδομένων για την ανασύσταση της ιστορίας της φωτιάς μέσω της ανάλυσης των σημαδιών φωτιάς υπάρχουν, κυρίως, από τη Βόρεια και τη Νότια Αμερική (Falk et al. 2011). Μεταξύ των καλύτερα μελετημένων ειδών είναι το *Pinus ponderosa* (Fulé et al. 1997; Brown et al. 1999; Van Horne and Fulé 2006 μεταξύ άλλων), το οποίο παρουσιάζει αρκετά παρόμοια χαρακτηριστικά με την *Pinus nigra*. Για παράδειγμα, όπως στην *P. nigra*, τα ενήλικα ώριμα άτομα της *Pinus ponderosa* είναι καλά προσαρμοσμένα στις έρπουσες πυρκαγιές, λόγω του παχέος φλοιού και της ψηλής κόμης τους (Brown and Wu 2005). Το ιστορικό καθεστώς της φωτιάς για το σύνολο των πυρκαγιών στο όρος Ταϋγέτος, με το μεσοδιάστημα μεταξύ των πυρκαγιών να κυμαίνεται στα 5-16 έτη, είναι παρόμοιο-αν και κάπως μεγαλύτερο-με αυτά που έχουν βρεθεί για τα δάση *Pinus ponderosa* αντίστοιχης έκτασης (3.7 έτη: Fulé et al. 1997, 1-10 έτη: Brown et al. 1999, 2.2 έτη: Farris et al. 2010).

Η πλειονότητα των σημαδιών φωτιάς εντοπίστηκε την περίοδο καλοκαιριού-φθινοπώρου, όπως έχει αναφερθεί και για άλλες περιοχές με Μεσογειακό κλίμα (Stephens et al. 2003). Τα αποτελέσματά αυτά είναι σε συμφωνία με τους Touchan

et al. (2012), οι οποίοι βρήκαν ότι σχεδόν όλες οι πυρκαγιές σε μεγάλης ηλικίας δάσος Μαύρης πεύκης στη Βόρεια Ελλάδα έλαβαν χώρα κατά τη διάρκεια της ενεργού περιόδου αύξησης των δέντρων, με τα περισσότερα σημάδια να εντοπίζονται από τη μέση του πρώιμου ξύλου έως και το όψιμο ξύλο. Σε εθνικό επίπεδο, οι πυρκαγιές Ιουλίου - Σεπτεμβρίου αντιστοιχούν στο 85% της συνολικά καμένης έκτασης (Τσαγκάρη και συν. 2011). Η θέση των σημαδιών φωτιάς εντός των δακτυλίων ήταν παρόμοια καθ' όλη τη διάρκεια της περιόδου 1801-2010, γεγονός που μας οδηγεί στην υπόθεση ότι η εποχή εκδήλωσης των πυρκαγιών δεν έχει μεταβληθεί σημαντικά κατά τη διάρκεια των τελευταίων 210 ετών, με τις περισσότερες πυρκαγιές να εμφανίζονται κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου και ειδικά προς το τέλος του καλοκαιριού.

Κατά τη διάρκεια της περιόδου ανάλυσης δεν διέφεραν σημαντικά ούτε η συχνότητα των πυρκαγιών, ούτε το ποσοστό των σημαδεμένων δένδρων. Το αποτέλεσμα αυτό μπορεί να φαντάζει περίεργο σε άλλες περιοχές όπου, κατά τη διάρκεια του 20^{ου} αιώνα, παρατηρείται σημαντική μείωση της εμφάνισης πυρκαγιών, εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής και, δευτερευόντως, των αλλαγών χρήσης γης και των προσπάθειών κατάσβεσης (Morgan et al. 2008, Girardin et al. 2012). Ωστόσο, στις Ευρωπαϊκές Μεσογειακές χώρες οι πυρκαγιές εμφανίζουν αυξητική τάση από τις αρχές της δεκαετίας του '70 (Pausas and Fernández-Muñoz 2012, Koutsias et al. 2013). Ειδικά στις ορεινές περιοχές, η εγκατάλειψη των καλλιεργειών, η μείωση των κτηνοτροφικών δραστηριοτήτων, καθώς και η εγκατάλειψη των παραδοσιακών πρακτικών εκμετάλλευσης της ξυλείας και των δασικών πόρων, θεωρούνται σημαντικοί παράγοντες που έχουν συμβάλει στην αύξηση της επικινδυνότητας εκδήλωσης πυρκαγιών, λόγω της συνεπακόλουθης αύξησης της διαθέσιμης βιομάζας και του πυκνότερου υπορόφου (Moreira et al. 2011, Koutsias et al. 2012). Η λήψη πολιτικών αποφάσεων και η βελτίωση των μέσων και των δυνατοτήτων πυρόσβεσης έχουν οδηγήσει σε μείωση του συνολικού αριθμού των πυρκαγιών. Ωστόσο, η συμβολή των μεγάλων πυρκαγιών στα Μεσογειακά δάση παραμένει αυξημένη, γεγονός που πιθανότατα οφείλεται στην αύξηση της διαθέσιμης βιομάζας που προέρχεται από τις αλλαγές χρήσης γης, καθώς και στις πρόσφατες παρατεταμένες ξηρασίες και στις θερμότερες περιόδους (Pausas and Fernández-Muñoz 2012). Κατά συνέπεια, τις τελευταίες δεκαετίες, η συνολικά καμένη έκταση έχει αυξηθεί σημαντικά στην Ελλάδα, όπως και σε άλλες Ευρω-μεσογειακές χώρες (Díaz-Delgado et al. 2004, Moreira et al. 2011). Παρόμοια φαίνεται να είναι η περίπτωση και στον ορεινό όγκο του Ταυγέτου, με τις τελευταίες πυρκαγιές του 1998 και του 2007 να αποτελούν τα πιο εκτεταμένα περιστατικά κατά τη διάρκεια των 165 ετών ανάλυσης.

Για μια αντιπροσωπευτική ανασύσταση του ιστορικού της φωτιάς, μέσω της ανάλυσης των σημαδιών φωτιάς, θα πρέπει πρώτα να είναι κατανοητό το πώς καταγράφονται οι πυρκαγιές στο δίκτυο των θέσεων δειγματοληψίας (Farris et al. 2010). Οι μεγαλύτερες πυρκαγιές έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα να καταγραφούν, σε σύγκριση με τις μικρότερες πυρκαγιές που είναι μεν περισσότερες, αλλά επηρεάζουν πολύ μικρότερη έκταση. Το φίλτρο του 25%

χρησιμοποιείται για την απομόνωση των πυρκαγιών που είναι περισσότερο πιθανό να έχουν επηρεάσει μεγαλύτερο τμήμα της εκάστοτε περιοχής μελέτης, όπως έχει επιβεβαιωθεί σε πλήθος αντίστοιχων μελετών (Fulé et al. 1997, Stephens et al. 2003, Van Horne and Fulé 2006, Fulé et al. 2009, Farris et al. 2010). Ωστόσο, καμία από τις 9 μεγαλύτερες πυρκαγιές πριν από το 1998 δεν επηρέασε αντίστοιχο αριθμό δένδρων με αυτόν των δύο πιο πρόσφατων πυρκαγιών. Ειδικότερα, η πυρκαγιά του 2007 φαίνεται να αποτελεί το πιο εκτεταμένο περιστατικό, καλύπτοντας ουσιαστικά το σύνολο της περιοχής μελέτης. Η δριμύτητα (severity) των πρόσφατων πυρκαγιών δεν μπορεί να συγκριθεί άμεσα με τα προηγούμενα περιστατικά πυρκαγιών, λόγω της έλλειψης παλιών φωτογραφιών ή δορυφορικών εικόνων που να δείχνουν την κατάσταση του δάσους. Παρόλα αυτά, η εκτεταμένη έκταση που καλύπτεται από δάση Μαύρης πεύκης, καθώς και η παρουσία μικτών δασών με την Κεφαλληνιακή ελάτη, που όπως τα περισσότερα είδη του γένους *Abies* (Furyaev et al. 1983, Ali et al. 2008, Whitlock et al. 2008) δεν είναι προσαρμοσμένη στη φωτιά, μας επιτρέπει να υποθέσουμε ότι στο παρελθόν δεν υπήρχαν μεγάλης δριμύτητας, επικόρυφες πυρκαγιές (stand-replacing fires) στην οροσειρά του Ταυγέτου.

Με βάση τα αποτελέσματα της ανάλυσης της επαλληλίας των εποχών (SEA) δεν βρέθηκε σημαντική συσχέτιση μεταξύ κλίματος και εμφάνισης πυρκαγιών. Το αποτέλεσμα αυτό φαίνεται αρχικά αντιφατικό, δεδομένης και της θετικής συσχέτισης που έχει βρεθεί μεταξύ των πυρκαγιών και των ετήσιων ξηρασιών στην Ελλάδα, τουλάχιστον για τα τελευταία 37 χρόνια (Dimitrakopoulos et al. 2011). Παρόλα αυτά, αντίστοιχη έλλειψη συσχέτισης έχει βρεθεί και σε δάση Μαύρης πεύκης στην Ισπανία (Fulé et al. 2008). Η έλλειψη συσχέτισης μεταξύ των πυρκαγιών και του κλίματος αποδίδεται συνήθως σε καθεστώτα πυρκαγιάς που ρυθμίζονται από τον άνθρωπο (Fulé et al. 2008, Dimitrakopoulos et al. 2011). Σύμφωνα με τον Xanthopoulos (2000) στην Ελλάδα, λίγες δασικές πυρκαγιές οφείλονται σε φυσικά αίτια. Οι πυρκαγιές από κεραυνούς αντιπροσωπεύουν λιγότερο από το 3% του συνολικού αριθμού των πυρκαγιών, αν και η εξακρίβωση των αιτίων των πυρκαγιών είναι εφικτή σε λίγες μόνο περιπτώσεις (Xanthopoulos 2000, Τσαγκάρη και συν. 2011). Σύμφωνα με την εργασία των Τσαγκάρη και συν. (2011) για την περίοδο 1983-2006, το 47% των καμένων εκτάσεων έχει προέλθει από περιστατικά αγνώστων αιτίων. Ο κακόβουλος εμπρησμός ευθύνεται για το 18% των καμένων εκτάσεων, ενώ μικρότερα είναι τα αντίστοιχα ποσοστά των άλλων κατηγοριών πυρκαγιών με βάση το αίτιο εκδήλωσης. Μαρτυρίες για ανθρωπογενούς προελεύσεως πυρκαγιές εντοπίζονται από την Εποχή του Σιδήρου (2.600 π.Χ.), όταν οι κτηνοτρόφοι και οι καλλιεργητές συνήθιζαν να βάζουν φωτιές προκειμένου να μπορούν στη συνέχεια να εκμεταλλευτούν τις καμένες εκτάσεις για τη βόσκηση των ζώων ή/ και για καλλιέργεια (Papanastasis et al. 2010). Η συγκεκριμένη διαχειριστική πρακτική, παραμένει μέχρι και σήμερα αρκετά κοινή σε όλη σχεδόν τη Νότια Ευρώπη (Grove and Rackham 2001).

Περαιτέρω διερεύνηση της πιθανής σχέσης του κλίματος και των περιστατικών πυρκαγιών, για την περιοχή μελέτης, έγινε στην εργασία των Sarris et al. (2013).

Συνοπτικά, στην εργασία αυτή έγινε ανασύσταση των κλιματικών συνθηκών (βροχόπτωση και θερμοκρασία) κατά τη διάρκεια εκδήλωσης των μεγαλύτερων πυρκαγιών (φίλτρο του 25%), των τελευταίων 150 ετών. Η ανασύσταση του κλίματος έγινε μέσω των ετήσιων δακτυλίων αύξησης *Pinus nigra*, ενώ συμπληρωματικά χρησιμοποιήθηκαν ετήσιοι δακτύλιοι της *Abies cephalonica*. Τα δύο αυτά είδη αποτελούν τα κύρια δασικά είδη του όρους Ταϋγέτου, ενώ ζουν για πολλά χρόνια και σχηματίζουν καθαρούς ετήσιους δακτυλίους, που τα καθιστούν κατάλληλα για μελέτες δενδροχρονολόγησης (Schweingruber 1996, Brandes 2009). Για τη σύγκριση του κλίματος και των πυρκαγιών χρησιμοποιήθηκαν τα 10 μεγαλύτερα περιστατικά πυρκαγιών (φίλτρο του 25%) από το 1860 και ύστερα (βλ. **Πίνακα 3.3**), καθώς η χρονοσειρά που δημιουργήθηκε για την ανακατασκευή του κλίματος, με βάση τους ετήσιους δακτυλίους των δένδρων, έφθανε μέχρι τη δεκαετία του 1850.

Από τις 10 αυτές πυρκαγιές, τα περιστατικά του 1889, 1973, 1998 και 2007 μπορούν να συσχετιστούν με χαμηλές βροχοπτώσεις (βροχόπτωση Αυγούστου- Σεπτεμβρίου - P) κατά τη διάρκεια της εποχής εκδήλωσης των πυρκαγιών, ενώ τα περιστατικά πυρκαγιών του 1861, 1879, 1944, 1998 και 2007 μπορούν να συσχετιστούν με υψηλές θερμοκρασίες την εποχή εκδήλωσης των πυρκαγιών (μέγιστη θερμοκρασία Ιουλίου- Σεπτεμβρίου- T max). Συνεπώς, βασιζόμενοι μόνο στη βροχόπτωση ή μόνο στη θερμοκρασία διαφαίνεται ότι, από τις 10 μεγάλες πυρκαγιές που έχουν σημειωθεί στο όρος Ταϋγέτος, κατά τη διάρκεια των τελευταίων 150 ετών, οι επτά (1861, 1879, 1889, 1944, 1973, 1998 και 2007) μπορούν να συνδεθούν με φαινόμενα ξηρασίας στην περίοδο εκδήλωσης των πυρκαγιών. Ωστόσο, μόνο οι πυρκαγιές του 1998 και του 2007 φαίνεται να έχουν προωθηθεί από ένα συνδυασμό βροχόπτωσης κάτω του μέσου P και θερμοκρασίες υψηλότερες από τη μέση T max (Sarris et al. 2013).

Από τις πυρκαγιές που κατέκαψαν μεγαλύτερη έκταση, με βάση τα αποτελέσματα της ανάλυσης εγγύτητας (Thiessen polygons), τέσσερις (1879, 1944, 1998 και 2007) κατέκαψαν περισσότερο από το 30% της περιοχής μελέτης (βλ. **Εικόνα 3.16** και **Πίνακα 3.3**). Σύμφωνα με τους Sarris et al. (2013) αν υπάρχει πράγματι μια ισχυρή σύνδεση μεταξύ της κλιματικής ξηρασίας και της καμένης έκτασης για την περιοχή του όρους Ταϋγέτου, θα πρέπει να είναι πιο εμφανής για αυτές τις τέσσερις πυρκαγιές. Για τα έτη 1879 και 1944, η βροχόπτωση την περίοδο εκδήλωσης των πυρκαγιών ήταν εντός του κανονικού εύρους των τιμών, ενώ για τα έτη 1998 και 2007, η βροχόπτωση ήταν κάτω του κανονικού ορίου. Από την άλλη πλευρά, η μέγιστη θερμοκρασία ήταν υψηλότερη της κανονικής και για τα τέσσερα περιστατικά πυρκαγιών. Συμπεραίνεται επομένως ότι τα φαινόμενα ξηρασίας κατά τη διάρκεια της περιόδου εκδήλωσης των πυρκαγιών, είτε ως αποτέλεσμα μόνο των υψηλών θερμοκρασιών, είτε ως συνδυαστικό αποτέλεσμα υψηλών θερμοκρασιών και μειωμένης βροχόπτωσης, φαίνεται να έχουν σημαντική επίδραση στην καμένη έκταση, κατά τη διάρκεια του τελευταίου ενάμιση αιώνα.

Συμπερασματικά, το καθεστώς της φωτιάς στα δάση Μαύρης πεύκης του Ταϋγέτου, παρουσιάζει ένα σταθερό πρότυπο, με συχνή παρουσία ερπουσών πυρκαγιών, οι οποίες σημειώνονται κυρίως τους θερινούς μήνες. Σε αντίθεση με πολλά δάση με ανθεκτικά στη φωτιά πεύκα της Βόρειας Αμερικής και της Ελλάδας (Keeley 2012), όπου η μακρά περίοδος αποκλεισμού της φωτιάς υποστηρίζεται ότι έχει συμβάλει στην πρόσφατη αύξηση της έκτασης και της δριμύτητας των πυρκαγιών (για π.χ. Cocke et al. 2005, Hurteau et al. 2011, Keeley 2012), στα δάση Μαύρης πεύκης του Ταϋγέτου σημειώνονταν συχνά πυρκαγιές κατά τη διάρκεια του 20^{ου} αιώνα. Η μεγαλύτερη χρονική περίοδος χωρίς πυρκαγιές ανέρχεται σε 34 έτη και εντοπίζεται στο Νότιο τμήμα της περιοχής μελέτης, ξεκινώντας από το 1973 και μέχρι το 2007. Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με την εγκατάλειψη των παραδοσιακών πρακτικών διαχείρισης των δασών και τη δευτερογενή διαδοχή των ορεινών αγροτικών περιοχών, όπως αυτές έχουν καταγραφεί και άλλες ορεινές περιοχές της Μεσογειακής λεκάνης (Pausas and Fernández-Muñoz 2012, Koutsias et al. 2013), μπορεί να οδήγησε σε αύξηση της συσσωρευμένης βιομάζας, γεγονός που πιθανότατα ερμηνεύει γιατί η πυρκαγιά του 2007 έκαψε, κυρίως, ως επικόρυφη. Επιπρόσθετα, η εμφάνιση των πρόσφατων, μεγάλων σε έκταση, πυρκαγιών του 1998 και του 2007, φαίνεται να σχετίζεται με ακραίες συνθήκες ξηρασίας την εποχή εκδήλωσης των πυρκαγιών (Sarris et al. 2013).

Η παρούσα έρευνα παρέχει πρόσθετα αποδεικτικά στοιχεία ότι η *Pinus nigra* είναι ένα δένδρο ανθεκτικό στη φωτιά (fire-resistant tree species), με την προϋπόθεση ότι εκτίθεται σε έρπουσες πυρκαγιές, ακόμα και όταν συμβαίνουν κατ' επανάληψη. Αποκλίσεις του καθεστώτος της φωτιάς από το συγκεκριμένο πρότυπο, όπως η περίπτωση των επικόρυφων πυρκαγιών μεγάλης δριμύτητας, μπορεί να οδηγήσουν σε τοπική εξαφάνιση του είδους. Για την αποτελεσματική διαχείριση και προστασία των δασών απαιτούνται περισσότερες έρευνες όσον αφορά στη διαχείριση της καύσιμης ύλης, καθώς και στις πιθανές επιπτώσεις που δύναται να έχει η κλιματική αλλαγή, προκειμένου να προσδιοριστούν οι παράγοντες που οδηγούν στην εμφάνιση πυρκαγιών μεγαλύτερης έντασης και έκτασης. Η υλοποίηση παρόμοιων ερευνών καθίσταται ιδιαίτερα σημαντική στην περιοχή της Μεσογείου, η οποία αναμένεται να επηρεασθεί σημαντικά από την κλιματική αλλαγή (IPCC 2007, Giorgi and Lionello 2008).

4. ΜΕΤΑΠΥΡΙΚΗ ΑΝΑΓΕΝΝΗΣΗ ΜΑΥΡΗΣ ΠΕΥΚΗΣ

4.1 Εισαγωγή

Σύμφωνα με την πρόσφατη κατηγοριοποίηση του Keeley (2012) τα είδη του γένους *Pinus* μπορούν να διακριθούν σε δύο μεγάλες ομάδες. Στην πρώτη ομάδα περιλαμβάνονται τα είδη του γένους που κατανέμονται σε οικοσυστήματα όπου οι πυρκαγιές δεν είναι συνηθισμένες και μπορούν να χαρακτηρισθούν ως είδη που αποφεύγουν την πυρκαγιά (fire-avoiders). Στη δεύτερη, και πολυπληθέστερη ομάδα, περιλαμβάνονται είδη τα οποία απαντούν σε περιβάλλοντα με παρουσία πυρκαγιών και τα οποία έχουν αναπτύξει προσαρμογές απέναντι στη δράση της φωτιάς (fire-adapted pines). Οι προσαρμογές αυτές αφορούν ένα συγκεκριμένο καθεστώς φωτιάς (Pausas and Keeley 2009). Τα δύο συνηθέστερα αναγνωριζόμενα καθεστώτα φωτιάς αφορούν στις έρπουσες και τις επικόρυφες πυρκαγιές (Keeley 2012).

Η *Pinus nigra* ανήκει στη δεύτερη ομάδα, καθότι έχει αναφερθεί ως ανθεκτική στην περιοδική δράση της φωτιάς, εφόσον πρόκειται για χαμηλής έντασης, έρπουσες πυρκαγιές (Fulé et al. 2008, Touchan et al. 2012), με το μεσοδιάστημα μεταξύ των πυρκαγιών να κυμαίνεται από 30 έως 750 έτη (Leys et al. 2014). Ωστόσο, τις τελευταίες δεκαετίες παρατηρείται σημαντική τάση αύξησης των επικόρυφων πυρκαγιών, μεγάλης έντασης και έκτασης, στα δάση Μαύρης πεύκης, τόσο στο Δυτικό (Ordóñez et al. 2005, 2006, Fernandes et al. 2008), όσο και στο Ανατολικό τμήμα της Μεσογειακής λεκάνης (Kakouros and Dafis 2009, Kakouros and Chrysopolitou 2010). Το γεγονός αυτό απειλεί την κατάσταση διατήρησης των εν λόγω οικοσυστημάτων, ειδικά υπό το πρίσμα των σεναρίων κλιματικής αλλαγής, σύμφωνα με τα οποία προβλέπεται περαιτέρω αύξηση των δασικών πυρκαγιών (Moriondo et al. 2006, Giannakopoulos et al. 2009).

Με βάση τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την ανασύσταση της ιστορίας της φωτιάς, όπως αυτά παρουσιάστηκαν αναλυτικά στο Κεφάλαιο 3, το καθεστώς της φωτιάς στα δάση Μαύρης πεύκης της περιοχής μελέτης παρουσιάζει ένα σταθερό πρότυπο, με συχνή παρουσία ερπουσών πυρκαγιών, οι οποίες σημειώνονται κυρίως τους θερινούς μήνες. Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια καταγράφονται μεγάλης έντασης και έκτασης πυρκαγιές, με τις πυρκαγιές του 1998 και του 2007 να αποτελούν τα πιο εκτεταμένα περιστατικά. Από αυτά, η φωτιά του 2007 είχε συμπεριφορά επικόρυφης πυρκαγιάς.

Η μεταπυρική αναγέννηση της *Pinus nigra*, σε περιπτώσεις επικόρυφων πυρκαγιών, μεγάλης έντασης, είναι πρακτικά μηδενική (Trabaud and Campant 1991, Retana et al. 2002, Ordóñez et al. 2004, Ordóñez 2004, Pausas et al. 2008). Η *P. nigra*, σε αντίθεση με τα θερμόβια μεσογειακά είδη πεύκων, δεν σχηματίζει βραδύχωρους κώνους. Η διασπορά των σπερμάτων λαμβάνει χώρα στο τέλος του χειμώνα ή στην αρχή της άνοιξης και, αμέσως, ακολουθεί η εμφάνιση των αρτιβλάστων (Skordilis and Thanos 1997, Lanner 1998, Habrouk et al. 1999, Ordóñez and Retana 2004,

Thanos 2010). Τα σπέρματά της δεν επιβιώνουν όταν εκτεθούν στις συνθήκες που προκαλούν συνήθως οι πυρκαγιές. Σε πειράματα φύτευσης, ύστερα από προσομοιώσεις των συνθηκών της φωτιάς (Habrouk et al. 1999) βρέθηκε ότι έκθεση των σπερμάτων σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 70°C προκαλεί μείωση της φυτρωτικότητας των σπερμάτων και αυξάνει τον χρόνο που απαιτείται για να ολοκληρωθεί η διαδικασία της φύτευσης. Η μείωση αυτή είναι εντονότερη αυξανόμενης της θερμοκρασίας και της διάρκειας έκθεσης, ενώ οι πολύ υψηλές θερμοκρασίες (400°C) και η μεγάλης διάρκειας έκθεση (10-20 min) οδηγούν σε ολοκληρωτική αναστολή της φύτευσης. Οι Alvarez et al. (2007) αναφέρουν ότι τα σπέρματα της Μαύρης πεύκης δεν ανέχονται θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 110°C και διάρκεια έκθεσης 5 min. Το καλοκαίρι, όποτε και σημειώνονται τα περισσότερα περιστατικά δασικών πυρκαγιών, οι περισσότεροι κώνοι έχουν ανοίξει και έχουν διασπείρει τα σπέρματα, τα οποία βρίσκονται, κυρίως στο έδαφος, σε πρόσκαιρες εδαφικές τράπεζες σπερμάτων (transient soil seed banks) (Retana et al. 2002). Συνεπώς, τα σπέρματα αυτά, όπως και τα αρτίβλαστα, τα οποία ενδεχομένως έχουν προκύψει, καίγονται και νεκρώνονται από τη δράση της φωτιάς (Habrouk et al. 1999, Retana et al. 2012).

Δεδομένου ότι η *Pinus nigra* δεν εμφανίζει ούτε ενεργητική αναβλάστηση, είναι φυσικό η μεταπυρική αναγέννησή της να εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ύπαρξη και διαθεσιμότητα «πηγών σπερμάτων». Αυτό σημαίνει ότι η φυσική αναγέννηση των πληθυσμών Μαύρης πεύκης εξαρτάται από την επιβίωση, την παραγωγή και τη διασπορά σπερμάτων από ώριμα άτομα 'μητέρες' που βρίσκονται, είτε εντός των καμένων εκτάσεων (άκαυτες νησίδες), είτε στα όρια της άκαυτης έκτασης (άκαυτες συστάδες) (Retana et al 2002, Ordóñez and Retana 2004, Ordóñez 2004). Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τις μεγάλης έκτασης πυρκαγιές, όπου οι αποστάσεις μεταξύ των άκαυτων και των καμένων εκτάσεων είναι μεγάλες (Ordóñez 2004, Ordóñez et al. 2006). Σύμφωνα με το μοντέλο προσομοίωσης που ανέπτυξαν οι Ordóñez et al. (2006), τα χαρακτηριστικά των διαθέσιμων άκαυτων νησίδων επηρεάζουν την ταχύτητα επανεποίκισης (recolonization) των καμένων εκτάσεων.

Ωστόσο, η ύπαρξη άκαυτων συστάδων, μέσω των οποίων θα γίνει διασπορά σπερμάτων προς τις καμένες εκτάσεις, δεν εξασφαλίζει υποχρεωτικά την επιτυχή εγκατάσταση των αρτιβλάστων και την επανεποίκιση των καμένων εκτάσεων (Retana et al. 2012). Σύμφωνα με τους Trabaud and Camprant (1991) η επιβίωση και η εγκατάσταση των αρτιβλάστων Μαύρης πεύκης δεν ευνοείται στα ανοιχτά ενδιαιτήματα που δημιουργούνται από τη δράση της φωτιάς. Άλλωστε, σύμφωνα με τους Ordóñez et al (2004) η επιβίωση και η ανάπτυξη των νεαρών ατόμων είναι καλύτερη σε συνθήκες όπου δεν είναι πλήρως εκτεθειμένα στο φως (συνθήκες ημισκιάς). Επιπλέον, ο ρυθμός επανεποίκισης δύναται να διαφοροποιείται με βάση τα αβιοτικά χαρακτηριστικά των περιοχών. Σύμφωνα με τους Gracia et al. (2002) η εγκατάσταση της *P. nigra* λαμβάνει χώρα σχετικά γρήγορα στις υγρές θέσεις, ενώ ο επανεποικισμός μπορεί να καθυστερήσει, για αρκετά χρόνια, στις ξερικές θέσεις.

Άλλος σημαντικός παράγοντας που περιορίζει τη στρατολόγηση αρτιβλάστων Μαύρης πεύκης μετά τη φωτιά είναι ο διαειδικός ανταγωνισμός. Σύμφωνα με τους Trabaud and Campant (1991) η μεγάλη κάλυψη του εδάφους από πόες και θάμνους μετά τη δράση της φωτιάς με είδη όπως *Festuca spadicosa*, *Rosmarinus officinalis*, *Erica multiflora*, *Genista scorpius*, *Buxus sempervirens*, φαίνεται να μην ευνοεί τη φύτευση των σπερμάτων και την εγκατάσταση των αρτιβλάστων Μαύρης πεύκης. Αντίστοιχη άποψη εκφράζουν οι Ordóñez et al (2004), οι οποίοι αναφέρουν ότι η επιβίωση των αρτιβλάστων είναι υψηλότερη σε γυμνά εδάφη ή σε θέσεις με χαμηλές πόες, παρά τη σημαντικά υψηλότερη θερμοκρασία και τη χαμηλή υγρασία, λόγω της έλλειψης ισχυρού ανταγωνισμού. Αντίθετα, παρατηρήθηκε ότι η αναγέννηση ήταν υψηλή κάτω από μεγάλα αναβλαστάνοντα άτομα, γεγονός που ίσως φανερώνει ότι οι μεγάλοι θάμνοι πιθανώς διευκολύνουν την επιβίωση των αρτιβλάστων Μαύρης πεύκης. Με βάση έρευνες παρακολούθησης της μεταπυρικής αναγέννησης της Μαύρης πεύκης στην περιοχή του Ταϋγέτου βρέθηκε ότι σε θέσεις όπου επικρατούσαν πολλά αγρωστώδη δεν εντοπίστηκαν αρτίβλαστα. Αντίθετα, τα περισσότερα αρτίβλαστα και νεαρά άτομα εντοπίστηκαν κάτω ή κοντά σε αναβλαστάνοντα άτομα *Pteridium aquilinum*. Μάλιστα, η επιβίωση των ατόμων αυτών ήταν ιδιαίτερα υψηλή, γεγονός που μπορεί να φανερώνει ότι το είδος αυτό διευκολύνει τη φύτευση, την εγκατάσταση και την επιβίωση των αρτιβλάστων (Arianoutsou et al. 2010, Αριανούτσου και συν. 2009, Αριανούτσου και συν. 2010α, 2010β).

Επιπλέον, η θήρευση των σπερμάτων μετά τη διασπορά μπορεί να περιορίσει τη στρατολόγηση και την εγκατάσταση των αρτιβλάστων. Ως σημαντικοί θηρευτές αναφέρονται τα μυρμήγκια, τα πουλιά και τα τρωκτικά, με τη συμμετοχή του κάθε θηρευτή στη συνολική θήρευση να διαφέρει από εποχή σε εποχή (Ordóñez and Retana 2004). Η θήρευση των σπερμάτων μπορεί να περιορίσει τη στρατολόγηση και την εγκατάσταση της Μαύρης πεύκης μετά τη φωτιά, μειώνοντας τη διαθεσιμότητα των σπερμάτων, ενώ η σχετικά χαμηλή αφθονία των σπερμάτων στις καμένες εκτάσεις αναμένεται να αυξήσει την πίεση από τους θηρευτές σε αυτά που διασπείρονται από την άκρη της άκαυτης συστάδας (Ordóñez and Retana 2004). Σύμφωνα με τους Kerr et al. (2008) η θήρευση των σπερμάτων και των αρτιβλάστων από μικρά θηλαστικά, αποτελεί σημαντικό πρόβλημα για την αναγέννηση της Μαύρης πεύκης και στη Μ. Βρετανία. Στην εργασία των Thibault and Prodon (2006) αναφέρεται ότι σποροφάγα είδη πτηνών όπως η ελατοπαπαδίτσα (*Parus ater*) και ο κορσικοτσοπανάκος (*Sitta whiteheadi*) έλκονται από τους μεγάλους αριθμούς σπερμάτων που είναι διαθέσιμοι με το άνοιγμα των κώνων που προκαλείται από τις υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται κατά τη διάρκεια της φωτιάς, ενώ πλήθος ατόμων καταγράφονται την ώρα που ορισμένα κλαδιά και κορμοί ακόμα καίγονται. Σημαντική στην επιβίωση και στην ανάπτυξη των αρτιβλάστων και των φυταρίων Μαύρης πεύκης ενδέχεται να είναι και η επίδραση της βόσκησης. Για παράδειγμα, ο Τανζανοğlu (2008) παρατήρησε ότι το μέσο ύψος φυταρίων 2 ετών που είχαν βοσκηθεί ήταν μικρότερο από αυτό των ατόμων που δεν είχαν βοσκηθεί.

Η εγκατάσταση των αρτιβλάστων Μαύρης πεύκης, ξεκινάει σχεδόν αμέσως μετά τη φωτιά, αλλά υποστηρίζεται ότι σταματάει 15-20 χρόνια μετά (Gracia et al. 2002), γεγονός που φαίνεται να οφείλεται στο ότι τα αναβλαστάνοντα είδη και τα αρχικά εγκατεστημένα άτομα Μαύρης πεύκης κλείνουν την κομοστέγη και καθιστούν δύσκολη την εγκατάσταση νέων ατόμων (Ordóñez et al. 2006). Ο χρόνος που απαιτείται για την πλήρη ανάκαμψη και δημιουργία ενός νέου, ώριμου δάσους Μαύρης πεύκης υπολογίζεται σε τουλάχιστον 50 έτη και πάντοτε με την προϋπόθεση ότι υπάρχουν ώριμα άτομα-σπορείς στην περιοχή (Θάνος 2008). Ωστόσο, οι Ordóñez et al. (2006) αναφέρουν ότι ο απαιτούμενος χρόνος είναι τα 30 έτη και αντιστοιχεί στο χρόνο που απαιτείται για να κλείσει η κομοστέγη (Espelta et al. 1995) πριν δράσει ο διαειδικός και ενδοειδικός ανταγωνισμός μεταξύ των ενήλικων ατόμων (Ordóñez et al. 2006) και να επανέλθει το δάσος στην κατάσταση που ήταν πριν τη δράση της φωτιάς (Trabaud 1991, 1994).

Σκοπός της παρούσας έρευνας είναι η διερεύνηση των χωρικών προτύπων μεταπυρικής αναγέννησης της *Pinus nigra* στην περιοχή του Ταυγέτου μετά την πυρκαγιά του 2007. Κύριοι στόχοι της έρευνας είναι: (1) Η πρόβλεψη της δυνητικής φυσικής μεταπυρικής αναγέννησης της *P. nigra* στο χώρο, (2) Η διερεύνηση του ρόλου των άκαυτων συστάδων στη μεταπυρική αποκατάσταση του πληθυσμού του είδους, μέσω της διασποράς σπερμάτων και της επανεποίκισης των καμένων εκτάσεων και (3) Ο έλεγχος της επίδρασης των αβιοτικών παραμέτρων και των χαρακτηριστικών του μικροενδιαιτήματος στη μεταπυρική αναγέννηση του είδους. Η κατανόηση των χωρικών προτύπων αναγέννησης της Μαύρης πεύκης αναμένεται να έχει αυξημένη διαχειριστική σημασία, καθορίζοντας για παράδειγμα τις θέσεις στις οποίες κρίνεται απαραίτητη η εφαρμογή αναδασώσεων και λοιπών μεταπυρικών διαχειριστικών πρακτικών.

4.2 Υλικά και μέθοδοι

4.2.1 Περιοχή μελέτης

Η περιοχή μελέτης αφορά στο Δασικό Σύμπλεγμα Ταϋγέτου και συγκεκριμένα στη ζώνη των ορεινών κωνοφόρων (800 έως 1600-1700m), όπου απαντώνται αμιγή δάση Μαύρης πεύκης, δάση Κεφαλληνιακής ελάτης και μικτά δάση των δύο ειδών. Σημαντική έκταση της περιοχής επηρεάστηκε από την πυρκαγιά του 2007, ενώ κομμάτι της είχε καεί και το καλοκαίρι του 1998. Με βάση προκαταρκτικές έρευνες (Αριανούτσου και συν. 2010β) η φωτιά του 2007, στις περισσότερες περιπτώσεις σάρωνε μεγάλες επιφάνειες καίγοντας με διαφορετική ένταση ανά περίπτωση. Σε ορισμένες περιπτώσεις, η αλλαγή της κατεύθυνσης του ανέμου, τα ιδιαίτερα στοιχεία της φυσιογραφίας της περιοχής αλλά και τα σχέδια κατάσβεσης της φωτιάς, δημιούργησαν ένα ετερογενές τοπίο με άκαυτες νησίδες μέσα στις καμένες επιφάνειες. Στην παρούσα εργασία ως άκαυτες νησίδες αναφέρονται οι συστάδες ατόμων *Pinus nigra* που βρίσκονται εντός των καμένων εκτάσεων, ενώ ως άκαυτες συστάδες αναφέρονται οι συστάδες που βρίσκονται τα όρια της άκαυτης έκτασης.

Για τον προσδιορισμό των ορίων της περιοχής μελέτης και την επιλογή των θέσεων δειγματοληψίας εφαρμόστηκαν μέθοδοι χωρικής ανάλυσης τοπίου και εργασία πεδίου.



Εικόνα 4.1 Ετερογένεια του τοπίου στην περιοχή του Ταϋγέτου μετά την πυρκαγιά του 2007. Διακρίνονται άκαυτες συστάδες και νησίδες Μαύρης πεύκης εντός της καμένης έκτασης.

4.2.2 Χαρτογράφηση της κατανομής της βλάστησης και των καμένων εκτάσεων

Η απεικόνιση των ορίων της πυρκαγιάς του 2007 και η διερεύνηση της διαθεσιμότητας άκαυτων νησίδων Μαύρης πεύκης πραγματοποιήθηκε με την ανάλυση μιας πολύ υψηλής ευκρίνειας δορυφορικής εικόνας QUICKBIRD, χωρικής διακριτικής ικανότητας 60cm. Μεταξύ των σημαντικότερων πλεονεκτημάτων της χρήσης υψηλής και πολύ υψηλής ευκρίνειας δορυφορικών εικόνων στη χαρτογράφηση των καμένων εκτάσεων συμπεριλαμβάνονται τα ακόλουθα:

- Δυνατότητα χαρτογράφησης της περιμέτρου της φωτιάς και της καμένης έκτασης.
- Ακριβέστερη αποτύπωση της καμένης έκτασης.
- Δυνατότητα χαρτογράφησης μη καμένων περιοχών που βρίσκονται μέσα στην περίμετρο της πυρκαγιάς.
- Δυνατότητα χαρτογράφησης της έντασης της πυρκαγιάς και των επιπέδων καταστροφής.
- Δυνατότητα διαχωρισμού μεταξύ επικόρυφων και έρπουσων πυρκαγιών.
- Δυνατότητα χαρτογράφησης των δασικών ειδών που έχουν καεί (Koutsias et al. 1999, Γήτας και Rishmawi 2007, Καρτέρης και συν. 2007).

Δεδομένου ότι τα διαχρονικά δορυφορικά δεδομένα έχουν αποδειχθεί ότι είναι πιο αξιόπιστα από τη χρήση δορυφορικών δεδομένων μόνο μετά τη δράση της φωτιάς (Koutsias et al. 2000), καθώς μειώνουν την πιθανότητα σύγχυσης των καμένων εκτάσεων με διάφορες άλλες χρήσεις γης (Pereira et al. 1997), χρησιμοποιήθηκαν επίσης δορυφορικές εικόνες Landsat που απεικόνιζαν την υφιστάμενη κατάσταση πριν την πυρκαγιά του 2007.

Πριν την ψηφιακή επεξεργασία ταξινόμησης των δεδομένων εφαρμόστηκαν κλασικές τεχνικές ορθοδιόρθωσης των δορυφορικών δεδομένων. Η χαρτογράφηση των καμένων εκτάσεων διεξήχθη σε πρώτη φάση χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο της μέγιστης πιθανοφάνειας σε επίπεδο εικονοστοιχείου (pixel-based approach with a maximum likelihood algorithm) και στη συνέχεια διακρίθηκαν οι κατηγορίες βλάστησης και οι καμένες εκτάσεις. Τα αποτελέσματα της ταξινόμησης διανυσματοποιήθηκαν σε περιβάλλον γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών (ΓΣΠ) του λογισμικού ArcGIS, αφού πρώτα εφαρμόστηκαν χωρικά φίλτρα για την απομόνωση του θορύβου που προκύπτει από μεμονωμένα ταξινομημένα εικονοστοιχεία και στη συνέχεια υπολογίστηκαν το εμβαδόν και η περίμετρος των πολυγώνων (Χριστοπούλου και συν. 2010).

Για την απεικόνιση της βλάστησης τρία χρόνια πριν τη δράση της φωτιάς του 2007, χρησιμοποιήθηκε ο χάρτης βλάστησης του Δασαρχείου Καλαμάτας (Αποστολίδης και συν. 2004). Σημειώνεται ότι για την ευρύτερη περιοχή του όρους Ταϋγέτου, και ειδικότερα για τα τμήματα που έχουν ενταχθεί στο Δίκτυο Natura 2000 ως ΕΖΔ, έχει γίνει χαρτογράφηση της βλάστησης, σε επίπεδο τύπων οικοτόπων, με τα δάση Μαύρης πεύκης να αντιστοιχούν στον τύπο οικοτόπου 9530. Ωστόσο, στο πλαίσιο

της παρούσας μελέτης δεν λήφθηκε υπόψη η χαρτογράφηση του τύπου οικοτόπου 9530, καθώς διαπιστώθηκε μερική ασυμφωνία μεταξύ των δύο χαρτογραφήσεων. Στο χάρτη του Δασαρχείου, που τελικά χρησιμοποιήθηκε, παρουσιάζονται επίσης τα όρια της φωτιάς του 1998.

Ο χάρτης βλάστησης της περιοχής γεωαναφέρθηκε και χαρακτηρίστηκαν οι τύποι βλάστησης των πολυγώνων που προέκυψαν από τη δορυφορική εικόνα. Για την απόκτηση δεδομένων ως προς την τοπογραφία της περιοχής μελέτης (υψόμετρο, κλίση, έκθεση) αξιοποιήθηκε το ψηφιακό μοντέλο εδάφους του δορυφόρου ASTER (Aster GDEM). Ακολουθώντας, σε περιβάλλον ΓΣΠ (ARC GIS), απομονώθηκαν τα πολύγωνα που αφορούσαν σε δάση Μαύρης πεύκης, Κεφαλληνιακής ελάτης ή μικτά δάση των δύο ειδών και υπολογίστηκαν οι εκτάσεις που αντιστοιχούν σε κάθε τύπο βλάστησης, πριν και μετά από τις πυρκαγιές του 1998 και του 2007.

Πρόβλεψη της δυνατότητας εποικισμού των καμένων εκτάσεων

Με βάση το χάρτη κατανομής της εναπομείνουσας βλάστησης ορεινών κωνοφόρων μετά την πυρκαγιά του 2007, έγινε πρόβλεψη της πορείας εποικισμού των καμένων εκτάσεων. Για τη δημιουργία του δυνητικού χάρτη εποικισμού λήφθηκαν υπόψη οι ακόλουθες παραδοχές:

- (1) Η φωτιά του 1998 αντιστοιχεί σε ομοιόμορφη, έρπουσα πυρκαγιά, επομένως οι καμένες εκτάσεις Μαύρης πεύκης είχαν τη δυνατότητα να αναγεννηθούν
- (2) Το σύνολο των άκαυτων συστάδων και νησίδων Μαύρης πεύκης, όπως αυτές αποτυπώθηκαν με βάση την ταξινόμηση της δορυφορικής εικόνας, αντιστοιχούν σε ενήλικα, αναπαραγωγικά, ώριμα άτομα, τα οποία μπορούν να συνεισφέρουν στη μεταπυρική αναγέννηση και στον επανεποικισμό των καμένων εκτάσεων μέσω της διασποράς σπερμάτων
- (3) Επειδή απαιτείται ένας ελάχιστος αριθμός ενηλίκων ατόμων ώστε να θεωρηθεί ότι η συστάδα μπορεί να λειτουργήσει ως τροφοδότης σπερμάτων, επιλέχθηκαν για την περαιτέρω επεξεργασία μόνο οι άκαυτες νησίδες μεγέθους $\geq 10\text{m}^2$
- (4) Οι μικτές συστάδες *Pinus nigra* και *Abies cephalonica* αντιμετωπίζονται όπως οι αμιγείς συστάδες *P. nigra*, καθώς η Κεφαλληνιακή ελάτη έχει περιορισμένες δυνατότητες μεταπυρικής αναγέννησης (Arianoutsou et al. 2009, 2010, Ganatsas et al. 2012, Χριστοπούλου και συν. 2008, Χριστοπούλου 2009)
- (5) Η αναγέννηση της *Pinus nigra* αναμένεται να είναι πρακτικά μηδενική στις θέσεις όπου οι καμένες εκτάσεις βρίσκονται σε απόσταση μεγαλύτερη των 100m από τις άκαυτες συστάδες και νησίδες (Trabaud and Campant 1991, Retana et al. 2002, Ordóñez 2004, Ordóñez and Retana 2004, Ordóñez et al. 2004, 2006, Arianoutsou et al. 2010, Αριανούτσου και συν. 2010α, 2010β).

Με την εφαρμογή αυτών των κριτηρίων στο ΓΣΠ διαμορφώθηκαν σενάρια της δυνητικής μεταπυρικής αναγέννησης του υπό μελέτη οικοσυστήματος από τα οποία στη συνέχεια θα αναλυθεί το βέλτιστο.

4.2.3 Επιλογή θέσεων δειγματοληψίας και έρευνες πεδίου

Η αρχική επιλογή των θέσεων δειγματοληψίας έγινε σε περιβάλλον ΓΣΠ. Ειδικότερα, με βάση το χάρτη κατανομής της εναπομείνουσας βλάστησης ορεινών κωνοφόρων μετά την πυρκαγιά του 2007, έγινε προσπάθεια αναζήτησης απομονωμένων άκαυτων νησίδων, προκειμένου να μπορεί να προσδιοριστεί η συγκεκριμένη άκαυτη συστάδα ή νησίδα που συνεισφέρει στη μεταπυρική αναγέννηση της συγκεκριμένης θέσης. Ο συνολικός αριθμός των άκαυτων νησίδων Μαύρης πεύκης ή μικτών νησίδων Μαύρης πεύκης - Κεφαλληνιακής ελάτης που εντοπίστηκαν εντός των καμένων εκτάσεων των δύο πυρκαγιών, ανερχόταν σε 1.371. Για τον εντοπισμό των απομονωμένων άκαυτων νησίδων δημιουργήθηκαν ζώνες επιρροής (buffer zones), γύρω από κάθε νησίδα. Αρχικά, ορίστηκαν θεωρητικά ζώνες ακτίνας 200m. Ωστόσο, η ανάλυση του χάρτη δεν έδωσε νησίδες τέτοιου μεγέθους, οπότε και εφαρμόστηκαν ζώνες επιρροής μικρότερης ακτίνας, ίση με 100m. Ως υποψήφιες θέσεις δειγματοληψίας, ορίστηκαν άκαυτες νησίδες μεγαλύτερες των 10m², προκειμένου να αποτελούνται από ικανό αριθμό ενήλικων, ώριμων ατόμων, τα οποία να μπορούν να συνεισφέρουν στη μεταπυρική αναγέννηση.

Η τελική επιλογή των θέσεων δειγματοληψίας, μετά την προεπιλογή τους ως ανωτέρω έγινε στο πεδίο, με βάση τα ακόλουθα κριτήρια:

- Τόσο η άκαυτη συστάδα ή νησίδα, όσο και η καμένη έκταση, να αντιστοιχούν σε δάσος Μαύρης πεύκης (αμιγές ή μεικτό).
- Οι άκαυτες νησίδες να αποτελούνται από ικανοποιητικό αριθμό αναπαραγωγικά ώριμων ατόμων Μαύρης πεύκης.
- Οι άκαυτες νησίδες να είναι, όσο το δυνατόν, απομονωμένες μεταξύ τους.
- Οι θέσεις να βρίσκονται μακριά από εστίες ανθρωπογενούς δραστηριότητας (π.χ. καλλιέργειες, στάνες, οικισμοί).
- Απουσία μεταπυρικής διαχείρισης και όσο το δυνατόν μικρότερη ανθρώπινη παρέμβαση.
- Οι θέσεις μεταξύ τους να χαρακτηρίζονται από διαφορετικά αβιοτικά χαρακτηριστικά (έκθεση, υψόμετρο, μητρικό πέτρωμα κλπ).
- Η πρόσβαση να είναι εφικτή.

Σε πολλές περιπτώσεις, η κάλυψη του συνόλου των ανωτέρω αναφερόμενων κριτηρίων ήταν πρακτικά αδύνατη.

Συνολικά, έγιναν δειγματοληψίες σε ένα δίκτυο 18 θέσεων. Εξ αυτών, οι 12 θέσεις βρίσκονταν στα όρια άκαυτων συστάδων ή νησίδων, ενώ οι 6 αφορούσαν σε τελείως καμένες εκτάσεις, που βρίσκονταν σε μεγάλη απόσταση από άκαυτες συστάδες ή νησίδες (βλ. **Εικόνα 4.7**). Και οι 18 θέσεις δειγματοληψίας βρίσκονταν

εντός των ορίων της πυρκαγιάς του 2007, ενώ 9 θέσεις είχαν επηρεαστεί και από την πυρκαγιά του 1998 (βλ. **Πίνακα 4.1**). Οι συντεταγμένες των θέσεων δειγματοληψίας καταγράφονταν με τη βοήθεια συσκευής GPS Garmin OREGON 400t.

Για κάθε θέση δειγματοληψίας σημειώνονταν τα τοπογραφικά και αβιοτικά χαρακτηριστικά, τα κύρια είδη χλωρίδας του υπορόφου, η ύπαρξη ανθρωπογενών δραστηριοτήτων και παρεμβάσεων κ.ά. Για τις θέσεις δειγματοληψίας στα όρια άκαυτων συστάδων και νησίδων σημειώνονταν επίσης τα χαρακτηριστικά της άκαυτης συστάδας ή νησίδας: αριθμός άκαυτων, αναπαραγωγικά ώριμων ατόμων, μέγιστο ύψος και μέση διάμετρος στο ύψος του στήθους (dbh). Οι αποστάσεις των 6 θέσεων δειγματοληψίας στις πλήρως καμένες εκτάσεις από την κοντινότερη άκαυτη συστάδα ή νησίδα υπολογίστηκαν σε περιβάλλον ΓΣΠ.

Σε κάθε θέση δειγματοληψίας, η πυκνότητα αρτιβλάστων και νεαρών ατόμων Μαύρης πεύκης μετριοταν σε δειγματοληπτικές επιφάνειες 1x1m κατά μήκος 3 διατομών, μήκους 100m και πλάτους 2m. Στις 12 θέσεις δειγματοληψίας που βρίσκονταν στα όρια άκαυτων συστάδων ή νησίδων οι διατομές ξεκινούσαν από τα όρια του άκαυτου και προεκτεινόταν προς την καμένη έκταση. Η ελάχιστη απόσταση μεταξύ των τριών διατομών της κάθε θέσης ήταν ίση με 20m.

Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειωθεί ότι ο όρος 'αρτίβλαστο' χρησιμοποιείται συχνά στη βιβλιογραφία για το χαρακτηρισμό των νεαρών φυτών γενικά (Fenner and Thompson 2005) και σπανίως καθορίζεται αυστηρά, ακόμα και στα πλαίσια μεμονωμένων μελετών (Fenner 1987, Kitajima and Fenner 2000). Το κύριο πρόβλημα είναι ο καθορισμός του τελικού σημείου, πότε δηλαδή ένα αρτίβλαστο παύει να είναι αρτίβλαστο. Στην παρούσα εργασία, ως αρτίβλαστα χαρακτηρίζονταν τα άτομα Μαύρης πεύκης που έφεραν μόνο κοτυληδόνες, ενώ όλα τα υπόλοιπα άτομα χαρακτηρίζονταν ως νεαρά άτομα. Η ηλικία των νεαρών ατόμων καθορίστηκε με βάση τον αριθμό των κόμβων (Oreshkin et al. 1997).

Οι δειγματοληψίες για την καταγραφή της μεταπυρικής αναγέννησης ξεκίνησαν τον Απρίλιο του 2010 και ολοκληρώθηκαν το Σεπτέμβριο του 2012. Σε κάθε θέση δειγματοληψίας γινόταν μία καταγραφή την περίοδο Απριλίου-Ιουλίου ή την περίοδο Σεπτεμβρίου- Νοεμβρίου, ανάλογα και με τις επικρατούσες καιρικές συνθήκες. Δεδομένου ότι οι δειγματοληψίες στις επιμέρους θέσεις έγιναν σε διαφορετικά έτη, τα νεαρά άτομα Μαύρης πεύκης θεωρήθηκαν ως αποτέλεσμα της διασποράς σπερμάτων του εκάστοτε μεταπυρικού έτους. Αυτό υποστηρίζεται από το γεγονός ότι η *Pinus nigra* δε σχηματίζει κανενός είδους τράπεζα σπερμάτων (Habrouk et al. 1999, Ordoñez et al. 2005) και ως αποτέλεσμα τα αρτίβλαστα που εγκαθίστανται σε ένα συγκεκριμένο έτος είναι αποτέλεσμα της διασποράς σπερμάτων που πραγματοποιήθηκε το ίδιο έτος. Για παράδειγμα, η πραγματοποιούμενη διασπορά του 2008 αντιστοιχεί στα άτομα Μαύρης πεύκης που φύτεψαν από σπέρματα που διασπάρθηκαν το 2008 και σημειώνονται ως RD08.

Συνολικά έγιναν δειγματοληψίες σε 10.800 δειγματοληπτικές επιφάνειες 1x1m, εκ των οποίων οι 7.200 αφορούσαν σε θέσεις δειγματοληψίας κοντά σε άκαυτες συστάδες και οι 3.600 σε πλήρως καμένες και απομονωμένες εκτάσεις.

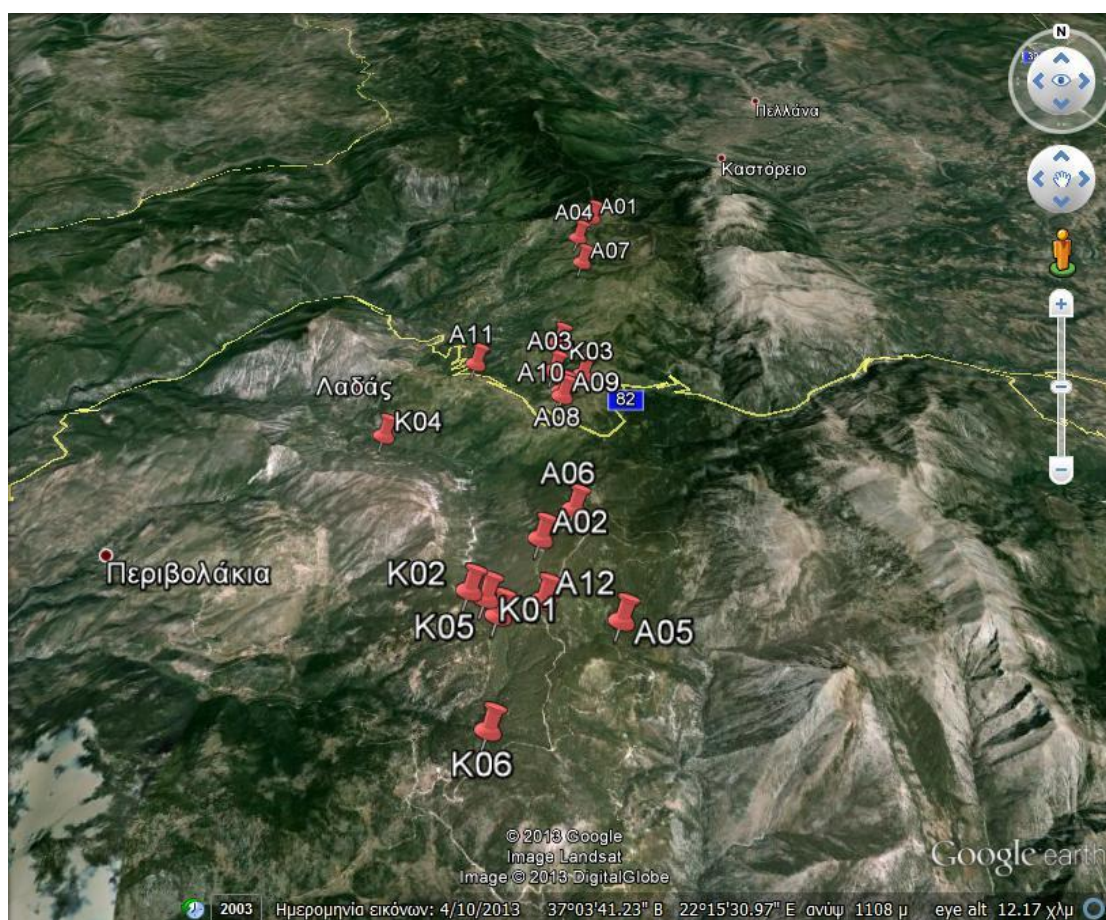
Σε κάθε δειγματοληπτική επιφάνεια καταγραφόταν επίσης η παρουσία και η κάλυψη από ποώδη και ξυλώδη είδη, πεσμένα κλαδιά και κορμούς (fallen branches and trunks), όρθιους καμένους ή κομμένους κορμούς (stumps and snags), πέτρες ή βράχους, στρωμνή (litter) και γυμνό εδάφος. Από τα ποώδη είδη, οι αναβλαστάνουσες φτέρες (*Pteridium aquilinum*) ήταν πολύ άφθονες στο σύνολο σχεδόν των θέσεων δειγματοληψίας και για το λόγο αυτό καταγράφονταν ξεχωριστά. Τα πεσμένα κλαδιά και οι κορμοί, καθώς και οι όρθιοι καμένοι ή κομμένοι κορμοί (stumps and snags) αποτελούν διαφορετικούς τύπους ξυλωδών υπολειμμάτων [coarse woody debris (cwd)] (Harmon et al. 1986) και ομαδοποιήθηκαν σε μία μεταβλητή για την περαιτέρω ανάλυση.

Οι ανωτέρω αναφερθείσες μεταβλητές καταγράφονταν ποιοτικά σε μία κλίμακα 3 βαθμών ως ακολούθως: απουσία, ενδιάμεση και αυξημένη παρουσία. Στη συνέχεια, και για τη μετατροπή των ποιοτικών αυτών καταγραφών σε παράγοντες (factors) χρησιμοποιήθηκαν τα ακόλουθα επίπεδα (levels):

- 0= απουσία, δηλαδή η μεταβλητή δεν καταγράφεται στη δειγματοληπτική επιφάνεια,
- 1= σημαντική παρουσία, δηλαδή η μεταβλητή είναι απολύτως αντιπροσωπευτική του συνόλου, καλύπτοντας το σύνολο της δειγματοληπτικής επιφάνειας,
- 0.5= ενδιάμεση παρουσία, όπου η μεταβλητή συμμετέχει με ποικίλο βαθμό στη δειγματοληπτική επιφάνεια.

Τα αβιοτικά χαρακτηριστικά των θέσεων δειγματοληψίας παρουσιάζονται στον **Πίνακα 4.1**. Οι κλίσεις μετρήθηκαν στο πεδίο με χρήση αυτοσχέδιου κλισιμέτρου. Ειδικότερα, σε κάθε διατομή γινόταν μέτρηση της κλίσης του εδάφους κάθε 5m. Η μέγιστη κλίση που μετρήθηκε ήταν 42° και η ελάχιστη 0°. Για την εκτίμηση του βάθους εδάφους χρησιμοποιήθηκε μεταλλική ράβδος, η οποία πιεζόταν με σταθερή δύναμη στο έδαφος και σημειωνόταν το βάθος στο οποίο εισερχόταν. Η εκτίμηση του βάθους εδάφους γινόταν κατά μήκος κάθε διατομής και ανά 10m. Το μέγιστο βάθος εδάφους που μετρήθηκε ήταν 26cm και το ελάχιστο 1.5cm.

Η χωρική διάταξη των θέσεων δειγματοληψίας παρουσιάζεται στην **Εικόνα 4.2**.



Εικόνα 4.2 Χωρική διάταξη των θέσεων δειγματοληψίας στην οροσειρά του Ταϋγέτου. Με Αx σημειώνονται οι θέσεις δειγματοληψίας στα όρια των άκαυτων συστάδων και με Κx οι θέσεις σε πλήρως καμένες και απομονωμένες εκτάσεις (υπόβαθρο του προγράμματος Google Earth)

Πίνακας 4.1α Χαρακτηριστικά θέσεων δειγματοληψίας στα όρια των άκαυτων συστάδων

Θέση δειγματοληψίας	Συντεταγμένες ¹	Έκθεση ²	Υψόμετρο (m)	Μέση κλίση (°)	Μέσο βάθος εδάφους (cm)	Πυρκαγιές	Μέγεθος συστάδας (αριθμός ενήλικων άκαυτων ατόμων)
A01	37.126162°, 22.264320°	Δ	1.317	27.42	12.9	1998, 2007	19
A02	37.041167°, 22.253598°	Δ	1.430	18.10	9.1	2007	100
A03	37.079951°, 22.255365°	ΒΔ	1.200	12.44	5.1	1998, 2007	50
A04	37.120210°, 22.260835°	Δ	1.265	13.95	7.2	1998, 2007	27
A05	37.028867°, 22.266372°	ΒΑ	1.249	13.05	5.3	2007	100
A06	37.045939°, 22.259136°	ΒΔ	1.460	23.43	8.1	2007	100
A07	37.111687°, 22.261635°	ΒΔ	1.260	16.88	9.3	1998, 2007	50
A08	37.073892°, 22.256910°	Δ	1.282	11.12	6.2	1998, 2007	300
A09	37.072582°, 22.257118°	Δ	1.264	12.57	6.4	1998, 2007	300
A10	37.077255°, 22.261098°	Δ	1.353	12.55	6.3	1998, 2007	15
A11	37.083557°, 22.239084°	ΒΔ	1.075	9.27	6.8	1998, 2007	11
A12	37.031112°, 22.254205°	ΝΑ	1.446	13.77	7.0	2007	50

¹ Οι συντεταγμένες είναι στο παγκόσμιο γεωδαιτικό σύστημα WGS84.² Η έκθεση αναφέρεται ως ακολούθως: Β: Βόρεια, ΒΑ: Βορειοανατολική, Α: Ανατολική, ΝΑ: Νοτιοανατολική, Ν: Νότια, ΝΔ: Νοτιοδυτική, Δ: Δυτική, ΒΔ: Βορειοδυτική. Σημειώνεται ωστόσο ότι για τον υπολογισμό του θερμικού φορτίου χρησιμοποιήθηκε η έκθεση σε °.

Πίνακας 4.1β Χαρακτηριστικά θέσεων δειγματοληψίας στις τελείως καμένες εκτάσεις

Θέση δειγματοληψίας	Συντεταγμένες ¹	Έκθεση ²	Υψόμετρο (m)	Μέση Κλίση (°)	Μέσο βάθος εδάφους (cm)	Πυρκαγιές	Κοντινότερη απόσταση από άκαυτη συστάδα (m)
K01	37.031624°, 22.245170°	Δ	1.382	13.33	6.8	2007	270
K02	37.032782°, 22.242505°	NA	1.390	11.07	6.5	2007	251
K03	37.087348°, 22.256363°	ND	1.170	12.70	4.7	1998, 2007	146
K04	37.067907°, 22.222228°	N	820	11.52	6.5	2007	139
K05	37.028890°, 22.247340°	BD	1.380	17.60	6.5	2007	262
K06	37.013579°, 22.246905°	BA	1.280	14.07	4.7	2007	163

¹ Οι συντεταγμένες είναι στο παγκόσμιο γεωδαιτικό σύστημα WGS84.

² Η έκθεση αναφέρεται ως ακολούθως: Β: Βόρεια, ΒΑ: Βορειανατολική, Α: Ανατολική, ΝΑ: Νοτιοανατολική, Ν: Νότια, ΝΔ: Νοτιοδυτική, Δ: Δυτική, ΒΔ: Βορειοδυτική. Σημειώνεται ωστόσο ότι για τον υπολογισμό του θερμικού φορτίου χρησιμοποιήθηκε η έκθεση σε °.

4.2.4 Ανάλυση δεδομένων – Στατιστική επεξεργασία

Η αναγέννηση της *Pinus nigra* εκφράστηκε μέσω της πυκνότητας αρτιβλάστων και νεαρών ατόμων (αριθμός ατόμων m^{-2}). Η έκθεση, το γεωγραφικό πλάτος και η κλίση χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό του θερμικού φορτίου (heat load), ενός δείκτη που αποτελεί μέτρο της δυνητικής πίεσης ξηρασίας με βάση το τοπογραφικό προφίλ (McCune and Keon 2002, McCune 2007). Το θερμικό φορτίο αποτελεί ένα αδιάστατο μέτρο της δυνητικής καταπόνησης ξηρασίας. Ο όρος δυνητικός/η χρησιμοποιείται για να διακρίνει το θερμικό φορτίο από την πραγματική καταπόνηση ξηρασίας, καθώς στον υπολογισμό του δεν λαμβάνονται υπόψη οι μετεωρολογικές (π.χ. νεφοκάλυψη, ατμοσφαιρικός συντελεστής; McCune και Keon 2002) και οι οικολογικές παράμετροι (π.χ. τύπος εδάφους και σκίαση) (Fyllas et al. 2008).

Τα χωρικά πρότυπα των αρτιβλάστων και των νεαρών ατόμων Μαύρης πεύκης προέκυψαν από τις μετρήσεις πεδίου. Η μέτρηση του αριθμού των αρτιβλάστων και των εγκατεστημένων ατόμων στο πεδίο δίνει πληροφορία για την πραγματοποιούμενη διασπορά (realized dispersal) και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση της διασποράς ενός είδους (Bullock et al. 2006). Ωστόσο, η μέθοδος αυτή είναι ανακριβής σε ορισμένες περιπτώσεις, όπως για παράδειγμα όταν η εγκατάσταση νέων ατόμων εξαρτάται από την υφιστάμενη παρουσία ατόμων του υπό μελέτη είδους (ενδοειδικός ανταγωνισμός) ή μεταβάλλεται χωρικά, ανάλογα με την ετερογένεια των περιβαλλοντικών συνθηκών (Greene and Calogeropoulos 2002). Στην παρούσα εργασία, έγινε προσπάθεια άρσης των ανωτέρω αναφερόμενων περιορισμών, μέσω της καταγραφής της πραγματοποιούμενης διασποράς σε διαφορετικά έτη από το περιστατικό της φωτιάς, ενώ για τη μείωση της επίδρασης της χωρικής ετερογένειας των συνθηκών σε κάθε θέση δειγματοληψίας εγκαταστάθηκαν συνολικά τρεις διατομές.

Για την περιγραφή του προτύπου διασποράς της Μαύρης πεύκης στις καμένες εκτάσεις που βρίσκονται στα όρια των άκαυτων συστάδων και νησίδων, χρησιμοποιήθηκαν τα οκτώ εμπειρικά μοντέλα που περιγράφονται στην εργασία των Bullock et al. (2006). Τα οκτώ εμπειρικά μοντέλα, όπως αυτά, παρουσιάζονται στον **Πίνακα 4.8** ελέγχθηκαν για να διαπιστωθεί ποιο ταιριάζει καλύτερα στα δεδομένα της έρευνας, τόσο για το συνολικό αριθμό ατόμων Μαύρης πεύκης, όσο και για κάθε μεταπυρικό έτος ξεχωριστά. Η αρμοστικότητα των διαφορετικών εξισώσεων στα δεδομένα αξιολογήθηκε με τη χρήση του Akaike Information Criterion (AIC), που αποτελεί έναν τρόπο υπολογισμού του αριθμού των παραμέτρων που χρησιμοποιούνται σε ένα μοντέλο, όταν γίνεται σύγκριση της ικανότητας των διαφόρων μοντέλων να προσαρμοστούν (fit) στα δεδομένα (Dytham 2011). Το μοντέλο που δίνει τη μικρότερη τιμή AIC επιλέγεται ως το πλέον κατάλληλο.

Προκειμένου να διερευνηθεί αν υπάρχει διαφορά στην πυκνότητα των ατόμων Μαύρης πεύκης αυξανόμενης της απόστασης από το όριο της άκαυτης

συστάδας δημιουργήθηκαν 4 κλάσεις απόστασης: Κλάση απόστασης $A < 10 \text{ m}$, $10 \text{ m} \leq$ Κλάση απόστασης $B < 50 \text{ m}$, $50 \text{ m} \leq$ Κλάση απόστασης $C < 100 \text{ m}$ και Κλάση απόστασης $D > 150 \text{ m}$ για τις τελείως καμένες και απομονωμένες εκτάσεις. Αρχικά, ελέγχθηκε αν τα δεδομένα ακολουθούν κανονική κατανομή με το Shapiro-Wilk test. Στη συνέχεια, και καθώς ο στατιστικός έλεγχος έδειξε ότι τα δεδομένα δεν ακολουθούν κανονική κατανομή ($W = 0.0944$, $p\text{-value} < 2.2\text{e-}16$), χρησιμοποιήθηκαν μη παραμετρικοί στατιστικοί έλεγχοι. Ειδικότερα, για την ανίχνευση στατιστικώς σημαντικών διαφορών στις πυκνότητες, αυξανόμενης της απόστασης από την άκαυτη συστάδα, χρησιμοποιήθηκε ο μη παραμετρικός στατιστικός έλεγχος Kruskal-Wallis (KW). Για τον προσδιορισμό των διαφορών μεταξύ των κλάσεων απόστασης χρησιμοποιήθηκε ο εκ των υστέρων έλεγχος πολλαπλών συγκρίσεων (post-hoc multiple comparison test). Για τη διαδικασία πολλαπλού ελέγχου έγινε χρήση των προσαρμοσμένων τιμών- p , με τη διαδικασία Holm (1979), που αποτελεί μία κλιμακωτή (step-down) διαδικασία πολλαπλού ελέγχου, μέσω της οποίας ρυθμίζονται τα λανθασμένα θετικά αποτελέσματα (τυχαία στατιστικώς σημαντικά αποτελέσματα) σε ένα προκαθορισμένο επίπεδο α . Ο έλεγχος αυτός έγινε με χρήση της βιβλιοθήκης agricolae στο R (Felipe de Mendiburu 2013) (βλ. και Παράρτημα VI).

Οι ίδιοι μη παραμετρικοί στατιστικοί έλεγχοι (KW test και post-hoc έλεγχος πολλαπλών συγκρίσεων) χρησιμοποιήθηκαν για την εύρεση στατιστικώς σημαντικών διαφορών ως προς την πυκνότητα ατόμων Μαύρης πεύκης μεταξύ των θέσεων δειγματοληψίας και του συνόλου των διατομών, αλλά και εντός της κάθε θέσης δειγματοληψίας, μεταξύ των τριών διατομών.

Για τον προσδιορισμό των μεταβλητών που έχουν τη μεγαλύτερη επεξηγηματική σημασία σε σχέση με την ερμηνεία της μεταπυρικής αναγέννησης της Μαύρης πεύκης χρησιμοποιήθηκε η ανάλυση με ενισχυμένα δένδρα παλινδρόμησης- Boosted Regression Trees (BRT) analysis. Πρόκειται για μία σχετικά νέα στατιστική τεχνική που συνδυάζει στοιχεία κλασικής στατιστικής και μηχανικής μάθησης (machine learning) (Elith et al. 2008). Η BRT ανάλυση έχει αποδειχθεί πολύ χρήσιμη για την ανάλυση σύνθετων οικολογικών δεδομένων (Buston and Elith 2011), ενώ πρόσφατα έχει χρησιμοποιηθεί σε μελέτες μεταπυρικής αναγέννησης (Johnstone et al. 2010) και σε μοντέλα εκτίμησης του πλούτου των ειδών σε καμένες φυτοκοινότητες μέσω της χρήσης τεχνικών δορυφορικής τηλεπισκόπησης (Viedma et al. 2012). Τα βασικά πλεονεκτήματα της BRT ανάλυσης είναι συνοπτικά τα ακόλουθα: (1) Μπορεί να φιλοξενήσει κάθε είδος μεταβλητής (συνεχή, κατηγορική, ονομαστική κλπ), (2) Δέχεται πολλές συναρτήσεις απωλειών ή κόστους (loss or cost functions) (Gaussian, binomial, Poisson κ.ά.), (3) Οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των μεταβλητών ερμηνείας (explanatory variables) μπορούν να ποσοτικοποιηθούν και να απεικονιστούν (De'ath 2007, Elith et al. 2008, Buston and Elith 2011).

Η ανάλυση BRT είναι μία από τις τεχνικές που αποσκοπούν στη βελτίωση της επίδοσης ενός ενιαίου μοντέλου με την προσαρμογή πολλών μοντέλων και το συνδυασμό τους για την τελική ερμηνεία. Η ανάλυση αυτή χρησιμοποιεί δύο αλγορίθμους: τα δένδρα παλινδρόμησης (regression trees) από την ομάδα των μοντέλων ταξινόμησης και των δένδρων απόφασης (decision trees) και την ενίσχυση (boosting), μέσω της οποίας χτίζεται και συνδυάζεται μια συλλογή μοντέλων (Elith et al. 2008).

Για την BRT ανάλυση χρησιμοποιήθηκε η βιβλιοθήκη 'dismo' στο R (Hijmans et al. 2013) και το έγγραφο-οδηγός των Elith and Leathwick (2013) (βλ. και Παράρτημα VI). Για την BRT ανάλυση είναι σημαντικές δύο παράμετροι:

1. Ο ρυθμός εκμάθησης (learning rate -lr) που καθορίζει τη συνεισφορά του κάθε δένδρου στο μεγεθυνόμενο μοντέλο
2. Η πολυπλοκότητα του δένδρου (tree complexity -tc) που ελέγχει αν έχει γίνει προσαρμογή των αλληλεπιδράσεων (Elith et al. 2008, Buston and Elith 2011).

Οι δύο αυτές παράμετροι καθορίζουν τον αριθμό των δένδρων που απαιτούνται για την καλύτερη ερμηνεία των αποτελεσμάτων. Η στοχαστικότητα του μοντέλου ελέγχθηκε μέσω του 'bag fraction' που καθορίζει το ποσοστό των δεδομένων που επιλέγονται σε κάθε στάδιο. Η προεπιλεγμένη τιμή του bag fraction είναι 0.5, που σημαίνει ότι σε κάθε επανάληψη επιλέγεται τυχαία το 50% των δεδομένων, χωρίς αυτά να αντικατασταθούν στο πλήρες σετ δεδομένων (Elith et al. 2008). Ύστερα από δοκιμή διαφόρων συνδυασμών και ακολουθώντας την ανάλυση που προτείνεται από τους Elith et al. (2008), χρησιμοποιήθηκαν οι ακόλουθες ρυθμίσεις για την επιλογή του τελικού μοντέλου: lr = 0.005, tc = 3, bag fraction = 0.5 και κατανομή Poisson, καθώς η εξαρτημένη μεταβλητή (πυκνότητα Μαύρης πεύκης) είναι ακέραιος αριθμός (count).

Η ανάλυση BRT ξεκίνησε λαμβάνοντας υπόψη το σύνολο των πιθανών μεταβλητών ερμηνείας (hypothesized explanatory variables) (βλ. Πίνακα 4.2) (Johnstone et al. 2010). Για την ανάπτυξη και αξιολόγηση του μοντέλου χρησιμοποιήθηκε η λειτουργία gbm.step η οποία προσαρμόζει το μοντέλο σε μία ή περισσότερες μεταβλητές, χρησιμοποιώντας τη διασταυρούμενη επικύρωση (cross-validation-CV) για την εκτίμηση του βέλτιστου αριθμού δένδρων. Η διασταυρούμενη επικύρωση επιτρέπει τον έλεγχο του μοντέλου σε ένα τμήμα των δεδομένων, ενώ σε άλλο στάδιο χρησιμοποιεί το σύνολό τους (Elith et al. 2008) και αποτελεί κατάλληλη μέθοδο για την πρόβλεψη του εκτιμώμενου σφάλματος, όταν το σύνολο των δεδομένων είναι σχετικά μικρό (De'ath 2007). Στη συνέχεια έγινε σταδιακή απαλοιφή των μεταβλητών με τη μικρότερη σχετική επιρροή, με χρήση της λειτουργίας gbm.simplify, έως ότου να προκληθεί σημαντική αύξηση ($\geq 2\%$) στο σφάλμα πρόβλεψης (prediction error) (Johnstone et al. 2010). Το τελικό μοντέλο είχε 10 μεταβλητές με σχετική επίδραση $>3\%$. Τα αποτελέσματα ερμηνεύτηκαν εξετάζοντας τη

σχετική επίδραση των μεταβλητών και τα αντίστοιχα μερικώς εξαρτημένα διαγράμματα (partial dependencies plots) (De'ath 2007, Elith et al. 2008, Johnstone et al. 2010), ενώ ελέγχθηκε και η αλληλεπίδραση των μεταβλητών ερμηνείας ανά ζεύγη (Pair wise interactions), καθώς και η σχετική τους ισχύς (Elith et al. 2008).

Το σύνολο των στατιστικών αναλύσεων έγινε στο στατιστικό πρόγραμμα R (R Core Team 2012).

Πίνακας 4.2 Πιθανές μεταβλητές ερμηνείας για την ανάπτυξη του ενισχυμένου δέντρου παλινδρόμησης για την ερμηνεία της αναγέννησης της *Pinus nigra*

Μεταβλητή	Περιγραφή/ μονάδες	Μέση τιμή ή/ και (εύρος τιμών)
Ποσοτικές μεταβλητές		
distance	Απόσταση από την άκαυτη συστάδα (m)	(0-100)
alt	Υψόμετρο (m a.s.l.)	1300 (1075-1460)
hl	Θερμικό φορτίο (-1 to 1)	0.98 (0.70-1.04)
sd	Βάθος εδάφους (cm)	7.46 (1.5-26)
Nt	Αριθμός ενήλικων άκαυτων ατόμων (άτομα)	93 (2-300)
HNt	Ύψος ενήλικων άκαυτων ατόμων (m)	18.5 (7.22-28.02)
DBHm	Μέση διάμετρος ενήλικων άκαυτων ατόμων (m)	0.43 (0.22-0.81)
n_fires	Αριθμός πυρκαγιών (1 ή 2)	(1-2)
Ημιποιοτικές / ποιοτικές μεταβλητές*		
fern	Παρουσία φτέρης (0-1)**	(0-1)
herbs	Παρουσία ποωδών ειδών (0-1)**	(0-1)
woody	Παρουσία ξυλωδών ειδών (0-1)**	(0-1)
cwd	Παρουσία ξυλωδών υπολειμμάτων (περιλαμβάνει πεσμένους κορμούς και κλαδιά, όρθιους καμένους και κομμένους) (0-1)**	(0-1)
Bare soil	Γυμνό έδαφος (0-1)**	(0-1)
stones_rocks	Παρουσία πετρών και βράχων (0-1)**	(0-1)
litter	Παρουσία φυλλοστρωμνής (0-1)**	(0-1)

* Όλες οι ημιποιοτικές / ποιοτικές μεταβλητές καταγράφονταν ανά δειγματοληπτική επιφάνεια.

** (0=απουσία, 1= παρουσία, 0.5=ενδιάμεση παρουσία)

4.3 Αποτελέσματα

4.3.1 Χωρική ανάλυση για την πρόβλεψη της δυνατότητας εποικισμού των καμένων εκτάσεων

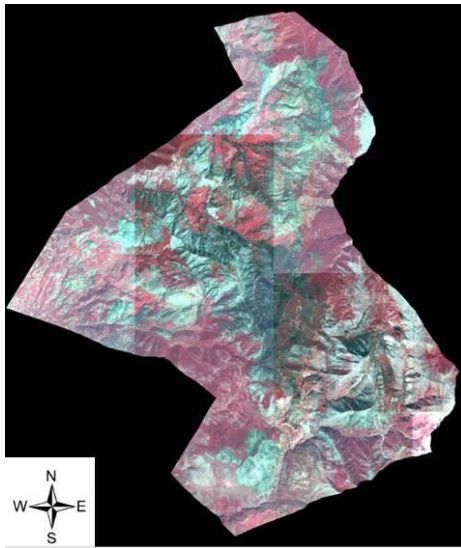
Χαρτογράφηση της κατανομής της βλάστησης και των καμένων εκτάσεων

Πριν τις δύο πρόσφατες μεγάλες πυρκαγιές (1998 και 2007), εντός των ορίων του Δασικού Συμπλέγματος Ταυγέτου, τα δάση Μαύρης πεύκης καταλάμβαναν 43.696 στρέμματα, εκ των οποίων 24.513 στρ. αντιστοιχούσαν σε αμιγές και 19.183 σε μικτό δάσος με Κεφαλληνιακή ελάτη, ενώ τα δάση Κεφαλληνιακής ελάτης καταλάμβαναν έκταση 45.024 στρ (βλ. **Πίνακα 4.3** & **Εικόνα 4.5**). Η καμένη έκταση, μετά την πυρκαγιά του 1998 εκτιμήθηκε με βάση το περίγραμμα της φωτιάς, όπως αυτό παρουσιάζεται στο χάρτη του Δασαρχείου Καλαμάτας (Αποστολίδης και συν. 2004). Αντίθετα, για την πυρκαγιά του 2007, έγινε λεπτομερής χαρτογράφηση των καμένων εκτάσεων, με μεθόδους τηλεπισκόπησης (βλ. Κεφάλαιο 4.2.2). Κατά συνέπεια, είναι ασφαλές να θεωρηθεί πως η καμένη έκταση του 1998 είναι υπερεκτιμημένη σε σχέση με την έκταση της φωτιάς του 2007, καθώς η κλασική μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε στην αποτύπωση της φωτιάς του 1998 δεν επέτρεψε τη διάκριση άκαυτων νησίδων που ενδεχομένως είχαν παραμείνει εντός των ορίων της.

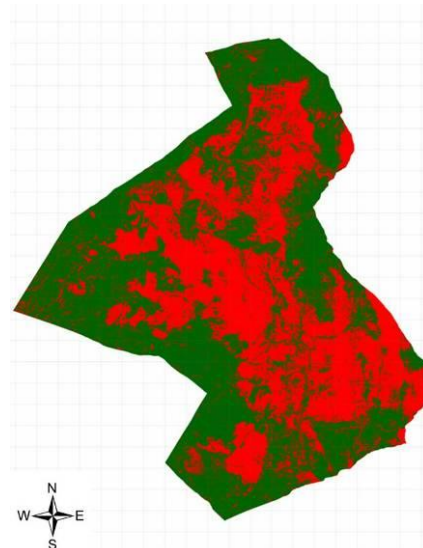
Στη φωτιά του 2007 κάηκε το 45% της αρχικής έκτασης εξάπλωσης της *Pinus nigra*, ενώ περί τα 7.535 στρ. αμιγών και μικτών δασών Μαύρης πεύκης εκτιμάται ότι είχαν καεί και το 1998. Η άκαυτη έκταση δασών Μαύρης πεύκης ανέρχεται πλέον σε 20.170 στρ. (7.680 στρ. αμιγή και 12.490 στρ. μικτά δάση *P. nigra* και *A. cerhalonica*). Όσον αφορά στα αμιγή δάση Κεφαλληνιακής ελάτης, η έκταση που επηρεάστηκε από τη δράση της φωτιάς του 2007 είναι της τάξης του 10%, με την άκαυτη έκταση να ανέρχεται σε 40.417 στρ. (βλ. **Εικόνες 4.5** και **Πίνακα 4.3**). Η κατανομή της εναπομείνουσας βλάστησης, μετά την πυρκαγιά του 2007, παρουσιάζεται στην **Εικόνα 4.6**.

Πίνακας 4.3 Εκτάσεις (στρέμματα) Μαύρης πεύκης, Κεφαλληνιακής ελάτης και μικτών δασών, εντός των ορίων της περιοχής μελέτης, πριν και μετά τις πυρκαγιές του 1998 και του 2007.

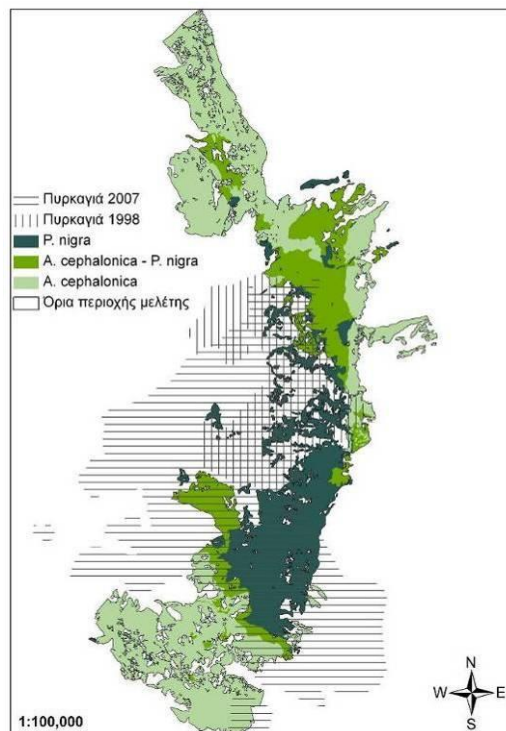
Τύποι βλάστησης	Αρχική έκταση	Έκταση μετά την πυρκαγιά του 1998	Έκταση μετά την πυρκαγιά του 2007
Δάση Μαύρης πεύκης	24.513	18.152	7.680
Δάση Κεφαλληνιακής ελάτης	45.024	44.278	40.417
Μικτά κωνοφόρα δάση	19.183	18.009	12.490
Σύνολο	88.720	80.439	42.434



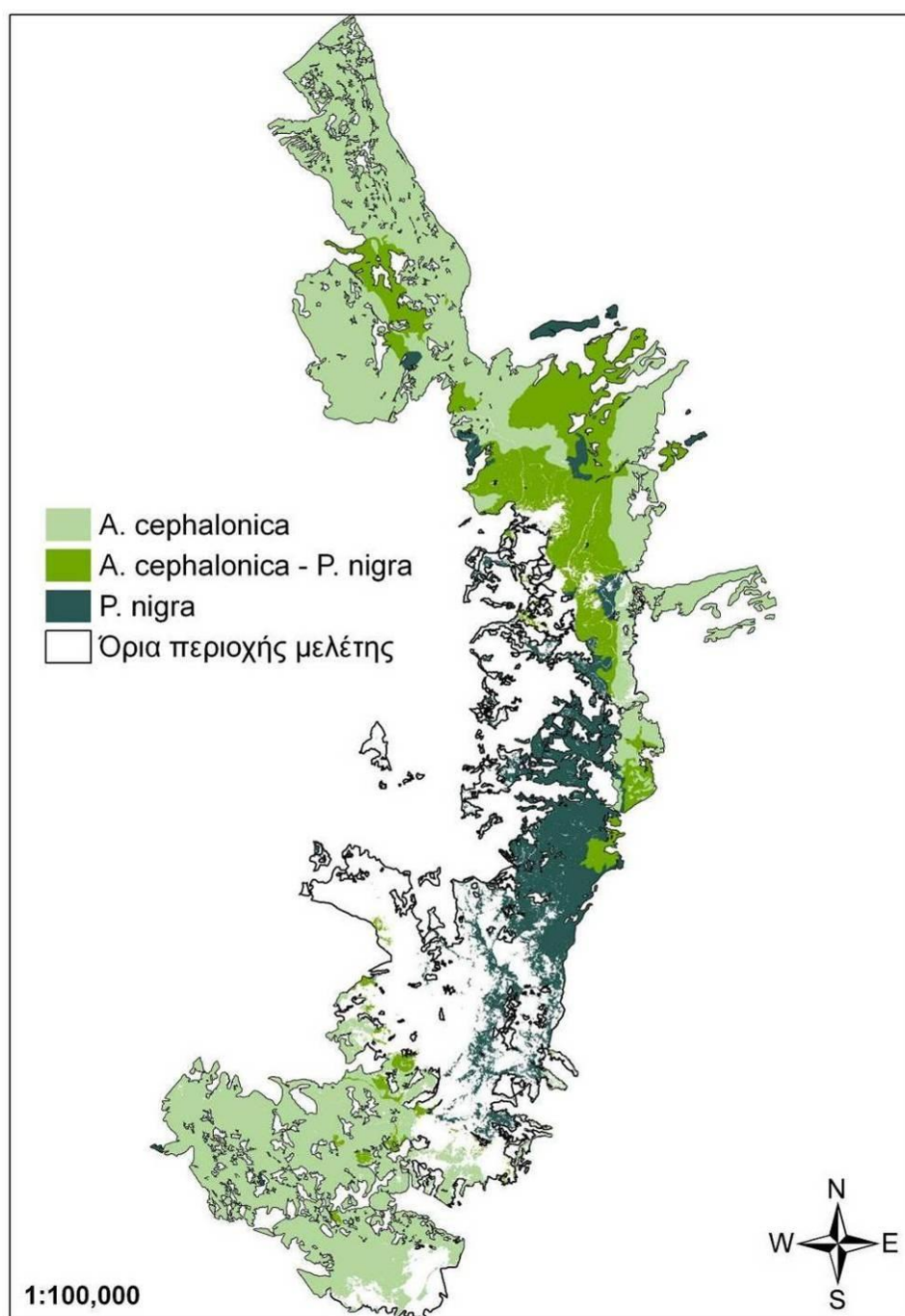
Εικόνα 4.3 Δορυφορική εικόνα QUICKBIRD, χωρικής διακριτικής ικανότητας 60cm. Με κόκκινο-ροζ απεικονίζεται η εναπομείνασα βλάστηση και με γκρι-πράσινο οι καμένες εκτάσεις.



Εικόνα 4.4 Αποτελέσματα επιβλεπόμενης ταξινόμησης. Με πράσινο απεικονίζονται οι άκαυτες εκτάσεις ή οι εκτάσεις όπου υπάρχει αναγέννηση, ενώ οι καμένες εκτάσεις απεικονίζονται με κόκκινο.



Εικόνα 4.5 Επεξεργασμένος χάρτης βλάστησης της περιοχής μελέτης όπου απεικονίζονται τα δάση Μαύρης πεύκης, Κεφαλληνιακής ελάτης και τα μικτά δάση των δύο κωνοφόρων, καθώς και τα περιγράμματα των δύο πυρκαγιών.



Εικόνα 4.6 Κατανομή της εναπομείνουσας βλάστησης ορεινών κωνοφόρων στην περιοχή μελέτης μετά την πυρκαγιά του 2007.

Πρόβλεψη της δυνατότητας εποίκισμού των καμένων εκτάσεων

Εφαρμόζοντας τα κριτήρια που αναφέρθηκαν στο Κεφάλαιο 4.2.2, η αναγέννηση της *Pinus nigra* προβλέπεται να μπορεί να πραγματοποιηθεί ικανοποιητικά σε μεγάλο τμήμα της περιοχής μελέτης. Το 88% της αρχικής έκτασης εξάπλωσης του είδους αναμένεται να επανέλθει στην αρχική του κατάσταση, ενώ πιθανή είναι και η μελλοντική εγκατάσταση- 'εισβολή' του σε καμένες συστάδες *A. cephalonica*, εφόσον αυτές γειτονεύουν με άκαυτες συστάδες *P. nigra*. Το σενάριο αυτό αφορά 780 στρ. αμιγών δασών Κεφαλληνιακής ελάτης. Η αδυναμία αναγέννησης της *P. nigra* αφορά σε 5.200 στρ. (2.800 στρ. αμιγούς και 2.400 στρ. μικτού δάσους) και οφείλεται στη μη παρουσία άκαυτων, αναπαραγωγικά ώριμων ατόμων, τα οποία θα μπορούσαν να συνεισφέρουν στον εποίκισμό των καμένων εκτάσεων μέσω της διασποράς των σπερμάτων.

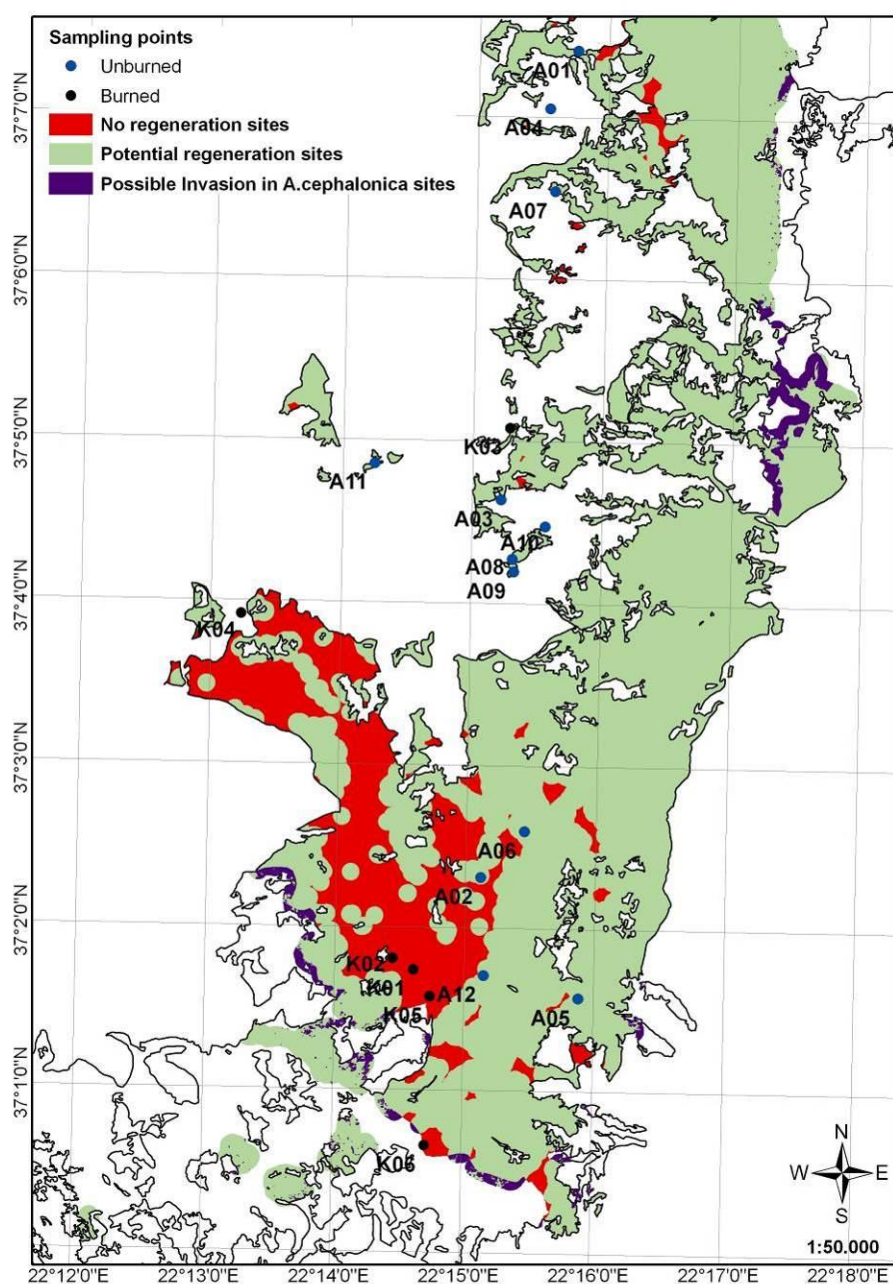
Με το ανωτέρω αναφερόμενο σενάριο είναι πολύ πιθανή η υπερεκτίμηση των θέσεων με αυξημένη πιθανότητα μεταπυρικής αναγέννησης, λόγω του ότι οι ταξινομημένες ως άκαυτες θέσεις δεν είναι σίγουρο ότι αποτελούνται, στο σύνολό τους, από αναπαραγωγικά ώριμα άτομα. Επιπλέον, η πορεία της μεταπυρικής αναγέννησης μπορεί να επηρεαστεί από τοπογραφικούς παράγοντες (Ordóñez et al. 2006). Τα τοπογραφικά χαρακτηριστικά της βλάστησης εντός των ορίων της φωτιάς του 2007 παρουσιάζονται στον **Πίνακα 4.4**. Σε κάθε περίπτωση, ο έλεγχος των ανωτέρω αναφερόμενων προβλέψεων έγινε μέσω των δειγματοληψιών πεδίου. Ειδικότερα, για τη διερεύνηση της συνεισφοράς των άκαυτων συστάδων και νησίδων επιλέχθηκαν συστάδες και νησίδες, όσο το δυνατόν πιο απομονωμένες μεταξύ τους και εντός των ορίων της περιοχής όπου αναμένεται να υπάρξει φυσική αναγέννηση της *P. nigra*. Οι θέσεις αυτές σημειώνονταν με Αx, με το Α να υποδηλώνει την ύπαρξη άκαυτης συστάδας ή νησίδας. Οι θέσεις που επιλέχθηκαν εντός των τελείως καμένων εκτάσεων, όπου με βάση το ίδιο σενάριο, αναμένεται να υπάρξει αδυναμία φυσικής αναγέννησης του είδους σημειώνονταν με Κx, με το Κ να υποδηλώνει την απουσία άκαυτων συστάδων ή νησίδων, σε απόσταση μεγαλύτερη των 100m.

Πίνακας 4.4 Τοπογραφικά χαρακτηριστικά της βλάστησης εντός των ορίων της φωτιάς του 2007

	Υψόμετρο (m) (για όλη την έκταση)		Μέση κλίση (% της έκτασης)			Έκθεση (% της έκτασης)	
	Μέσο	Εύρος	0-5%	5-25%	>25%	Α	Δ
<i>Pinus nigra</i>	1.254	647-1.689	80	20	0	65	35
<i>Pinus nigra</i> - <i>Abies cephalonica</i>	1.338	786-1.688	84	16	0	49	51
Πιθανή εισβολή <i>P. nigra</i> σε θέσεις με <i>A. cephalonica</i>	1.219	914-1.526	58	42	0	27	73

Α: Ανατολική έκθεση

Δ: Δυτική έκθεση



Εικόνα 4.7 Πρόβλεψη της δυνατότητας εποικισμού των καμένων εκτάσεων, με βάση τη διαθεσιμότητα άκαυτων συστάδων μετά τη φωτιά του 2007 και χωρική απεικόνιση των θέσεων δειγματοληψίας. Με πράσινο σημειώνονται τα τμήματα της περιοχής μελέτης όπου αναμένεται να λάβει χώρα φυσική μεταπυρική αναγέννηση της *Pinus nigra*, ενώ με κόκκινο σημειώνονται οι περιοχές όπου αναμένεται να υπάρξει αδυναμία φυσικής αναγέννησης. Με μωβ σημειώνονται οι περιοχές στις οποίες είναι πιθανή η «εισβολή» της *P. nigra* σε θέσεις που πριν την πυρκαγιά υπήρχαν δάση *Abies cephalonica*. Με μπλε κουκίδες και Αx σημειώνονται οι θέσεις δειγματοληψίας που βρίσκονται κοντά σε άκαυτες συστάδες ή νησίδες και με μαύρο χρώμα και Κx, οι θέσεις που βρίσκονται στις πλήρως καμένες και απομονωμένες εκτάσεις. Οι συντεταγμένες είναι με βάση το παγκόσμιο σύστημα WGS84.

4.3.2 Πρότυπα μεταπυρικής αναγέννησης

Περιγραφική στατιστική (descriptive statistics)

Ο συνολικός αριθμός αρτιβλάστων και νεαρών ατόμων Μαύρης πεύκης που καταγράφηκε στο πεδίο ήταν 2952 άτομα. Εξ αυτών, 2926 άτομα καταγράφηκαν στις 12 θέσεις δειγματοληψίας κοντά σε άκαυτες συστάδες ή νησίδες, ενώ στις 6 τελείως καμένες και απομονωμένες εκτάσεις καταγράφηκαν συνολικά 26 νεαρά Μαύρης πεύκης. Για λόγους συντομίας, στην παρουσίαση των αποτελεσμάτων που ακολουθεί οι άκαυτες συστάδες και νησίδες αναφέρονται συνολικά ως άκαυτες συστάδες.

Η μέση τιμή της πυκνότητας ατόμων Μαύρης πεύκης για τις 12 θέσεις δειγματοληψίας και για μήκος έως 100m από το όριο της άκαυτης συστάδας βρέθηκε ίση με 0,406 άτομα m^{-2} , με το εύρος τιμών να κυμαίνεται από 0,000 έως 13,500 άτομα m^{-2} . Η διάμεσος τιμή (median) βρέθηκε ίση με 0,000 άτομα m^{-2} , ενώ το τρίτο ή ανώτερο τεταρτομόριο (third or upper quartile), που αντιστοιχεί στο 75-εκατοστιαίο σημείο και συμβολίζεται ως Q_3 , ήταν 0,500 άτομα m^{-2} . Οι αντίστοιχες τιμές στις 6 πλήρως καμένες και απομονωμένες θέσεις ήταν σημαντικά χαμηλότερες, με τη μέση τιμή της πυκνότητας νεαρών ατόμων Μαύρης πεύκης για το σύνολο των θέσεων δειγματοληψίας να είναι ίση με 0,0072 άτομα m^{-2} και το εύρος τιμών να κυμαίνεται από 0,000 έως 0,500 άτομα m^{-2} . Η διάμεσος τιμή βρέθηκε ίση με 0,000 άτομα m^{-2} , ενώ το τρίτο ή ανώτερο τεταρτομόριο (Q_3) ήταν 0,000 άτομα m^{-2} . Η χρήση της διάμεσου τιμής (median) έναντι της μέσης τιμής (mean) προτιμήθηκε λόγω της ύπαρξης ακραίων τιμών (outliers). Η διάμεσος τιμή επηρεάζεται λιγότερο από ότι η μέση τιμή από τις ακραίες τιμές και δίνει καλύτερη εικόνα της κεντρικής τάσης των δεδομένων. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον **Πίνακα 4.5**.

Πίνακας 4.5 Συνοπτική περιγραφική στατιστική της πυκνότητας αναγέννησης της *Pinus nigra* για τις 12 θέσεις δειγματοληψίας κοντά σε άκαυτες συστάδες και τις 6 θέσεις δειγματοληψίας σε πλήρως καμένες και απομονωμένες εκτάσεις.

	Μέση τιμή (Mean value)*	Διάμεσος τιμή (Median)	Εύρος τιμών (Range)	Τρίτο Q_3
Θέσεις κοντά σε άκαυτες συστάδες	0.406	0.000	0.000-13.500	0.500
Θέσεις σε πλήρως καμένες εκτάσεις	0.0072	0.000	0.000-0.500	0.000

* Οι τιμές αφορούν στον αριθμό ατόμων m^{-2} .

Σύγκριση των 12 θέσεων δειγματοληψίας κοντά σε άκαυτες συστάδες

Ο βαθμός αναγέννησης της *Pinus nigra* διέφερε σημαντικά μεταξύ των 12 θέσεων δειγματοληψίας κοντά σε άκαυτες συστάδες. Οι πυκνότητες των νεαρών ατόμων Μαύρης πεύκης για κάθε μία από τις 12 θέσεις δειγματοληψίας παρουσιάζονται συνοπτικά στον **Πίνακα 4.6**.

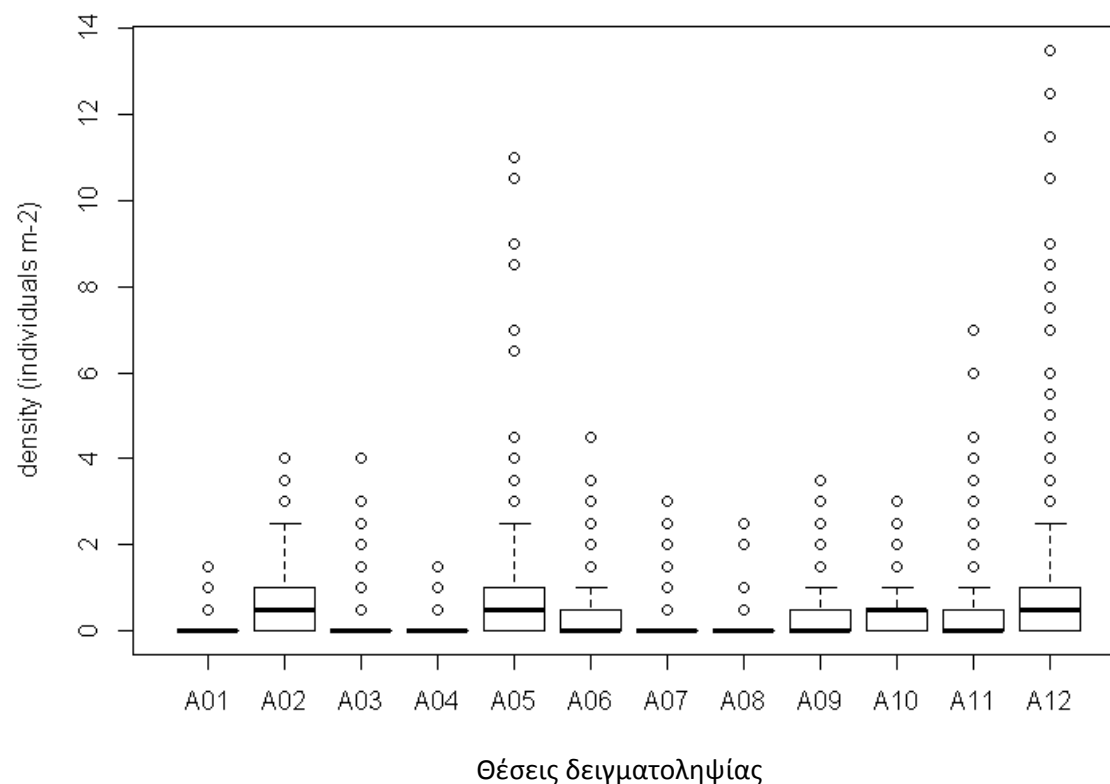
Πίνακας 4.6 Συνοπτική περιγραφική στατιστική της πυκνότητας αναγέννησης της *Pinus nigra* για κάθε μία από τις 12 θέσεις δειγματοληψίας κοντά σε άκαυτες συστάδες.

Θέση δειγματοληψίας	Μέση τιμή (Mean value)	Διάμεσος τιμή (Median)	Εύρος τιμών (Range)	Τρίτο Q ₃
A01	0.073	0.000	0.000-1.500	0.000
A02	0.573	0.500	0.000-4.000	1.000
A03	0.183	0.000	0.000-4.000	0.000
A04	0.125	0.000	0.000-1.500	0.000
A05	1.052	0.500	0.000-11.000	1.000
A06	0.372	0.000	0.000-4.500	0.500
A07	0.130	0.000	0.000-3.000	0.000
A08	0.147	0.000	0.000-2.500	0.000
A09	0.263	0.000	0.000-3.500	0.500
A10	0.380	0.500	0.000-3.000	0.500
A11	0.432	0.000	0.000-7.000	0.500
A12	1.147	0.500	0.000-13.500	1,000

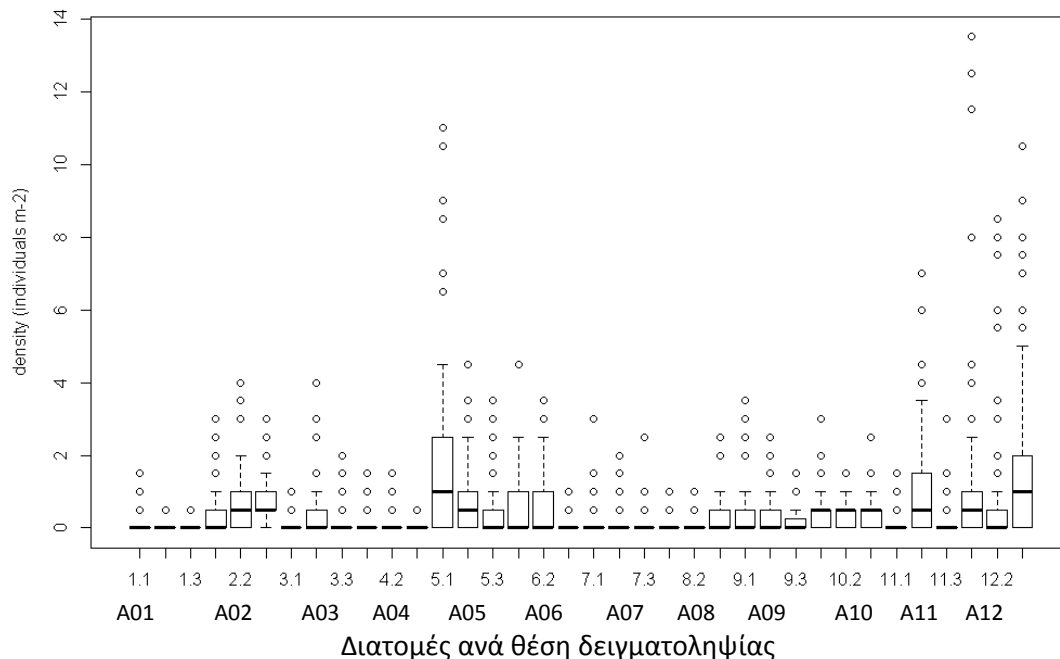
Η σύγκριση μεταξύ των θέσεων με τον μη παραμετρικό στατιστικό έλεγχο KW έδειξε ότι υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ των 12 θέσεων δειγματοληψίας (Kruskal-Wallis $\chi^2 = 532.1$, $df = 11$, $p\text{-value} < 0.001$). Τα αποτελέσματα της post-hoc πολλαπλής σύγκρισης παρουσιάζονται στο **Διάγραμμα 4.1**.

Μεγαλύτερη αναγέννηση εμφανίζουν οι θέσεις A05, A02, A12 και A10. Ακολουθούν οι θέσεις A11 και A06. Τη χαμηλότερη αναγέννηση παρουσιάζουν οι θέσεις A01 και A07. Τα αποτελέσματα ανά θέση δειγματοληψίας παρουσιάζονται συνοπτικά στο **Παράρτημα II**.

Στατιστικώς σημαντικές διαφορές βρέθηκαν και μεταξύ των διατομών της ίδιας θέσης δειγματοληψίας (Kruskal-Wallis $\chi^2 = 747.7$, $df = 35$, $p\text{-value} < 0.001$) (βλ. και **Διάγραμμα 4.2**). Ειδικότερα, σε 8 από τις 12 θέσεις δειγματοληψίας κοντά σε άκαυτες συστάδες βρέθηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των 3 διατομών. Τα αποτελέσματα των στατιστικών ελέγχων παρουσιάζονται συνοπτικά στον **Πίνακα 4.7**.



Διάγραμμα 4.1 Θηκόγραμμα (boxplot) της μέσης πυκνότητας ατόμων Μαύρης πεύκης για κάθε μία από τις 12 θέσεις δειγματοληψίας κοντά σε άκαυτη συστάδα. Η οριζόντια γραμμή αντιστοιχεί στη **διάμεσο (median)** για κάθε θέση δειγματοληψίας. Το ανώτερο τμήμα του θηκογράμματος αντιστοιχεί στο τρίτο ή **ανώτερο τεταρτομόριο (Q_3)**. Οι διακεκομμένες οριζόντιες γραμμές ονομάζονται μύστακες (whiskers) και είναι ίσοι με 1.5 φορά το **ενδοτεταρτημοριακό εύρος** [$1.5 \cdot (Q_3 - Q_1)$]. Οι ανοικτές κουκίδες αντιστοιχούν στις **ακραίες τιμές (outliers)**. Τα πεζά γράμματα στο διάγραμμα αντιστοιχούν στα αποτελέσματα της post-hoc πολλαπλής σύγκρισης. Οι θέσεις δειγματοληψίας με τα ίδια πεζά γράμματα δεν διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά (βλ. **Πίνακα 4.6**).



Διάγραμμα 4.2 Πυκνότητα ατόμων Μαύρης πεύκης ανά διατομή για τις 12 θέσεις δειγματοληψίας κοντά σε άκαυτες συστάδες. Η οριζόντια γραμμή αντιστοιχεί στη διάμεσο (median) κάθε διατομής. Το κατώτερο τμήμα του θηκογράμματος αντιστοιχεί στο πρώτο ή κατώτερο τεταρτομόριο (Q1), ενώ το ανώτερο τμήμα στο τρίτο ή ανώτερο τεταρτομόριο (Q3). Οι διακεκομμένες οριζόντιες γραμμές ονομάζονται μύστακες (whiskers) και είναι ίσες με 1.5 φορά το ενδοτεταρτημοριακό εύρος [$1.5 \cdot (Q3 - Q1)$]. Οι ανοικτές κουκίδες αντιστοιχούν στις ακραίες τιμές (outliers). Η ύπαρξη ακραίων τιμών, δηλαδή τιμών που βρίσκονται μακριά από τον μύστακα, δηλώνει πως δεν έχουμε κανονική κατανομή.

Πίνακας 4.7 Αποτελέσματα μη παραμετρικού στατιστικού ελέγχου Kruskal-Wallis και post-hoc ελέγχου πολλαπλών συγκρίσεων (multiple comparison test) των τριών (3) διατομών κάθε θέσης δειγματοληψίας. Οι διατομές με τα ίδια πεζά γράμματα δεν διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά. Με έντονα γράμματα σημειώνονται οι διατομές που διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά από τις υπόλοιπες της ίδιας θέσης δειγματοληψίας.

Αποτελέσματα KW test	Σύγκριση διατομών	Διατομές	Mean of the ranks
Θέση A01			
Value: 6.2, df: 2, p-value: <0.05	a	1.1	158.5
	ab	1.3	151.7
	b	1.2	141.4
Θέση A02			
Value: 28.7, df: 2, p-value: <0.001	a	2.3	179.2
	a	2.2	155.0
	b	2.1	117.3
Θέση A03			
Value: 5.1, df: 2,	a	3.2	159.1

4. Μεταπυρική αναγέννηση Μαύρης πεύκης

Αποτελέσματα KW test	Σύγκριση διατομών	Διατομές	Mean of the ranks
p-value: >0,05	a	3.3	152.9
	a	3.1	139.5
Θέση A04			
Value: 2.5, df:2, p-value: >0.05	a	4.2	154.9
	a	4.1	154.0
	a	4.3	142.6
Θέση A05			
Value: 26.5, df: 2, p-value: <0.001	a	5.1	183
	b	5.2	145.8
	b	5.3	122.8
Θέση A06			
Value: 28.0, df: 2, p-value: <0.001	a	6.1	167.3
	a	6.2	164.2
	b	6.3	120.0
Θέση A07			
Value: 7.2, df: 2 p-value: <0.05	a	7.1	161.6
	ab	7.2	149.6
	b	7.3	140.3
Θέση A08			
Value: 7.0, df: 2, p-value: <0.05	a	8.3	161.5
	ab	8.2	151.4
	b	8.1	138.6
Θέση A09			
Value: 2.7, df: 2, p-value: >0.05	a	9.2	157.2
	a	9.1	153.0
	a	9.3	141.3
A10			
Value: 0.3, df: 2, p-value: >0.05	a	10.1	152.2
	a	10.2	152.1
	a	10.3	147.2
A11			
Value: 69.4, df: 2, p-value: <0.001	a	11.2	199.2
	b	11.1	131.7
	b	11.3	120.6
A12			
Value: 15.6, df: 2, p-value: <0.001	a	12.3	172.7
	ab	12.1	151.7
	b	12.2	127.1

Σύγκριση των 6 πλήρως καμένων και απομονωμένων θέσεων δειγματοληψίας & αποτελέσματα ανά θέση δειγματοληψίας

Ο μη παραμετρικός στατιστικός έλεγχος KW έδειξε ότι υπάρχουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές όσον αφορά στην πυκνότητα ατόμων Μαύρης πεύκης μεταξύ των 6 θέσεων δειγματοληψίας (Kruskal-Wallis $\chi^2 = 12.0$, $df = 5$, $p\text{-value} < 0.05$). Ωστόσο, ο εκ των υστέρων (post-hoc) έλεγχος πολλαπλών συγκρίσεων δεν έδειξε σημαντικές διαφορές μεταξύ των θέσεων δειγματοληψίας.

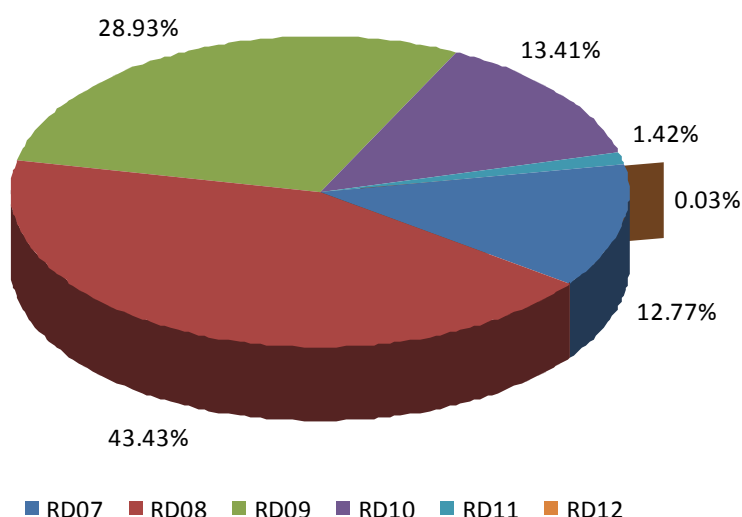
Συγκρίνοντας το σύνολο των διατομών από τις 6 πλήρως καμένες και απομονωμένες θέσεις δειγματοληψίας, δεν βρέθηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές όσον αφορά στη συνολική μέση πυκνότητα ατόμων Μαύρης πεύκης (Kruskal-Wallis $\chi^2 = 20.0$, $df = 17$, $p\text{-value} > 0.05$).



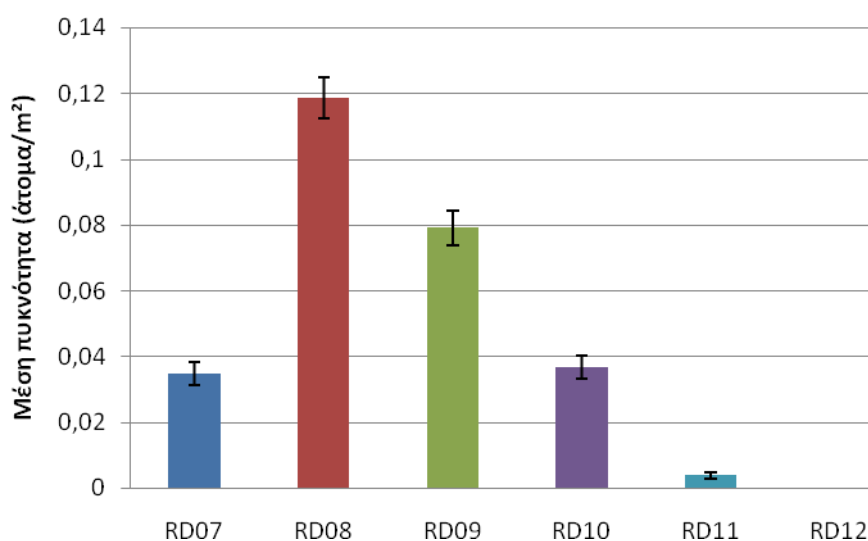
Εικόνα4.8 Άποψη της θέσης K05

Ηλικιακή σύνθεση αναγεννώμενων πληθυσμών *Pinus nigra*

Από τα 2952 νεαρά άτομα *Pinus nigra* που καταγράφηκαν στο σύνολο των θέσεων δειγματοληψίας, τα 2136 άτομα (72.36%) αφορούσαν σε άτομα που προέκυψαν από σπέρματα που διεσπάρησαν και φύτεωσαν το 2008 -RD08- (43.43%) και το 2009- RD09- (28.93%), γεγονός που φανερώνει ότι η πλειονότητα των νεαρών ατόμων είναι αποτέλεσμα της διασποράς που λαμβάνει χώρα κατά τη διάρκεια των δύο πρώτων ετών μετά την πυρκαγιά. Συνολικά, καταγράφηκαν 1282 άτομα που ήταν αποτέλεσμα της διασποράς και της φύτευσης σπερμάτων του 2008 (RD08), 854 άτομα για το 2009 (RD09), 396 για το 2010 (RD10), 42 για το 11 (RD11) και 1 για το 2012 (RD12), ενώ 377 άτομα φαίνεται ότι προέκυψαν από σπέρματα που διεσπάρησαν και φύτεωσαν το ίδιο έτος της πυρκαγιάς (RD07). Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται σχηματικά στο **Διάγραμμα 4.3**, ενώ στο **Διάγραμμα 4.4** παρουσιάζεται η μέση τιμή της πυκνότητας για τα 6 πρώτα μεταπυρικά έτη με τα αντίστοιχα τυπικά σφάλματα (SE).



Διάγραμμα 4.3 Ηλικιακή σύνθεση αναγεννόμενου πληθυσμού *Pinus nigra* για το σύνολο των θέσεων δειγματοληψίας. Τα άτομα Μαύρης πεύκης παρουσιάζονται με βάση το έτος διασποράς και φύτευσης των σπερμάτων από τα οποία έχουν προέλθει: RD07: διασπορά και φύτευση το 2007 κ.ο.κ.



Διάγραμμα 4.4 Ηλικιακή δομή αναγεννόμενου πληθυσμού *Pinus nigra*: μέση πυκνότητα των νεαρών ατόμων ανά έτος (αριθμός ατόμων $m^{-2} \pm SE$). Κάθε ράβδος αντιπροσωπεύει το αποτέλεσμα της πραγματοποιούμενης διασποράς και φύτευσης σπερμάτων (RD) από το 2007 έως το 2012.

Ακολουθώς παρουσιάζονται τα αντίστοιχα αποτελέσματα, ξεχωριστά για τις θέσεις δειγματοληψίας κοντά σε άκαυτες συστάδες και τις θέσεις δειγματοληψίας σε πλήρως καμένες και απομονωμένες εκτάσεις.

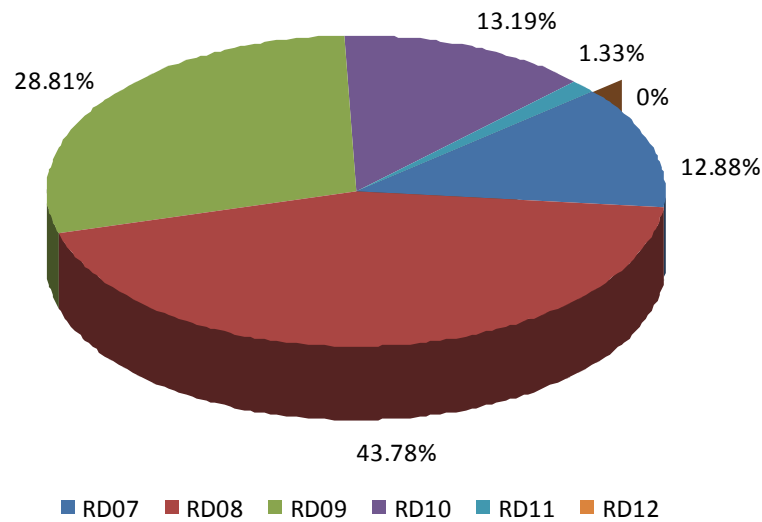
Ηλικιακή σύνθεση αναγεννόμενων πληθυσμών *Pinus nigra* στις 12 θέσεις κοντά σε άκαυτες συστάδες

Από τα 2926 νεαρά άτομα Μαύρης πεύκης που καταγράφηκαν συνολικά στις 12 θέσεις δειγματοληψίας κοντά σε άκαυτες συστάδες, τα 1281 άτομα ή ποσοστό 43.78% επί του συνόλου, αφορούν σε άτομα που εμφανίστηκαν από σπέρματα που διεσπάρησαν και φύτευσαν το 2008 (RD08). Συνολικά, καταγράφηκαν 377 άτομα για το 2007 (RD07), 843 άτομα για το 2009 (RD2009), 386 άτομα για το 2010 (RD10) και 39 για το 2011 (RD11). Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται σχηματικά στο **Διάγραμμα 4.5**.

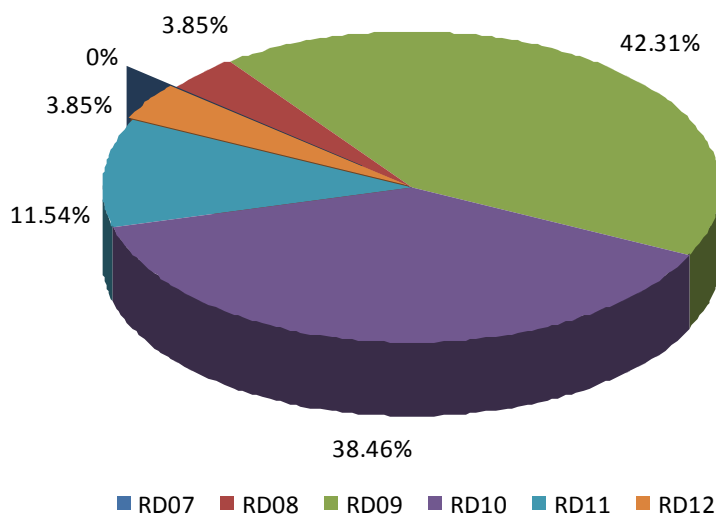
Ηλικιακή σύνθεση αναγεννόμενων πληθυσμών *Pinus nigra* στις 6 πλήρως καμένες και απομονωμένες εκτάσεις

Από τα 26 νεαρά άτομα Μαύρης πεύκης που καταγράφηκαν συνολικά, τα 11 άτομα ή ποσοστό 42.31% επί του συνόλου εμφανίστηκαν το 2009 (RD09), ενώ 10 άτομα (38.46%) εμφανίστηκαν το 2010 (RD10). Τρία άτομα εμφανίστηκαν το 2011 και από 1 το 2008 (RD08) και το 2012 (RD12). Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται σχηματικά στο **Διάγραμμα 4.6**.

Στις τελείως καμένες και απομονωμένες εκτάσεις φαίνεται να παρατηρείται μια καθυστέρηση ως προς την εμφάνιση των νεαρών ατόμων *Pinus nigra*.



Διάγραμμα 4.5 Ηλιακή σύνθεση αναγεννόμενου πληθυσμού *Pinus nigra* για τις 12 θέσεις δειγματοληψίας κοντά σε άκαυτες συστάδες. Τα άτομα Μαύρης πεύκης παρουσιάζονται με βάση το έτος διασποράς και φύτευσης των σπερμάτων από τα οποία προήλθαν, RD07: διασπορά και φύτευση το 2007 κ.ο.κ.



Διάγραμμα 4.6 Ηλιακή σύνθεση αναγεννόμενου πληθυσμού *Pinus nigra* για τις 6 θέσεις δειγματοληψίας σε πλήρως καμένες και απομονωμένες εκτάσεις. Τα άτομα Μαύρης πεύκης παρουσιάζονται με βάση το έτος διασποράς και φύτευσης των σπερμάτων από τα οποία προήλθαν, RD07: διασπορά και φύτευση το 2007 κ.ο.κ.

Πρότυπα χωρικής διασποράς των νεαρών ατόμων της <i>Pinus nigra</i>
--

Αρμοστικότητα εμπειρικών μοντέλων διασποράς

Με βάση τα δεδομένα από τις 12 θέσεις δειγματοληψίας κοντά στις άκαυτες συστάδες, ο αριθμός των νεαρών ατόμων Μαύρης πεύκης μειώνεται αυξανόμενης της απόστασης από το όριο της άκαυτης συστάδας. Τέσσερα από τα οκτώ εμπειρικά μοντέλα διασποράς που ελέγχθηκαν (βλ. **Πίνακα 4.8 & Διάγραμμα 4.7**) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την περιγραφή της πραγματοποιούμενης διασποράς, όπως αυτή προέκυψε από τις καταγραφές αρτιβλάστων και νεαρών ατόμων Μαύρης πεύκης στο πεδίο.

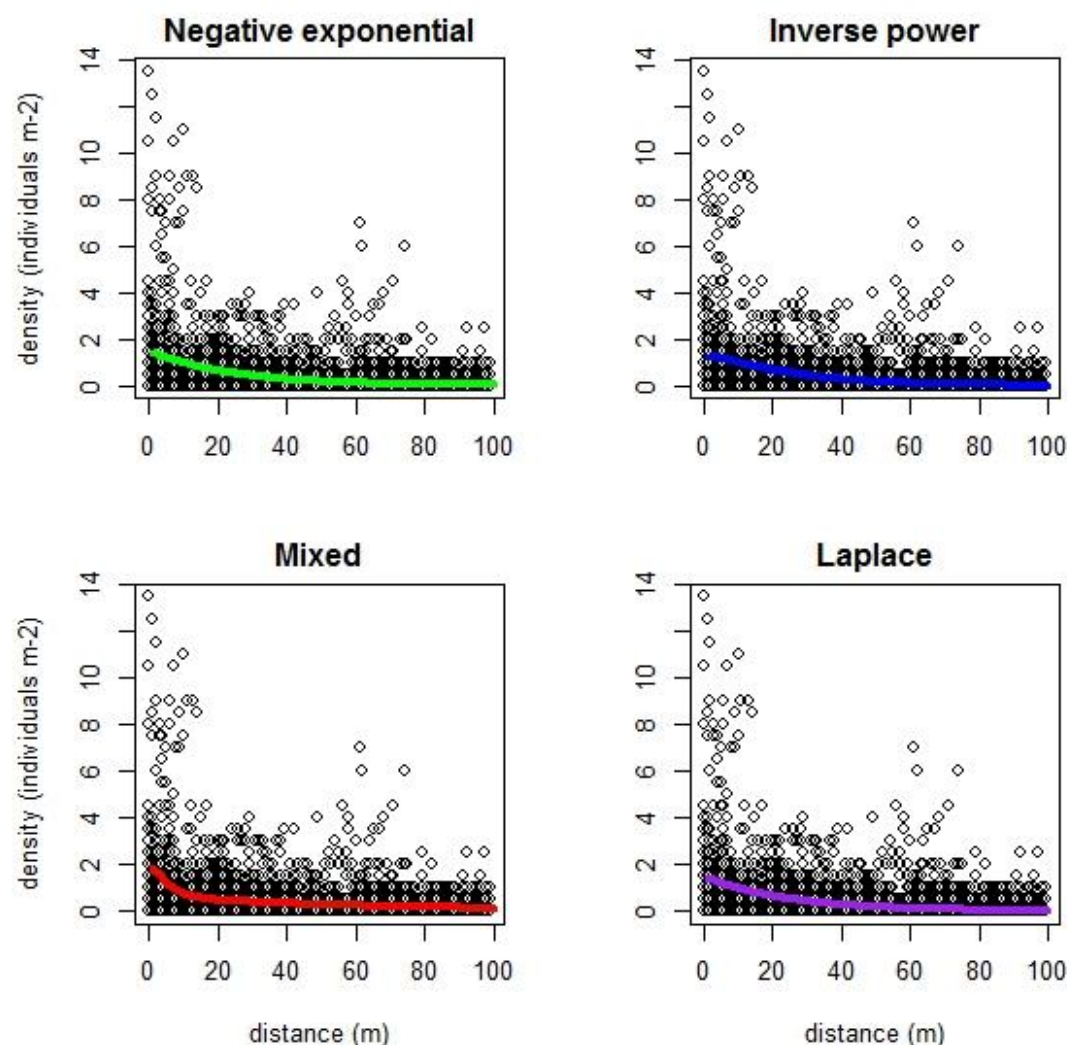
Η εξίσωση που περιγράφει καλύτερα το πρότυπο της παρουσίας των νεαρών ατόμων Μαύρης πεύκης αυξανόμενης της απόστασης από το άκρο της άκαυτης συστάδας, δηλαδή που δίνει τη μικρότερη τιμή AIC, είναι η **εξίσωση Mixed**. Η εξίσωση αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την περιγραφή της πραγματοποιούμενης διασποράς κάθε μεταπυρικού έτους ξεχωριστά (βλ. **Διάγραμμα 4.8**).

Πίνακας 4.8 Εμπειρικά μοντέλα για την περιγραφή του προτύπου χωρικής διασποράς της *Pinus nigra* και έλεγχος αρμοστικότητας (fit) των διαφορετικών εξισώσεων στα δεδομένα πεδίου με χρήση του Akaike Information Criterion (AIC). Οι ονομασίες των μοντέλων και οι εξισώσεις παρουσιάζονται με βάση την εργασία των Bullock et al. (2006). Οι εκτιμώμενες παράμετροι για κάθε μοντέλο βρέθηκαν στατιστικώς σημαντικές ($p < 0.001$).

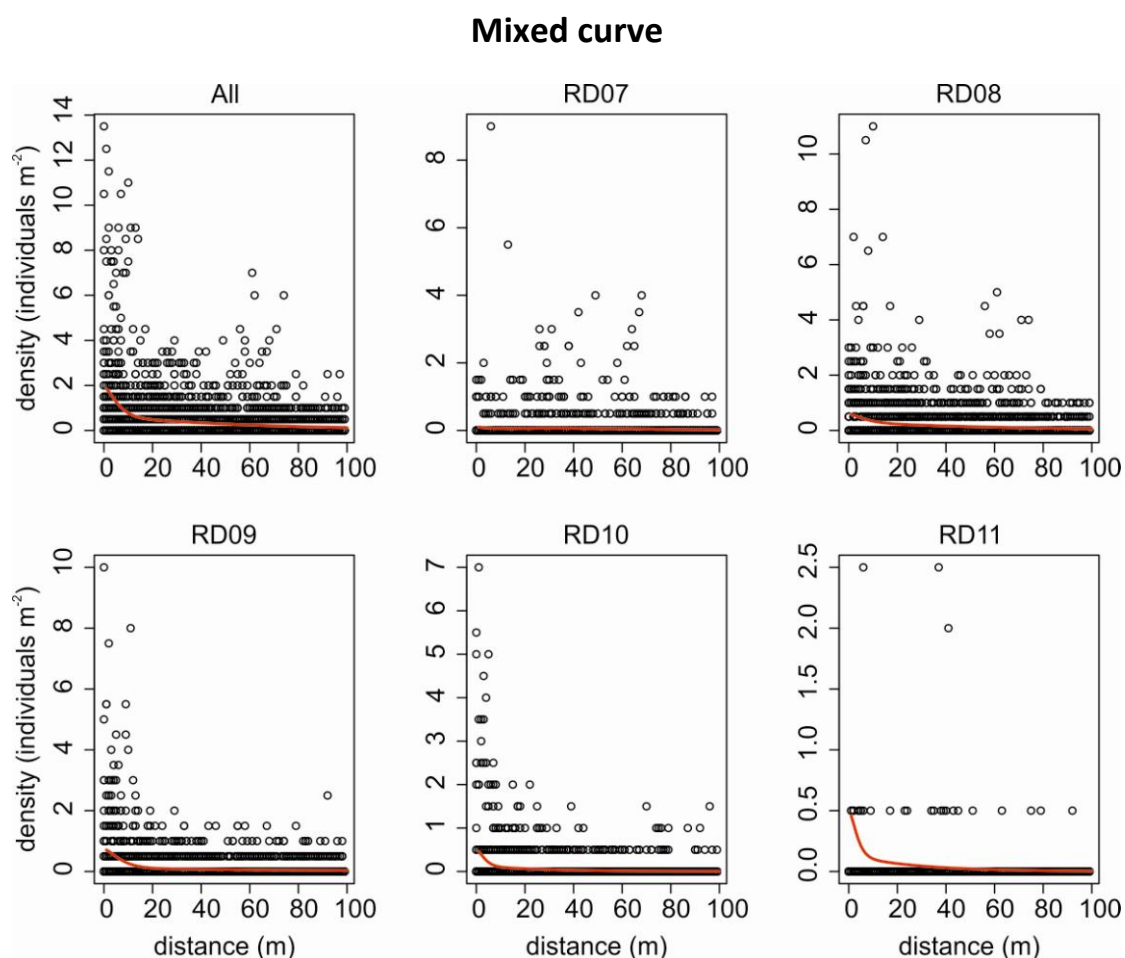
Όνομα εμπειρικού μοντέλου	Εξίσωση	Εκτιμώμενες παράμετροι ($\pm$ SD) *	AIC
Negative exponential	$a \exp[-bx]$	a= 1.494 $\pm$ 0.061 b=0.042 $\pm$ 0.002	9784.765
Inverse power	ax^{-bx}	a= 1.274 $\pm$ 0.050 b=0.010 $\pm$ 0.001	9828.302
Mixed (one of many possible mixtures)	$a \exp[-bx] + cx^{-dx}$	a= 0.640 $\pm$ 0.090 b=0.016 $\pm$ 0.003 c= 1.227 $\pm$ 0.112 d= 0.073 $\pm$ 0.014	9706.775
Laplace	$\frac{1}{2b} \exp\left[-\left \frac{x-a}{b}\right \right]$	a= -50.123 $\pm$ 5.176 b=24.041 $\pm$ 1.439	9784.765
Gaussian (Normal)	$\left[\frac{1}{a\sqrt{2\pi}}\right] \cdot \exp\left[-\frac{(x-b)^2}{2a^2}\right]$	-	-
Wald (inverse Gaussian)	$\left[\frac{a}{2\pi x^3}\right]^{\frac{1}{2}} \exp\left[-\frac{a(x-b)^2}{2b^2x}\right]$	-	-
Lognormal	$\frac{\exp\left[-\frac{[\ln(x/b)]^2}{2a^2}\right]}{ax\sqrt{2\pi}}$	-	-

Όνομα εμπειρικού μοντέλου	Εξίσωση	Εκτιμώμενες παράμετροι (±SD) *	AIC
2Dt	$\frac{a}{\pi b \left[\frac{1+x^2}{b} \right]^{a+1}}$	-	-

* SD= standard deviation



Διάγραμμα 4.7 Χωρική απεικόνιση της παρουσίας νεαρών ατόμων *Pinus nigra* αυξανόμενης της απόστασης από το όριο της άκαυτης συστάδας και εμπειρικά μοντέλα διασποράς των ατόμων. Τα δεδομένα αφορούν στο σύνολο των 12 θέσεων δειγματοληψίες στα όρια των άκαυτων συστάδων. Με ανοικτές κουκίδες σημειώνεται η πυκνότητα των ατόμων Μαύρης πεύκης, ενώ η κάθε καμπύλη αντιστοιχεί στο εκάστοτε μοντέλο διασποράς που ελέγχθηκε ως προς την αρμοστικότητα του. Μικρότερη τιμή AIC και κατ' επέκταση καλύτερη αρμοστικότητα στα δεδομένα δίνει η εξίσωση Mixed.



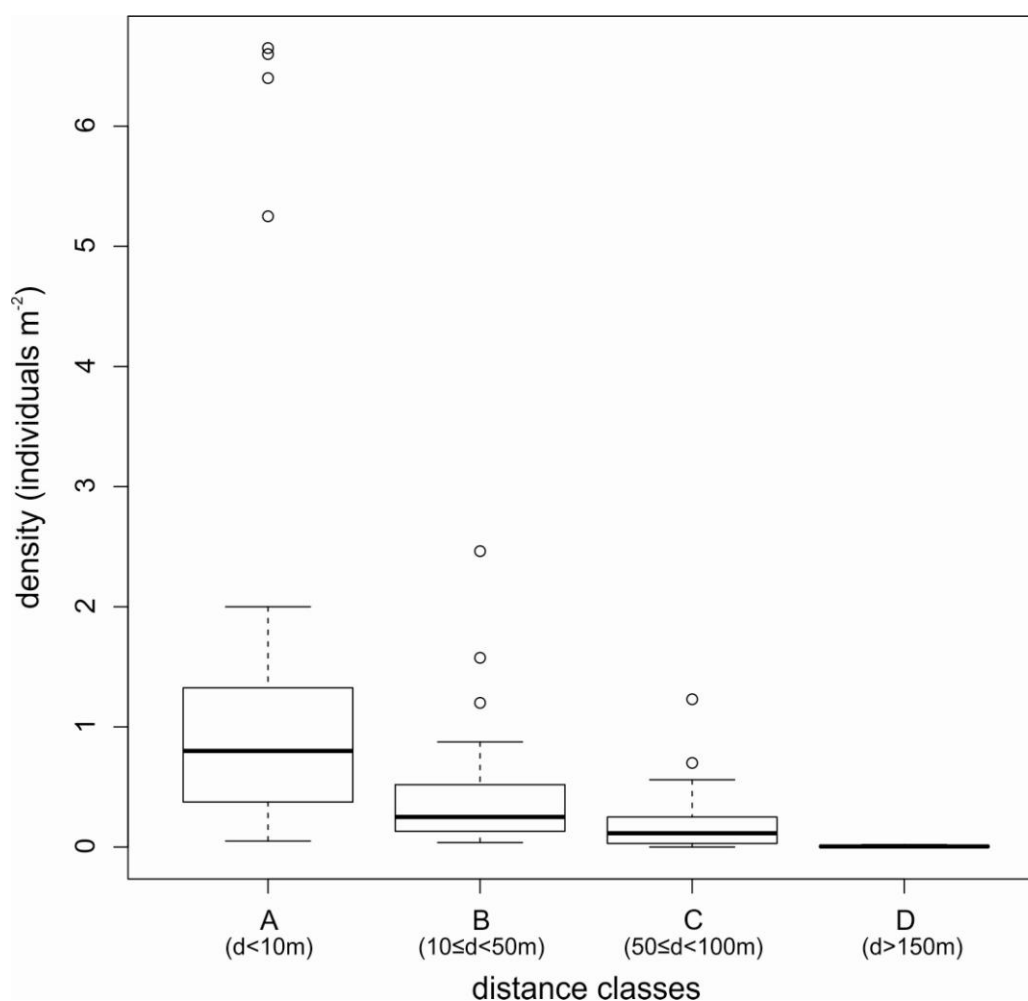
Διάγραμμα 4.8 Χωρική απεικόνιση της παρουσίας νεαρών ατόμων *Pinus nigra* αυξανόμενης της απόστασης από το όριο της άκαυτης συστάδας. Με ανοικτές κουκίδες σημειώνεται η πυκνότητα των ατόμων Μαύρης πεύκης (αριθμός ατόμων m⁻²), ενώ η κόκκινη καμπύλη αντιστοιχεί στην εξίσωση Mixed που περιγράφει καλύτερα το πρότυπο παρουσίας των νεαρών ατόμων δίνοντας τη μικρότερη τιμή AIC. Στο πρώτο διάγραμμα παρουσιάζεται ο συνολικός αριθμός ατόμων Μαύρης πεύκης, ενώ στα υπόλοιπα διαγράμματα παρουσιάζονται ξεχωριστά τα αποτελέσματα της πραγματοποιούμενης διασποράς ανά μεταπυρικό έτος.

Κλάσεις απόστασης από την άκαυτη συστάδα

Η περαιτέρω διερεύνηση του προτύπου διασποράς, με βάση τις μετρήσεις πεδίου όσον αφορά στην χωρική παρουσία των νεαρών ατόμων Μαύρης πεύκης αυξανόμενης της απόστασης από το όριο της άκαυτης συστάδας έδειξε ότι υπάρχουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των 4 κλάσεων απόστασης από το όριο της άκαυτης συστάδας (Kruskal-Wallis $\chi^2 = 68.7$, $df = 3$, $p < 0.0001$) (**Πίνακας 4.9**). Οι πυκνότητες στις τελείως καμένες και απομονωμένες εκτάσεις είναι σημαντικά χαμηλότερες από ότι στις τρεις κλάσεις απόστασης των θέσεων που βρίσκονται στα όρια των άκαυτων συστάδων. Στατιστικώς σημαντικές διαφορές βρέθηκαν και μεταξύ των τριών κλάσεων απόστασης που βρίσκονται στις θέσεις κοντά σε άκαυτες συστάδες. Οι πυκνότητες των νεαρών ατόμων Μαύρης πεύκης είναι σημαντικά υψηλότερες σε κοντινές αποστάσεις από το όριο της άκαυτης συστάδας και μειώνονται σημαντικά με την αύξηση της απόστασης (βλ. **Πίνακας 4.9 & Διάγραμμα 4.9**).

Πίνακας 4.9 Αποτελέσματα του post-hoc ελέγχου πολλαπλών συγκρίσεων για τις τέσσερις κλάσεις απόστασης από την άκαυτη συστάδα (P value adjustment method: holm). Τα διαφορετικά πεζά γράμματα δηλώνουν την ύπαρξη στατιστικώς σημαντικών διαφορών.

Κλάσεις απόστασης	Αποτελέσματα σύγκρισης	Μέση πυκνότητα (αριθμός ατόμων / m ²)
A < 10m	a	1.37
10m ≤ B < 50m	b	0.42
50m ≤ C < 100m	c	0.20
D ≥ 100m	d	0.01

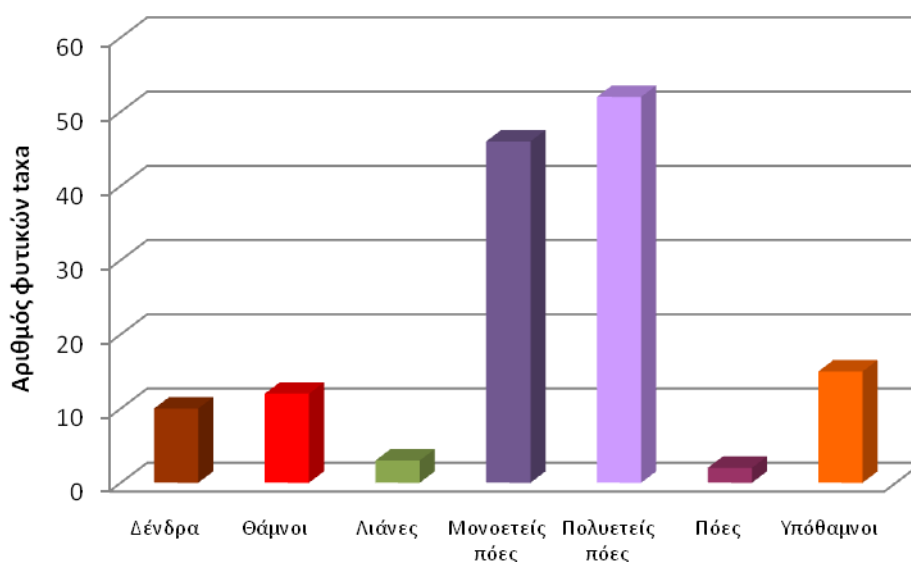


Διάγραμμα 4.9 Θηκόγραμμα (boxplot) της πυκνότητας νεαρών ατόμων Μαύρης πεύκης ανά κλάση απόστασης από το όριο της άκαυτης συστάδας (4 κλάσεις απόστασης: Κλάση απόστασης A < 10 m, 10 m ≤ Κλάση απόστασης B < 50 m, 50 m ≤ Κλάση απόστασης C < 100 m και Κλάση απόστασης D > 150 m), όπως προέκυψε από την ανάλυση του μη παραμετρικού KW test. Η οριζόντια γραμμή αντιστοιχεί στη **διάμεσο (median)** για κάθε κλάση απόστασης. Το ανώτερο τμήμα του θηκογράμματος αντιστοιχεί στο τρίτο ή **ανώτερο τεταρτημόριο (Q₃)** που ορίζεται όπως η διάμεσος, αλλά περιορίζεται στο ανώτερο μισό του συνόλου των δεδομένων. Οι μύστακες (διακεκομμένες οριζόντιες γραμμές - whiskers) είναι ίσοι με 1.5 φορά το ενδοτεταρτημοριακό εύρος [$1.5 \cdot (Q_3 - Q_1)$]. Οι ανοικτές κουκίδες αντιστοιχούν στις ακραίες τιμές (outliers). Η ύπαρξη ακραίων τιμών, δηλαδή τιμών που βρίσκονται μακριά από τον μύστακα, δηλώνει πως τα δεδομένα δεν ακολουθούν κανονική κατανομή.

Αναγεννώμενες φυτοκοινότητες

Στο σύνολο των θέσεων δειγματοληψίας καταγράφηκαν 140 φυτικά taxa, τα οποία συμμετέχουν στη σύνθεση των μεταπυρικών φυτοκοινοτήτων *Pinus nigra*. Τα περισσότερα εξ αυτών (71.4%) αφορούσαν σε ποώδη είδη (βλ. **Διάγραμμα 4.10**). Ως προς το μηχανισμό αναγέννησης, στις μεταπυρικές φυτοκοινότητες Μαύρης πεύκης απαντούν τόσο είδη που αναγεννώνται μέσω φύτευσης σπερμάτων, όσο και αναβλαστάνοντα είδη, καθώς και είδη που διαθέτουν και τους δύο μηχανισμούς.

Κοινότερο είδος του υπορόφου, στις περισσότερες θέσεις δειγματοληψίας ήταν το *Pteridium aquilinum* (φτέρη). Άλλα κοινά, ποώδη είδη ήταν από τα μονοετή τα: *Trifolium campestre*, *Trifolium angustifolium*, *Vicia sativa*, *Aira elegantissima*, *Bromus sterilis*, *Briza maxima* και *Cerastium candidissimum* και από τα πολυετή τα: *Brachypodium retusum*, *Achillea nobilis* και *Verbascum* sp. Όσον αφορά στα ξυλώδη, τα πιο κοινά είδη που καταγράφηκαν ήταν τα: *Quercus coccifera*, *Erica arborea*, *Cistus creticus* και *Cistus salvifolius*, *Rubus* sp. και *Genista acanthoclada*. Από τα δενδρώδη είδη, σε ορισμένες θέσεις καταγράφηκαν επίσης τα: *Castanea sativa*, *Quercus ilex*, *Quercus pubescens* και *Fraxinus ornus*. Το σύνολο των φυτικών taxa που καταγράφηκαν και η παρουσία τους ανά θέση δειγματοληψίας παρουσιάζονται στο **Παράρτημα III**. Σε κάθε περίπτωση, οι καταγραφές όσον αφορά τα είδη του υπορόφου δεν ήταν εξαντλητικές και είναι πιθανή η παρουσία περισσότερων φυτικών taxa.



Διάγραμμα 4.10 Αυξητικές μορφές των φυτικών taxa που αναγνωρίστηκαν στις καμένες φυτοκοινότητες *Pinus nigra*: δένδρα, θάμνοι, υπόθαμνοι, πολυετείς πόες, ετήσιες πόες, πόες (πόες: ποώδη είδη που δεν κατέστη δυνατός ο προσδιορισμός της αυξητικής τους μορφής).

Επίδραση περιβαλλοντικών παραμέτρων και χαρακτηριστικών του μικροενδιαίτηματος στην εγκατάσταση νεαρών ατόμων <i>Pinus nigra</i>

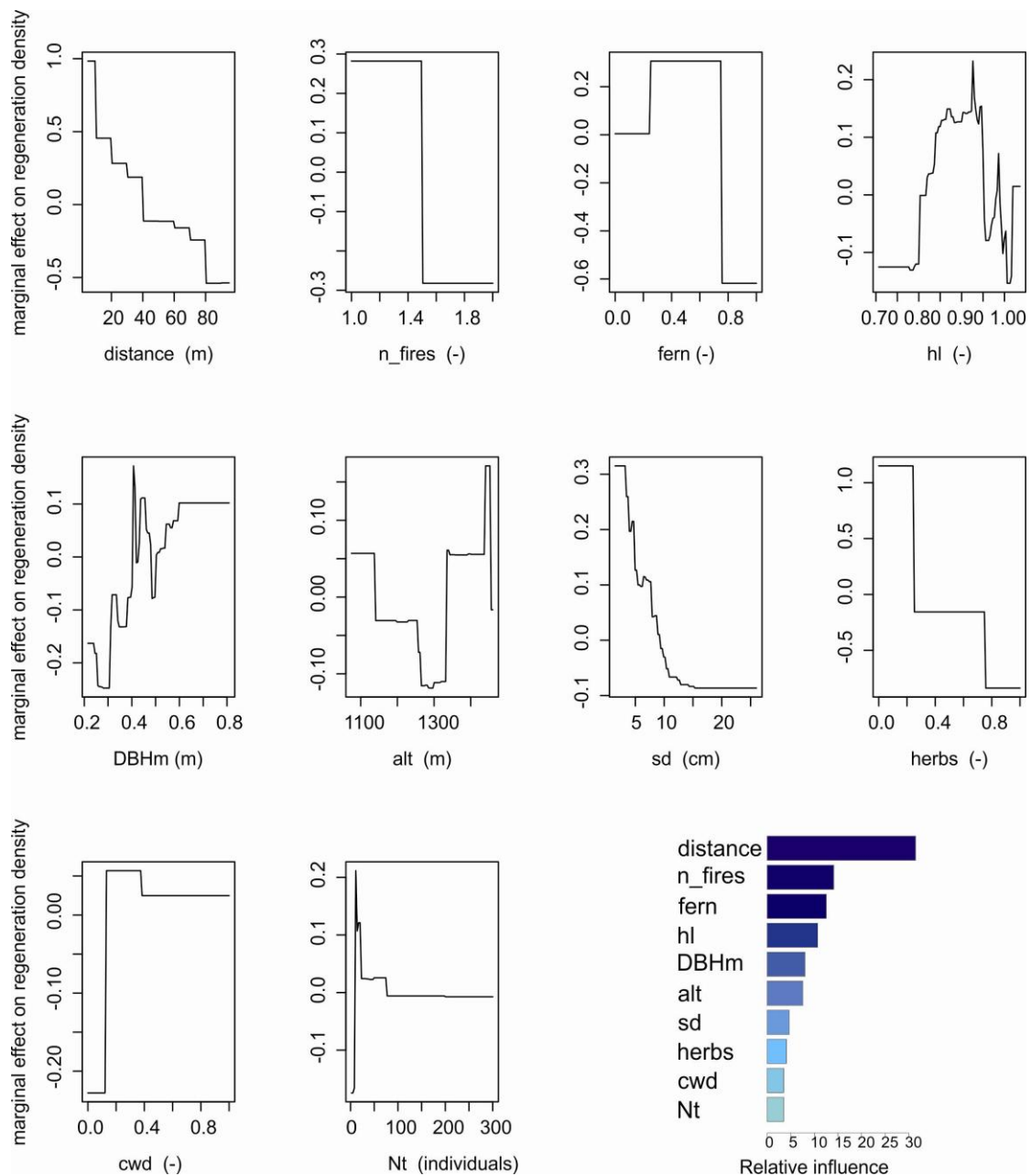
Σύμφωνα με την ανάλυση των ενισχυμένων δένδρων παλινδρόμησης (BRT) ο πιο σημαντικός παράγοντας που ουσιαστικά καθορίζει την αναγέννηση της *Pinus nigra* είναι η απόσταση από την άκαυτη συστάδα. Ειδικότερα, η απόσταση από το όριο της άκαυτης συστάδας ερμηνεύει περισσότερο από το 30% της μεταπυρικής αναγέννησης της *P. nigra*, όπως αυτή εκφράζεται μέσω της πυκνότητας νεαρών ατόμων m^{-2} (βλ. **Διάγραμμα 4.11**).

Ο αριθμός των πυρκαγιών και η παρουσία του *Pteridium aquilinum* (φτέρης) έχουν μέτρια επίδραση στην πυκνότητα της *P. nigra*, ακολουθούμενα από το θερμικό φορτίο, τη διάμετρο των άκαυτων δένδρων και το υψόμετρο. Η παρουσία ποωδών ειδών, πεσμένων ή όρθιων καμένων ή και κομμένων κορμών (cwd), το βάθος εδάφους και ο αριθμός των άκαυτων δένδρων έχουν σχετικά μικρή επίδραση. Το τελικό μοντέλο, με χρήση της διασταυρούμενης επικύρωσης (CV), ερμηνεύει περισσότερο από το 40% της απόκλισης, τιμή που δείχνει την αξιοπιστία του μοντέλου στην εξήγηση των δεδομένων.

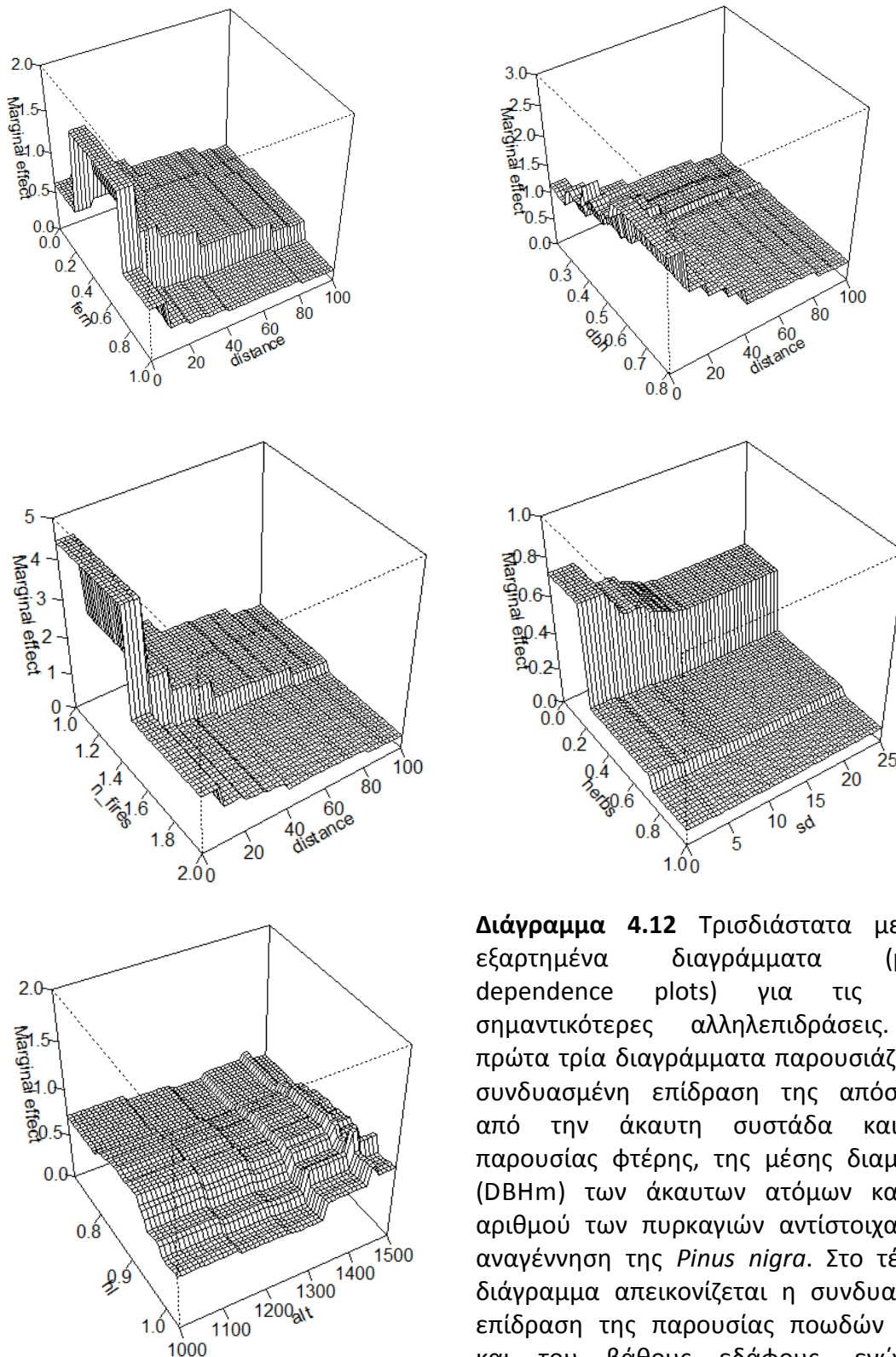
Τα μερικώς εξαρτημένα διαγράμματα (partial dependencies plots) του προσαρμοσμένου μοντέλου (βλ. **Διάγραμμα 4.11**) φανερώνουν ότι όταν οι υπόλοιπες μεταβλητές διατηρούνται σταθερές, οι πυκνότητες των ατόμων Μαύρης πεύκης μειώνονται αυξανόμενης της απόστασης από την άκαυτη συστάδα. Επιπλέον, η αναγέννηση της *Pinus nigra* είναι υψηλότερη σε θέσεις που έχουν εκτεθεί μόνο σε ένα περιστατικό πυρκαγιάς, ενώ η μέτρια παρουσία φτέρης φαίνεται να ευνοεί την παρουσία νεαρών ατόμων Μαύρης πεύκης. Αντίθετα, η αυξημένη κάλυψη του εδάφους από το *P. aquilinum* έχει αρνητική επίδραση στις πυκνότητες της *P. nigra*. Οι ενδιάμεσες τιμές του θερμικού φορτίου φαίνεται να ευνοούν την παρουσία νεαρών ατόμων Μαύρης πεύκης, ενώ το υψόμετρο έχει μία μάλλον συγκεχυμένη επίδραση, με υψηλότερες πυκνότητες να παρατηρούνται στα μεγαλύτερα υψόμετρα. Η πυκνότητα *P. nigra* σχετίζεται θετικά και με τη μέση διάμετρο (DBHm) των άκαυτων ατόμων, μέχρι ενός ορίου, πάνω από το οποίο περαιτέρω αύξηση του DBHm δεν φαίνεται να προκαλεί περαιτέρω αύξηση στην πυκνότητα. Παρόμοιο πρότυπο παρατηρείται και όσον αφορά στον αριθμό των άκαυτων δένδρων, αν και η σχετική επεξηγηματική σημασία της μεταβλητής αυτής είναι σημαντικά χαμηλότερη. Επιπρόσθετα, οι πυκνότητες *P. nigra* είναι χαμηλότερες στις θέσεις με μεγάλη αφθονία ποωδών ειδών, ενώ υψηλότερες πυκνότητες παρατηρούνται σε μικροενδιαίτηματα με σημαντική παρουσία πεσμένων, όρθιων καμένων ή κομμένων κορμών (cwd). Τέλος, οι πυκνότητες *P. nigra* επηρεάζονται επίσης από το βάθος εδάφους, με υψηλότερες πυκνότητες στα πιο ρηχά εδάφη.

Όσον αφορά τις αλληλεπιδράσεις, τρεις από τις πέντε πιο σημαντικές αλληλεπιδράσεις ανά ζεύγη μεταβλητών περιλαμβάνουν τη μεταβλητή με την μεγαλύτερη επεξηγηματική σημασία, την απόσταση. Σημαντικές αλληλεπιδράσεις

βρέθηκαν μεταξύ της απόστασης από το όριο της άκαυτης συστάδας και της παρουσίας φτέρης, της μέσης διαμέτρου των άκαυτων ατόμων (DBHm) και του αριθμού των πυρκαγιών. Κατ' επέκταση, η αναγέννηση της *Pinus nigra* αναμένεται να είναι υψηλότερη σε μικρές αποστάσεις από το όριο άκαυτων συστάδων, αποτελούμενων από μεγάλα, άκαυτα άτομα, σε θέσεις με μέση παρουσία φτέρης που έχουν εκτεθεί σε ένα μόνο περιστατικό πυρκαγιάς. Άλλες ενδιαφέρουσες αλληλεπιδράσεις βρέθηκαν μεταξύ της παρουσίας ποωδών ειδών και του βάθους εδάφους, καθώς και μεταξύ του θερμικού φορτίου και του υψομέτρου (βλ. **Διάγραμμα 4.12**).



Διάγραμμα 4.11 Σχετική επίδραση των δέκα σημαντικότερων μεταβλητών στην αναγέννηση της *P.nigra* (αριθμός ατόμων m^{-2}): distance: απόσταση από την άκαυτη συστάδα, n_fires: αριθμός πυρκαγιών, fern: παρουσία φτέρης, hl: θερμικό φορτίο, DBHm: μέση διάμετρος άκαυτων δένδρων, alt: υψόμετρο, sd: βάθος εδάφους, herbs: παρουσία ποωδών ειδών, Nt: αριθμός ενήλικων άκαυτων δένδρων, cwd: παρουσία πεσμένων ή όρθιων καμένων ή/ και κομμένων κορμών). Κάθε ένα από τα μερικώς εξαρτημένα διαγράμματα αντιπροσωπεύει την οριακή επίδραση (marginal effect) της κάθε μεταβλητής στην αναγέννηση της *P.nigra*, όταν η επίδραση των άλλων μεταβλητών διατηρείται σε μία μέση τιμή. Στον οριζόντιο άξονα σημειώνονται οι τιμές της κάθε ερμηνευτικής μεταβλητής. Στο τελευταίο διάγραμμα τα ποσοστά αντιστοιχούν στη σχετική επίδραση κάθε μεταβλητής.



Διάγραμμα 4.12 Τρισδιάστατα μερικώς εξαρτημένα διαγράμματα (partial dependence plots) για τις πέντε σημαντικότερες αλληλεπιδράσεις. Στα πρώτα τρία διαγράμματα παρουσιάζεται η συνδυασμένη επίδραση της απόστασης από την άκαυτη συστάδα και της παρουσίας φτέρης, της μέσης διαμέτρου (DBHm) των άκαυτων ατόμων και του αριθμού των πυρκαγιών αντίστοιχα στην αναγέννηση της *Pinus nigra*. Στο τέταρτο διάγραμμα απεικονίζεται η συνδυασμένη επίδραση της παρουσίας ποωδών ειδών και του βάθους εδάφους, ενώ στο τελευταίο διάγραμμα απεικονίζεται η συνδυασμένη επίδραση του θερμικού φορτίου και του υψομέτρου.

4.4 Συζήτηση

Με βάση το χάρτη πρόβλεψης της πορείας εποικισμού των καμένων εκτάσεων, όπως αυτός προέκυψε με την εφαρμογή των κριτηρίων στο ΓΣΠ για την εκτίμηση της μεταπυρικής αναγέννησης του πληθυσμού της *Pinus nigra*, αναμένεται μια σημαντική απώλεια δασικών οικοσυστημάτων Μαύρης πεύκης στην περιοχή του Ταυγέτου, της τάξης του 12%. Τα τμήματα της περιοχής όπου προβλέπεται αδυναμία φυσικής αναγέννησης της *P. nigra* αφορούν σε θέσεις απομακρυσμένες από άκαυτες συστάδες ή/ και νησίδες. Η απουσία άκαυτων συστάδων σε μεγάλη έκταση μπορεί να οδηγήσει σε αλλαγή του τύπου βλάστησης με επακόλουθες αλλαγές στις οικοσυστημικές λειτουργίες και στη σύνθεση των ειδών χλωρίδας και πανίδας (Stephens et al. 2013). Στις περισσότερες περιπτώσεις, τα δάση αντικαθίστανται από θαμνώνες ή εκτάσεις όπου επικρατεί χαμηλή ποώδης βλάστηση (Retana et al. 2012). Ενδιαφέρον παρουσιάζει και η πορεία των οικοσυστημάτων Μαύρης πεύκης σε περιπτώσεις όπου υπάρχουν άλλα είδη του γένους *Pinus*, που είναι προσαρμοσμένα στην περιοδική δράση της φωτιάς. Σε μοντέλο διαδοχής που έγινε για την Ισπανία (Retana et al. 2002) βρέθηκε ότι 30 χρόνια μετά τη δράση της φωτιάς οι θέσεις *P. nigra* που βρίσκονται σε χαμηλό υψόμετρο και κοντά σε συστάδες με *Pinus halepensis* μετατρέπονται σε δάση *P. halepensis*. Αντίστοιχα αποτελέσματα έχουν βρεθεί και σε μεικτές συστάδες *P. nigra* με *Pinus brutia* στην Ελλάδα, όπου η *P. brutia* εισβάλλει στις θέσεις της *P. nigra* (Fyllas et al. 2008).

Στην περίπτωση της περιοχής μελέτης, η *Pinus nigra* είναι πιθανό να εισβάλει σε θέσεις οι οποίες πριν τη δράση της φωτιάς καταλαμβάνονταν από δάση *Abies cerphalonica*, καθώς η Κεφαλληνιακή ελάτη έχει πολύ περιορισμένες δυνατότητες μεταπυρικής αναγέννησης (Arianoutsou et al. 2009, 2010, Ganatsas et al. 2012, Χριστοπούλου και συν. 2008, Χριστοπούλου 2009). Προϋπόθεση, αποτελεί η ύπαρξη άκαυτων συστάδων Μαύρης πεύκης ή και μικτών συστάδων με Κεφαλληνιακή ελάτη. Αντίθετα, στις τελείως καμένες και απομονωμένες εκτάσεις, χωρίς παρουσία άκαυτων συστάδων, αναμένεται τα δασικά οικοσυστήματα Μαύρης πεύκης να διαδεχθούν εκτάσεις χαμηλής βλάστησης ποωδών ή/ και ξυλωδών, αναβλαστανόντων ειδών (Retana et al. 2012). Ο εντοπισμός των περιοχών όπου η φυσική μεταπυρική αναγέννηση της *P. nigra* είναι προβληματική, με βάση την εφαρμογή συγκεκριμένων οικολογικών κριτηρίων, είναι ιδιαίτερα σημαντικός για την επιλογή των περιοχών όπου θα πρέπει να λάβουν χώρα μεταπυρικές διαχειριστικές πρακτικές.

Η μέση πυκνότητα νεαρών ατόμων *Pinus nigra* στις θέσεις κοντά σε άκαυτες συστάδες ήταν 0.406 άτομα m⁻², αν και σημαντικές διαφορές βρέθηκαν μεταξύ των θέσεων, αλλά και μεταξύ των διατομών της ίδιας θέσης δειγματοληψίας, με το εύρος να κυμαίνεται από 0.000-13.500 άτομα m⁻². Μεγάλες διακυμάνσεις όσον αφορά στη μεταπυρική αναγέννηση του είδους έχουν βρεθεί και σε άλλες έρευνες πεδίου (Trabaud and Campant 1991, Gracia et al. 2002, Retana et al. 2002, Τανζανοğlu 2008), καθώς και στο μοντέλο προσομοίωσης των Ordóñez et al. (2006).

Στην περιοχή του Ταυγέτου, πέντε χρόνια μετά την πυρκαγιά η αναγέννηση στις τελείως καμένες και απομονωμένες εκτάσεις παραμένει πρακτική μηδενική, με τη μέση πυκνότητα να είναι ίση με $0.007 \text{ άτομα m}^{-2}$ και εύρος τιμών από 0.000 έως $0.500 \text{ άτομα m}^{-2}$, όπως αναφέρεται και για άλλες περιοχές με παρόμοιες συνθήκες (Trabaud and Campant 1991, Retana et al. 2002, Τανζανοğlu 2008). Οι πυκνότητες που βρέθηκαν στην παρούσα έρευνα είναι αντίστοιχες με αυτές που έχουν βρεθεί για δάση Μαύρης πεύκης στη Δυτική ($0.022 \text{ άτομα m}^{-2}$, Retana et al. 2002) και την Ανατολική Μεσόγειο ($0.077 \text{ άτομα m}^{-2}$, Τανζανοğlu 2008).

Όσον αφορά στην ηλικιακή σύνθεση του αναγεννώμενου πληθυσμού *Pinus nigra*, τα περισσότερα νεαρά άτομα που καταγράφηκαν (72.36%) ήταν αποτέλεσμα διασποράς και φύτευσης σπερμάτων των δύο πρώτων μεταπυρικών ετών (2008 και 2009), γεγονός που φανερώνει ότι η εγκατάσταση των αρτιβλάστων αρχίζει αμέσως μετά τη φωτιά (Gracia et al. 2002, Ordóñez et al. 2006). Οι ετήσιες διακυμάνσεις που παρατηρούνται στις πυκνότητες *P. nigra* μπορούν να αποδοθούν στην ετήσια διακύμανση παραγωγής κώνων και σπερμάτων. Σύμφωνα με τον Kerr (2000) το υποείδος *P. nigra* subsp. *laricio* παράγει κώνους και σπέρματα κάθε χρόνο, αλλά καλές χρονιές ως προς την παραγωγή καταγράφονται μόνο κάθε 3-5 χρόνια. Μεγάλες διακυμάνσεις στην παραγωγή κώνων και σπερμάτων έχουν βρεθεί και για τους πληθυσμούς *P. nigra* στην Ισπανία (Ordóñez et al. 2006, Cerro et al. 2009, Tíscar and Linares 2011a 2011b). Ετήσιες διακυμάνσεις της καρποφορίας (masting) έχουν καταγραφεί και για άλλα είδη ορεινών κωνοφόρων στην Ελλάδα, όπως η *Abies cephalonica* (Politi et al. 2009, Πολίτη 2009). Παρόλα αυτά, και όπως έχει αναφερθεί από τους Ordóñez et al. (2006), μία καλή ή κακή χρονιά ως προς την παραγωγή κώνων και σπερμάτων δεν επηρεάζει σημαντικά την απόσταση διασποράς των σπερμάτων, αν και ο αριθμός των νεαρών ατόμων που αναμένεται να προκύψει προφανώς αλλάζει (Διάγραμμα 4.11).

Τα αποτελέσματά μας, σε συμφωνία με άλλες μελέτες (Retana et al. 2002, Ordóñez and Retana 2004, Ordóñez et al. 2005, 2006), επιβεβαιώνουν τη σημασία της ύπαρξης άκαυτων συστάδων για την αποκατάσταση των πληθυσμών και την επανεποίκιση των καμένων περιοχών μέσω της διασποράς σπερμάτων. Πιο συγκεκριμένα, οι πυκνότητες Μαύρης πεύκης μειώνονται αυξανόμενης της απόστασης από το όριο της άκαυτης συστάδας. Η *Pinus nigra* διαθέτει πτερυγιοφόρα σπέρματα (Klaus 1989), μία τυπική δομή των ειδών του γένους *Pinus* που χαρακτηρίζονται από ανεμόχωρη διασπορά (Nathan et al. 2001). Όπως έχει αναφερθεί και για άλλα είδη της συγκεκριμένης ομάδας (για π.χ. *Pinus halepensis*; Nathan et al. 2000, Nathan and Casagrandi 2004, Nathan and Ne'eman 2004), η καμπύλη διασποράς (dispersal curve) των σπερμάτων παρουσιάζει μία μέγιστη τιμή κοντά στο μητρικό φυτό, μια απότομη μείωση όσο αυξάνεται η απόσταση από αυτό και εμφανίζει μακριά ουρά (long tail). Η διασπορά των σπερμάτων μπορεί να έχει σημαντική επίδραση στη στρατολόγηση (recruitment) των ειδών που αναπαράγονται με σπέρματα και επομένως έχει μεγάλη σπουδαιότητα για τη δυναμική των δασών, ιδιαίτερα σε καταστάσεις διαταραχής, όπως μετά την επίδραση πυρκαγιάς (Sagnard et al. 2007).

Τα εμπειρικά μοντέλα διασποράς μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την περιγραφή της πραγματοποιούμενης διασποράς, όπως αυτή καταγράφηκε μέσω του αριθμού των νεαρών ατόμων Μαύρης πεύκης στο πεδίο. Η εξίσωση που περιγράφει καλύτερα το πρότυπο παρουσίας των νεαρών ατόμων αυξανόμενη της απόστασης από το άκρο της άκαυτης νησίδας είναι η εξίσωση Mixed, η οποία λαμβάνει υπόψη τη διασπορά κοντινών αλλά και μακρινών αποστάσεων (Clark et al. 1999). Σύμφωνα με τους Trabaud and Camprant (1991) το 94% των σπερμάτων διασπείρεται σε αποστάσεις μικρότερες των 14m από το όριο της άκαυτης συστάδας. Οι Ordóñez et al. (2006) υποστηρίζουν ότι τα περισσότερα σπέρματα διασπείρονται σε αποστάσεις μικρότερες των 10m από το μητρικό δένδρο, ενώ η διασπορά μεγάλων αποστάσεων είναι ένα μάλλον σπάνιο γεγονός. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης, το 50% των νεαρών ατόμων Μαύρης πεύκης εντοπίζονται στα πρώτα 21m από το όριο της άκαυτης συστάδας, ενώ το 75.6% της αναγέννησης λαμβάνει χώρα σε αποστάσεις μικρότερες ή ίσες των 50m. Ωστόσο, το πρότυπο χωρικής παρουσίας των νεαρών ατόμων Μαύρης πεύκης μπορεί επίσης να είναι αποτέλεσμα δευτερογενούς διασποράς από αβιοτικούς παράγοντες, όπως το νερό της βροχής (Hampe and Arroyo 2002) ή και μεταφοράς των σπερμάτων από θηρευτές, όπως τα τρωκτικά και τα μυρμήγκια (Ordóñez and Retana 2004).

Η πυκνότητα *Pinus nigra* επηρεάζεται αρνητικά από τον αριθμό των πυρκαγιών. Η επαναποίκιση των διπλοκαμένων περιοχών φαίνεται να είναι δύσκολη, παρά την παρουσία άκαυτων συστάδων. Το γεγονός αυτό είναι πιθανό να σχετίζεται με τις πιο ξηρές συνθήκες που επικρατούν στις θέσεις αυτές (Gracia et al. 2002), καθώς και με την υψηλή κάλυψη του εδάφους από ισχυρούς ανταγωνιστές για φως, όπως το *P. aquilinum*, και θρεπτικά του εδάφους, που συνήθως αφορούν σε πολυετή αγρωστώδη (Gaudio et al. 2011b), όπως το *Brachypodium retusum*. Ο διαειδικός ανταγωνισμός είναι ένας σημαντικός παράγοντας που μπορεί να περιορίσει την αναγέννηση της *P. nigra*. Τα αποτελέσματά μας είναι σε συμφωνία με αυτά των Trabaud and Camprant (1991) που υποστηρίζουν ότι η αναγέννηση είναι περιορισμένη σε θέσεις με μεγάλη παρουσία ποωδών ειδών. Αντίστοιχα, σύμφωνα με τους Ordóñez et al (2004), τα αγρωστώδη και οι θάμνοι έχουν σημαντική αρνητική επίδραση στην επιβίωση των νεαρών ατόμων, γεγονός που μπορεί να αποδοθεί στον ανταγωνισμό για θρεπτικά, την αλληλοπάθεια ή έμμεσα την τροποποίηση του μικροενδιαίτηματος, με τρόπο που είναι επιζήμιος για τα άτομα *P. nigra*. Ωστόσο, στην ίδια μελέτη αναφέρεται ότι η επιβίωση των αρτιβλάστων μπορεί να είναι υψηλότερη στον υπόροφο μεγάλων αναβλαστανόντων ατόμων. Εντούτοις, σύμφωνα με τους Tíscar and Linares (2011b), η επίδραση των θαμνωδών ειδών στην αναγέννηση της *P. nigra* εξαρτάται τόσο από το εκάστοτε είδος, όσο και από την ικανότητά του να εποικεί νέες περιοχές. Μόνο συγκεκριμένα είδη θάμνων, όπως τα είδη του γένους *Juniperus*, φαίνεται να διευκολύνουν την αναγέννηση της *P. nigra*. Στην παρούσα μελέτη, το πιο άφθονο είδος του υπορόφου ήταν το *Pteridium aquilinum*. Σύμφωνα με τους Gaudio et al. (2011b) οι αυξημένες πυκνότητες *P. aquilinum* έχουν αρνητική επίδραση στην αύξηση των νεαρών ατόμων *Pinus sylvestris*, αλλά δεν φαίνεται να επηρεάζουν την επιβίωσή τους. Το *P. aquilinum* παρουσιάζει πολύ ικανοποιητική αναγέννηση μέσω αναβλάστησης

(Hofmann et al. 1998, Moretti et al. 2002) και είναι πολύ ισχυρός ανταγωνιστής για το φως και άλλους περιβαλλοντικούς πόρους (Gaudio et al. 2011a, 2011b). Με βάση τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης, η ενδιάμεση παρουσία φτέρης φαίνεται να ευνοεί την αναγέννηση της *P. nigra*, ενώ η υψηλή παρουσία έχει μάλλον αρνητική επίδραση. Το γεγονός αυτό μπορεί να αποδοθεί στις αλλαγές στην ποιότητα και ποσότητα του φωτός που προκαλείται από την υψηλή κάλυψη από φτέρες και στην ικανότητά τους να αναπτύσσονται ανεξαρτήτως του διαθέσιμου επιπέδου φωτός (Gaudio et al. 2011a).

Επιπλέον, οι πυκνότητες Μαύρης πεύκης ήταν υψηλότερες σε μικροενδιαίτηματα με παρουσία πεσμένων κορμών και κλαδιών, όρθιων καμένων ή/και υπολείμματα κομμένων κορμών. Παρόμοια αποτελέσματα έχουν αναφερθεί και για το *Pinus halepensis* (Pausas et al. 2004, Poirazidis et al. 2012). Οι διαφορετικοί αυτοί τύποι ξυλωδών υπολειμμάτων (cwd) λειτουργούν ως “nurse logs”, προσφέροντας κατάλληλα μικροενδιαίτηματα για τη φυσική αναγέννηση (Harmon et al. 1986, Takahashi et al. 2000, Tinker and Knight 2000). Εκτός αυτού, μειώνουν τη διάβρωση και επηρεάζουν τη σύνθεση του εδάφους σε θρεπτικά και νερό, ενώ ταυτόχρονα παρέχουν σημαντική πηγή ενέργειας και θρεπτικών (Harmon et al. 1986, Harmon and Hua 1991). Η θετική επίδρασή τους μπορεί επίσης να σχετίζεται με την προσφορά κάποιου βαθμού σκίασης, ο οποίος προστατεύει τα αρτίβλαστα και τα νεαρά άτομα *P. nigra* από τις ακραίες θερμοκρασίες και την υπερβολική εξατμισιοδιαπνοή.

Η καταγραφή υψηλότερων πυκνοτήτων Μαύρης πεύκης στα πιο ρηχά εδάφη φαντάζει αρχικά περίεργη. Παρότι η *Pinus nigra* είναι προσαρμοσμένη σε πολλούς τύπους εδαφών, συμπεριλαμβανομένων των ξηρών και ρηχών εδαφών, η ανάπτυξή της είναι καλύτερη σε βαθύτερα εδάφη (Van Haverbeke 1986). Οι χαμηλότερες πυκνότητες που παρατηρήθηκαν σε βαθύτερα εδάφη μπορεί να σχετίζονται με τη μεγαλύτερη αφθονία άλλων φυτικών ειδών που δύνανται να είναι περισσότερο ανταγωνιστικά από τα πεύκα σε αυτό το στάδιο ανάπτυξης. Για παράδειγμα, τα διάφορα πολυετή αγρωστώδη έχει βρεθεί ότι αναπτύσσουν πυκνό ριζικό σύστημα στο ίδιο βάθος με τα νεαρά πεύκα, γεγονός που οδηγεί σε εντονότερες ανταγωνιστικές αλληλεπιδράσεις (Gaudio et al. 2011b). Η υπόθεση αυτή υποστηρίζεται και από τα δικά μας αποτελέσματα και ειδικότερα από την αλληλεπίδραση που βρέθηκε μεταξύ της αφθονίας ποωδών ειδών και του βάθους εδάφους (Διάγραμμα 4.12).

Το θερμικό φορτίο και το υψόμετρο έχουν επίσης σχετικά σημαντική επίδραση στο βαθμό αναγέννησης της *Pinus nigra*. Ενδιάμεσες τιμές του θερμικού φορτίου φαίνεται να ευνοούν την αναγέννηση, καθώς η επιβίωση και η ανάπτυξη των αρτίβλαστων και των νεαρών ατόμων είναι καλύτερη υπό μέτριες συνθήκες φωτός και θερμοκρασίας (Ordóñez et al. 2004, Cerro et al. 2009). Αν και η *P. nigra* είναι ανθεκτική στην υψηλή ακτινοβολία (Tíscar and Linares 2011a), η πίεση της ξηρασίας, όπως αυτή εκφράζεται μέσω του αυξημένου θερμικού φορτίου, έχει αρνητική επίδραση στην πυκνότητα αναγέννησής της (Fyllas et al. 2008). Το

πρότυπο αναγέννησης της *P. nigra* σε σχέση με το υψόμετρο είναι πιο δύσκολο να ερμηνευθεί, καθώς ποικίλες περιβαλλοντικές, κυρίως ατμοσφαιρικές μεταβολές σχετίζονται με το υψόμετρο (Körner 2007). Στην περίπτωση της παρούσας έρευνας, το υψομετρικό εύρος των θέσεων δειγματοληψίας (1075-1460m) δεν επιτρέπει την εξαγωγή ισχυρών συμπερασμάτων όσον αφορά στην επίδραση του υψομέτρου στην αναγέννηση της *P. nigra*. Σε γενικές γραμμές, με βάση τα αποτελέσματά μας, τα μεγαλύτερα υψόμετρα φαίνεται να προωθούν την αναγέννηση της, αν και υπάρχει σχετικά ισχυρή αλληλεπίδραση μεταξύ του υψομέτρου και του θερμικού φορτίου. Με βάση τα αποτελέσματα της αλληλεπίδρασης αυτής η αναγέννηση της *P. nigra* αναμένεται να είναι καλύτερη σε χαμηλότερα υψόμετρα με ενδιάμεσες τιμές θερμικού φορτίου ή/ και σε μεγαλύτερα υψόμετρα με υψηλές τιμές θερμικού φορτίου (Διάγραμμα 4.11).

Παρότι τα χαρακτηριστικά του μικροενδιαιτήματος και οι περιβαλλοντικές παράμετροι μπορούν να διευκολύνουν ή να καθυστερήσουν την αναγέννηση της *Pinus nigra*, ο πιο σημαντικός παράγοντας που ουσιαστικά καθορίζει την αναγέννηση του είδους είναι η ύπαρξη άκαυτων συστάδων. Με βάση τα αποτελέσματα της ανάλυσης BRT, το μέγεθος των ενήλικων άκαυτων ατόμων, όπως αυτό εκφράζεται μέσω της στηθιαίας διαμέτρου των δένδρων (DBHm) είναι ένας ακόμα σημαντικός παράγοντας, ο οποίος επηρεάζει θετικά τη μεταπυρική αναγέννηση του είδους. Όπως έχει τεκμηριωθεί από τους Ordóñez et al. (2005), τα μεγαλύτερα δένδρα παράγουν περισσότερους κώνους, με μεγαλύτερη συχνότητα και αφθονία από ότι τα μεσαία και μικρά δένδρα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αυξημένη εγκατάσταση αρτιβλάστων (Ordóñez et al. 2006). Οι άκαυτες συστάδες πρέπει να αποτελούνται από ικανοποιητικό αριθμό δένδρων για την επιτυχή διασπορά σπερμάτων και κατ' επέκταση την αναγέννηση του είδους. Παρόλα αυτά, η θετική επίδραση του αριθμού των δένδρων ακυρώνεται στις πολύ πυκνές συστάδες. Οι πυκνές συστάδες χαρακτηρίζονται από χαμηλότερη παραγωγή κώνων και σπερμάτων, γεγονός που μπορεί να αποδοθεί στη μικρότερη διαθέσιμη επιφάνεια για φωτοσύνθεση και στην περιορισμένη πρόσβαση σε πόρους για την ανάπτυξη των κώνων λόγω του αυξημένου ενδοειδικού ανταγωνισμού (Arista and Talavera 1996). Οι Ordóñez et al. (2005) αναφέρουν παρόμοια αποτελέσματα για την *P. nigra*, με τη συνολική καρποφορία και τον αριθμό των ετών που κάθε άτομο παράγει κώνους να μειώνονται αυξανόμενου του μεγέθους της νησίδας.

Από τα στοιχεία που καταγράφονταν συμπληρωματικά όσον αφορά στην αναγέννηση των φυτοκοινοτήτων διαφαίνεται ότι στις μεταπυρικές φυτοκοινότητες *Pinus nigra* απαντούν τόσο ξυλώδη όσο και ποώδη είδη, όπως έχει βρεθεί και σε άλλες αντίστοιχες έρευνες πεδίου (Ocak et al. 2007, Tavşanoğlu 2008, Arianoutsou et al. 2010, Αριανούτσου και συν. 2009). Τα ποώδη είδη φαίνεται να επικρατούν κατά τα πρώτα στάδια της μεταπυρικής αναγέννησης, τόσο όσον αφορά στον αριθμό των ειδών, όσο και ως προς τη σχετική αφθονία. Το *Pteridium aquilinum* εμφανίζει υψηλό βαθμό φυτοκάλυψης, όπως έχει βρεθεί και σε ειδικότερες έρευνες που έχουν λάβει χώρα στην περιοχή του Πάρνωννα (Γεωργιάδης και Δημητρέλος 2010). Η γνώση της σύνθεσης των καμένων φυτοκοινοτήτων έχει

αυξημένη σημασία καθώς, όπως προαναφέρθηκε, αρκετά είδη δύνανται να δρουν ανταγωνιστικά ή ενισχυτικά ως προς την αναγέννηση της *P. nigra*.

Συμπερασματικά, τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας επιβεβαιώνουν τη σημασία της παρουσίας άκαυτων συστάδων στη μεταπυρική αναγέννηση της *Pinus nigra*. Σε περιπτώσεις επικόρυφων πυρκαγιών μεγάλης έντασης και έκτασης η αναγέννηση του είδους εξαρτάται σχεδόν αποκλειστικά από τη διασπορά σπερμάτων από γειτονικές άκαυτες συστάδες και νησίδες. Η αξιολόγηση της παρουσίας και η διατήρηση των άκαυτων συστάδων και νησίδων, ιδίως αυτών με μεγάλα ενήλικα άτομα, είναι πρωτεύουσας σημασίας για τη μεταπυρική διαχείριση των οικοσυστημάτων. Παρόλα αυτά, διάφοροι περιβαλλοντικοί παράγοντες, καθώς και τα χαρακτηριστικά του μικροενδιαιτήματος επηρεάζουν το ρυθμό φυσικής μεταπυρικής αναγέννησης. Ο έλεγχος των ποωδών ειδών και της πυκνότητας της φτέρης εκτιμάται ότι μπορεί να προωθήσει τη φυσική αναγέννηση της *P. nigra*. Παράλληλα, θα πρέπει να αποφεύγεται η απομάκρυνση των νεκρών πεσμένων ή όρθιων καμένων κορμών, οι οποίοι εκτός από την προστασία του εδάφους από τη διάβρωση και την παροχή θρεπτικών, μπορούν να προσφέρουν και κατάλληλα μικροενδιαιτήματα για τη φυσική μεταπυρική αναγέννηση της *P. nigra*.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι πυρκαγιές συχνά αντιμετωπίζονται ως εν γένει καταστροφικές για τα δάση *Pinus nigra*. Στην πραγματικότητα όμως η *Pinus nigra* είναι ένα είδος ανθεκτικό στις έρπουσες πυρκαγιές. Στην περιοχή του Ταϋγέτου, κατά τη διάρκεια των 165 ετών ανάλυσης, εντοπίστηκαν 34 περιστατικά πυρκαγιών. Το εύρος του μεσοδιαστήματος μεταξύ των πυρκαγιών που καταγράφηκε κατατάσσει τα οικοσυστήματα Μαύρης πεύκης στην κατηγορία των οικοσυστημάτων που χαρακτηρίζονται από αυξημένη παραγωγή βιομάζας και συχνή παρουσία ερπουσών πυρκαγιών, με πιθανή την κατά τόπους εκδήλωση επικόρυφων πυρκαγιών, οι οποίες τελικά ευνοούν την αραίωση της συστάδας.

Η εποχή εκδήλωσης των πυρκαγιών δεν έχει μεταβληθεί σημαντικά κατά τη διάρκεια των τελευταίων δύο αιώνων, με τις περισσότερες πυρκαγιές να εμφανίζονται κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου και ειδικά προς το τέλος του καλοκαιριού. Η περίοδος εκδήλωσης των πυρκαγιών είναι αντίστοιχη με αυτή που έχει βρεθεί και σε άλλες περιοχές με Μεσογειακό κλίμα. Κατά τη διάρκεια της περιόδου ανάλυσης δεν διέφεραν σημαντικά ούτε η συχνότητα των πυρκαγιών, ούτε το ποσοστό των σηματομενών δένδρων. Συνολικά, το καθεστώς της φωτιάς στα δάση Μαύρης πεύκης του Ταϋγέτου παρουσιάζει σταθερό πρότυπο, με συχνή παρουσία ερπουσών πυρκαγιών, οι οποίες σημειώνονται κυρίως τους θερινούς μήνες.

Η εμφάνιση των πυρκαγιών δεν φαίνεται να σχετίζεται με τις επικρατούσες κλιματικές συνθήκες, γεγονός που πιθανώς φανερώνει ότι το καθεστώς της φωτιάς στα εν λόγω δασικά οικοσυστήματα ρυθμίζεται από τον άνθρωπο. Αν και τα αίτια εκδήλωσης των πυρκαγιών δεν είναι γνωστά εκτιμάται ότι η εγκατάλειψη των ορεινών καλλιεργειών, η μείωση των κτηνοτροφικών δραστηριοτήτων, καθώς και η εγκατάλειψη των παραδοσιακών πρακτικών εκμετάλλευσης της ξυλείας και των δασικών πόρων έχουν συμβάλει στην αύξηση της επικινδυνότητας εκδήλωσης πυρκαγιών, ως συνεπακόλουθο της αύξησης της διαθέσιμης βιομάζας. Αντίθετα, οι δύο τελευταίες πυρκαγιές του 1998 και του 2007 φαίνεται ότι προωθήθηκαν από ένα συνδυασμό χαμηλής βροχόπτωσης και υψηλών θερμοκρασιών. Τα δύο αυτά περιστατικά αποτελούν και τις μεγαλύτερες σε έκταση πυρκαγιές στην περιοχή του Ταϋγέτου. Ειδικά όσον αφορά στην πυρκαγιά του 2007, αποτελεί το πιο εκτεταμένο και το μεγαλύτερο σε ένταση περιστατικό, κατά τη διάρκεια των 165 ετών ανάλυσης.

Η διερεύνηση των επιπτώσεων της μεγαπυρκαγιάς του 2007 και η παρακολούθηση της φυσικής μεταπυρικής αναγέννησης της *Pinus nigra* έγιναν μέσω συνδυασμένης χρήσης τεχνικών δορυφορικής τηλεπισκόπησης, τεχνικών Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών και ερευνών πεδίου.

Οι έρευνες πεδίου επιβεβαιώνουν τη δυνατότητα φυσικής μεταπυρικής αναγέννησης του είδους, σε σχέση με τη διαθεσιμότητα άκαυτων συστάδων.

Ειδικότερα, η αναγέννηση της *P. nigra* είναι ικανοποιητική σε θέσεις που γειτνιάζουν με άκαυτες συστάδες ή νησίδες, αν και σημαντικές διαφορές παρατηρούνται μεταξύ των θέσεων. Τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας, σε συμφωνία με άλλες μελέτες, επιβεβαιώνουν τη σημασία της ύπαρξης άκαυτων συστάδων για την επανεποίκιση των καμένων εκτάσεων μέσω της διασποράς σπερμάτων. Πιο συγκεκριμένα, οι πυκνότητες *P. nigra* μειώνονται αυξανόμενης της απόστασης από το όριο της άκαυτης συστάδας. Αντίθετα, πέντε χρόνια μετά την πυρκαγιά η αναγέννηση στις τελείως καμένες και απομονωμένες εκτάσεις παραμένει πρακτικά μηδενική. Ο επανεποικισμός των καμένων εκτάσεων ξεκινάει αμέσως μετά τη φωτιά και συνεχίζεται τα επόμενα έτη, ενώ στις καμένες αποστάσεις, η εγκατάσταση των αρτιβλάστων φαίνεται να παρουσιάζει καθυστέρηση.

Τα εμπειρικά μοντέλα διασποράς μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την περιγραφή της πραγματοποιούμενης διασποράς, όπως αυτή καταγράφηκε μέσω του αριθμού των νεαρών ατόμων *Pinus nigra* στο πεδίο. Η εξίσωση που περιγράφει καλύτερα το πρότυπο παρουσίας των νεαρών ατόμων αυξανόμενης της απόστασης από το άκρο της άκαυτης νησίδας είναι η εξίσωση Mixed, η οποία λαμβάνει υπόψη τη διασπορά κοντινών αλλά και μακρινών αποστάσεων.

Η στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων με ενισχυμένα δένδρα παλινδρόμησης επέτρεψε τον προσδιορισμό των σημαντικότερων αβιοτικών και βιοτικών μεταβλητών που επηρεάζουν το βαθμό αναγέννησης του είδους. Σε περιπτώσεις μεγάλης έντασης, επικόρουφων πυρκαγιών η μεταπυρική αναγέννηση της *Pinus nigra* εξαρτάται σχεδόν αποκλειστικά από τη διασπορά σπερμάτων από γειτονικές άκαυτες συστάδες.

Η αξιολόγηση της παρουσίας και η διατήρηση των άκαυτων συστάδων και νησίδων, ιδίως αυτών με μεγάλα ενήλικα άτομα, είναι πρωτεύουσας σημασίας για τη μεταπυρική διαχείριση των οικοσυστημάτων Μαύρης πεύκης. Τα χαρακτηριστικά της συστάδας, οι αβιοτικοί παράγοντες, καθώς και τα χαρακτηριστικά του μικροενδιαίτηματος επηρεάζουν το ρυθμό φυσικής μεταπυρικής αναγέννησης.

Στις μεταπυρικές φυτοκοινότητες *Pinus nigra* απαντούν τόσο ξυλώδη όσο και ποώδη είδη, με τα ποώδη είδη να επικρατούν, τόσο όσον αφορά στον αριθμό των ειδών, όσο και ως προς τη σχετική αφθονία. Από τα καταγραφέντα είδη, το *Pteridium aquilinum* εμφανίζει τον υψηλότερο βαθμό φυτοκάλυψης, λόγω της πολύ ικανοποιητικής αναγέννησής του μέσω αναβλάστησης.

Ο έλεγχος των ποωδών ειδών και της πυκνότητας της φτέρης εκτιμάται ότι μπορεί να προωθήσει τη φυσική αναγέννηση της *Pinus nigra*. Παράλληλα, θα πρέπει να αποφεύγεται η απομάκρυνση των νεκρών πεσμένων ή όρθιων καμένων κορμών, οι οποίοι, εκτός από την προστασία του εδάφους από τη διάβρωση και την παροχή θρεπτικών, μπορούν να προσφέρουν και κατάλληλα μικροενδιαίτηματα για τη φυσική μεταπυρική αναγέννηση της *P. nigra*.

Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης συνεισφέρουν στα περιορισμένα δεδομένα που υπάρχουν ως προς την ανασύσταση του ιστορικού καθεστώτος της φωτιάς, μέσω της ανάλυσης των σημαδιών φωτιάς, για την περιοχή της Μεσογειακής λεκάνης, ενώ ταυτόχρονα επιβεβαιώνουν τη σημασία της παρουσίας άκαυτων συστάδων στη μεταπυρική αναγέννηση της *Pinus nigra*. Τα βασικότερα συμπεράσματα της διδακτορικής διατριβής μπορούν να συνοψιστούν ως ακολούθως:

- Η δενδροχρονολόγηση και ειδικότερα η ανάλυση των σημαδιών φωτιάς μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανασύσταση της ιστορίας της φωτιάς. Τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας συνεισφέρουν στα περιορισμένα δεδομένα που υπάρχουν ως προς την ανασύσταση του ιστορικού καθεστώτος της φωτιάς, μέσω της ανάλυσης των σημαδιών φωτιάς, για την περιοχή της Μεσογειακής λεκάνης.
- Η γνώση του ιστορικού καθεστώτος της φωτιάς παρέχει σημαντικές πληροφορίες για την επιλογή διαχειριστικών πρακτικών και τη λήψη μέτρων προστασίας και διατήρησης των δασικών οικοσυστημάτων.
- Η *Pinus nigra* είναι ένα είδος ανθεκτικό στη φωτιά, με την προϋπόθεση ότι εκτίθεται σε έρπουσες πυρκαγιές, ακόμα και όταν συμβαίνουν κατ' επανάληψη.
- Σε περίπτωση επικόρυφων πυρκαγιών η δυνατότητα φυσικής μεταπυρικής αναγέννησης της *Pinus nigra* εξαρτάται άμεσα από τη διαθεσιμότητα άκαυτων συστάδων και νησίδων. Ωστόσο, ο ρυθμός φυσικής μεταπυρικής αναγέννησης επηρεάζεται και από μία σειρά περιβαλλοντικών παραγόντων, καθώς και από τα χαρακτηριστικά του μικροενδιαίτηματος.
- Η χρήση μοντέλων για την πρόβλεψη της πορείας μεταπυρικής αναγέννησης και η επιβεβαίωση των προβλέψεων με εργασίες πεδίου μπορούν να συνεισφέρουν στον προσδιορισμό των προτεραιοτήτων όσον αφορά στη μεταπυρική διαχείριση των οικοσυστημάτων Μαύρης πεύκης, αλλά και άλλων δασικών οικοσυστημάτων με παρόμοια οικολογικά χαρακτηριστικά.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ξενόγλωσση

Agee J.K., 1974. Environmental impacts from fire management alternatives from National Park Service. San Francisco.

Agee J.K., 1993. Fire Ecology of Pacific Northwest Forests. Island Press, Washington D.C.

Agee J.K., 1998. Fire and pine ecosystems. In: Richardson D.M. (ed.), Ecology and Biogeography of *Pinus*. Cambridge University Press. pp. 193-218.

Ali A.A., Asselin H, Larouche A.C., Bergeron Y., Carcaillet C., Richard P.J.H., 2008. Changes in fire regime explain the Holocene rise and fall of *Abies balsamea* in the coniferous forests of western Québec, Canada. The Holocene 18(5), 693–703.

Alvarez R., Valbuena L., Calvo L., 2007. Effects of high temperatures on seed germination and seedling survival in three pine species (*Pinus pinaster*, *P. sylvestris*, and *P. nigra*). International Journal of Wildland Fire 16: 63–70.

Andreu L., Gutiérrez E., Macias M., Ribas M., Bosch O., Camarero J.J., 2007. Climate increases regional tree-growth variability in Iberian pine forests. Global Change Biology 13(4): 804-815.

Arianoutsou M., 1998. Aspects of demography in post-fire Mediterranean plant communities of Greece. In: Rundel P.W., Montenegro G. & Jaksic F. (Eds), Landscape Degradation in Mediterranean-Type Ecosystem. Ecological Studies 136, Springer-Verlag, pp. 273-295.

Arianoutsou M., 2001. Landscape changes in Mediterranean ecosystems of Greece: implications for fire and biodiversity issues. Journal of Mediterranean Ecology 2: 165-178.

Arianoutsou M., 2004. Predicting the post-fire regeneration and resilience of Mediterranean plant communities. In: Arianoutsou M. & Papanastasis V. (eds.), Ecology, Conservation and Management of Mediterranean Climate Ecosystems. Millpress, The Netherlands, electronic edition.

Arianoutsou M., Christopoulou A., Ganou E., Kokkoris I., Kazanis D., 2009. Post-fire Response of the Greek Endemic *Abies cephalonica* Forests in Greece: An Example of a Natura 2000 Site in Mt Parnitha National Park. Book of Abstracts, European Conference Conservation Biology (ECCB), Prague.

Arianoutsou M., Christopoulou A., Kazanis D., Tountas Th., Ganou E., Bazos I., Kokkoris I., 2010. Effects of fire on high altitude coniferous forests of Greece. VI

International Conference on Forest Fire Research. D.X. Viegas (Ed.), electronic edition.

Arianoutsou M., Kazanis D., Kokkoris Y., Skourou P., 2002. Land-use interactions with fire in Mediterranean *Pinus halepensis* landscapes of Greece: Patterns of biodiversity. In: Viegas D.X. (ed.), Proceedings of the 4th International Conference of Forest Fire Research. Millpress (electronic edition).

Arianoutsou M., Margaris N.S., 1981. Early stages of regeneration after fire in a phrygantic ecosystem. I. Regeneration by seed germination. *Biologia Ecologia Mediterranea* 8: 119-128.

Arianoutsou M., Ne'eman G., 2000. Post-fire regeneration of natural *Pinus halepensis* forests in the East Mediterranean Basin. In: Ne'eman G. & Trabaud L. (eds.), *Ecology Biogeography and Management of Pinus halepensis and Pinus brutia Forest Ecosystems in the Mediterranean Basin*, Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands.

Arianoutsou M., Thanos C.A., 1996. Legumes in the fire-prone Mediterranean regions: an example from Greece. *International Journal of Wildland Fire* 6: 77–82.

Arista M., Talavera S., 1996. Density effect on fruit-set, seed crop viability and seedling vigour of *Abies pinsapo*. *Annals of Botany* 77(2): 187-192.

Arno S.F., Sneek K.M., 1977. A method for determining fire history in coniferous forests of the mountain west. Gen/ Tech. Report INT-GTR-42. Ogden, UT: Intermountain Forest and Range Experiment Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture, 28 p.

Avtzis N., 1998 The Use of *Bacillus thuringiensis* against *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. (Lepidoptera:Thaumetopoeidae) in M.L. McManus and A.M. Liebhold, editors. 1998. Proceedings: Population Dynamics, Impacts, and Integrated Management of Forest Defoliating Insects. USDA Forest Service General Technical Report NE-247, p. 311-316.

Avtzis N., 1986. Development of *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. (Lepidoptera: Thaumetopoeidae) in relation to food consumption. *Forest Ecology and Management* 15: 65-68.

Bagnouls F., Gaussen H., 1953. Saison sèche et indice xérothermique. Documents pour les Cartes des Productions Végétales, Tome III (1), Toulouse, p 47.

Baisan C.H., Swetnam T.W., 1990. Fire history on a desert mountain range: Rincon Mountain Wilderness, Arizona, U.S.A. *Canadian Journal of Forest Research*. 20: 1559-1569.

Barbati A., Arianoutsou M., Corona P., De Las Heras J., Fernandes P., Moreira F., Papageorgiou K., Vallejo R., Xanthopoulos G., 2010. Post-fire forest management in southern Europe: a COST action for gathering and disseminating scientific knowledge. *iForest* 3: 5-7 [online: 2010-01-22] URL: <http://www.sisef.it/iforest/show.php?id=523>.

Barbéro M., Loisel R., Quézel P., Richardson D.M., Romane F., 1998. *Pines of the Mediterranean Basin*. In: Richardson D.M. (ed.) *Ecology and Biogeography of Pinus*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Barnes B.V., Zak D.R., Denton S.R., Spurr S.H., 1998. *Forest Ecology*. 4th Edition. John Wiley & Sons, Inc. New York.

Barrett S.W., Arno S.F., 1988. Increment-bore methods for determining fire history in coniferous forests. Gen Tech. Rep. INT- 244. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Research Station. 15 p.

Battisti A., 2005. Overview of entomological research concerning the forest ecosystems of the northern rim of the Mediterranean Sea. In: Lieutier F., Ghaïoule D. (eds.) *Entomological research in Mediterranean forest ecosystems*, pp. 15-22.

Beghin R., Cherubini P., Battipaglia G., Siegwolf R., Saurer M., Bovio G., 2011. Tree-ring growth and stable isotopes (^{13}C and ^{15}N) detect effects of wildfires on tree physiological processes in *Pinus sylvestris* L. *Trees* 25(4): 627-636.

Bond W.J., Keeley J.E., 2005. Fire as a global 'herbivore': the ecology and evolution of flammable ecosystems. *TRENDS in Ecology and Evolution* 20(7): 387-394.

Bond W.J., van Wilgen B.W., 1996. *Fire and plants*. Chapman & Hall, London.

Bond W.J., Woodward F.I., Midgley G.F., 2005. The global distribution of ecosystems in a world without fire. *New Phytologist* 165: 525-538.

Bradshaw S.D., Dixon K.W., Hopper S.D., Lambers H., Turner S.R., 2011. Little evidence for fire-adapted plant traits in Mediterranean climate regions. *Trends in Plant Science* 16(2): 69-76.

Brandes R., 2009. Dendrochronology on *Pinus nigra* in the Taygetos Mountains, southern Peloponnisos. In: Manning S.W., Bruce M.J., (ed.) 2009. *Tree-Rings, Kings, and Old World Archaeology and Environment: Papers Presented in Honor of Peter Ian Kuniholm*. Oxbow Books, pp. 81-95.

Briffa K.R., Jones P.D., Bartholin T.S., Eckstein D., Schweingruber F.H., Karlen W., Zetterberg P., Eronen M., 1992. Fennoscandian Summers from AD 500: temperature changes on short and long timescales. *Climatic Dynamics* 7(3):111-119.

Brown J.K., Smith J.K., 2000. Wildland fire in ecosystems: effects of fire on flora. In: Gen Tech Rep RMRS-GTR-42, vol. 2. USDA Forest Services, Rocky Mountain Research Station, Ogden, 257 pp.

Brown M., Wu R., 2005. Climate and disturbance forcing of episodic tree recruitment in a Southwestern Ponderosa pine landscape. *Ecology* 86: 3030–3038.

Brown P.M., Kaufmann M.R., Shepperd W.D., 1999. Long-term, landscape patterns of past fire events in a montane ponderosa pine forest of central Colorado. *Landscape Ecology* 14: 513-532.

Bullock J.M., Shea K., Skarpaas O., 2006. Measuring plant dispersal: an introduction to field methods and experimental design. *Plant Ecology* 186: 217-234.

Buston P.M., Elith J., 2011. Determinants of reproductive success in dominant pairs of clownfish: a boosted regression tree analysis. *Journal of Animal Ecology* 80: 528-538.

Campelo F., Nabais C., García-González I., Cherubini P., Gutiérrez E., Freitas H., 2009. Dendrochronology of *Quercus ilex* L. and its potential use for climate reconstruction in the Mediterranean region. *Canadian Journal of Forest Research* 39(12): 2486-2493.

Carrión J.S., Sanchez-Gomez P., Mota J.F., Yll R., Chain C., 2003. Holocene vegetation dynamics, fire and grazing in the Sierra de Gador, southern Spain. *The Holocene* 13: 839–849.

Catalán G., 1985. Semillas de árboles y arbustos forestales. Monografías ICONA 17. Min. de Agricultura, Pesca y Alimentación.

Cerro A., Lucas M.E., Martínez E., López F.R., Andrés M., García F.A., Navarro R., 2009. Influence of stand density and soil treatment on the Spanish Black Pine (*Pinus nigra* Arn. ssp. *salzmannii*) regeneration in Spain. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales* 18(2): 167-180.

Christensen H.L., 1987. The biochemical consequences of fire and their effects of the vegetation of the coastal plain of the south-eastern United States. In: Trabaud L. (ed.), *The Role of Fire in Ecological Systems*. L. SPB Academic Publishing. pp. 1-21.

Christensen K.I., 1993. Comments on the earliest validly published varietal name for the Corsican Pine. *Taxon* 42: 649-653.

Christensen K.I., 1997. Gymnospermae (Pinophyta). In: Strid A. & Tan K. (eds.), *Flora Hellenica* vol. 1. Koeltz, Königstein, pp. 1-17.

Clark J.S., Silman M., Kern R., Macklin E., HilleRisLambers J., 1999. Seed dispersal near and far: patterns across temperate and tropical forests. *Ecology* 80(5): 1475-1494.

Cocke A.E., Fulé P.Z., Crouse J.E., 2005. Forest change on a steep mountain gradient after extended fire exclusion: San Francisco Peaks, Arizona, USA. *Journal of Applied Ecology* 42(5): 814–823.

Cook E.R., Briffa K.R., Meko D.M., Graybill D.A., Funkhouser G., 1995. The segment length curse in long tree-ring chronology development for paleoclimatic studies. *Holocene* 5(2):229–237.

Cook E.R., Kairiukstis L.A., 1990. *Methods of Dendrochronology: Applications in the Environmental Sciences*. New York: Springer.

Crawley M.J., 2002. *Statistical Computing: An Introduction to Data Analysis Using S-Plus*. John Wiley & Sons, West Sussex, UK, 761 pp.

Crawley M.J., 2007. *The R Book*. John Wiley & Sons, Ltd., Chichester. 942 pp.

Dafis S., Papastergiadou E., Georgiou K., Babalonas D., Georgiadis T., Papageorgiou M., Lazaridou Th., Tsiaoussi V., 1996. Directive 92/43/EEC. The Greek “Habitat” Project NATURA 2000: An Overview. Life Contract B4-3200/84/756, Commission of the European Communities DG XI, The Goulandris Natural History Museum- Greek Biotope/ Wetland Centre. 917 p.

Daskalakou E.N., Thanos C.A., 1996. Aleppo pine (*Pinus halepensis*) postfire regeneration: the role of canopy and soil seed banks. *International Journal of Wildland Fire* 6: 59-66.

De’ath G., 2007. Boosted trees for ecological modeling and prediction. *Ecology* 88(1): 243–251.

Díaz-Delgado R., Lloret F., Pons X., 2004. Spatial patterns of fire occurrence in Catalonia, NE, Spain. *Landscape Ecology* 19(7): 731-745.

Dimitrakopoulos A.P., Vlahou M., Anagnostopoulou Ch.G., Mitsopoulos I.D., 2011. Impact of drought on wildland fires in Greece: implications of climatic change? *Climatic Change* 109(3-4): 331-347.

Dimopoulos P., Rhaus Th., Bergmeier E., Constantinidis Th., Iatrou G., Kokkini S., Strid A., Tzanoudakis D., 2013. *Vascular Plants of Greece: An annotated checklist*. – Berlin: Botanischer Garten und Botanisches Museum Berlin-Dahlem; Athens: Hellenic Botanical Society. [Englera **31**].

Dytham C., 2011. *Choosing and Using Statistics. A Biologist’s Guide*. 3rd ed. Chichester, Wiley-Blackwell, West Sussex, UK, 298pp.

Earle C.J., 2012. Gymnosperm Database. <http://www.conifers.org>. Visited in September 2012.

Eddy A. (Ed.), 1992. The PAGES project proposed implementation plans for research activities. Global Change Report 19, Stockholm.110pp.

Elith J., Leathwick J.R., 2013. Boosted Regression Trees for ecological modeling. Tutorial. July 8, 2013.

Elith J., Leathwick J.R., Hastie T., 2008. A working guide to boosted regression trees. *Journal of Animal Ecology* 77: 802–813.

Espelta J.M, Riba M., Retana J., 1995. Patterns of seedling recruitment in west-Mediterranean *Quercus ilex* forests influenced by canopy development. *Journal of Vegetation Science* 6: 465-477.

Espelta J.M., Retana J., Habrouk A., 2003. An economic and ecological multi-criteria evaluation of reforestation methods to recover burned *Pinus nigra* forests in NE Spain. *Forest Ecology and Management* 180: 185-198.

EUFORGEN (European Forest Genetic Resources Programme), 2009. Distribution map of Black pine (*Pinus nigra*), www.euforgen.org.

Faccoli M., 2007. Breeding performance and longevity of *Tomicus destruens* on Mediterranean and continental pine species. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 123: 263–269.

Fady B., Roig A, Turion N., Thevenet J., Rei F., Gilg O., Pringarbe M., Cambon D., Royer J., Brahic P., 2011. Conserving *Pinus nigra salzmanni*, a rare black pine from the western Mediterranean threatened by wildfires and genetic pollution. *Medpine4*. 4th International Conference on Mediterranean Pines. Book of Abstracts, p. 167.

Falk D.A., Heyerdahl E.K., Brown P.M., Farris C., Fulé P.Z., McKenzie D., Swetnam T.W., Taylor A.H., Van Horne M.L., 2011. Multiscale controls of historical forest fire regimes: New insights from fire-scar networks. *Frontiers in Ecology and the Environment* 9: 446-454.

FAO -Food and Agriculture Organization of the United Nations-, 2009. Global review of forest pests and diseases. FAO Forestry Paper 156, Rome 2009.

Farris C.A., Baisan C.H., Falk D.A., Yool S.R., Swetnam T.W., 2010. Spatial and temporal corroboration of a fire-scar based history in a frequently burned ponderosa pine forest. *Ecological Applications* 20(6): 1598-1614.

Felipe de Mendiburu, 2013. agricolae: Statistical Procedures for Agricultural Research. R package version 1.1-4. <http://CRAN.R-project.org/package=agricolae>

Fenner M., 1987. Seedlings. In *Frontiers of Comparative Plant Ecology*, ed. I. H. Rorison, J. P. Grime, R. Hunt, G. A. Hendry & D. H. Lewis, London Academic Press, pp. 35-47.

Fenner M., Thompson K., 2005. *The ecology of seeds*. Cambridge University Press, United Kingdom.

Fernandes P.M., Vega J.A., Jiménez E., Rigolot E., 2008. Fire resistance of European pines. *Forest Ecology and Management* 256: 246-255.

Fernández A., Génova M., Creus J., Gutiérrez E., 1996. Dendroclimatological investigation covering the last 300 years in central Spain. In: Dean, J.S., Meko, D.M., Swetnam, T.W. (Eds.), *Tree Rings, Environment, and Humanity*. Radiocarbon 1996, pp. 181–190.

Fritts H.C., 1976. *Tree rings and climate*. London, Academic Press.

Fulé P.Z., Covington W.W., Moore M.M., 1997. Determining reference conditions for ecosystem management of southwestern ponderosa pine forests. *Ecological Applications* 7: 895-908.

Fulé P.Z., Korb J.E., Wu R., 2009. Changes in forest structure of a mixed conifer forest, southwestern Colorado, USA. *Forest Ecology and Management* 258(7): 1200-1210.

Fulé P.Z., Laughlin D.C., 2007. Wildland fire effects on forest structure over an altitudinal gradient, Grand Canyon National Park, USA. *Journal of Applied Ecology* 44:136-146.

Fulé P.Z., Ribas M., Gutiérrez E., Vallejo R., Kaye M.W., 2008. Forest structure and fire history in an old *Pinus nigra* forest eastern Spain. *Forest Ecology and Management* 255: 1234-1242.

Furyaev V.V., Wein R.W., MacLean D.A., 1983. Fire Influences in *Abies*-dominated Forests. In: Wein, R.W., MacLean, D.A., (eds). *The Role of Fire in Northern Circumpolar Ecosystems*. SCOPE, pp. 221-234.

Fyllas N.M., Dimitrakopoulos P.G., Troumbis A.Y., 2008. Regeneration dynamics of a mixed Mediterranean pine forest in the absence of fire. *Forest Ecology and Management* 256: 1552–1559.

Fyllas N.M., Politi P.I., Galanidis A., Dimitrakopoulos P.G., Arianoutsou M., 2010. Simulating regeneration and vegetation dynamics in Mediterranean coniferous forests. *Ecological Modelling* 221: 1494–1504.

Ganatsas P., Daskalakou E., Paitaridou D., 2012. First results on early post-fire succession in an *Abies cephalonica* forest (Parnitha National Park, Greece). *iForest* 5: 6-12.

Gaudio N., Balandier P., Dumas Y., Ginisty C., 2011a. Growth and morphology of three forest understorey species (*Calluna vulgaris*, *Molinia caerulea* and *Pteridium aquilinum*) according to light availability. *Forest Ecology and Management* 261(3): 489-498.

Gaudio N., Balandier P., Philippe G., Dumas Y., Jean F., Ginisty C., 2011b. Light-mediated influence of three understory species (*Calluna vulgaris*, *Pteridium aquilinum*, *Molinia caerulea*) on the growth of *Pinus sylvestris* seedlings. *European Journal of Forest Research* 130(1): 77-89.

Giannakopoulos C., Le Sager P., Bindi M., Moriondo M., Kostopoulou E., Goodess C.M., 2009. Climatic changes and associated impacts in the Mediterranean resulting from a 2°C global warming. *Global and Planetary Change* 68(3):209-224.

Gill A.M., 1975. Fire and the Australian flora: a review. *Australian Forestry* 38: 4–25.

Gill A.M., 1981. Adaptative response of Australian vascular plant species to fires. Pp. 243–271. In: Gill, A. M, Groves, R. H. & Noble, I. R. (eds), *Fire and the Australian Biota*. Australian Academy of Sciences, Canberra.

Giorgi F., Lionello P., 2008. Climate change projections for the Mediterranean region. *Global and Planetary Change* 62(2-3): 90-104.

Girardin M.P., Ali A.A., Carcaillet C., Gauthier S., Hély C., Le Goff H., Terrier A., Bergeron Y., 2012. Fire in managed forests of eastern Canada: Risks and options. *Forest Ecology and Management* 294: 238-249.

Global Invasive Species Database, 2011. Interim profile: *Thaumetopoea pityocampa* (Denis & Schiffermüller).

Gracia M., Roig P., Retana J., 2002. Mid-term successional patterns after fire of mixed pine-oak forests in NE Spain. *Acta Oecologica*. 23: 405–411.

Greene D.F., Calogeropoulos C., 2002. Measuring and modelling seed dispersal of terrestrial plants. In: Bullock J.M., Kenward R.E. and Hails R.S. (eds), *Dispersal Ecology*, Blackwell Science, Oxford, pp. 2 –21.

Grissino-Mayer H.D., 1995. Tree-ring reconstructions of climate and fire history at El Malpais National Monument, New Mexico. Ph.D. dissertation, The University of Arizona, Tucson. 407 pp.

Grissino-Mayer H.D., 1999. Modeling Fire Interval Data from the American Southwest with the Weibull Distribution. *International Journal of Wildland Fire* 9(1): 37-50.

Grissino-Mayer H.D., 2001a. Evaluating crossdating accuracy: a manual and tutorial for the computer program COFECHA. *Tree-Ring Research* 57(2): 205–221.

Grissino-Mayer H.D., 2001b. FHx2- software for analyzing temporal and spatial patterns in fire regimes from tree rings. *Tree-Ring Research* 57(1): 115-124.

Grove A.T., Rackham O., 2001. *The Nature of Mediterranean Europe: An Ecological History*. Yale University Press, New Haven, CT.

Gutsell S.L., Johnson E.A., 1996. How fire scars are formed: coupling a disturbance process to its ecological effect. *Canadian Journal of Forest Research* 26: 166-174.

Habrouk A., Retana J., Espelta J.M., 1999. Role of heat tolerance and cone protection of seeds in the response of three pine species to wildfires. *Plant Ecology* 145: 91-99.

Hampe A. Arroyo J. 2002. Recruitment and regeneration in populations of an endangered South Iberian Tertiary relict tree. *Biological Conservation* 107(3): 263–271.

Harmon M.E., Franklin J.F., Swanson F.J., Sollins P., Gregory S.V., Lattin J.D., Anderson N.H., Cline S.P., Aumen N.G., Sedell J.R., Lienkaemper G.W., Cromack K.Jr., Cummins K.W., 1986. Ecology of coarse woody debris in temperate ecosystems. *Advances in Ecological Research* 15: 133-302.

Harmon M.E., Hua C., 1991. Coarse woody debris dynamics in two old-growth ecosystems. *BioScience* 41(9): 604-610.

He T., Pausas J.G., Belcher C.M., Schwilk D.W., Lamont B.B., 2012. Fire-adapted traits of *Pinus* arose in the fiery Cretaceous. *New Phytologist* 194: 751-759.

Heyerdahl E.K., McKay S.J., 2001. Condition of live fire-scarred ponderosa pine trees six years after removing partial cross sections. *Tree-Ring Research* 57(2): 131-139.

Heyerdahl E.K., McKay S.J., 2008. Condition of live fire-scarred ponderosa pine trees eleven years after removing partial cross sections. *Tree-Ring Research* 64(1): 61-64.

Hijmans R.J., Phillips S., Leathwick J., Elith J., 2013. dismo: Species distribution modeling. R package version 0.9-1. <http://CRAN.R-project.org/package=dismo>

Hofmann, C., Conedera, M., Delarze, R., Carraro, G., Giorgetti, P., 1998. Effets des incendies de forêt sur la végétation au Sud des Alpes suisses. *Mitt. Eidgenöss. Forsch.anst. Wald Schnee Landsch.* 73(1): 1-90.

- Holm S., 1979. A Simple Sequentially Rejective Multiple Test Procedure. *Scandinavian Journal of Statistics* 6(2): 65-70.
- Hurteau M.D., Stoddard M.T., Fulé P.Z., 2011. The carbon costs of mitigating high-severity wildfire in southwestern ponderosa pine. *Global Change Biology* 17: 1516-1521.
- Iatrou G., 1992. The endemic flora of Peloponnesos (Greece). *Proceedings of the 14th Panhellenic Biological Conference*. - Nicosia-Cyprus.
- Ibáñez J.J., Retana J., 1997. La regeneración en un gran incendio forestal. V Jornadas Asociación Española de Ecología Terrestre, Córdoba, July 1997.
- IPCC, 2007. Climate change 2007: synthesis report. In: Core Writing Team, Pachauri, R.K., Reisinger, A. (Eds.). Contribution of working groups I, II and III to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. IPCC, Geneva, Switzerland. 104 p.
- Isajev V., Fady B., Semerci H., Andonovski V., 2004. EUFORGEN Technical Guidelines for genetic conservation and use for European black pine (*Pinus nigra*). International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy, 6 pages.
- Johnstone J.F., Hollingsworth T.N., Chapin F.S.III, Mack M.C., 2010. Changes in fire regime break the legacy lock on successional trajectories in Alaskan boreal forest. *Global Change Biology* 16: 1281–1295.
- Joint Research Centre, 2007. Forest fires in Europe 2007. Report No 8, EUR 23492 EN- 2008.
- Jones P.D., Briffa K.R., Osborn T.J. et al., 2009. High-resolution palaeoclimatology of the last millennium: a review of current status and future prospects. *Holocene* 19(1):3–49.
- Kabacoff R.I., 2011. R in action: data analysis and graphics with R, Manning, ISBN: 9781935182399, Shelter Island.
- Karlson C., Orlander G., 2000. Soil scarification shortly before a rich seed fall improves seedling establishment in seed tree stands of *Pinus sylvestris*. *Scandinavian Journal of Forest Research* 15: 256-266.
- Kazakis G., Ghosn D., Vogiatzakis I.N., Papanastasis P., 2007. Vascular plant diversity and climate change in the alpine zone of the Lefka Ori, Crete. *Biodiversity and Conservation* 16: 1603-1615.
- Kazanis D., 2010. Assessing post-fire plant community resilience in high altitude cool/wet Mediterranean forest ecosystems. Implications for management. Scientific Report Reference Number: COST-STSM-FP0701-6361, September 2010.

Kazanis D., Arianoutsou M., 1996. Vegetation composition in a post-fire successional gradient of *Pinus halepensis* forests in Attica, Greece. International Journal of Wildland Fire 6(2): 83-91.

Kazanis D., Pausas J.G., Vallejo R., Arianoutsou M., 2011. Fire related traits of *Pinus nigra* plant communities in the Mediterranean: a data base for Greece and Spain. Medpine4. 4th International Conference on Mediterranean Pines. Book of Abstracts, p. 118.

Keeley J.E., 1993. Smoke-induced flowering in the fire-lily *Cyrtanthus ventricosus*. South African Journal of Botany 59: 638.

Keeley J.E., 2012. Ecology and evolution of pine life histories. Annals of Forest Science 69: 445-453.

Keeley J.E., Pausas J.G., Rundel P.W., Bond W.J., Bradstock R.A., 2011. Fire as an evolutionary pressure shaping plant traits. Trends in Plant Science 16(8): 406-411.

Keeley J.E., Zedler P.H., 1998. Evolution of life histories in *Pinus*. In: Richardson, D.M. (Ed.), Ecology and Biogeography of *Pinus*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 219-250.

Keidar G., 2001. Causes and Factors in Forest Fires in Israel. Thesis submitted for MA degree, Department of Geography, University of Haifa, Haifa, Israel (In Hebrew with English abstract).

Kerr G., 2000 Natural regeneration of Corsican pine (*Pinus nigra* subsp. *laricio*) in Great Britain. Forestry 73: 479-488.

Kerr G., Gosling P., Morgan G., Stokes V., Cunningham V., Parratt M., 2008. Seed production and seedling survival in a 50-year-old stand of Corsican pine (*Pinus nigra* subsp. *laricio*) in southern Britain. Forestry 81(4): 525-541.

Kitajima K., Fenner M., 2000. Ecology of seedlings regeneration. In Seeds: The Ecology of Regeneration in Plant Communities, 2nd edn., ed. M. Fenner, Wallingford: CABI, pp. 331-59.

Klaus W., 1989. Mediterranean pines and their history. Plant Systematics and Evolution 162: 133-163.

Komarek E.V., 1967. Fire and the ecology of man. Proceedings of the Annual Tall Timber Fire Ecology Conference 3: 139-183.

Körner C., 2007. The use of 'altitude' in ecological research. TRENDS in Ecology and Evolution 22(11): 569-574.

Körner, Ch., Sarris, D., Christodoulakis, D., 2005. Long-term increase in climatic dryness in the East-Mediterranean as evidenced for the island of Samos. *Reg. Environ. Change* 5, 27–36.

Koutsias N., Arianoutsou M., Kallimanis A.S., Mallinis G., Halley J.M., Dimopoulos P., 2012. Where did the fires burn in Peloponnisos, Greece the summer of 2007? Evidence for a synergy of fuel and weather. *Agricultural and Forest Meteorology* 156: 41-53.

Koutsias N., Karteris M., Chuvieco E., 2000. The Use of Intensity-Hue-Saturation Transformation of Landsat-5 Thematic Mapper Data for Burned Land Mapping. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 66(7): 829-839.

Koutsias N., Karteris M., Fernandez-Palacios A., Navarro C., Jurado J., Navarro R., Lobo A., 1999. Burned Land Mapping at Local Scale». In: E. Chuvieco (ed). *Remote sensing of large wildfires in the European Mediterranean Basin*. Springer-Verlag, Berlin, pp. 157-187.

Koutsias N., Xanthopoulos G., Founda D., Xystrakis F., Nioti F., Pleniou M., Mallinis G., Arianoutsou M., 2013. On the relationships between forest fires and weather conditions in Greece from long-term national observations (1894-2010). *International Journal of Wildland Fire* 22(4) 493-507.

Kuniholm P.I., Groneman C., 2012. International Tree-ring Data Bank: <http://www.ncdc.noaa.gov/paleo/treering.html>

Lanner R.M., 1998. Seed dispersal in *Pinus*. In: Richardson, D. M. (ed.), *Ecology and biogeography of Pinus*. Cambridge Univ. Press, pp. 281-295.

Leal S.L., Eamus D., Grabner M., Wimmer R., Cherubini P., 2008. Tree rings of *Pinus nigra* from the Vienna basin region (Austria) show evidence of change in climatic sensitivity in the late 20th century. *Can. J. For. Res.* 38: 744-759.

Leys B., Finsinger W., Carcaillet C., 2014. Historical range of fire frequency is not the Achilles' heel of the Corsican black pine ecosystem. *Journal of Ecology* 102: 381-395.

Malanson G.P., 1987. Diversity stability and resilience: effects of fire regime. In: Trabaud L. (ed.), *The Role of Fire in Ecological Systems*, SPB Academic Publishing, pp 49-63.

Martín-Benito D., Cherubini P., del Río M., Cañellas I., 2008. Growth response to climate and drought in *Pinus nigra* Arn. trees of different crown classes. *Trees* 22(3): 363–373.

Martin-Benito D., Kint V., del Rio M., Muys B., Canellas I., 2011. Growth responses of West-Mediterranean *Pinus nigra* to climate change are modulated by competition

and productivity: past trends and future perspectives. *Forest Ecology and Management* 262:1030–1040.

Mataruga M., Haase D., Isajev V., Orlović S., 2012. Growth, survival, and genetic variability of Austrian pine (*Pinus nigra* Arnold) seedlings in response to water deficit. *New Forests* 43: 791-804.

McCune B., 2007. Improved estimated of incident radiation and heat load using non-parametric regression against topographic variables. *Journal of Vegetation Science* 18: 751-754.

McCune B., Keon D., 2002. Equations for potential annual direct incident solar radiation. *Journal of Vegetation Science* 13: 603-606.

Millar C.I., 1998. Early evolution of pines. In: Richardson DM (ed) *Ecology and biogeography of Pinus*. Cambridge University Press, Cambridge, pp 69–91.

Millennium Ecosystem Assessment, 2005. Current State & Trends Assessment. Chapter 4: Biodiversity. Available on line:
<http://www.millenniumassessment.org/documents/document.273.aspx.pdf>.

Miller J.D, Skinner C.N., Safford H.D., Knapp E.E., Ramirez C.M., 2012. Trends and causes of severity, size, and number of fires in northwestern California, USA. *Ecological Applications* 22(1): 184-203.

Mirov N. T., 1967. *The Genus Pinus*. Ronald Press, New York.

Moreira F., Viedma O., Arianoutsou M., Curt T., Koutsias N., Rigolot E., Barbati A., Corona P., Vaz P., Xanthopoulos G., Mouillot F., Bilgili E., 2011. Landscape - wildfire interactions in southern Europe: Implications for landscape management. *Journal of Environmental Management* 92(10): 2389-2402.

Moretti M., Zanini M., Conedera M., 2002. Faunistic and floristic post-fire succession in southern Switzerland: an integrated analysis with regard to fire frequency and time since the last fire. In: Viegas D.X. (ed), *IV International Forest Fire Research Conference*, Millpress, Rotterdam, electronic edition.

Morgan P., Heyerdahl E.K., Gibson C.E., 2008. Multi-season climate synchronized forest fires throughout the 20th century, Northern Rockies, USA. *Ecology* 89(3): 717–728.

Moriendo M., Good P., Durao R., Bindi M., Giannakopoulos C., Corte-Real J., 2006. Potential impact of climate change on fire risk in the Mediterranean area. *Climate Research* 31:85-95.

Nathan R., Casagrandi R., 2004. A simple mechanistic model of seed dispersal, predation and plant establishment: Janzen-Connell and beyond. *Journal of Ecology* 92(5): 733-746.

Nathan R., Ne'eman G., 2004. Spatiotemporal dynamics of recruitment in Aleppo pine (*Pinus halepensis* Miller). *Plant Ecology* 171(1-2): 123–137.

Nathan R., Safriel U.N., Noy-Meir I., 2001. Field validation and sensitivity analysis of a mechanistic model for tree seed dispersal by wind. *Ecology* 82(2): 374-388.

Nathan R., Safriel U.N., Noy-Meir I., Schiller G., 2000. Spatiotemporal variation in seed dispersal and recruitment near and far from *Pinus halepensis* trees. *Ecology* 81(8): 2156–2169.

Naveh Z., 1967. Mediterranean ecosystems and vegetation types in California and Israel. *Ecology* 48: 445-449.

Naveh Z., 1974. Effects of fire in the Mediterranean region. In: Kozlowski T.T. & Ahlgren C.E. (eds), *Fire and Ecosystems*. Academic Press, New York, pp. 401–434.

Naveh Z., 1975. The evolutionary significance of fire in the Mediterranean region. *Vegetatio* 29: 199–208.

Naveh Z., 1973. Effects of fire in the Mediterranean region. In: Kozlowski T.T. & Ahlgren C.E. (eds.), *Fire and Ecosystems*. Academic Press. pp. 401-434.

Ne'eman G., Goubitz S., Nathan R., 2004. Reproductive traits of *Pinus halepensis* in the light of fire - a critical review. *Plant Ecology* 171: 69–79.

Niklasson M., Zin E., Zielonka T., Feijen M, Korczyk A., Churski M., Samojlik T., Jedrzejewska B., Gutowski J., Brzezicki B. 2010. A 350-year tree-ring fire record from Białowieża Primeval Forest, Poland: implications for Central European lowland fire history. *Journal of Ecology* 98(6): 1319–1329.

Ocak A., Kurt L., Oz M., Tug N.G., 2007. Floristical and Ecological Studies on Burned Blackpine (*Pinus nigra* Arn. subsp. *pallasiana* (Lamb) Holmboe) Forest Area at Central Anatolia. *Asian Journal of Plant Sciences* 6(6): 892-905.

Ojeda F., Pausas J.G., Verdú M., 2010. Soil shapes community structure through fire. *Oecologia* 163:729–735.

Ordóñez J.L., 2004. Análisis y modelización del reclutamiento de *Pinus nigra* en zonas afectadas por grandes incendios. Tesis Doctoral. CREAF. Universitat Autònoma de Barcelona.

Ordóñez J.L., Franco S., Retana J., 2004. Limitation of the recruitment of *Pinus nigra* in a gradient of post-fire environmental conditions. *Ecoscience* 11: 296-304.

Ordóñez J.L., Molowny-Horas R., Retana J., 2006. A model of the recruitment of *Pinus nigra* from unburned edges after large wildfires. *Ecological Modelling* 197: 405-417.

Ordóñez J.L., Retana J., 2004. Early reduction of post-fire recruitment of *Pinus nigra* by post-dispersal seed predation in different time-since-fire habitats. *Ecography* 27: 449-458.

Ordóñez J.L., Retana J., Espelta J.M., 2005. Effects of tree size, crown damage, and tree location on post-fire survival and cone production of *Pinus nigra* trees. *Forest Ecology and Management* 206: 109-117.

Oreshkin D.G., Skovsgaard J.P., Vanclay J.K., 1997. Estimating sapling vitality for Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in Russian Karelia. *Forest Ecology and Management* 97: 147-153.

Panayiotopoulos P., Thanos C.A., 2002. Cone- Seed biometry and germination ecophysiology in *Pinus nigra* from several Greek provenances. In: Book of proceedings, Tree Seeds 2002. Chania, Crete, Greece, 11-15 September 2002. pp. 117-124.

Papanastasis V.P., Arianoutsou M., Papanastasis K., 2010. Environmental conservation in classical Greece. *Journal of Biological Research* 14: 123-135.

Papastergiadou E., 1998. Important Plant Areas of the Natura 2000 Network of Greece, in: Tsekos, I., Moustakas, M. (Eds.), *Progress in Botanical Research. Proceedings of the 1st Balkan Botanical Congress*. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands.

Patón D., García-Herrera R., Cuenca J., Galavis M., Roig F.A., 2009. Influence of climate on radial growth of holm oaks (*Quercus ilex* subsp. *ballota* Desf.) from SW Spain. *Geochronometria* 34(1): 49-56.

Paula S., Arianoutsou M., Kazanis D., Tavşanoğlu C., Lloret F., Buhk C., Ojeda F., Luna B., Moreno J.M., Rodrigo A., Espelta J.M., Palacio S., Fernández-Santos B., Fernandes P.M., Pausas J.G., 2009. Fire-related traits for plant species of the Mediterranean Basin. *Ecology* 90: 1420 (data paper).

Pausas J.G., Fernández-Muñoz S., 2012. Fire regime changes in the Western Mediterranean Basin: From fuel-limited to drought-driven fire regime. *Climatic Change* 110: 215-226.

Pausas J.G., Keeley J.E., 2009. A burning story: The role of fire in the history of life. *BioScience* 59: 593-601.

Pausas J.G., Llovet J., Rodrigo A., Vallejo R., 2008. Are wildfires a disaster in the Mediterranean basin? –A review. *International Journal of Wildland Fire* 17: 713–723.

Pausas J.G., Ribeiro E., Vallejo R., 2004. Post-fire regeneration variability of *Pinus halepensis* in the eastern Iberian Peninsula. *Forest Ecology and Management* 203: 251-259.

Pereira J.M.C., Chuvieco E., Beaudoin A., Desbois N., 1997. Remote Sensing of Burned Areas, A Review of Remote Sensing Methods for the Study of Large Wildland Fires (E. Chuvieco, editor), University of Alcala, Alcala de Henares, Spain, pp. 127-183.

Peterson D.L., Sackett S.S., Robinson L.J., Haase S.M., 1994. The effects of repeated prescribed burning on *Pinus ponderosa* growth. *Int J Wildland Fire* 4(4):239-247.

Phitos D., Strid A., Snogerup S., Greuter W. (eds), 1995. The Red Data Book of rare and threatened plants of Greece. World Wide Fund for Nature.

Piñol J., Terradas J., Lloret F., 1998. Climate warming, wildfire hazard, and wildfire occurrence in coastal eastern Spain. *Climate Change* 38: 345-357.

Poirazidis K.S., Zografou K., Kordopatis P., Kalivas D.P., Arianoutsou M., Kazanis D., Korakaki E., 2012. A GIS-based integrated approach predicts accurately post-fire Aleppo pine regeneration at regional scale. *Annals of Forest Science* 69: 519-529.

Politi P.I., Arianoutsou M., Stamou G.P., 2009. Patterns of *Abies cephalonica* seedling recruitment in Mount Aenos National Park, Cephalonia, Greece. *Forest Ecology and Management* 258(7): 1129-1136.

Py C., Bauer J., Weisberg P.J., Biondi F., 2006. Radial growth responses of singleleaf pinyon (*Pinus monophylla*) to wildfire. *Dendrochronologia* 24:39-46.

Quézel P., 1980. Biogéographie et écologie des conifères sur le pourtour méditerranéen. In: Pesson, P. (ed.), *Actualité d'écologie forestière*. Gauthier-villars, Paris, pp. 205-255.

R Core Team, 2012. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>.

Retana J., Arnan X., Arianoutsou M., Barbati A., Kazanis D., Rodrigo A., 2012. Post-Fire Management of Non-Serotinous Pine Forests. In: *Post-Fire Management and Restoration of Southern European Forests*. Moreira, F., Arianoutsou, M., Corona, P., De las Heras, J. (Eds.), Springer, Series Managing Forest Ecosystems vol. 24, Dordrecht, Heidelberg, London, New York, pp. 151-170.

Retana J., Espelta J.M., Habrouk A., Ordóñez J.L., de Solà-Morales F., 2002. Regeneration patterns of three Mediterranean pines and forest changes after a large wildfire in northeastern Spain. *Ecoscience* 9: 89-97.

Richardson D.W., Rundel P.W., 1998. Ecology and biogeography of *Pinus*: An introduction. in D. M. Richardson (ed.). Ecology and Biogeography of *Pinus*. Cambridge University Press, Cambridge. pp. 3-46.

Rozas V., Pérez-de-Lis G., García-González I., Ramón Arévalo J., 2011. Contrasting effects of wildfire and climate on radial growth of *Pinus canariensis* on windward and leeward slopes on Tenerife, Canary Islands. *Trees* 25: 895-905.

Rundel P.W., 1981. Fire as an Ecological Factor. In: Lange O.L., Nobel P.S., Osmond C.B., and Ziegler H. (eds) *Physiological Plant Ecology I*. Springer-Verlag. Berlin. Heidelberg. New York, pp. 501-538.

Sagnard F., Pichot C., Dreyfus P., Jordano P., Fady B. 2007. Modelling seed dispersal to predict seedling recruitment: Recolonization dynamics in a plantation forest. *Ecological Modelling* 203 (3-4): 464-474.

Sarris D., Christodoulakis D., Körner Ch., Christopoulou A., Arianoutsou M., 2011. Recent growth reduction in *Pinus halepensis* and *Pinus nigra* forests associated with drought intensification in the eastern Mediterranean. *Medpine4*. 4th International Conference on Mediterranean Pines. Book of Abstracts, p. 24.

Sarris D., Christopoulou A., Angelonidi E., Koutsias N., Fulé P.Z., Arianoutsou M., 2013. Increasing extremes of heat and drought associated with recent severe wildfires in southern Greece. *Reg. Environ. Change*. DOI 10.1007/s10113-013-0568-6.

Scaltsoyiannes A., Tsaktsira M., Pasagiannis G., Tsoulpha P., Zhelev P., Iliev I., Rohr R., 2009. Allozyme variation of European Black (*Pinus nigra* Arnold) and Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) populations and implications on their evolution: a comparative study. *Journal of Biological Research-Thessaloniki* 11: 95-106.

Schweingruber F.H., 1996. *Tree Rings and Environment Dendroecology*. Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research, WSL/FNP, Birmensdorf.

Schwilk D.W., Ackerly D.D., 2001. Flammability and serotiny as strategies: correlated evolution in pines. *Oikos* 94:326–336.

Secretariat of the Convention on Biological Diversity, 2006. *Global Biodiversity Outlook 2*. Montreal, 81 + vii pages.

Sheppard P.R., Means J.E., Lassoie J.P., 1988. Cross-dating cores as a nondestructive method for dating living, scarred trees. *Forest Science* 34(3): 781-789.

Shishkova V., Panayotov M., 2013. *Pinus nigra* Arn. tree ring chronology from Slavyanka Mts. In Bulgaria is strongly related to regional drought events. *Forestry Ideas* 19: 79-90.

Skinner C.N., Burk J.H., Barbour M.G., Franco-Vizcaíno E., Stephens S.L., 2008. Influences of climate on fire regimes in montane forests of north-western Mexico. *Journal of Biogeography* 35(8): 1436-1451.

Skinner, C.N., Abbott, C.S., Fry, D.L., Stephens, S.L., Taylor, A.H., Trouet, V., 2009. Human and climatic influences on fire occurrence in California's North Coast Range, USA. *Fire Ecology* 5, 73-99.

Skordilis A., Thanos C.A., 1997. Comparative ecophysiology of seed germination strategies in the seven pine species, naturally growing in Greece. In: *Basic and Applied Aspects of Seed Biology: Proceedings of the Fifth International Workshop on Seeds*, Reading, 1995. pp. 623–632. Ellis R.H., Black M., Murdoch A.I., Hong T.D. (eds), Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

Sousa W.P., 1984. The role of disturbance in natural communities. *Annual Review of Ecology and Systematics* 15: 353-391.

Stephens S.L., Agee J.K., Fulé P.Z., North M.P., Romme W.H., Swetnam T.W., Turner M.G., 2013. Managing forests and fire in changing climates. *Science* 342: 41-42.

Stephens S.L., Skinner C.N., Gill S.J., 2003. A dendrochronology based fire history of Jeffrey pine-mixed conifer forests in the Sierra San Pedro Martir, Mexico. *Canadian Journal of Forest Research* 33: 1090–1101.

Stokes M.A., Smiley T.L., 1968. *An introduction to tree-ring dating*. University of Chicago Press, Chicago.

Strumia G., Wimmer R., Grabner M., 1997. Dendroclimatic sensitivity of *Pinus nigra* Arnold in Austria. *Dendrochronologia* 15: 129-137.

Swetnam T., Baisan C., 1996. Historical fire regime patterns in the southwestern United States since AD 1700, in: Allen, C.D. (Ed.) *Fire Effects in Southwestern Forest: Proceedings of the 2nd La Mesa Fire Symposium*, pp. 11-32. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, General Technical Report RM-GTR-286.

Takahashi M., Sakai Y., Ootomo R., Shiozaki M., 2000. Establishment of tree seedlings and water-soluble nutrients in coarse woody debris in an old-growth *Picea–Abies* forest in Hokkaido, northern Japan. *Canadian Journal of Forest Research* 30: 1148–1155.

Tan, K., Iatrou, G., 2001. *Endemic Plants of Greece, The Peloponnese*. GADS FORLAG KOBENHAVN.

Tapias R., Climent J., Pardos J.A., Gil L., 2004. Life histories of Mediterranean pines. *Plant Ecology* 171: 53–68.

Tapias R., Gil L., Fuentes-Utrilla P., Pardos J.A., 2001. Canopy seed banks in Mediterranean pines of southeastern Spain: a comparison between *Pinus halepensis* Mill, *P. pinaster* Ait, *P. nigra* Arn., and *P. pinea* L.J. Ecology 89: 629-638.

Tavşanoğlu C., 2008. The Effect of Aspect on Post-Fire Recovery of a Mixed Lebanon Cedar-Anatolian Black Pine Forests: After the First 5 Years. Asian Journal of Plant Sciences 7(7): 696-699.

Thanasis G., Zagas T., Tsitsoni T., Ganatsas P., Papapetrou P., 2007. Stand development and structural analysis of planted *Pinus nigra* stands in northern Greece. In: Kungolos A., Aravossis K., Karagiannidis A., Samaras P. (eds), Proceedings of the International Conference on Environmental Management, Engineering, Planning and Economics Skiathos, pp. 507-514.

Thanos C.A., 2004. Bradychory - the coining of a new term. In: Arianoutsou M. & Papanastasis V. (eds.), Ecology, Conservation and Management of Mediterranean Climate Ecosystems of the World. Proceedings of the MEDECOS 10th International Conference, Rhodes, Greece, Millpress, The Netherlands. (electronic edition).

Thanos C.A., Fournaraki C., Tsiroukis A., Panayotopoulos P., 2010. Timing of seed germination and life history of trees: case studies from Greece. In: Chien C.T., Chen F.H. (eds) "Symposium Proceedings" (TFRI Extension Series No. 212), pp. 103-11, IURFO Tree Seed Symposium: recent Advances in Seed Research and Ex Situ Conservation, Taipei, Taiwan, ROC, August 16-18, 2010.

Thanos C.A., Georghiou K., 1988. Ecophysiology of fire-stimulated seed germination in *Cistus incanus* ssp. *creticus* (L.) Heywood and *Cistus salviifolius* L. Plant Cell and Environment 11: 841-849.

Thanos C.A., Marcou S., 1991. Post-fire regeneration in *Pinus brutia* forest ecosystems of Samos Island (Greece): 6 years after. Acta Oecologica 12: 633-642.

Thibault J.C., Prodon R., 2006. Seed predation by birds shortly after a wildfire in a Corsican pine forest. International Journal of Wildland Fire 15(1): 81-86.

Tinker D.B., Knight D.H., 2000. Coarse woody debris following fire and logging in Wyoming lodgepole pine forests. Ecosystems 3(5): 472-483.

Tíscar P.A., 2007. Dinámica de regeneración de *Pinus nigra* subsp. *salzmannii* al sur de su área de distribución : etapas , procesos y factores implicados. Investigacion Agraria: Sistemas y Recursos Forestales 16(2): 124-135.

Tíscar P.A., Linares J.C., 2011a. *Pinus nigra* subsp. *salzmannii* forests from Southeast Spain: Using structure and process information to guide management. In Pine forests: Types, Threats and Management; Frisiras, C.T., Ed.; Nova Science Publishers Inc.: Hauppauge, NY, USA.

Tíscar P.A., Linares J.C., 2011b. Structure and Regeneration Patterns of *Pinus nigra* subsp. *salzmannii* Natural Forests: A Basic Knowledge for Adaptive Management in a Changing Climate. *Forests* 2(4): 1013-1030.

Touchan R., Baisan Ch., Mitsopoulos I.D., Dimitrakopoulos A.P., 2012. Fire history in European black pine (*Pinus nigra* Arn.) forests of the Valia Kalda, Pindus mountains, Greece. *Tree-Ring Research* 68(1): 45-50.

Touchan R., Meko D., Hughes M.K., 1999. A 396-year reconstruction of precipitation in southern Jordan. *Journal of the American Water Resources Association* 35(1):49-59.

Trabaud L., 1981. Man and fire: impacts on Mediterranean vegetation. In: di Castri F., Goodall D.W. & Specht R.L. (eds.), *Ecosystems of the World Mediterranean-Type Shrublands*. Elsevier Scientific Publishing Company. pp. 523-537.

Trabaud L., 1987. Fire and survival traits of plants. In: Trabaud L. (ed.), *The Role of Fire in Ecological Systems*. SPB Academic Publishing. pp. 66-89.

Trabaud L., 1991. Le feu est-il un facteur de changement pour les systemes ecologiques du bassin mediterraneen? *Secheresse* 3: 163-174.

Trabaud L., 1994. Post-fire plant community dynamics in the Mediterranean basin. In: Moreno J.M. & Oechel W.C. (eds.), *The Role of Fire in Mediterranean-Type Ecosystems*, Springer-Verlag Publishing, pp.1-15.

Trabaud L., Campant C., 1991. Difficulté de Recolonisation Naturelle du Pin de *Salzmanni Pinus nigra* Arn. ssp. *salzmannii* (Dunal) Franco Après Incendie. *Biological Conservation* 58: 329-343.

Trabaud L., Lepart J., 1980. Diversity and stability in garrigue ecosystems after fire. *Vegetatio* 43: 49-57.

Van Haverbeke D. F., 1986. Twenty-year performance of Scotch, European black (Austrian), red, and jack pines in eastern Nebraska. USDA Forest Service, Research Paper RM-267. Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, Fort Collins, CO. 14 p.

Van Horne M.L., Fulé, P.Z., 2006. Comparing methods of reconstructing fire history using fire scars in a southwestern United States ponderosa pine forest. *Canadian Journal of Forest Research* 36:855–867.

Verkamp G., 2001. A Quick Intro to Fire Scar Dating. Ecological Restoration Institute. December 2001.

Vidakovic M., 1991. Conifers. Morphology and variation. Zagreb. Graficki Zavod Hrvatske: 755 pp.

Viedma O., Torres I., Pérez B., Moreno J.M., 2012. Modeling plant species richness using reflectance and texture data derived from QuickBird in a recently burned area of Central Spain. *Remote Sensing of Environment* 119: 208-221.

Whitlock C., Marlon J., Briles C., Brunelle A., Long C., Bartlein P., 2008. Long-term relations among fire, fuel, and climate in the north-western US based on lake-sediment studies. *International Journal of Wildland Fire* 17: 72-83.

Xanthopoulos G., 2000. Fire situation in Greece. *International Forest Fire News (ECE/FAO)* 23: 76-84.

Yamaguchi D.K., 1991. A simple method for cross-dating increment cores from living trees. *Canadian Journal of Forest Research* 21(3): 414-416.

Zaghi D., 2008. Management of Natura 2000 habitats. 9530 *(Sub)-Mediterranean pine forests with endemic black pines. European Commission.

Ελληνική

Αγγελονίδη Ε., 2012. Επίδραση του κλίματος στις αυξητικές τάσεις του είδους *Abies cerhalonica* (Loudon) στα ανώτερα και κατώτερα όρια εξάπλωσής του στο όρος Ταΰγετος. Διπλωματική εργασία, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, 133 σελίδες.

Αντωννάκης Χ., 2006. Η Εθνική Αντίσταση του ΕΑΜ-ΕΛΛΑΣ στον Ταΰγετο και τον Πάρωνα 1941-1944. Εκδόσεις Αλφειός, 244 σελίδες.

Απασιδής Λ., 1977. Φυσική αναγέννηση Μαύρης πεύκης. Διδακτορική Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 99 σελίδες.

Αριανούτσου Μ., 1979. Βιολογική Δραστηριότητα μετά από Φωτιά σε Φρυγανικό Οικοσύστημα. Διδακτορική Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 136 σελίδες.

Αριανούτσου Μ., 2007. Δείκτες μεταπυρικής φυσικής αναγέννησης στα Μεσογειακά οικοσυστήματα. Πρακτικά Επιστημονικού Συνεδρίου: Αποκατάσταση καμένων εκτάσεων, σελ. 105-120.

Αριανούτσου Μ., Καζάνης Δ., Κόκκορης Ι., Μπαζός Ι., Χριστοπούλου Α., Κωνσταντινίδης-Γεωργίου Π., Κοπανέλλου Ε., 2009. Διερεύνηση της επίδρασης της φωτιάς σε ορεινά δασικά οικοσυστήματα της Πελοποννήσου. Στο: Μ.Α. Δούση, Κ.Α. Θάνος (επιμ. εκδ.). Πρόγραμμα και Περίληψεις. 11ο Πανελλήνιο Επιστημονικό Συνέδριο, Ελληνική Βοτανική Εταιρεία. Αθήνα, 8-11 Οκτωβρίου 2009, Εκδόσεις Ε.Κ. Πανεπιστημίου Αθηνών.

Αριανούτσου Μ., Καζάνης Δ., Χριστοπούλου Α., Μπαζός Ι., Κόκκορης Ι. Κωνσταντινίδης – Γεωργίου Π. 2010β. Βιολογικοί δείκτες κατάστασης διατήρησης

καμένων κοινοτήτων σε ορεινά δασικά συστήματα της Πελοποννήσου. Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών – WWF Ελλάς, σελ. 98.

Αριανούτσου Μ., Καούκης Κ., Καζάνης Δ., 2008. Οι φωτιές στα δάση των ψυχρόβιων κωνοφόρων της Ελλάδας: τυχαίο γεγονός ή σύμπτωμα των κλιματικών αλλαγών; Πρακτικά 4ου Πανελλήνιου Συνεδρίου της Ελληνικής Οικολογικής Εταιρείας, Βοτανικής Εταιρείας, Ζωολογικής Εταιρείας και Φυκολογικής Εταιρείας «Σύγχρονες τάσεις της έρευνας στην οικολογία». Βόλος, σελ. 215.

Αριανούτσου Μ., Χριστοπούλου Α., Καζάνης Δ., Κόκκορης Ι., Μπαζός Ι., Κυρούσης Η., Κωνσταντινίδης-Γεωργίου Π., 2010α. Η επίδραση της φωτιάς στη φυτική ποικιλότητα ορεινών δασικών συστημάτων της Πελοποννήσου. 5ο Πανελλήνιο Συνέδριο Οικολογίας - «Οικολογικές διεργασίες στο χώρο και το χρόνο». Ελληνική Οικολογική Εταιρεία - Ελληνική Ζωολογική Εταιρεία - Ελληνική Βοτανική Εταιρεία, Πάτρα 7 - 10 Οκτωβρίου 2010.

Βιόσφαιρα- Εταιρεία για τη Μελέτη και Διαχείριση του Φυσικού και Ανθρωπογενούς Περιβάλλοντος, 2011. Οικολογική αποτύπωση του Όρους Ταΰγετος για τη διατήρηση της βιοποικιλότητας. Ομάδα εργασίας: Γεωργιακάκης Π., Γιαννάτος Γ., Γκάνου Ε., Γρίβας Κ., Ιωαννίδης Γ., Μανωλόπουλος Α., Ξηρουχάκης Σ., Σημιαϊάκης Σ., Χριστοπούλου Α., Κατακαλαίου Α. Μελέτη που εκπονήθηκε κατ' ανάθεση του Ελληνικού Κέντρου Βιοτόπων- Υγροτόπων (ΕΚΒΥ) στο πλαίσιο του έργου ΕΟΧ: «Αποκατάσταση δασών Όρους Πάρνωνας και κατευθύνσεις διατήρησης Όρους Ταΰγετος στη Λακωνία». Αθήνα, Απρίλιος 2011.

Γάκη- Παπαναστασίου Κ., Παπαναστασίου Δ., Μαρουκιάν Χ., 1995. Γεωμορφολογικές και σεισμοτεκτονικές παρατηρήσεις στην ευρύτερη περιοχή της Σπάρτης. Πρακτικά του 4^{ου} Πανελλήνιου Γεωγραφικού Συνεδρίου της Ελληνικής Γεωγραφικής Εταιρείας «Γεωμορφολογία, Κλιματολογία, Μαθηματική Γεωγραφία, Γενική Γεωγραφία». Αθήνα, σελ. 104-120.

Γαλάτης Β., Κατσαρός Χ., Αποστολάκος Π., 1998. Εισαγωγή στην Βοτανική. Αθήνα: Εκδ. Α. Σταμούλης.

Γεωργιάδης Θ., Δημητρίλος Γ., 2010. Έκθεση των αποτελεσμάτων των φυτοληψιών σε επιφάνειες του τύπου οικοτόπου: (Υπο)Μεσογειακά δάση πεύκης με ενδημικά είδη μαύρης πεύκης (κωδ. 9530), που κάηκαν από την πυρκαγιά τον Αύγουστο του 2007 στο όρος Πάρνωνας. Ελληνικό Κέντρο Βιοτόπων- Υγροτόπων. Θέρμη. 13 σελ. + 4 παραρτήματα.

Γήτας Ι.Ζ., Rishmawi K.N., 2007. Χαρτογράφηση καμένων εκτάσεων με τη χρήση δορυφορικών εικόνων χαμηλής, μέσης-υψηλής και πολύ υψηλής ευκρίνειας. Πρακτικά Επιστημονικού Συνεδρίου: Αποκατάσταση καμένων εκτάσεων, σελ. 43-61.

Δημόπουλος Π., Bergmeier E., Θεοδωρόπουλος Κ., Fischer P., Τσιαφούλη Μ., 2005. Οδηγός Παρακολούθησης Τύπων Οικοτόπων και Φυτικών Ειδών στις περιοχές του

Δικτύου Natura 2000 με Φορείς Διαχείρισης στην Ελλάδα, ΥΠΕΧΩΔΕ & Τμήμα Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων Πανεπιστημίου Ιωαννίνων.

Ελληνική Ορνιθολογική Εταιρεία, 1994. Σημαντικές Περιοχές για τα Πουλιά της Ελλάδας, Μια Γνωριμία με τους Σημαντικούς Βιοτόπους της Ελλάδας. Ειδική Έκδοση, Αθήνα, σελ. 272.

Θάνος Κ.Α., 2008. Σχέδιο παρακολούθησης στα υπομεσογειακά πευκοδάση με ενδημικά μαυρόπευκα – *Pinus nigra* subsp. *pallasiana* στο Εθνικό Δασικό Πάρκο Τροόδους. Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα.

Ιατρού Γρ., 1986. Συμβολή στη μελέτη του ενδημισμού της χλωρίδας της Πελοποννήσου. Διδακτορική διατριβή. Πανεπιστήμιο Πατρών. Σχολή Θετικών Επιστημών- Τμήμα Βιολογίας, Τομέας Βιολογίας Φυτών, 310 σελ.

Καζάνης Δ., 2005. Μεταπυρική διαδοχή δασών *Pinus halepensis* Mill: πρότυπα δυναμικής της βλάστησης. Διδακτορική διατριβή. Ε.Κ.Π.Α. Αθήνα, 350 σελίδες.

Καζάνης Δ., Αριανούτσου Μ., 1998. Μεταπυρική διαδοχή σε δάση χαλεπίου πεύκης: ποικιλότητα φυτικών ομάδων. Πρακτικά 7^{ου} Επιστημονικού Συνεδρίου Ελληνικής Βοτανικής Εταιρείας, σελ. 169-173.

Κακούρος Π., 2010. Αποτίμηση των επιπτώσεων της πυρκαγιάς στα δάση μαύρης πεύκης στον Πάρνωνα- Η προσέγγιση για την αποκατάστασή τους. Στο: Κακούρος Π., Χρυσοπολίτου Β. (συντονιστές έκδοσης), 2010. Νέες προσεγγίσεις στην αποκατάσταση των δασών μαύρης πεύκης. Πρακτικά συνεδρίου, Σπάρτη 15 & 16 Οκτωβρίου 2009. Φορέας Διαχείρισης Όρους Πάρνωνα και Υγροτόπου Μουστού. Άστρος. Σελ. 39-48.

Κακούρος Π., Ντάφης Σ., 2009. Κατευθύνσεις για μια δομημένη προσέγγιση για την αποκατάσταση δασών μαύρης πεύκης μετά από πυρκαγιές, Πρώτη έκδοση. Ελληνικό Κέντρο Βιοτόπων- Υγροτόπων. Θέρμη. 91 σελ.

Κακούρος Π., Χρυσοπολίτου Β. (συντονιστές έκδοσης), 2010. Νέες προσεγγίσεις στην αποκατάσταση των δασών μαύρης πεύκης. Πρακτικά συνεδρίου, Σπάρτη 15 & 16 Οκτωβρίου 2009. Φορέας Διαχείρισης Όρους Πάρνωνα και Υγροτόπου Μουστού. Άστρος. 160 σελ. (Gr & En).

Καρτέρης Μ., Μαλλίνης Γ., Κούτσιας Ν., 2007. Εφαρμογές δορυφορικών δεδομένων υψηλής και πολύ υψηλής ευκρίνειας στη χαρτογράφηση και παρακολούθηση καμένων εκτάσεων. Πρακτικά Επιστημονικού Συνεδρίου: Αποκατάσταση καμένων εκτάσεων, σελ. 19-41.

Κατσίποδας Σ., 2010. Η πυρκαγιά του έτους 2007 στον Ταΰγετο και η αντιμετώπιση των επιπτώσεών της. Στο: Κακούρος Π., Χρυσοπολίτου Β. (συντονιστές έκδοσης), 2010. Νέες προσεγγίσεις στην αποκατάσταση των δασών μαύρης πεύκης. Πρακτικά

συνεδρίου, Σπάρτη 15 & 16 Οκτωβρίου 2009. Φορέας Διαχείρισης Όρους Πάρνωνα και Υγροτόπου Μουστου. Άστρος. Σελ. 33-38.

Λεγάκης Α., Μαραγκού Π., 2009. Το Κόκκινο Βιβλίο των Απειλούμενων Ζώων της Ελλάδας. Ελληνική Ζωολογική Εταιρεία, Αθήνα, 528 σελ.

Μαυρομμάτης Γ., 1980. Το βιοκλίμα της Ελλάδος. Σχέσεις κλίματος και φυσικής βλάστησης, βιοκλιματικοί χάρτες. Ι.Δ.Ε.Α. Αθήναι.

Μπορνόβας Ι., Ροντογιάννη-Τσιαμπάου Θ., 1983. Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδος, κλίμακας 1:500000. Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, 2η έκδοση, Αθήνα.

Ντάφης Σ., Παπαγεωργίου Β., 1980. Επίδραση του φωτός και του σκότους στη φύτευση των σπόρων διαφόρων δασοποκιών ειδών. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Επιστημονική Επετηρίδα της Γεωπονικής & Δασολογικής Σχολής. Αναμνηστικός Τόμος 50 Χρόνων Δασολογίας, Τόμος ΚΓ- παράρτημα Αρ. 5, σελ. 109-117. Θεσσαλονίκη.

Ντάφης Σ., Παπαστεργιάδου Ε., Λαζαρίδου Ε., Τσιαφούλη Μ., 2001. Τεχνικός Οδηγός Αναγνώρισης, Περιγραφής και Χαρτογράφησης Τύπων Οικοτόπων της Ελλάδας. Ελληνικό Κέντρο Βιοτόπων-Υγροτόπων (ΕΚΒΥ).

Ξανθόπουλος Γ., Ξανθάκης Μ., 2008. Ανάπτυξη μοντέλου για την επίδραση της φωτιάς στους βοσκότοπους και την εμφάνιση τάσεων ερημοποίησης. Πρακτικά 6ου Πανελλήνιου Λιβαδοπονικού Συνεδρίου «Λιβαδοπονία και Προστατευόμενες Περιοχές» Θεσσαλονίκη, σελ. 299-306.

Πολίτη Ι.Π., 2009. Μελέτη της κατάστασης διατήρησης της *Abies cephalonica* Loudon στον Εθνικό Δρυμό του Αίνου: δυναμική πληθυσμού και αναπαραγωγική βιολογία του είδους. Διδακτορική Διατριβή, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, 204 σελίδες.

Ρηγοπούλου Δ., 2010. Εξέλιξη της εδαφοκάλυψης και της χρήσης γης σε καμένες δασικές και αγροτικές εκτάσεις- Μελέτη περίπτωσης: Διαχειριζόμενο Δάσος Ταυγέτου. Πτυχιακή εργασία, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Τμήμα Γεωγραφίας, 125 σελίδες.

Σαρρής Δ., 2008. Μελέτη της βροχόπτωσης στην Α. Μεσόγειο και η σχέση της με το φαινόμενο ENSO. Διερεύνηση της μεθόδου της δενδροκλιματολογίας. Διδακτορική Διατριβή. Πανεπιστήμιο Πατρών, Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Βιολογίας, Τομέας Βιολογίας Φυτών, 152 σελίδες.

Τραγουδάρα Ε., 2008. Ανάλυση ποικιλότητας τριών πληθυσμών Μαύρης πεύκης (*Pinus nigra*) με τη χρήση μοριακών δεικτών τυχαία πολλαπλασιασμένου πολυμορφικού DNA (RAPD). Μεταπτυχιακή διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 92 σελίδες.

Τσαγκάρη Κ., Καρέτσος Γ., Προύτσος Ν., 2011. Δασικές πυρκαγιές Ελλάδας, 1983-2008. Εκδόσεις WWF Ελλάς και ΕΘΙΑΓΕ-ΙΜΔΟ & ΤΔΠ, σελ. 112.

Τσαπρούνης Ι., 1992. Αποτελέσματα Πρώτης Εθνικής Απογραφής Δασών. Γενική Διεύθυνση Δασών και Φυσικού Περιβάλλοντος, Αθήνα. 134 σελ.

Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης & Τροφίμων/Γεν. Δ/ση Ανάπτυξης & Προστασίας Δασών και Φυσικού Περιβάλλοντος/Δ/ση Ανάπτυξης Δασικών Πόρων, 2004. Μελέτη Προστασίας και Διαχείρισης δημοσίου δάσους Δυτικού και Ανατολικού Ταυγέτου, Δασαρχείου Καλαμάτας, Νομού Μεσσηνίας. Μελετητές: «ΥΛΗ-Διαχείριση και Προστασία Περιβάλλοντος» (Αποστολίδης, Η., Πάγκας, Ν., Παπαϊωάννου, Α, Αδαμόπουλος, Θ., Συνοδινού, Ι.).

Φοίτος Δ., Κωνσταντινίδης Θ., Καμάρη Γ. (επιτροπή έκδοσης), 2009. Βιβλίο Ερυθρών Δεδομένων των Σπάνιων & Απειλούμενων Φυτών της Ελλάδας. Δύο Τόμοι, Πάτρα.

Χριστοδουλάκης Δ., Ψαράς Γ., 2001. Λεξικό Βοτανικών Όρων. Έκδοση Πανεπιστημίου Πατρών, Πάτρα.

Χριστοπούλου Α., 2009. Μεταπυρική διασπορά των σπερμάτων *Abies cephalonica* Loudon στον Εθνικό Δρυμό της Πάρνηθας: ο ρόλος των άκαυτων πυρήνων του πληθυσμού. Διπλωματική εργασία, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, 131 σελίδες.

Χριστοπούλου Α., Ανδριόπουλος Π., Πλένιου Μ., Κούτσιας Ν., Αριανούτσου Μ., 2010. Οι επιπτώσεις της φωτιάς του 2007 στα δάση Μαύρης πεύκης (*Pinus nigra* J.F Arnold) στον Ταΰγετο: χωρική αποτίμηση της διαθεσιμότητας άκαυτων νησίδων. Πρακτικά 5^{ου} Πανελλήνιου Συνεδρίου Οικολογίας - «Οικολογικές διεργασίες στο χώρο και το χρόνο», σελ. 208.

Χριστοπούλου Α., Κόκκορης Γ., Καζάνης Δ. & Αριανούτσου Μ. 2008. Μεταπυρική διασπορά των σπερμάτων *Abies cephalonica* Loudon στον Εθνικό Δρυμό της Πάρνηθας: ο ρόλος των άκαυτων πυρήνων του πληθυσμού. Πρακτικά 4^{ου} Πανελλήνιου Συνεδρίου της Ελληνικής Οικολογικής Εταιρείας, Βοτανικής Εταιρείας, Ζωολογικής Εταιρείας και Φυκολογικής Εταιρείας «Σύγχρονες τάσεις της έρευνας στην οικολογία». Βόλος, σελ. 233.

Χρυσοπολίτου Β., Χατζηχαλαράμπος Ε., 2008. Δεύτερη εθνική έκθεση για την εφαρμογή της Οδηγίας των Οικοτόπων στην Ελλάδα (περίοδος αναφοράς: 2001-2006). ΥΠΕΧΩΔΕ, ΕΚΒΥ, Αθήνα- Θέρμη.

WWF Ελλάς, 2007. «Οικολογικός απολογισμός των καταστροφικών πυρκαγιών του Αυγούστου 2007 στην Πελοπόννησο», Αθήνα: Σεπτέμβριος 2007.

Ιστοσελίδες

- <http://www.mani.org.gr/taigetos/>

- <http://www.gdem.aster.ersdac.or.jp/>
- <http://www.weather-messinia.gr/taygetos/>
- <http://natura2000.eea.europa.eu/>
- <http://www.parnonaslife.gr/>
- Grissino-Mayer H.D., Department of Geography, The University of Tennessee.
-The Ultimate Tree-Ring Web Pages: <http://web.utk.edu/~grissino/>
- Διεθνή Βάση Ετήσιων Δακτυλίων -International Tree-ring Data Bank
<http://www.ncdc.noaa.gov/paleo/treering.html>
- Grissino-Mayer H.D., FHX2: Fire History Software
<http://www.ltrr.arizona.edu/archive/fhx2/FHX2.html>

7. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

Παράρτημα Ι- Πρωτόκολλα πεδίου και εργαστηρίου

1. Πρωτόκολλο πεδίου που συμπληρωνόταν για κάθε δείγμα- σφήνα για την ανασύσταση του ιστορικού της φωτιάς.

 NORTHERN ARIZONA UNIVERSITY Ecological Restoration Institute	Forest Ecology Lab P.O. Box 15018 Flagstaff, Arizona 86011 (928) 523-0997	National and Kapodistrian University of Athens Department of Ecology and Systematics Faculty of Biology, 15704 Panepistimiopolis, Greece
--	--	---

SAMPLE NUMBER: <u>TS11.1057</u>	SITE NAME: _____
DATE OF COLLECTION: <u>21/06</u>	COLLECTOR(S): _____
UTM Zone: _____ Easting: <u>022° 16.019'</u> Northng: <u>37° 03.020'</u> Elevation: <u>1414 ± 10 m</u>	

MICROSITE DESCRIPTION Slope <u>37</u> Aspect <u>120</u> Other _____	☐ Dry ☒ Intermediate ☐ Moist
---	--

TREE DESCRIPTION Species <u>P. nigra</u> Diameter <u>43.3</u>	☐ Living ☒ Snag ☐ Stump ☐ Log
--	---

NUMBER OF SAMPLES TAKEN: _____			
	Height of samples on bole	Aspect of scar	# of pieces/sample
A	<u>67 cm</u>	<u>30</u>	<u>1</u>
B	_____	_____	_____
C	_____	_____	_____

PHOTOGRAPH NUMBER: <u>916</u>	CAMERA: <u>Nat</u>
--------------------------------------	---------------------------

SAMPLE NUMBER: <u>TS11.1058</u>	SITE NAME: _____
DATE OF COLLECTION: <u>21/06</u>	COLLECTOR(S): _____
UTM Zone: _____ Easting: <u>022° 16.018'</u> Northng: <u>37° 03.019'</u> Elevation: <u>1391 ± 6 m</u>	

MICROSITE DESCRIPTION Slope <u>45</u> Aspect <u>100</u> Other _____	☐ Dry ☒ Intermediate ☐ Moist
---	--

TREE DESCRIPTION Species <u>P. nigra</u> Diameter <u>32 cm</u>	☐ Living ☒ Snag ☐ Stump ☐ Log
---	---

NUMBER OF SAMPLES TAKEN: _____			
	Height of samples on bole	Aspect of scar	# of pieces/sample
A	<u>30 cm</u>	<u>230</u>	<u>1</u>
B	_____	_____	_____
C	_____	_____	_____

PHOTOGRAPH NUMBER: <u>917</u>	CAMERA: <u>Nat</u>
--------------------------------------	---------------------------

2. Φύλλο δεδομένων που συμπληρωνόταν για κάθε δείγμα- σφήνα για τη χρονολόγηση των σημαδιών φωτιάς και τον προσδιορισμό της εποχής των πυρκαγιών

Checked by _____
Date _____

Fire History Data Sheet
Forest Ecology Lab

Date 04/20/12
Name Fulé, Christopher
Observations:

Sample ID TW-1016
 Inner date 1890 pith / ring
 Outer date 2010 ring / bark
 Recorder dates 1913 to 2010

[illegible]

Παράρτημα ΙΙ- Αποτελέσματα ανά θέση δειγματοληψίας, διατομή και κλάση απόστασης για την παρακολούθηση της μεταπυρικής αναγέννησης της *Pinus nigra*

Θέση Δειγματο- ληψίας	Διατομή	Κλάση απόστασης	Μέση πυκνότητα	Συνολικός αριθμός νεαρών ατόμων Μαύρης πεύκης	Μέση παρουσία φτέρης	Μέση παρουσία πωδών ειδών	Μέση παρουσία ξυλωδών ειδών	Μέση παρουσία cwd	Μέση παρουσία γυμνού εδάφους	Μέση παρουσία πετρών ή βράχων	Μέση παρουσία φυλλοστρωμνής
A01	A01_1	A	0,1	2	0,15	0,05	0	0	0,25	0,5	0,25
A01	A01_1	B	0,25	20	0,325	0,3125	0	0,0375	0,1	0,4125	0
A01	A01_1	C	0,03	3	0,31	0,11	0	0,04	0,09	0,58	0
A01	A01_2	A	0,15	3	0,7	0,1	0	0	0,15	0	0
A01	A01_2	B	0,0375	3	0,625	0,1125	0	0,0125	0,2	0,2125	0
A01	A01_2	C	0	0	0,32	0,39	0	0,01	0,16	0,51	0
A01	A01_3	A	0,05	1	0,95	0	0	0	0	0	0,05
A01	A01_3	B	0,1375	11	0,4375	0,1	0	0,125	0,175	0,2125	0
A01	A01_3	C	0,01	1	0,88	0,04	0	0	0,06	0,21	0
A02	A02_1	A	1,3	26	0,35	0	0	0,5	0	0,2	0,15
A02	A02_1	B	0,2875	23	0,2	0,0625	0	0,625	0,1125	0,35	0
A02	A02_1	C	0,24	24	0,32	0,08	0	0,76	0,01	0,32	0
A02	A02_2	A	1,75	35	0,5	0	0	0,35	0	0,2	0
A02	A02_2	B	0,6375	51	0,3	0,0125	0	0,4125	0,0875	0,3375	0
A02	A02_2	C	0,33	33	0,35	0,09	0	0,39	0,17	0,34	0
A02	A02_3	A	2	40	0,55	0,05	0	0,2	0,1	0,15	0
A02	A02_3	B	0,875	70	0,3125	0,0625	0	0,225	0,175	0,35	0
A02	A02_3	C	0,42	42	0,13	0,1	0	0,42	0,1	0,36	0,01
A03	A03_1	A	0,5	10	0,2	0,15	0	0,05	0,15	0,2	0
A03	A03_1	B	0,0625	5	0,0625	0,6125	0,1375	0,0125	0,0625	0,15	0
A03	A03_1	C	0,06	6	0,02	0,52	0,05	0	0,17	0,24	0
A03	A03_2	A	1,05	21	0,1	0	0,05	0,1	0,1	0,25	0,05

Θέση Δειγματο- ληψίας	Διατομή	Κλάση απόστασης	Μέση πυκνότητα	Συνολικός αριθμός νεαρών ατόμων Μαύρης πεύκης	Μέση παρουσία φτέρης	Μέση παρουσία πωδών ειδών	Μέση παρουσία ξυλωδών ειδών	Μέση παρουσία cwd	Μέση παρουσία γυμνού εδάφους	Μέση παρουσία πετρών ή βράχων	Μέση παρουσία φυλλοστρωμνής
A03	A03_2	B	0,375	30	0,1625	0,375	0,025	0,0375	0,1625	0,125	0
A03	A03_2	C	0,02	2	0,02	0,84	0,07	0	0,05	0,04	0
A03	A03_3	A	0,7	14	0,25	0	0	0,1	0,2	0,2	0
A03	A03_3	B	0,2625	21	0,1625	0,325	0,075	0,05	0,125	0,2	0
A03	A03_3	C	0,01	1	0,06	0,76	0,14	0	0,04	0,09	0
A04	A04_1	A	0,55	11	0,3	0,4	0	0,05	0,05	0,35	0
A04	A04_1	B	0,15	12	0,4	0,425	0,025	0,05	0,1125	0,3625	0
A04	A04_1	C	0,05	5	0,34	0,42	0,01	0,01	0,09	0,61	0
A04	A04_2	A	0,35	7	0,35	0	0	0,25	0,05	0,35	0
A04	A04_2	B	0,225	18	0,35	0,1375	0	0,3875	0,25	0,1	0
A04	A04_2	C	0,06	6	0,32	0,24	0	0,18	0,18	0,21	0
A04	A04_3	A	0,15	3	0,3	0,3	0	0,35	0	0,25	0
A04	A04_3	B	0,125	10	0,1625	0,25	0	0,25	0,2625	0,3875	0
A04	A04_3	C	0,03	3	0,05	0,84	0	0,06	0,41	0,46	0
A05	A05_1	A	6,6	132	0,5	0	0	0,15	0,25	0,35	0,15
A05	A05_1	B	2,4625	197	0,6125	0	0	0,175	0,1375	0,175	0,0125
A05	A05_1	C	0,47	47	0,76	0	0	0,06	0,03	0,07	0
A05	A05_2	A	1	20	0,2	0,15	0	0	0,3	0,1	0,05
A05	A05_2	B	0,8	64	0,2875	0,2	0	0,2	0,2875	0,2625	0
A05	A05_2	C	0,7	70	0,66	0	0,02	0,11	0,09	0,19	0
A05	A05_3	A	1,95	39	0,6	0	0	0,2	0,2	0,15	0
A05	A05_3	B	0,5	40	0,625	0,1	0	0,225	0,1375	0,0875	0
A05	A05_3	C	0,22	22	0,8	0,05	0	0,64	0,05	0,05	0
A06	A06_1	A	1,35	27	0,1	0,5	0	0,25	0,2	0,4	0
A06	A06_1	B	0,6625	53	0,075	0,4	0	0,5375	0,025	0,125	0

Θέση Δειγματο- ληψίας	Διατομή	Κλάση απόστασης	Μέση πυκνότητα	Συνολικός αριθμός νεαρών ατόμων Μαύρης πεύκης	Μέση παρουσία φτέρης	Μέση παρουσία πωδών ειδών	Μέση παρουσία ξυλωδών ειδών	Μέση παρουσία cwd	Μέση παρουσία γυμνού εδάφους	Μέση παρουσία πετρών ή βράχων	Μέση παρουσία φυλλοστρωμνής
A06	A06_1	C	0,21	21	0,23	0,41	0	0,28	0,02	0,25	0
A06	A06_2	A	0,4	8	0,05	0,35	0	0,2	0,05	0,45	0,05
A06	A06_2	B	1,2	96	0,2375	0,2	0,0125	0,4375	0,125	0,2625	0
A06	A06_2	C	0,02	2	0,25	0,3	0	0,28	0	0,5	0
A06	A06_3	A	0,05	1	0,05	0,45	0	0,25	0,35	0,35	0,15
A06	A06_3	B	0,1375	11	0,3125	0,3125	0	0,3125	0,2875	0,15	0
A06	A06_3	C	0,04	4	0,39	0,45	0	0,4	0,07	0,2	0
A07	A07_1	A	0,85	17	0,15	0,4	0,05	0	0,05	0,3	0,05
A07	A07_1	B	0,1375	11	0,1875	0,5375	0,175	0,0125	0,0625	0,125	0
A07	A07_1	C	0,1	10	0,22	0,52	0,18	0	0,02	0,22	0
A07	A07_2	A	0,85	17	0,15	0,1	0	0,3	0,1	0,2	0,15
A07	A07_2	B	0,0875	7	0,2125	0,6375	0,0625	0,0125	0,0375	0,2125	0
A07	A07_2	C	0,01	1	0,16	0,41	0,25	0	0	0,21	0
A07	A07_3	A	0,45	9	0,3	0,25	0,1	0,05	0	0,2	0
A07	A07_3	B	0,05	4	0,375	0,525	0,05	0	0	0,0625	0
A07	A07_3	C	0,02	2	0,16	0,43	0,37	0	0,01	0,28	0
A08	A08_1	A	0,35	7	0,45	0	0	0,3	0,05	0,05	0,15
A08	A08_1	B	0,075	6	0,4375	0,1625	0	0	0,2125	0,1625	0
A08	A08_1	C	0,03	3	0,21	0,7	0,12	0	0,06	0,19	0
A08	A08_2	A	0,6	12	0,3	0	0,05	0,05	0,15	0,2	0,1
A08	A08_2	B	0,125	10	0,3625	0,35	0,05	0,1125	0,1375	0,225	0
A08	A08_2	C	0,07	7	0,23	0,56	0,01	0	0,16	0,41	0
A08	A08_3	A	0,9	18	0,25	0,05	0	0,2	0,35	0,2	0
A08	A08_3	B	0,1625	13	0,6125	0	0	0,275	0,05	0,2875	0
A08	A08_3	C	0,12	12	0,63	0,21	0	0,02	0,04	0,29	0

Θέση Δειγματο- ληψίας	Διατομή	Κλάση απόστασης	Μέση πυκνότητα	Συνολικός αριθμός νεαρών ατόμων Μαύρης πεύκης	Μέση παρουσία φτέρης	Μέση παρουσία πωδών ειδών	Μέση παρουσία ξυλωδών ειδών	Μέση παρουσία cwd	Μέση παρουσία γυμνού εδάφους	Μέση παρουσία πετρών ή βράχων	Μέση παρουσία φυλλοστρωμνής
A09	A09_1	A	1,55	31	0,6	0	0	0,2	0,35	0,15	0
A09	A09_1	B	0,225	18	0,6	0,05	0	0,55	0,1125	0,125	0
A09	A09_1	C	0,14	14	0,9	0	0	0,62	0,04	0,07	0
A09	A09_2	A	0,6	12	0,1	0,2	0	0,1	0,25	0,1	0,5
A09	A09_2	B	0,275	22	0,4625	0,275	0	0,575	0,075	0,05	0,025
A09	A09_2	C	0,24	24	0,56	0,13	0	0,62	0,16	0,1	0
A09	A09_3	A	0,6	12	0,4	0	0,25	0,1	0,1	0,15	0
A09	A09_3	B	0,125	10	0,5125	0,45	0,05	0,1125	0,0625	0,05	0
A09	A09_3	C	0,15	15	0,8	0	0	0,8	0	0	0
A10	A10_1	A	0,85	17	0,2	0	0	0,1	0,3	0,4	0,1
A10	A10_1	B	0,525	42	0,25	0,0125	0	0,0625	0,3	0,4	0
A10	A10_1	C	0,24	24	0,43	0,17	0	0,18	0,17	0,18	0
A10	A10_2	A	0,9	18	0,3	0	0	0	0,25	0,45	0,1
A10	A10_2	B	0,3875	31	0,575	0,0125	0	0,075	0,1125	0,2	0
A10	A10_2	C	0,26	26	0,35	0	0	0,04	0,16	0,42	0
A10	A10_3	A	0,75	15	0,35	0	0	0	0,2	0,4	0
A10	A10_3	B	0,25	20	0,1875	0,1125	0,025	0,1	0,325	0,1375	0
A10	A10_3	C	0,35	35	0,35	0,03	0	0,07	0,13	0,44	0
A11	A11_1	A	0,2	4	0,1	0	0,5	0	0,15	0,1	0,3
A11	A11_1	B	0,1125	9	0,0375	0,25	0,4125	0,0125	0,3875	0,4125	0
A11	A11_1	C	0,15	15	0,18	0,14	0,25	0,03	0,36	0,22	0
A11	A11_2	A	1,3	26	0	0	0	0,55	0,3	0	0
A11	A11_2	B	0,7375	59	0,25	0,0375	0,2125	0,4125	0,15	0,1375	0
A11	A11_2	C	1,23	123	0,17	0,18	0,11	0,59	0,06	0,03	0
A11	A11_3	A	0,2	4	0	0,25	0	0,2	0,5	0	0

Θέση Δειγματο- ληψίας	Διατομή	Κλάση απόστασης	Μέση πυκνότητα	Συνολικός αριθμός νεαρών ατόμων Μαύρης πεύκης	Μέση παρουσία φτέρης	Μέση παρουσία πωδών ειδών	Μέση παρουσία ξυλωδών ειδών	Μέση παρουσία cwd	Μέση παρουσία γυμνού εδάφους	Μέση παρουσία πετρών ή βράχων	Μέση παρουσία φυλλοστρωμνής
A11	A11_3	B	0,15	12	0	0,25	0,0125	0,05	0,4875	0	0
A11	A11_3	C	0,07	7	0	0,32	0,09	0,05	0,31	0,05	0
A12	A12_1	A	6,4	128	0,45	0	0	0,35	0,05	0,2	0,2
A12	A12_1	B	0,5125	41	0,45	0,1	0	0,6	0,15	0,1125	0
A12	A12_1	C	0,56	56	0,23	0,09	0	0,35	0,25	0,35	0
A12	A12_2	A	5,25	105	0,5	0	0	0,05	0,1	0,05	0,1
A12	A12_2	B	0,5	40	0,675	0,05	0	0,7375	0,0125	0,075	0
A12	A12_2	C	0,11	11	0,6	0,17	0	0,76	0,07	0,12	0
A12	A12_3	A	6,65	133	0,45	0,05	0	0,25	0,35	0,15	0,2
A12	A12_3	B	1,575	126	0,175	0,4125	0	0,3125	0,1125	0,2	0
A12	A12_3	C	0,48	48	0,05	0,47	0,01	0,38	0,09	0,55	0
K01	K01_1	D	0,01	2	0,13	0,66	0,1	0,345	0	0,485	0,005
K01	K01_2	D	0,01	2	0,37	0,575	0,08	0,345	0	0,75	0,005
K01	K01_3	D	0,005	1	0,72	0,31	0,015	0,52	0,09	0,215	0
K02	K02_1	D	0	0	0,575	0,605	0,035	0,375	0	0,435	0,01
K02	K02_2	D	0,005	1	0,49	0,77	0,02	0,385	0	0,125	0,01
K02	K02_3	D	0	0	0,555	0,71	0,055	0,3	0,045	0,03	0
K03	K03_1	D	0,01	2	0,31	0,415	0,885	0,005	0	0,245	0
K03	K03_2	D	0	0	0,24	0,275	0,88	0,005	0	0,275	0
K03	K03_3	D	0,005	1	0,485	0,145	0,935	0,005	0	0,13	0
K04	K04_1	D	0	0	0	0,33	0,985	0,12	0	0,27	0,035
K04	K04_2	D	0,005	1	0,05	0,635	0,885	0,49	0	0,035	0,015
K04	K04_3	D	0	0	0	0,58	0,88	0,305	0	0,225	0,005
K05	K05_1	D	0,02	4	0,385	0,565	0,08	0,475	0,01	0,48	0,075
K05	K05_2	D	0,01	2	0,59	0,595	0,075	1,03	0	0,36	0,025

Θέση Δειγματο- ληψίας	Διατομή	Κλάση απόστασης	Μέση πυκνότητα	Συνολικός αριθμός νεαρών ατόμων Μαύρης πεύκης	Μέση παρουσία φτέρης	Μέση παρουσία πωδών ειδών	Μέση παρουσία ξυλωδών ειδών	Μέση παρουσία cwd	Μέση παρουσία γυμνού εδάφους	Μέση παρουσία πετρών ή βράχων	Μέση παρουσία φυλλοστρωμνής
K05	K05_3	D	0,01	2	0,25	0,68	0,19	0,835	0,015	0,285	0,06
K06	K06_1	D	0,015	3	0,01	0,965	0,11	0,54	0,01	0,435	0,075
K06	K06_2	D	0,02	4	0,01	0,845	0,07	0,825	0,01	0,36	0,155
K06	K06_3	D	0,005	1	0	0,95	0,11	0,655	0	0,465	0,045

Παράρτημα III- Αναγεννώμενες φυτοκοινότητες

Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζονται τα φυτικά taxa που καταγράφηκαν στις επιμέρους θέσεις δειγματοληψίας. Η ονοματολογία των taxa παρουσιάζεται με βάση το Vascular Plants of Greece: An annotated checklist (Dimopoulos et al. 2013).

Οικογένεια	Taxon	Θέσεις δειγματοληψίας																	
		A01	A02	A03	A04	A05	A06	A07	A08	A09	A10	A11	A12	K01	K02	K03	K04	K05	K06
PTERIDOPHYTA																			
Dennstaedtiaceae	<i>Pteridium aquilinum</i> (L.) Kuhn in Kersten	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
GYMNOSPERMAE																			
Pinaceae	<i>Abies cephalonica</i> Loudon						+												+
	<i>Pinus nigra</i> J.W. Arnold	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
ANGIOSPERMAE																			
Aceraceae	<i>Acer sempervirens</i> L.																+		
Anacardiaceae	<i>Cotinus coggygria</i> Scop.																+		
	<i>Pistacia terebinthus</i> L.																+		
Apiaceae	<i>Bupleurum fruticosum</i> L.																+		
	<i>Daucus carota</i> L.			+				+	+	+	+	+	+						
	<i>Eryngium</i> sp.							+	+		+	+							
	<i>Torilis arvensis</i> (Huds.) Link		+	+											+				
Asparagaceae	<i>Asparagus acutifolius</i> L.																+		
Asteraceae	<i>Achillea nobilis</i> L.	+	+		+	+	+		+		+	+	+	+	+	+		+	+
	<i>Anthemis</i> sp.		+	+			+	+				+							
	<i>Centaurea raphanina</i> Sm in Sibth. & Sm. subsp. <i>mixta</i> (DC.) Runemark	+		+										+					
	<i>Centaurea</i> sp.			+															
	<i>Crepis</i> sp.	+	+	+		+			+					+	+	+		+	+

Οικογένεια	Taxon	Θέσεις δειγματοληψίας																	
		A01	A02	A03	A04	A05	A06	A07	A08	A09	A10	A11	A12	K01	K02	K03	K04	K05	K06
	<i>Crupina crupinastrum</i> (Moris) Vis.		+	+												+		+	
	<i>Dittrichia graveolens</i> (L.) Greuter			+								+							
	<i>Doronicum orientale</i> Hoffm.	+	+	+	+	+	+				+				+			+	
	<i>Echinops ritro</i> L.										+				+			+	
	<i>Erigeron bonariensis</i> L.			+				+											
	<i>Hieracium</i> sp.			+				+											
	<i>Matricaria chamomilla</i> L.						+		+					+	+	+			
	<i>Picnemon acarna</i> (L.) Cass.	+	+	+				+	+			+	+	+	+	+		+	+
	<i>Scorzonera crocifolia</i> Sm in Sibth. & Sm.			+															
	<i>Senecio vernalis</i> Waldst. & Kit.																		
	<i>Senecio vulgaris</i> L.			+			+	+	+			+							
	<i>Sonchus</i> sp.														+	+			
	<i>Taraxacum</i> sp.		+	+		+	+	+	+			+							
	<i>Tragopogon porrifolius</i> L.			+	+									+	+	+			
	<i>Tussilago farfara</i> L.			+				+											
Boraginaceae	<i>Alkanna graeca</i> Boiss. & Spruner in Boiss													+	+			+	
	<i>Anchusa undulata</i> L.							+							+	+			
	<i>Myosotis arvensis</i> (L.) Hill	+	+	+	+		+		+						+				
	<i>Onosma</i> sp.													+					
Brassicaceae	<i>Aubrieta erubescens</i> Grised	+																	
	<i>Bunias erucago</i> L.			+															
	<i>Cardamine</i> sp.		+	+				+											
	<i>Malcolmia</i> sp.			+			+							+	+				

Οικογένεια	Taxon	Θέσεις δειγματοληψίας																	
		A01	A02	A03	A04	A05	A06	A07	A08	A09	A10	A11	A12	K01	K02	K03	K04	K05	K06
Cesalpiniaceae	<i>Cercis siliquastrum</i> L.																+		
Campanulaceae	<i>Campanula spatulata</i> Sm in Sibth. & Sm.	+	+		+	+	+	+	+		+			+	+	+			
	<i>Legousia speculum-veneris</i> (L.) Chaix														+				
Caryophyllaceae	<i>Cerastium candidissimum</i> Correns	+	+			+	+	+	+		+								
	<i>Petrorhagia dubia</i> (Raf.) G. Lopez & Romo			+		+		+	+		+	+		+	+				
	<i>Silene vulgaris</i> (Moench) Garcke							+				+		+	+				
	<i>Stellaria media</i> (L.) Vill.			+		+		+										+	
Cistaceae	<i>Cistus creticus</i> L.	+		+				+	+	+		+			+	+	+		
	<i>Cistus salvifolius</i> L.	+		+				+	+	+		+				+			
	<i>Fumana thymifolia</i> (L.) Webb	+	+					+						+	+	+			
	<i>Tuberaria guttata</i> (L.) Fourr.			+															
	<i>Helianthemum hymettium</i> Boiss. & Heldr in Boiss	+		+	+														
Colchicaceae	<i>Colchicum bivonae</i> Guss.																+		
Convolvulaceae	<i>Convolvulus elegantissimus</i> Mill.	+		+				+				+		+		+			
Crassulaceae	<i>Sedum amplexicaule</i> DC.	+	+	+				+											
Dispacaceae	<i>Knautia integrifolia</i> (L.) Bertol.			+				+				+				+			
Ericaceae	<i>Arbutus unedo</i> L.																+		
	<i>Erica arborea</i> L.	+		+		+		+	+	+	+	+				+	+		
Euphorbiaceae	<i>Euphorbia myrsinites</i> L.	+		+				+	+	+		+		+			+		+
Fabaceae	<i>Anthyllis vulneraria</i> L.							+			+								

Οικογένεια	Taxon	Θέσεις δειγματοληψίας																	
		A01	A02	A03	A04	A05	A06	A07	A08	A09	A10	A11	A12	K01	K02	K03	K04	K05	K06
	<i>Calicotome villosa</i> (Poir.) Link in Schrad.																+		
	<i>Dorycnium hirsutum</i> (L.) Ser. in DC.													+					
	<i>Genista acanthoclada</i> DC.							+	+	+		+				+	+		
	<i>Lathyrus digitatus</i> (M. Bieb.) Fiori in Fiori & Paol.	+			+	+	+		+										
	<i>Lupinus</i> sp.			+	+														
	<i>Ononis</i> sp.													+	+			+	+
	<i>Pisum sativum</i> L.							+											
	<i>Spartium junceum</i> L.			+	+				+										
	<i>Trifolium angustifolium</i> L.	+		+	+			+						+	+				
	<i>Trifolium arvense</i> L.	+	+	+		+	+		+		+	+				+		+	+
	<i>Trifolium campestre</i> Schreb. in Sturm	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+
	<i>Trifolium pratense</i> L.	+	+				+					+							
	<i>Trifolium stellatum</i> L.	+			+			+							+				
	<i>Vicia sativa</i> L. subsp. <i>macrocarpa</i> (Moris) Arcang.	+		+		+	+	+	+			+			+				
	<i>Vicia</i> sp.			+			+								+				
Fagaceae	<i>Castanea sativa</i> Mill.	+		+	+			+	+		+	+							
	<i>Quercus coccifera</i> L.	+		+				+								+	+		
	<i>Quercus ilex</i> L.	+															+		
	<i>Quercus pubescens</i> Willd.	+		+	+				+			+					+		
Gentianaceae	<i>Centaurium erythraea</i> Rafn			+												+			
Geraniaceae	<i>Erodium</i> sp.							+											
	<i>Geranium robertianum</i> L.			+				+											

Οικογένεια	Taxon	Θέσεις δειγματοληψίας																	
		A01	A02	A03	A04	A05	A06	A07	A08	A09	A10	A11	A12	K01	K02	K03	K04	K05	K06
	<i>Geranium rotundifolium</i> L.	+		+				+							+				
Hyacinthaceae	<i>Drimia numidica</i> (Jord. & Fourr.) J. C. Manning & Goldblatt																+		
	<i>Muscari comosum</i> (L.) Mill.	+		+				+	+			+		+		+			
	<i>Ornithogalum nutans</i> L.						+												
Hypericaceae	<i>Hypericum empetrifolium</i> Willd.	+	+	+	+	+	+	+			+	+		+		+	+		+
Lamiaceae	<i>Clinopodium vulgare</i> L.			+												+			
	<i>Lamium amplexicaule</i> L.	+	+								+	+		+		+			
	<i>Mentha</i> sp.			+			+					+							
	<i>Origanum vulgare</i> L.	+										+							
	<i>Phlomis fruticosa</i> L.															+	+		
	<i>Phlomis samia</i> L.	+		+	+		+	+	+	+					+				
	<i>Satureja thymbra</i> L.						+					+				+			
	<i>Teucrium</i> sp.			+				+											
	<i>Thymus sibthorpii</i> Benth.			+				+											
Linaceae	<i>Linum bienne</i> Mill.			+															
Oleaceae	<i>Fraxinus ornus</i> L.										+					+	+		
	<i>Olea europaea</i> L. subsp. <i>oleaster</i>																+		
	<i>Phillyrea latifolia</i> L.			+													+		
Onagraceae	<i>Epilobium</i> sp.			+				+											
Orchidaceae	<i>Dactylorhiza saccifera</i> (Brongn.) Soó								+		+								
	<i>Limodorum abortivum</i> (L.) Sw.					+													
	<i>Orchis provincialis</i> Balb. Ex				+				+										

Οικογένεια	Taxon	Θέσεις δειγματοληψίας																	
		A01	A02	A03	A04	A05	A06	A07	A08	A09	A10	A11	A12	K01	K02	K03	K04	K05	K06
	Lam. & DC.																		
	<i>Orchis quadripunctata</i> Cirillo ex Ten.				+						+								
Orobanchaceae	<i>Orobanche</i> sp.							+				+				+			
Papaveraceae	<i>Papaver</i> sp.			+															
Plantaginaceae	<i>Plantago</i> sp.			+															
Poaceae	<i>Aegilops</i> sp.	+		+			+				+							+	
	<i>Aira elegantissima</i> Schur	+	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	
	<i>Brachypodium retusum</i> (Pers.) P. Beauv.	+	+	+				+			+	+	+	+	+	+		+	+
	<i>Briza maxima</i> L.	+	+		+	+	+		+			+		+	+	+		+	+
	<i>Bromus sterilis</i> L.	+	+	+		+	+		+		+	+		+	+	+		+	+
	<i>Cynosurus</i> sp.	+		+	+		+	+	+				+		+	+		+	+
	<i>Helictotrichon convolutum</i> (C. Presl) Henrard			+					+										
	<i>Poa bulbosa</i> L.							+	+										
Polygalaceae	<i>Polygala monspeliaca</i> L.	+						+	+										
Polygonaceae	<i>Polygonum</i> sp.			+															
	<i>Rumex acetosella</i> L.			+								+							
Primulaceae	<i>Cyclamen</i> sp.	+				+											+		
Ranunculaceae	<i>Anemone apennina</i> L. <i>blanda</i> (Schott & Kotschy) Nyman																		
	<i>Clematis vitalba</i> L.															+			
	<i>Ranunculus</i> sp.			+				+											
Resedaceae	<i>Reseda lutea</i> L.											+							
Rosaceae	<i>Fragaria vesca</i> L.	+	+		+	+	+		+		+	+	+		+			+	
	<i>Potentilla micrantha</i> DC. In	+	+		+														

Οικογένεια	Taxon	Θέσεις δειγματοληψίας																	
		A01	A02	A03	A04	A05	A06	A07	A08	A09	A10	A11	A12	K01	K02	K03	K04	K05	K06
	Lam. & DC.																		
	<i>Pyrus spinosa</i> Forssk.								+			+				+	+		+
	<i>Rosa</i> sp.			+				+				+				+	+		+
	<i>Rubus canescens</i> DC.	+	+	+	+			+	+			+					+		
	<i>Sanguisorba minor</i> Scop.			+				+											
	<i>Sarcopoterium spinosum</i> (L.) Spach															+	+		
Rubiaceae	<i>Galium aparine</i> L.	+	+		+		+	+						+	+				
	<i>Galium rotundifolium</i> L.						+											+	+
	<i>Rubia peregrina</i> L.	+															+		
Scrophulariaceae	<i>Scrophularia canina</i> L.			+				+	+	+		+						+	
	<i>Verbascum</i> sp.	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+
Smilacaceae	<i>Smilax aspera</i> L.																+		
Veronicaceae	<i>Digitalis laevigata</i> Waldst. & Kit.	+	+					+				+							
	<i>Linaria pelisseriana</i> (L.) Mill.	+		+	+				+										
	<i>Veronica chamaedrys</i> L. subsp. <i>chamaedrys</i>	+	+	+	+		+	+	+							+		+	+
Violaceae	<i>Viola</i> sp.	+						+											

Παράρτημα IV- Το πρόγραμμα COFECHA

Το πρόγραμμα COFECHA είναι δωρεάν και μπορεί να αναζητηθεί σε διάφορους Ιστότοπους που αφορούν στην επιστήμη της δενδροχρονολόγησης (για π.χ. <http://www.ltrr.arizona.edu/pub/dpl/>). Οι πληροφορίες που ακολουθούν προέρχονται κυρίως από την εργασία του Grissino-Mayer (2001a). Το πρόγραμμα διαβάζει διάφορα αρχεία τύπου ASCII, μεταξύ των οποίων και τα πρότυπα αρχεία που χρησιμοποιούνται για τις μετρήσεις των δακτυλίων και τους δείκτες, όπως αυτά έχουν καθιερωθεί από τη Διεθνή Βάση Ετήσιων Δακτυλίων -International Tree-ring Data Bank και είναι γνωστά ως αρχεία τύπου Tucson (Tucson formats). Το πρόγραμμα COFECHA μπορεί να διαβάσει αρχεία ακρίβειας 0.01 ή 0.001 mm. Στην παρούσα έρευνα χρησιμοποιήθηκαν αρχεία txt και rwl, ακρίβειας 0.001 mm.

1. Εκκίνηση του προγράμματος

Με το που ανοίγει το πρόγραμμα ζητάει αναγνώριση της εργασίας (job identification). Το στάδιο αυτό είναι απαραίτητο και βοηθάει στη μετέπειτα αναζήτηση του αρχείου που θα παραχθεί και θα αποθηκευτεί. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν έως 5 χαρακτήρες, για παράδειγμα MTFIN (Mountain Taygetos Final). Στη συνέχεια το πρόγραμμα ζητάει το αρχείο που περιέχει τα δεδομένα των χρονοσειρών που θέλουμε να ελέγξει. Για να ανοίξει το αρχείο θα πρέπει να βρίσκεται στον ίδιο φάκελο, όπου έχει αποθηκευτεί και το πρόγραμμα COFECHA. Γράφουμε το όνομα του αρχείου μας, για παράδειγμα final.txt και πατώντας enter εμφανίζονται οι πρώτες οκτώ (8) γραμμές του αρχείου. Το πρόγραμμα ρωτάει αν η μορφοποίηση (format) του αρχείου είναι σωστή. Αν η μορφοποίηση είναι εντάξει πατάμε το γράμμα Y ή enter. Σε αντίθετη περίπτωση, πατάμε το γράμμα N και το πρόγραμμα εμφανίζει τις διάφορες μορφοποιήσεις που μπορούν να επιλεγθούν. Στη συνέχεια, εισάγουμε το όνομα του αρχείου που περιέχει τα δεδομένα-σειρές που δεν έχουν χρονολογηθεί (undated measurement series). Σε περίπτωση που η διασταυρούμενη χρονολόγηση, για ένα ή περισσότερα δείγματα, ήταν ανεπιτυχής ή η χρονολόγηση των δειγμάτων δεν είναι σίγουρη, οι σειρές των δεδομένων μπορούν να μετρηθούν ξεκινώντας από το έτος 1 και σώζοντας τα σε ένα ξεχωριστό αρχείο. Το πρόγραμμα, θα χρησιμοποιήσει τη χρονοσειρά αναφοράς (master dating series) από το αρχείο που έχουμε προσθέσει αρχικά για να προτείνει πιθανές χρονολογήσεις για τις μη χρονολογημένες σειρές δειγμάτων. Σε περίπτωση που δεν υπάρχουν μη χρονολογημένα δείγματα η διαδικασία αυτή παραλείπεται πατώντας enter. Ακολούθως, το πρόγραμμα ζητάει τον ορισμό ενός τίτλου. Το βήμα αυτό δεν κρίνεται πάντα απαραίτητο, οπότε πατάμε και πάλι enter και εμφανίζεται το Κεντρικό Μενού (Main Menu) του προγράμματος.

Το Κεντρικό Μενού δείχνει την τρέχουσα ρύθμιση των παραμέτρων για την εκτέλεση του προγράμματος. Οι τιμές των παραμέτρων έχουν προεπιλεγθεί από το πρόγραμμα και, συνήθως, δεν απαιτούν διόρθωση. Παρόλα αυτά οι τιμές των παραμέτρων μπορούν να τροποποιηθούν πληκτρολογώντας τον αριθμό που εμφανίζεται αριστερά από κάθε μία από αυτές. Σε περίπτωση που δεν απαιτείται

διόρθωση των παραμέτρων πατάμε enter. Το πρόγραμμα τρέχει το αρχείο δεδομένων που έχουμε εισάγει και παράγει το τελικό αρχείο- προϊόν, το οποίο έχει αποθηκευτεί, με το όνομα που έχουμε χρησιμοποιήσει κατά το στάδιο αναγνώρισης της εργασίας, στο φάκελο που έχει αποθηκευτεί και το πρόγραμμα COFECHA.

2. Τελικό αρχείο του προγράμματος

Το τελικό αρχείο- προϊόν του προγράμματος αποτελείται από 8 μέρη, με στόχο την παροχή βοήθειας στη διάγνωση των πιθανών λαθών στις χρονοσειρές και τον έλεγχο και αξιολόγηση των μετρήσεων των δακτυλίων. Τα μέρη του τελικού αρχείου του COFECHA παρουσιάζονται συνοπτικά ακολούθως.

Μέρος 1: Σελίδα τίτλου, παράμετροι που επιλέχθηκαν, περίληψη, απόντες δακτύλιοι ανά χρονοσειρά

Το μέρος αυτό περιλαμβάνει: 1) το όνομα του αρχείου που ελέγχεται, 2) Το Κεντρικό Μενού του προγράμματος με τις παραμέτρους που επιλέχθηκαν, 3) τον αριθμό των δειγμάτων και των δακτυλίων αύξησης που αναλύθηκαν, τη μέση συσχέτιση των χρονοσειρών (average series intercorrelation), τη μέση ευαισθησία (average mean sensitivity), τον αριθμό των τμημάτων (segments) με πιθανά προβλήματα, το μέσο όρο του μήκους της χρονοσειράς, 4) τα δείγματα με απόντες δακτυλίους που δεν φαίνεται να αντιστοιχούν σε στενούς δακτυλίους στη χρονοσειρά αναφοράς και 5) το σύνολο των απόντων δακτυλίων στα διάφορα δείγματα.

Στο σημείο αυτό είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι, στις μελέτες ανάλυσης των σημαδιών φωτιάς, η μέση συσχέτιση των χρονοσειρών είναι χαμηλότερη από ότι στις δενδροκλιματολογικές μελέτες, καθώς τα δένδρα επιλέγονται με βάση τον αριθμό σημαδιών φωτιάς και όχι την ευαισθησία τους σε κλιματικούς παράγοντες.

Μέρος 2: Ιστογράμματα χρονικών διαστημάτων

Το μέρος αυτό περιέχει: 1) ιστογράμματα με το μήκος του κάθε δείγματος- της κάθε χρονοσειράς, σε σύγκριση και με τις άλλες χρονοσειρές, 2) τον κωδικό αναγνώρισης και τον αύξοντα αριθμό του κάθε δείγματος, την περίοδο που έχει μετρηθεί για το κάθε δείγμα και το σύνολο των ετών- δακτυλίων ανά δείγμα- χρονοσειρά.

Μέρος 3: Χρονοσειρά αναφοράς, μέγεθος δείγματος και απόντες δακτύλιοι

Στο μέρος αυτό παρουσιάζεται η χρονοσειρά αναφοράς που χρησιμοποιήθηκε από το πρόγραμμα. Η χρονοσειρά αυτή έχει τυποποιηθεί με μέση τιμή το μηδέν και τυπική απόκλιση 1.0. Οι αρνητικές τιμές υποδεικνύουν στενούς δακτυλίους, ενώ οι θετικές τιμές μεγάλους δακτυλίους. Οι τιμές που είναι μικρότερες του -2.0 ή μεγαλύτερες του +2.0, αποκλίνουν από τη μέση τιμή δύο φορές την τιμή της

τυπικής απόκλισης ή και περισσότερο, είναι σπάνιες και υποδεικνύουν πολύ στενούς ή πολύ μεγάλους δακτυλίους, αντιστοιχώντας σε έτη δείκτες (marker years), τα οποία είναι εξαιρετικά σημαντικά στη διαδικασία της διασταυρούμενης χρονολόγησης. Στα δεξιά της κάθε τιμής απεικονίζεται ο αριθμός των δειγμάτων για το κάθε έτος (No), καθώς και ο αριθμός των απόντων δακτυλίων (Ab). Σε περίπτωση που ένας τοπικά απών δακτύλιος εντοπίζεται σε έτος, που στα υπόλοιπα δείγματα δεν αντιστοιχεί σε στενό δακτύλιο σημειώνεται δίπλα του το σήμα <<.

Μέρος 4: Διαγραμματική αποτύπωση (bar plot) της χρονοσειράς αναφοράς

Η διαγραμματική αυτή αποτύπωση της χρονοσειράς αναφοράς βοηθάει στη διασταυρούμενη χρονολόγηση των δειγμάτων. Στο μέρος αυτό εμφανίζεται το σύνολο των ετών της χρονοσειράς αναφοράς. Οι γραμμές δίπλα σε κάθε έτος αναπαριστούν το μέγεθος του δακτυλίου, με τις μακρύτερες γραμμές να αντιστοιχούν σε μεγάλους- φαρδιούς δακτυλίους και τις κοντές γραμμές να αντιστοιχούν σε μικρούς-στενούς δακτυλίους. Σε κάθε έτος-δακτύλιο αντιστοιχεί και ένα γράμμα της αλφαβήτου, το οποίο επίσης σχετίζεται με το μέγεθος του δακτυλίου. Ειδικότερα, οι μεγάλοι δακτύλιοι συμβολίζονται με κεφαλαία γράμματα και όσο πιο πολύ απομακρύνεται το γράμμα από το A, τόσο μεγαλύτερος είναι ο δακτύλιος. Για παράδειγμα, ο δακτύλιος που συμβολίζεται με F είναι μεγαλύτερος σε πλάτος από τον δακτύλιο που συμβολίζεται με E. Οι στενοί δακτύλιοι συμβολίζονται με μικρά γράμματα και ισχύει το ίδιο με αυτό που αναφέρθηκε προηγουμένως. Για παράδειγμα, ο δακτύλιος που συμβολίζεται με f είναι στενότερος από τον δακτύλιο που συμβολίζεται με e. Με @ σημειώνονται οι δακτύλιοι οι τιμές των οποίων είναι πολύ κοντά στη μέση τιμή και οι οποίοι αντιστοιχούν σε αδιάφορα έτη.

Μέρος 5: Συσχέτιση των επιμέρους χρονοσειρών-δειγμάτων με τη χρονοσειρά αναφοράς

Στο μέρος αυτό δίνεται ο συντελεστής συσχέτισης (correlation coefficients) για τα επιμέρους τμήματα (segments) του κάθε δείγματος με το ίδιο τμήμα της χρονοσειράς αναφοράς. Το μήκος των τμημάτων μπορεί να ρυθμιστεί στο στάδιο εκκίνησης του προγράμματος. Για χρονοσειρές μήκους ίσου ή μεγαλύτερου των 100 ετών το συνηθέστερο μήκος των τμημάτων είναι 50 έτη και η αλληλοεπικάλυψη δύο διαδοχικών τμημάτων ανέρχεται σε 25 έτη. Το κάθε δείγμα που ελέγχεται αφαιρείται από τη χρονοσειρά αναφοράς. Σε περίπτωση που το πρότυπο των δακτυλίων στο τμήμα που ελέγχεται δεν συσχετίζεται με το αντίστοιχο τμήμα της χρονοσειράς αναφοράς, προκύπτει χαμηλός ή/ και στατιστικά ασήμαντος συντελεστής συσχέτισης. Τότε, το πρόγραμμα COFECHA προτείνει μια διαφορετική χρονο-τοποθέτηση του τμήματος, μετακινώντας το έως και ± 10 έτη και προς τις δύο κατευθύνσεις. Τα τμήματα αυτά σημειώνονται (flag), με δύο διαφορετικούς τρόπους. Με «A» σημειώνονται τα τμήματα για τα οποία ο συντελεστής συσχέτισης που υπολογίστηκε είναι κάτω από το επίπεδο σημαντικότητας που αντιστοιχεί στο διάστημα εμπιστοσύνης του 99%, αλλά το πρόγραμμα δεν μπόρεσε να βρει καλύτερη συσχέτιση, μετακινώντας το εν λόγω τμήμα για διάστημα ± 10 ετών. Με

«B» σημειώνονται τα τμήματα στα οποία το πρόγραμμα βρήκε καλύτερη συσχέτιση με κάποια μετακίνηση εντός του ορίου των $-/+10$ ετών, γεγονός που μπορεί να φανερώνει κάποιο λάθος στη διαδικασία της χρονολόγησης. Στο μέρος αυτό δίνεται και ο συνολικός συντελεστής συσχέτισης ανά τμήμα, για το σύνολο των δειγμάτων.

Μέρος 6: Πιθανά προβλήματα, χαμηλές συσχετίσεις, αποκλίνουσες αλλαγές από έτος σε έτος, απόντες δακτύλιοι, ακραίες τιμές

Στο μέρος αυτό παρέχεται σημαντική πληροφορία για τη διάγνωση πιθανών προβλημάτων στη χρονολόγηση των επιμέρους τμημάτων του κάθε δείγματος. Διακρίνεται σε 5 τμήματα. Το σημαντικότερο τμήμα είναι το **τμήμα [A]**, όπου εμφανίζονται τα τμήματα των δειγμάτων που είχαν σημειωθεί στο προηγούμενο μέρος ως A ή B. Το κάθε τμήμα μετακινείται κατά 1 δακτύλιο κάθε φορά για το διάστημα -10 έως $+10$ έτη και αναγράφεται η αντίστοιχη συσχέτιση με τη χρονοσειρά αναφοράς. Το τμήμα που εξετάζεται, κάθε φορά, σημειώνεται στην πρώτη στήλη δεξιά και ακολουθεί η στήλη «High», όπου σημειώνεται η μετακίνηση που δίνει την καλύτερη συσχέτιση. Για παράδειγμα, αν στη στήλη «High» αναγράφεται -1 για το εξεταζόμενο τμήμα 1961-2010, σημαίνει ότι ο συντελεστής συσχέτισης θα είναι υψηλότερος αν το τμήμα μεταφερθεί ένα χρόνο πριν (1960-2009).

Μέρος 7: Περιγραφική στατιστική

Στο μέρος αυτό παρουσιάζονται σε πίνακα τα στατιστικά αποτελέσματα για κάθε δείγμα-χρονοσειρά. Σε κάθε σειρά, που αντιστοιχεί σε ένα δείγμα-χρονοσειρά εμφανίζονται: ο αύξοντας αριθμός, η ονομασία- κωδικός (Series), η περίοδος ανάλυσης (Interval), ο συνολικός αριθμός των ετών (No. Years), ο αριθμός των τμημάτων στα οποία χωρίστηκε το δείγμα (No. Segmt), ο αριθμός των τμημάτων με πιθανά λάθη που σημειώθηκαν από το πρόγραμμα (No. Flags) και η συσχέτιση με τη χρονοσειρά αναφοράς (Corr with Master). Σε περιπτώσεις δειγμάτων με πολύ χαμηλή συσχέτιση με τη χρονοσειρά αναφοράς, τα οποία επίσης χαρακτηρίζονται από μεγάλο αριθμό σημειωμένων τμημάτων και στα οποία έχει γίνει διερεύνηση για πιθανά λάθη στη χρονολόγηση, χωρίς αυτά να μπορούν να εντοπιστούν και να διορθωθούν, θα πρέπει να εξετάζεται η πιθανότητα απομάκρυνσής τους από την περαιτέρω ανάλυση. Οι επόμενες 5 στήλες αφορούν σε στατιστικά που έχουν υπολογιστεί από τις αρχικές μετρήσεις των δακτυλίων (unfiltered), ενώ οι τελευταίες 4 στήλες αφορούν σε στατιστικά που έχουν προκύψει μετά την αφαίρεση των τάσεων της χρονοσειράς (detrended series).

Μέρος 8: Τοποθέτηση μη χρονολογημένων σειρών για υψηλότερη συσχέτιση

Το μέρος 8 εμφανίζεται εφόσον έχουμε εισάγει, κατά τη διάρκεια εκκίνησης του προγράμματος, αρχείο με δεδομένα- σειρές που δεν έχουν χρονολογηθεί.

3. Διαδοχικά στάδια εκκίνησης του προγράμματος COFECHA

```

CofechaXP2007.exe - [Input/Output]
File Edit Format Window

      INNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNN~
      I   P R O G R A M   C O F E C H A   I
      ONNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNNO
      Version 6.06P 00:00  @-@ 00 00 0000

      oooooooooooooooooooooooooooooooooooooooooooooooooooooooooooooo

Program COFECHA does data quality control on a set of tree-ring measurements,
verifying crossdating among measurement series and indicating possible dating
or measurement problems. It identifies portions of tree-ring series that may
have dating errors or important errors in measurement. You may also check
crossdating among chronologies.

Before problems are identified each time series is transformed to enhance
characteristics related to crossdating. Low-frequency variance is removed
by cubic smoothing spline. Autoregressive modeling removes persistence.
To weigh proportional differences equally the series is log-transformed.
Each transformed series is then tested against the master dating series
segment by segment, and successive segments are lagged with a 50% overlap.

Maximum time span    4096 years                                For more information type: ?

Identify job (up to 5 characters) => MTFIN

CROSSDATED TREE-RING SERIES
... Name of EXISTING INPUT file => final.txt

           file final.txt
+___First 8 lines___
1001    1876    1480    2258    1422    3512
1001    1880    3070    5016    3710    1748    2366    4788    3392    1598    2332    2792
1001    1890    2406    3474    4938    2450    1784    1490    1298    3144    2640    2432
1001    1900    1966    1494    1538    1518    1680    990    1620    1324    934    1230
1001    1910    1750    1802    1736    2628    2218    1492    900    766    0    274
1001    1920    314    402    734    814    664    908    866    1048    1040    846
1001    1930    1116    1360    1510    2114    1740    1396    1640    1236    760    934
1001    1940    1018    1432    980    604    502    662    934    892    404    226
.....1.....2.....3.....4.....5.....6.....7.....
Format is Measurements, correct? <Y>/N =>
```

```

CofechaXP2007.exe - [Input/Output]
File Edit Format Window
have dating errors or important errors in measurement. You may also check
crossdating among chronologies.

Before problems are identified each time series is transformed to enhance
characteristics related to crossdating. Low-frequency variance is removed
by cubic smoothing spline. Autoregressive modeling removes persistence.
To weigh proportional differences equally the series is log-transformed.
Each transformed series is then tested against the master dating series
segment by segment, and successive segments are lagged with a 50% overlap.

Maximum time span 4096 years For more information type: ?

Identify job (up to 5 characters) => MTFIN

CROSSDATED TREE-RING SERIES
... Name of EXISTING INPUT file => final.txt

file final.txt
+___First 8 lines___
1001 1876 1480 2258 1422 3512
1001 1880 3070 5016 3710 1748 2366 4788 3392 1598 2332 2792
1001 1890 2406 3474 4938 2450 1784 1490 1298 3144 2640 2432
1001 1900 1966 1494 1538 1518 1680 990 1620 1324 934 1230
1001 1910 1750 1802 1736 2628 2218 1492 900 766 0 274
1001 1920 314 402 734 814 664 908 866 1048 1040 846
1001 1930 1116 1360 1510 2114 1740 1396 1640 1236 760 934
1001 1940 1018 1432 980 604 502 662 934 892 404 226
.....1.....2.....3.....4.....5.....6.....7.....
Format is Measurements, correct? <Y>/N =>
Checking time span

+ 20 series
+ 40 series
+Time series span 1721 2010 290 years 57 series, mean length 116.09 yrs
No time interval is covered by all series

UNDATED TREE-RING SERIES
... Name of EXISTING INPUT file =>

TITLE OF THIS RUN =>

C O F E C H A
Select number or first letter to modify: Current values

1 Rigidity of SPLINE for filtering 32
2 SEGMENT length to examine 50 lagged 25
3 AUTOREGRESSIVE MODEL A
4 TRANSFORM series to logarithms Y
5 CORRELATION critical level 0.3281 Type P
6 MASTER dating series, save N
7 LIST ring measurements N
8 Parts of output to print 1234567
9 Omit absent rings in master series & segment corr Y
F First-difference transform of data N

Initial or number of option or <CR> to proceed => █

```

CofechaXP2007.exe - [Input/Output]

File	Edit	Format	Window
16	1017	1861	2010
17	1021B	1860	2006
18	1022	1934	2010
19	1023	1910	2006
20	1024	1869	2010
21	1025	1853	2006
22	1026	1869	2006
23	1027	1852	2006
24	1028	1838	2006
25	1029	1848	2006
26	1030cor	1850	2006
27	1031	1874	2006
28	1032	1922	2006
29	1033	1783	2006
30	1034	1925	2010
31	1035a	1949	2009
32	1035b	1911	1958
33	1036	1920	2010
34	1037A	1861	1941
35	1037B	1949	2010
36	1038	1930	2010
37	1039	1889	2009
38	1040cor	1842	2009
39	1041	1951	2010
40	1042	1953	2010
41	1043	1905	2010
42	1044	1947	2010
43	1045	1930	2010
44	1046	1949	2010
45	1047	1922	2010
46	1048b	1948	2006
47	1050	1956	2010
48	1051	1939	2010
49	1052b	1895	2006
50	1053	1919	2006
51	1055cen	1803	1870
52	1055per	1880	2006
53	1056	1811	2006
54	1057	1850	2006
55	1059	1817	1984
56	1061	1721	2006
57	T1_2010	1905	2006

C Number of dated series 57 *C*

O Master series 1721 2010 290 yrs *O*

F Total rings in all series 6617 *F*

E Total dated rings checked 6555 *E*

C Series intercorrelation 0.390 *C*

H Average mean sensitivity 0.280 *H*

A Segments, possible problems 84 *A*

*** Mean length of series 116.1 ***

File to print is MTFINCOF.OUT

- = [C O F E C H A] = - •

4. Αποτελέσματα του προγράμματος COFECHA

```
[ ] Dendrochronology Program Library          Run MTFIN  Program COF  00:00  0000  Page   1
[ ]
[ ] P R O G R A M      C O F E C H A                      Version 6.06P      -30
```

QUALITY CONTROL AND DATING CHECK OF TREE-RING MEASUREMENTS

File of DATED series: final.txt

CONTENTS:

- Part 1: Title page, options selected, summary, absent rings by series
- Part 2: Histogram of time spans
- Part 3: Master series with sample depth and absent rings by year
- Part 4: Bar plot of Master Dating Series
- Part 5: Correlation by segment of each series with Master
- Part 6: Potential problems: low correlation, divergent year-to-year changes, absent rings, outliers
- Part 7: Descriptive statistics

RUN CONTROL OPTIONS SELECTED

VALUE

- 1 Cubic smoothing spline 50% wavelength cutoff for filtering
- 2 Segments examined are 32 years
- 3 Autoregressive model applied 50 years lagged successively by 25 years
- 4 Series transformed to logarithms A Residuals are used in master dating series and testing
- 5 CORRELATION is Pearson (parametric, quantitative) Y Each series log-transformed for master dating series and testing
- Critical correlation, 99% confidence level 0.3281
- 6 Master dating series saved N
- 7 Ring measurements listed N
- 8 Parts printed 1234567
- 9 Absent rings are omitted from master series and segment correlations (Y)

Time span of Master dating series is 1721 to 2010 290 years
 Continuous time span is 1721 to 2010 290 years
 Portion with two or more series is 1783 to 2010 228 years

>> 1006 1928 absent in 1 of 43 series, but is not usually narrow: master index is -0.062
 >> 1008 1914 absent in 1 of 37 series, but is not usually narrow: master index is 0.043

```
*****
*C* Number of dated series      57 *C*
*O* Master series 1721 2010 290 yrs *O*
*F* Total rings in all series  6617 *F*
*E* Total dated rings checked  6555 *E*
```

```

*C* Series intercorrelation    0.390 *C*
*H* Average mean sensitivity   0.280 *H*
*A* Segments, possible problems 84 *A*
*** Mean length of series     116.1 ***
*****

```

ABSENT RINGS listed by SERIES:

(See Master Dating Series for absent rings listed by year)

```

1001      1 absent rings: 1918
1002      1 absent rings: 1918
1006      1 absent rings: 1928
1008      1 absent rings: 1914
1012ex    1 absent rings: 1880
1013      1 absent rings: 1880
1021B     1 absent rings: 1895
1032      1 absent rings: 1974
1033      1 absent rings: 1959
1036      1 absent rings: 1999
1055per   1 absent rings: 1916
1056      1 absent rings: 1945

```

12 absent rings 0.181%

PART 2: TIME PLOT OF TREE-RING SERIES:

00:00 0000 Page 2

1050	1100	1150	1200	1250	1300	1350	1400	1450	1500	1550	1600	1650	1700	1750	1800	1850	1900	1950	2000	2050	Ident	Seq	Time-span	Yrs		
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	-----	---	-----	----		
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	<=====	.	.	.	1001	1	1876 1979	104		
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	<=====	.	.	.	1002	2	1873 2006	134		
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	<=====	.	.	.	1003	3	1841 2006	166		
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	<=====	.	.	.	1004B	4	1915 1973	59	
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	<=====	.	.	.	1005	5	1910 2006	97	
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	<=====	.	.	.	1006	6	1842 2006	165	
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	<=====	.	.	.	1007B	7	1836 1946	111	
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	<=====	.	.	.	1008	8	1878 2010	133	
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	<=====	.	.	.	1009	9	1825 1917	93	
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	<=====	.	.	.	1009b	10	1921 2010	90	
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	<=====	.	.	.	1012ex	11	1870 2006	137	
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	<=====	.	.	.	1013	12	1866 2010	145	
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	<=====	.	.	.	1014	13	1892 2010	119	
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	<=====	.	.	.	1015B	14	1864 2010	147	
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	<=====	.	.	.	1016	15	1890 2010	121	
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	<=====	.	.	.	1017	16	1861 2010	150	
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	<=====	.	.	.	1021B	17	1860 2006	147	
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	<=====	.	.	.	1022	18	1934 2010	77
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	<=====	.	.	.	1023	19	1910 2006	97
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	<=====	.	.	.	1024	20	1869 2010	142
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	<=====	.	.	.	1025	21	1853 2006	154

[illegible]

PART 3: Master Dating Series:

00:00 0000 Page 4

Year	Value	No Ab	Year	Value	No Ab	Year	Value	No Ab	Year	Value	No Ab	Year	Value	No Ab	Year	Value	No Ab
			1750	0.139	1	1800	1.595	2	1850	-0.400	14	1900	0.530	32	1950	0.133	50
			1751	2.156	1	1801	0.097	2	1851	0.244	14	1901	-0.205	32	1951	0.719	51
			1752	-3.758	1	1802	-1.278	2	1852	-0.686	15	1902	0.099	32	1952	0.554	51
			1753	-2.389	1	1803	0.143	3	1853	0.506	16	1903	0.008	32	1953	0.522	52
			1754	-1.028	1	1804	0.702	3	1854	-0.009	16	1904	0.607	32	1954	0.363	52
			1755	-0.467	1	1805	1.012	3	1855	1.328	16	1905	0.365	34	1955	0.679	52
			1756	-0.168	1	1806	-0.059	3	1856	0.166	16	1906	0.137	34	1956	0.189	53
			1757	0.819	1	1807	-0.226	3	1857	0.190	16	1907	-0.739	34	1957	-0.229	53
			1758	1.207	1	1808	-0.561	3	1858	0.353	16	1908	-0.740	34	1958	-0.011	53
			1759	0.476	1	1809	-1.115	3	1859	1.176	16	1909	0.013	34	1959	-0.537	52 1
			1760	0.450	1	1810	-1.128	3	1860	0.457	17	1910	0.030	36	1960	0.498	52
			1761	-0.614	1	1811	0.413	4	1861	-0.124	19	1911	0.339	37	1961	-0.377	52
			1762	0.877	1	1812	-2.067	4	1862	-0.432	19	1912	0.466	37	1962	0.647	52
			1763	-0.628	1	1813	0.337	4	1863	-1.244	19	1913	1.404	37	1963	1.030	52
			1764	-0.590	1	1814	1.525	4	1864	-0.343	20	1914	0.043	37 1<<	1964	0.590	52
			1765	2.128	1	1815	0.397	4	1865	-0.463	20	1915	0.464	38	1965	-0.578	52
			1766	2.211	1	1816	0.640	4	1866	-0.313	21	1916	-1.231	38 1	1966	-0.235	52
			1767	1.307	1	1817	-0.062	5	1867	0.597	21	1917	-1.019	38	1967	0.361	52
			1768	-0.351	1	1818	-0.178	5	1868	0.653	21	1918	-1.391	37 2	1968	0.368	52
			1769	-2.003	1	1819	0.267	5	1869	1.212	23	1919	-0.137	38	1969	-0.253	52
			1770	-1.870	1	1820	0.669	5	1870	-1.081	24	1920	0.344	39	1970	-0.606	52
1721	1.150	1	1771	-0.521	1	1821	0.387	5	1871	-0.825	23	1921	-0.072	40	1971	0.059	52
1722	0.151	1	1772	1.512	1	1822	-0.535	5	1872	-0.131	23	1922	0.368	42	1972	0.590	52
1723	-1.666	1	1773	-2.817	1	1823	0.241	5	1873	0.281	24	1923	0.025	42	1973	-0.936	52
1724	-0.058	1	1774	-0.678	1	1824	-0.093	5	1874	0.084	25	1924	-0.003	42	1974	-0.890	51 1
1725	-2.383	1	1775	0.204	1	1825	-0.947	6	1875	-0.220	25	1925	-0.643	43	1975	0.722	51
1726	0.838	1	1776	1.149	1	1826	-0.170	6	1876	0.815	26	1926	0.724	43	1976	-0.069	51
1727	0.676	1	1777	-1.149	1	1827	0.806	6	1877	0.811	26	1927	0.304	43	1977	-0.610	51
1728	1.762	1	1778	0.207	1	1828	1.207	6	1878	0.299	27	1928	-0.062	43 1<<	1978	-0.565	51
1729	1.549	1	1779	-1.684	1	1829	0.964	6	1879	-0.408	27	1929	-0.062	43	1979	0.420	51
1730	-5.046	1	1780	1.149	1	1830	0.588	6	1880	-1.194	28 2	1930	0.254	45	1980	-0.077	50
1731	0.623	1	1781	1.021	1	1831	-1.021	6	1881	-0.722	28	1931	-0.432	45	1981	-0.172	50
1732	1.061	1	1782	0.573	1	1832	-1.898	6	1882	0.027	28	1932	-0.165	45	1982	0.083	50
1733	0.548	1	1783	0.684	2	1833	-1.794	6	1883	-0.210	28	1933	0.276	45	1983	0.491	50
1734	0.800	1	1784	1.835	2	1834	-0.572	6	1884	0.437	28	1934	0.841	46	1984	0.011	50
1735	-1.168	1	1785	1.020	2	1835	-0.130	6	1885	1.462	28	1935	0.097	46	1985	-0.359	49
1736	1.136	1	1786	0.004	2	1836	-0.049	7	1886	0.805	28	1936	1.076	46	1986	0.531	49
1737	-1.035	1	1787	0.392	2	1837	0.954	7	1887	-0.309	28	1937	0.468	46	1987	-0.429	49
1738	0.943	1	1788	0.926	2	1838	1.341	8	1888	0.096	28	1938	-0.053	46	1988	-0.029	49
1739	1.242	1	1789	-4.115	2	1839	0.195	8	1889	0.423	29	1939	0.076	47	1989	0.914	49

7. Παραρτήματα

1740	0.210	1	1790	-1.880	2	1840	-0.840	8	1890	-0.096	30	1940	0.335	47	1990	-0.718	49
1741	-0.747	1	1791	-0.538	2	1841	-0.403	9	1891	0.006	30	1941	0.325	47	1991	-0.537	49
1742	-4.609	1	1792	1.530	2	1842	0.113	11	1892	1.185	31	1942	-0.286	46	1992	-0.257	49
1743	-0.421	1	1793	0.002	2	1843	0.228	11	1893	-0.649	31	1943	-0.940	46	1993	0.313	49
1744	1.454	1	1794	0.719	2	1844	0.586	11	1894	-1.266	31	1944	-1.995	46	1994	0.608	49
1745	0.749	1	1795	-2.504	2	1845	0.984	11	1895	-1.494	32	1945	-1.138	46	1995	0.128	49
1746	1.313	1	1796	-0.534	2	1846	0.956	11	1896	-0.806	32	1946	0.049	46	1996	0.791	49
1747	1.784	1	1797	-0.442	2	1847	-0.671	11	1897	0.742	32	1947	0.483	46	1997	0.273	49
1748	0.408	1	1798	0.484	2	1848	-1.596	12	1898	0.604	32	1948	-0.087	47	1998	0.195	49
1749	0.263	1	1799	1.395	2	1849	-0.565	12	1899	0.579	32	1949	-1.581	50	1999	-0.851	49
															2000	-0.399	49
															2001	0.013	49
															2002	-0.926	49
															2003	-0.830	49
															2004	0.453	49
															2005	0.651	49
															2006	0.843	49
															2007	-0.109	25
															2008	-0.329	25
															2009	0.597	25
															2010	0.135	22

PART 4: Master Bar Plot:

00:00 00:00 0000 Page 6

Year Rel value	Year Rel value	Year Rel value	Year Rel value	Year Rel value	Year Rel value	Year Rel value	Year Rel value
	1750-----A	1800-----F	1850--b	1900-----B	1950-----A	2000--b	
	1751-----I	1801-----@	1851-----A	1901---a	1951-----C	2001----@	
	1752o	1802-e	1852---c	1902-----@	1952-----B	2002-d	
	1753j	1803-----A	1853-----B	1903-----@	1953-----B	2003-c	
	1754-d	1804-----C	1854-----@	1904-----B	1954-----A	2004-----B	
	1755--b	1805-----D	1855-----E	1905-----A	1955-----C	2005-----C	
	1756---a	1806-----@	1856-----A	1906-----A	1956-----A	2006-----C	
	1757-----C	1807---a	1857-----A	1907-c	1957---a	2007----@	
	1758-----E	1808--b	1858-----A	1908-c	1958----@	2008---a	
	1759-----B	1809-d	1859-----E	1909----@	1959--b	2009-----B	
	1760-----B	1810-e	1860-----B	1910-----@	1960-----B	2010-----A	
	1761--b	1811-----B	1861-----@	1911-----A	1961--b		
	1762-----D	1812h	1862--b	1912-----B	1962-----C		
	1763--c	1813-----A	1863-e	1913-----F	1963-----D		
	1764--b	1814-----F	1864---a	1914-----@	1964-----B		
	1765-----I	1815-----B	1865--b	1915-----B	1965--b		
	1766-----I	1816-----C	1866---a	1916-e	1966---a		
	1767-----E	1817----@	1867-----B	1917-d	1967-----A		
	1768---a	1818---a	1868-----C	1918f	1968-----A		
	1769h	1819-----A	1869-----E	1919---a	1969---a		
	1770g	1820-----C	1870-d	1920-----A	1970--b		
1721-----E	1771--b	1821-----B	1871-c	1921----@	1971-----@		
1722-----A	1772-----F	1822--b	1872---a	1922-----A	1972-----B		
1723g	1773k	1823-----A	1873-----A	1923-----@	1973-d		
1724----@	1774--c	1824----@	1874-----@	1924----@	1974-d		
1725j	1775-----A	1825-d	1875---a	1925--c	1975-----C		
1726-----C	1776-----E	1826---a	1876-----C	1926-----C	1976----@		
1727-----C	1777-e	1827-----C	1877-----C	1927-----A	1977--b		
1728-----G	1778-----A	1828-----E	1878-----A	1928----@	1978--b		
1729-----F	1779g	1829-----D	1879--b	1929----@	1979-----B		
1730t	1780-----E	1830-----B	1880-e	1930-----A	1980----@		
1731-----B	1781-----D	1831-d	1881-c	1931--b	1981---a		
1732-----D	1782-----B	1832h	1882-----@	1932---a	1982-----@		
1733-----B	1783-----C	1833g	1883---a	1933-----A	1983-----B		
1734-----C	1784-----G	1834--b	1884-----B	1934-----C	1984-----@		
1735-e	1785-----D	1835---a	1885-----F	1935-----@	1985---a		
1736-----E	1786-----@	1836-----@	1886-----C	1936-----D	1986-----B		
1737-d	1787-----B	1837-----D	1887---a	1937-----B	1987--b		
1738-----D	1788-----D	1838-----E	1888-----@	1938----@	1988----@		
1739-----E	1789p	1839-----A	1889-----B	1939-----@	1989-----D		
1740-----A	1790h	1840-c	1890----@	1940-----A	1990-c		
1741-c	1791--b	1841--b	1891-----@	1941-----A	1991--b		
1742r	1792-----F	1842-----@	1892-----E	1942---a	1992---a		
1743--b	1793----@	1843-----A	1893--c	1943-d	1993-----A		
1744-----F	1794-----C	1844-----B	1894-e	1944h	1994-----B		

1745-----C	1795j	1845-----D	1895f	1945-e	1995-----A
1746-----E	1796--b	1846-----D	1896-c	1946-----@	1996-----C
1747-----G	1797--b	1847--c	1897-----C	1947-----B	1997-----A
1748-----B	1798-----B	1848f	1898-----B	1948-----@	1998-----A
1749-----A	1799-----F	1849--b	1899-----B	1949f	1999-c

PART 5: CORRELATION OF SERIES BY SEGMENTS:

00:00 00 0000 Page 5

Correlations of 50-year dated segments, lagged 25 years

Flags: A = correlation under 0.3281 but highest as dated; B = correlation higher at other than dated position

Seq	Series	Time_span	1775	1800	1825	1850	1875	1900	1925	1950	1975
			1824	1849	1874	1899	1924	1949	1974	1999	2024
1	1001	1876 1979					.41	.43	.43	.50	
2	1002	1873 2006				.51	.52	.50	.36	.36	.45
3	1003	1841 2006			.69	.73	.46	.36	.30A	.36	.41
4	1004B	1915 1973						.64	.70		
5	1005	1910 2006						.44	.36	.38	.39
6	1006	1842 2006			.45	.54	.46	.46	.67	.55	.56
7	1007B	1836 1946			.43	.55	.45	.34			
8	1008	1878 2010					.22A	.36	.32A	.19B	.15B
9	1009	1825 1917			.32A	.38	.22B				
10	1009b	1921 2010						.35	.39	.42	.44
11	1012ex	1870 2006				.36	.46	.48	.55	.50	.49
12	1013	1866 2010				.22A	.23B	.24B	.38	.45	.52
13	1014	1892 2010					.23A	.27A	.52	.50	.52
14	1015B	1864 2010				.01B	.12B	.26B	.41	.36	.41
15	1016	1890 2010					.32A	.18B	.23A	.34B	.33A
16	1017	1861 2010				.46	.58	.42	.29A	.37	.44
17	1021B	1860 2006				.53	.62	.69	.56	.42	.40
18	1022	1934 2010							.31A	.15B	.16B
19	1023	1910 2006						.47	.45	.48	.48
20	1024	1869 2010				.49	.57	.63	.59	.46	.43
21	1025	1853 2006				.59	.41	.59	.70	.63	.59
22	1026	1869 2006				.43	.37	.23A	.53	.14B	.06B
23	1027	1852 2006				.71	.71	.54	.50	.30B	.32A
24	1028	1838 2006			.52	.56	.42	.24B	.42	.44	.39
25	1029	1848 2006			.62	.57	.51	.41	.47	.47	.47
26	1030cor	1850 2006				.45	.42	.63	.54	.52	.44
27	1031	1874 2006				.52	.51	.56	.56	.53	.51
28	1032	1922 2006						.38	.40	.40	.38
29	1033	1783 2006	.38	.26A	.60	.71	.58	.52	.51	.49	.47
30	1034	1925 2010							.39	.36	.36
31	1035a	1949 2009							.61	.60	.54
32	1035b	1911 1958						.55			
33	1036	1920 2010						.47	.47	.31A	.27A
34	1037A	1861 1941				.27A	.35	.20A			

35	1037B	1949	2010						.33	.24B	.29A
36	1038	1930	2010						.59	.44	.51
37	1039	1889	2009				.29A	.33	.05B	.08B	.14B
38	1040cor	1842	2009		.25B	.27B	.26A-	.04B	.15B	.33	.25B
39	1041	1951	2010							.27A	.35
40	1042	1953	2010							.32B	.56
41	1043	1905	2010					.35	.18B	.31B	.35B
42	1044	1947	2010						.30B	.39	.36
43	1045	1930	2010						.32A	.32A	.40
44	1046	1949	2010						.38	.40	.46
45	1047	1922	2010					.38	.38	.22B	.27B
46	1048b	1948	2006						.36	.42	.49
47	1050	1956	2010							.28A	.30A
48	1051	1939	2010						.13B	.17B	.21B
49	1052b	1895	2006				.24A	.29A	.36	.35B	.32A
50	1053	1919	2006					.39	.41	.52	.53
51	1055cen	1803	1870		.11B	.48					
52	1055per	1880	2006					.31B	.33	.26A	.11B .20A
53	1056	1811	2006		.55	.59	.43	.46	.35	.28A	.42 .39
54	1057	1850	2006				.47	.45	.32A	.32A	.27B .34B
55	1059	1817	1984		.30B	.19B	.18B	.45	.44	.44	.42
56	1061	1721	2006		.33B	.12B	.28B	.35	.45	.46	.51 .51 .42
57	T1_2010	1905	2006						.31A	.26A	.39 .35
Av segment correlation				0.36	0.27	0.45	0.45	0.41	0.40	0.41	0.38 0.38

PART 6: POTENTIAL PROBLEMS:

00:00 00 0000 Page 7

For each series with potential problems the following diagnostics may appear:

[A] Correlations with master dating series of flagged 50-year segments of series filtered with 32-year spline, at every point from ten years earlier (-10) to ten years later (+10) than dated

[B] Effect of those data values which most lower or raise correlation with master series
Symbol following year indicates value in series is greater (>) or lesser (<) than master series value

[C] Year-to-year changes very different from the mean change in other series

[D] Absent rings (zero values)

[E] Values which are statistical outliers from mean for the year

=====

1001 1876 to 1979 104 years Series 1

[B] Entire series, effect on correlation (0.468) is:
Lower 1876<-0.027 1965>-0.015 1881>-0.014 1951<-0.014 1879>-0.014 1977>-0.013 Higher 1918 0.026 1893 0.022

[D] 1 Absent rings: Year Master N series Absent
1918 -1.391 37 2

[E] Outliers 1 3.0 SD above or -4.5 SD below mean for year
1881 +3.1 SD

=====

1002 1873 to 2006 134 years Series 2

[B] Entire series, effect on correlation (0.471) is:
Lower 1875<-0.018 1945>-0.013 1965>-0.012 1928>-0.011 1960<-0.011 1901<-0.011 Higher 1944 0.032 1916 0.018

[D] 1 Absent rings: Year Master N series Absent
1918 -1.391 37 2

[E] Outliers 1 3.0 SD above or -4.5 SD below mean for year
1944 -4.5 SD

=====

1003 1841 to 2006 166 years Series 3

Segment	High	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4	+5	+6	+7	+8	+9	+10
1925 1974	0	-.03	-.05	.08	-.13	.02	-.03	.10	-.08	-.16	-.19	.30*	-.01	.01	-.27	.01	-.06	.20	-.02	-.03	.02	.13

```

[B] Entire series, effect on correlation ( 0.502) is:
  Lower 1901<-0.019 1964<-0.018 1914>-0.013 1945>-0.012 1999>-0.011 1915<-0.010 Higher 1870 0.045 1990 0.015
1925 to 1974 segment:
  Lower 1964<-0.051 1945>-0.038 1963<-0.027 1943>-0.027 1973>-0.026 1925>-0.016 Higher 1944 0.034 1934 0.033

[E] Outliers      2    3.0 SD above or -4.5 SD below mean for year
    1945 +3.0 SD;    1964 -4.7 SD
=====

1004B      1915 to 1973      59 years                                     Series    4

[B] Entire series, effect on correlation ( 0.665) is:
  Lower 1961>-0.037 1918>-0.027 1946<-0.022 1950<-0.021 1934<-0.019 1942>-0.008 Higher 1936 0.020 1944 0.017
=====

1005      1910 to 2006      97 years                                     Series    5

[B] Entire series, effect on correlation ( 0.418) is:
  Lower 1999>-0.023 1947<-0.017 1965>-0.016 1989<-0.015 1943>-0.013 1922<-0.010 Higher 1916 0.058 1990 0.023

[E] Outliers      1    3.0 SD above or -4.5 SD below mean for year
    1916 -5.2 SD
=====

1006      1842 to 2006      165 years                                     Series    6

[B] Entire series, effect on correlation ( 0.491) is:
  Lower 1928<-0.036 1986<-0.016 1914>-0.016 1999>-0.014 1917>-0.008 1869<-0.007 Higher 1990 0.022 1944 0.021

[C] Year-to-year changes diverging by over 4.0 std deviations:
    1928 1929    4.9 SD

[D]      1 Absent rings: Year  Master  N series Absent
                      1928   -0.062    43      1 >> WARNING: Ring is not usually narrow

[E] Outliers      1    3.0 SD above or -4.5 SD below mean for year
    1928 -7.5 SD
=====

1007B      1836 to 1946      111 years                                     Series    7

[B] Entire series, effect on correlation ( 0.439) is:
  Lower 1847>-0.031 1918>-0.018 1853<-0.012 1837<-0.012 1915<-0.010 1916>-0.010 Higher 1870 0.035 1893 0.034
=====

1008      1878 to 2010      133 years                                     Series    8

```



```

[A] Segment      High   -10   -9   -8   -7   -6   -5   -4   -3   -2   -1   0   +1   +2   +3   +4   +5   +6   +7   +8   +9   +10
-----
1878 1927        0    .09  .03 -.11 -.11 -.05 -.03 -.02 -.04 -.19 .02 .22* -.09 .19 .15 .11 -.10 -.20 .12 .00 -.09 .02
-----
1925 1974        0   -.30 -.11 -.11 -.27 -.09 .14 .04 .00 -.09 .19 .32* .04 -.14 .16 .22 .00 -.15 .25 .03 -.01 -.04
1950 1999        3   -.36 -.03 .18 -.28 -.17 .19 -.07 -.08 -.10 .23 .19| -.01 -.07 .26* -.02 -.07 -.21 .14 -.02 .03 -.03
1961 2010       -1   -.10 -.08 .14 -.24 -.10 .12 -.09 -.09 -.05 .16* .15|  -   -   -   -   -   -   -   -   -   -
-----

[B] Entire series, effect on correlation ( 0.211) is:
    Lower 1891<-0.054 1899<-0.025 1979<-0.024 2008>-0.016 1959>-0.014 1960<-0.011 Higher 1880 0.020 1944 0.016
1878 to 1927 segment:
    Lower 1891<-0.155 1899<-0.062 1895>-0.024 1925>-0.011 1901>-0.010 1907>-0.009 Higher 1880 0.044 1897 0.034
1925 to 1974 segment:
    Lower 1959>-0.047 1960<-0.039 1971<-0.037 1947<-0.025 1940<-0.020 1934<-0.015 Higher 1944 0.043 1926 0.039
1950 to 1999 segment:
    Lower 1979<-0.067 1959>-0.039 1960<-0.031 1971<-0.025 1998<-0.020 1980>-0.015 Higher 1999 0.037 1970 0.035
1961 to 2010 segment:
    Lower 1979<-0.066 2008>-0.043 1971<-0.025 2009<-0.022 1998<-0.020 1980>-0.013 Higher 1999 0.035 2004 0.033

[C] Year-to-year changes diverging by over 4.0 std deviations:
    1890 1891 -4.6 SD

[D] 1 Absent rings: Year Master N series Absent
    1914 0.043 37 1 >> WARNING: Ring is not usually narrow

[E] Outliers 2 3.0 SD above or -4.5 SD below mean for year
    1891 -8.3 SD; 2008 +3.3 SD
=====

```

Αντίστοιχα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα και για τα υπόλοιπα δείγματα.

PART 7: DESCRIPTIVE STATISTICS:

00:00 00 0000 Page 8

Seq	Series	Interval	No. Years	No. Segmt	No. Flags	Corr with Master	//----- Mean msmt	Max msmt	Std dev	Auto corr	Mean sens	//---- Max value	Std dev	Auto corr	AR ()
1	1001	1876 1979	104	4	0	0.468	1.32	5.02	1.046	0.783	0.308	2.85	0.466	0.004	2
2	1002	1873 2006	134	6	0	0.471	1.10	3.94	0.780	0.687	0.366	2.74	0.515	-0.015	1
3	1003	1841 2006	166	7	1	0.502	1.75	4.98	1.035	0.800	0.284	2.81	0.429	0.064	1
4	1004B	1915 1973	59	2	0	0.665	1.88	3.65	0.751	0.547	0.292	2.70	0.453	0.004	1
5	1005	1910 2006	97	4	0	0.418	1.09	2.57	0.489	0.624	0.316	2.51	0.433	-0.042	2
6	1006	1842 2006	165	7	0	0.491	1.42	6.34	1.331	0.717	0.365	2.64	0.355	-0.017	2
7	1007B	1836 1946	111	4	0	0.439	3.10	10.92	1.936	0.811	0.253	2.61	0.472	-0.062	1
8	1008	1878 2010	133	5	4	0.211	0.70	2.56	0.552	0.877	0.253	2.62	0.369	0.015	1
9	1009	1825 1917	93	3	2	0.203	1.54	6.81	1.072	0.865	0.232	2.50	0.392	-0.001	1
10	1009b	1921 2010	90	4	0	0.360	1.12	2.76	0.474	0.566	0.310	2.54	0.460	0.058	1
11	1012ex	1870 2006	137	6	0	0.456	0.91	2.19	0.411	0.796	0.252	2.78	0.345	0.053	2
12	1013	1866 2010	145	6	3	0.309	0.98	5.07	0.839	0.913	0.289	2.42	0.258	-0.057	1
13	1014	1892 2010	119	5	2	0.423	1.35	2.80	0.458	0.637	0.201	2.40	0.396	0.006	2
14	1015B	1864 2010	147	6	3	0.225	1.01	2.68	0.547	0.871	0.210	2.48	0.269	-0.022	2
15	1016	1890 2010	121	5	5	0.283	0.99	3.57	0.693	0.954	0.155	2.61	0.353	0.019	1
16	1017	1861 2010	150	6	1	0.405	1.10	3.38	0.590	0.737	0.285	2.71	0.362	-0.024	1
17	1021B	1860 2006	147	6	0	0.528	1.04	3.38	0.566	0.714	0.296	2.66	0.394	0.031	2
18	1022	1934 2010	77	3	3	0.272	2.99	7.87	1.360	0.776	0.244	2.90	0.647	0.015	2
19	1023	1910 2006	97	4	0	0.485	2.02	4.72	0.811	0.687	0.249	2.62	0.429	-0.069	1
20	1024	1869 2010	142	6	0	0.483	2.21	10.41	2.080	0.854	0.321	2.74	0.415	0.112	1
21	1025	1853 2006	154	6	0	0.577	0.95	7.54	1.014	0.837	0.366	2.89	0.355	-0.023	1
22	1026	1869 2006	138	6	3	0.289	2.37	6.43	1.072	0.643	0.268	2.77	0.402	-0.054	1
23	1027	1852 2006	155	6	2	0.542	1.12	6.59	1.000	0.855	0.292	2.71	0.393	0.026	1
24	1028	1838 2006	169	7	1	0.403	1.20	7.39	1.224	0.879	0.268	2.57	0.329	0.001	3
25	1029	1848 2006	159	7	0	0.499	1.21	5.42	1.018	0.891	0.226	2.57	0.445	-0.023	2
26	1030cor	1850 2006	157	6	0	0.474	1.19	4.15	0.815	0.899	0.246	2.72	0.406	0.048	2
27	1031	1874 2006	133	6	0	0.531	1.63	9.61	1.068	0.647	0.279	2.70	0.368	0.038	1
28	1032	1922 2006	85	4	0	0.379	2.19	4.68	0.887	0.395	0.425	2.60	0.454	0.073	1
29	1033	1783 2006	224	9	1	0.452	1.36	5.02	0.837	0.603	0.438	2.78	0.406	-0.012	2
30	1034	1925 2010	86	3	0	0.338	2.65	5.87	1.105	0.655	0.300	2.74	0.471	0.064	2
31	1035a	1949 2009	61	3	0	0.574	2.67	8.06	1.633	0.769	0.261	2.78	0.428	-0.017	1
32	1035b	1911 1958	48	1	0	0.553	2.59	6.33	1.448	0.620	0.381	2.49	0.459	-0.108	2
33	1036	1920 2010	91	4	2	0.428	0.77	1.54	0.222	0.539	0.225	2.47	0.414	-0.032	1
34	1037A	1861 1941	81	3	2	0.217	0.76	3.26	0.731	0.836	0.269	2.89	0.627	0.114	4
35	1037B	1949 2010	62	3	2	0.372	0.40	0.89	0.200	0.772	0.263	2.56	0.505	-0.008	1
36	1038	1930 2010	81	3	0	0.508	1.49	2.88	0.610	0.548	0.313	2.75	0.562	0.058	1
37	1039	1889 2009	121	5	4	0.239	0.78	2.23	0.330	0.558	0.234	2.60	0.402	0.018	1
38	1040cor	1842 2009	168	7	6	0.170	0.77	1.78	0.328	0.787	0.211	2.65	0.432	0.054	1
39	1041	1951 2010	60	2	1	0.285	2.03	4.37	0.973	0.721	0.283	2.85	0.591	0.027	1
40	1042	1953 2010	58	2	1	0.359	1.49	3.44	0.605	0.666	0.247	2.97	0.524	-0.014	1
41	1043	1905 2010	106	4	3	0.316	1.23	2.59	0.443	0.593	0.248	2.71	0.497	0.025	1

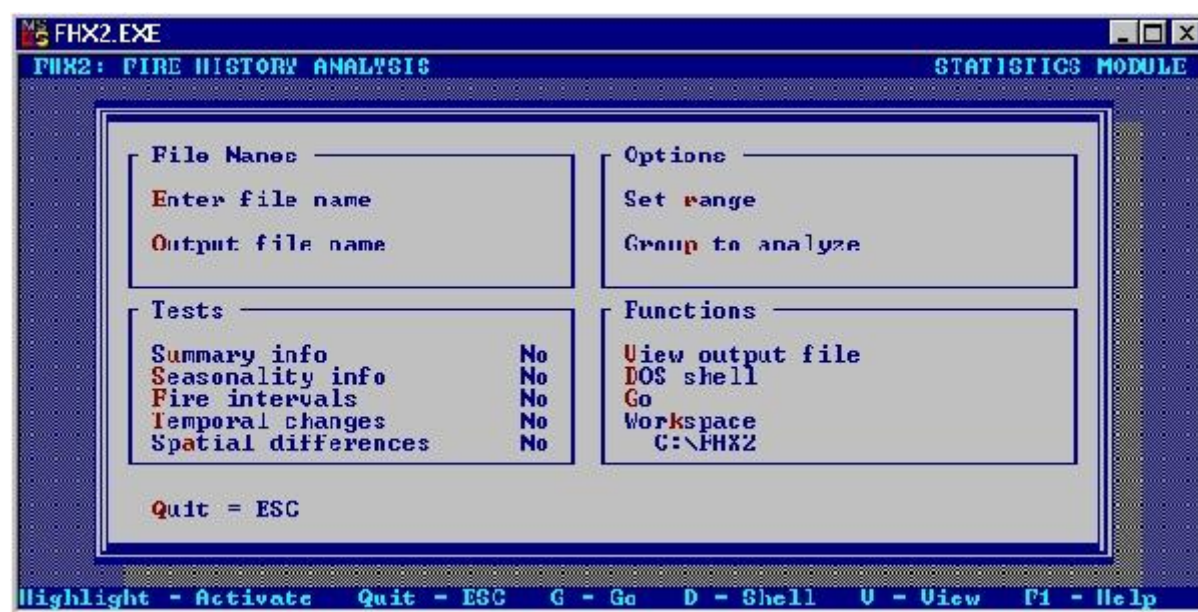
7. Παραρτήματα

42	1044	1947	2010	64	3	1	0.339	1.46	2.56	0.525	0.701	0.252	2.71	0.452	0.011	2
43	1045	1930	2010	81	3	2	0.405	1.77	4.94	1.168	0.772	0.304	2.55	0.371	0.035	1
44	1046	1949	2010	62	3	0	0.418	1.37	2.67	0.538	0.834	0.154	2.55	0.436	0.101	1
45	1047	1922	2010	89	4	2	0.300	1.73	3.06	0.598	0.607	0.248	2.47	0.289	-0.026	2
46	1048b	1948	2006	59	3	0	0.435	2.52	8.28	1.414	0.753	0.265	3.01	0.589	0.009	1
47	1050	1956	2010	55	2	2	0.283	1.54	3.06	0.515	0.542	0.234	2.76	0.543	-0.015	1
48	1051	1939	2010	72	3	3	0.252	2.73	6.62	1.251	0.760	0.230	2.69	0.421	0.107	1
49	1052b	1895	2006	112	5	4	0.231	2.19	7.11	1.530	0.850	0.235	2.55	0.408	-0.002	1
50	1053	1919	2006	88	4	0	0.429	2.19	3.69	0.635	0.512	0.255	2.47	0.417	0.048	1
51	1055cen	1803	1870	68	2	1	0.257	1.63	5.45	1.494	0.859	0.365	2.52	0.447	-0.014	3
52	1055per	1880	2006	127	5	4	0.269	0.64	3.32	0.478	0.591	0.381	2.83	0.495	-0.085	2
53	1056	1811	2006	196	8	1	0.428	1.21	4.41	0.912	0.824	0.331	2.61	0.357	-0.046	3
54	1057	1850	2006	157	6	4	0.372	0.89	2.61	0.469	0.822	0.267	2.81	0.508	0.072	1
55	1059	1817	1984	168	7	3	0.325	1.95	6.72	1.187	0.742	0.283	2.71	0.418	-0.013	1
56	1061	1721	2006	286	9	3	0.363	1.56	5.41	1.088	0.823	0.230	2.72	0.389	-0.018	2
57	T1_2010	1905	2006	102	4	2	0.332	1.54	5.23	1.213	0.857	0.237	2.67	0.419	0.104	1
-----				-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	---
Total or mean:				6617	267	84	0.390	1.45	10.92	0.887	0.749	0.280	3.01	0.417	0.008	

- = [COFECHA MTFINCOF] = -

Παράρτημα V- Το πρόγραμμα FHX2

Το πρόγραμμα FHX2 αναπτύχθηκε από τον Grissino-Mayer το 1995. Λειτουργεί σε περιβάλλον DOS και διευκολύνει την ανάλυση της ιστορίας της φωτιάς, με βάση τα σημάδια της φωτιάς και άλλες σχετικές πληγές που εντοπίζονται στους ετήσιους δακτυλίους αύξησης των δένδρων (Grissino-Mayer 2001b). Χρησιμοποιείται ευρέως για την ανάλυση του καθεστώτος της φωτιάς σε δάση με *Pinus ponderosa* στη Βόρεια Αμερική, αλλά και για άλλα είδη, μεταξύ των οποίων και η *Pinus nigra* (Fulé et al. 2008).



Εικόνα 7.1 Κεντρικό Μενού (Main Menu) του προγράμματος FHX2- Στατιστική ενότητα (<http://www.ltrr.arizona.edu/archive/fhx2/FHX2.html>)

Η χρήση του προγράμματος, για τη στατιστική ανάλυση και επεξεργασία των δεδομένων και τη δημιουργία του **Διαγράμματος 3.1**, έγινε στις εγκαταστάσεις του School of Forestry and Ecological Restoration Institute, Northern Arizona University (NAU), σε συνεργασία με τον καθηγητή Peter Z. Fulé. Τα δεδομένα για κάθε σφήνα συμπληρώνονταν σε φύλλα δεδομένων (data sheets) (βλ. Παράρτημα Ι). Η εισαγωγή των δεδομένων έγινε με μικρές τροποποιήσεις του εργαστηριακού οδηγού του Verkamp (2001).

Στο πάνω αριστερά τμήμα του κάθε φύλλου δεδομένων σημειώνεται η ημερομηνία και τα ονόματα των ερευνητών. Στο πάνω δεξιά τμήμα, στην πρώτη σειρά, σημειώνεται ο κωδικός του δείγματος. Στην επόμενη σειρά σημειώνεται η ημερομηνία του πρώτου εσωτερικού δακτυλίου (Inner date) και επιλέγεται αν πρόκειται για το κέντρο (pith) ή απλά έναν εσωτερικό δακτύλιο (ring). Στη συνέχεια, σημειώνεται η ημερομηνία του τελευταίου δακτυλίου (Outer date) και επιλέγεται αν πρόκειται για απλά έναν δακτύλιο (ring) ή αν το δείγμα φτάνει στο φλοιό (bark). Στην τελευταία γραμμή

σημειώνεται η περίοδος κατά την οποία το δένδρο είναι καταγραφέας (Recorder dates). Στις επόμενες στήλες εισάγονται τα δεδομένα των μετρήσεων. Κάθε σειρά αντιστοιχεί σε ένα σημάδι. Στην πρώτη στήλη (Year) σημειώνεται το έτος του σημαδιού. Στη δεύτερη στήλη (Scar Pos' n) σημειώνεται η σχετική θέση του σημαδιού εντός των ετήσιων δακτυλίων (Baisan and Swetnam 1990). Στην τρίτη στήλη (? +/-) σημειώνονται με ? τα σημάδια που δεν είναι σίγουρο ότι αντιστοιχούν σε σημάδια φωτιάς και με +/- τα σημάδια για τα οποία υπάρχει αβεβαιότητα ως προς το έτος στο οποίο δημιουργήθηκαν. Στην τέταρτη στήλη (Side A/B) σημειώνεται, σε περίπτωση που έχουμε και τις δύο πλευρές ενός δείγματος, σε ποια πλευρά, εντοπίζεται το σημάδι. Στην πέμπτη στήλη (Clarity) σημειώνεται με G/F/P πόσο καλά διακρίνεται το σημάδι, ενώ στην τελευταία στήλη (Comments) η επιπλέον πληροφορία, για παράδειγμα αν υπάρχει σπάσιμο στο σημείο του σημαδιού κ.ά.

Στη συνέχεια, τα φύλλα δεδομένων περάστηκαν σε ηλεκτρονική βάση, συνδεδεμένη με το πρόγραμμα FHX2 και ακολούθησε η στατιστική ανάλυση και επεξεργασία. Το πρόγραμμα FHX2 για τον προσδιορισμό της εποχικότητας των σημαδιών χρησιμοποιεί παρόμοιους συμβολισμούς με αυτούς των Baisan and Swetnam (1990), με μικρές διαφοροποιήσεις:

- E = early earlywood
- M = middle earlywood
- L = late earlywood
- A = latewood
- D = dormant
- U = undetermined

Τα σημάδια που αντιστοιχούν σε σημάδια φωτιάς συμβολίζονται με κεφαλαία γράμματα, ενώ τα σημάδια για τα οποία δεν είναι βέβαιο ότι αντιστοιχούν σε σημάδια φωτιάς (άλλοι τραυματισμοί) και τα οποία έχουν σημειωθεί με ? στα φύλλα δεδομένων συμβολίζονται με μικρά γράμματα. Για παράδειγμα, με A συμβολίζεται ένα σημάδι φωτιάς που εντοπίζεται στο όψιμο ξύλο, ενώ με a συμβολίζεται μία οποιαδήποτε άλλη πληγή που επίσης εντοπίζεται στο όψιμο ξύλο. Για την περαιτέρω ανάλυση των αποτελεσμάτων και τη δημιουργία του τελικού διαγράμματος (βλ. **Διάγραμμα 3.1**) χρησιμοποιήθηκαν μόνο τα σημάδια της φωτιάς.

Στην επόμενη ενότητα παρουσιάζονται συνοπτικά τα αποτελέσματα που παρήχθησαν στο πρόγραμμα FHX2.

1. Τελικό αρχείο - αποτελέσματα του προγράμματος FHX2

Συνοπτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων

Στο πρώτο μέρος (**Part 1: Summary Information for Individual Samples**) παρουσιάζεται, συνοπτικά, η πληροφορία για κάθε δείγμα. Ακολουθεί το παράδειγμα του δείγματος TN111009.

```
Series 3 : TN111009
Inner Ring : 1823
Bark Date : 2010
Length of sample : 188
Number in final analysis : 163
Information on fire history :
    1848 A fire scar
    1868 L fire scar FI = 20
    1875 U injury
    1910 D fire scar FI = 42
    1918 U injury
    1998 A fire scar FI = 88
Total number of fire scars : 4
Total number all indicators : 6
Average number years per fire : 40.7
Sample mean fire interval : 50.0
```

Ο πρώτος δακτύλιος του δείγματος TN111009 είναι το έτος 1823, ο οποίος όμως δεν αντιστοιχεί στο κέντρο (εντεριώνη), ενώ ο τελευταίος δακτύλιος αντιστοιχεί στο φλοιό (2010). Συνολικά, μετρήθηκαν 188 ετήσιοι δακτύλιοι αύξησης. Καταγράφηκαν 6 σημάδια, εκ των οποίων 4 αφορούσαν σε σημάδια φωτιάς. Οι πυρκαγιές του 1848 και του 1998 εντοπίστηκαν στο όψιμο ξύλο, η πυρκαγιά του 1868 στο τέλος του πρώιμου ξύλου, ενώ η πυρκαγιά του 1910 στο αδρανές ξύλο ή στα όρια των δακτυλίων. Ο μέσος αριθμός ετών ανά πυρκαγιά είναι 40.7, ενώ το μεσοδιάστημα μεταξύ των πυρκαγιών (MFI), σε επίπεδο ατόμου είναι 50 έτη.

Στο δεύτερο μέρος (**Summary Information, Part 2**) παρουσιάζεται η πληροφορία για το σύνολο της περιοχής μελέτης και τη συνολική περίοδο που αναλύθηκε.

```
Final Summary Information for Entire Site
Beginning year : 1721
Last year : 2010
Length of fire chronology : 290
Total number of samples : 54
Total number of recorder years : 4692
Total number of fire scars : 173
Total number of all indicators : 185
```

Avg number of years per fire	: 27.1
Avg number of years per all injuries	: 25.4
Avg all sample mean fire intervals	: 27.1
Total number of years with fire	: 38
Percentage of years with fire	: 13.1
Percentage of years without fire	: 86.9
Percentage of years MFI	: 7.6

Ανάλυση της εποχικότητας εκδήλωσης των πυρκαγιών

Στο πρώτο μέρος παρουσιάζεται η κατανομή και το χρονικό πρότυπο των σημαδιών φωτιάς εντός των ετήσιων δακτυλίων αύξησης για την περίοδο 1721-2010. Στο δεύτερο μέρος παρουσιάζεται η κύρια εποχή εκδήλωσης του κάθε περιστατικού πυρκαγιάς και στο τρίτο μέρος παρουσιάζονται, συνοπτικά, τα αποτελέσματα όσον αφορά στην εποχή εκδήλωσης των πυρκαγιών.

Seasonal Analysis, Part 1:

Intra-Annual Distribution and Temporal Pattern, 1721 - 2010

Note: D = dormant, E = early earlywood, M = middle earlywood
 L = late earlywood, A = latewood, U = undetermined
] = total samples in year, - = total samples in matrix

Year	Seasons
1801	A-----
1818	U]-----
1823	AU]]-----
1830	AU]]-----
1845	AUU]]]-----
1848	A]]]]]-----
1860	AAAU]]]]]-----
1861	LAA]]]]]]]-----
1868	L]]]]]]]]]-----
1877	LLU]]]]]]]]]-----
1879	AAAUU]]]]]]]]]-----
1880	D]]]]]]]]]]]-----
1889	LLAAAA]]]]]]]]]-----
1890	AA]]]]]]]]]]]-----
1899	L]]]]]]]]]]]]]-----
1910	D]]]]]]]]]]]]]-----
1913	DLAUAU]]]]]]]]]]]-----
1917	AUUUUU]]]]]]]]]]]]]-----
1924	DAAU]]]]]]]]]]]]]-----
1930	A]]]]]]]]]]]]]]]-----
1942	DAU]]]]]]]]]]]]]]]-----
1944	AUUUUUUUUUU]]]]]]]]]]]]]-----
1945	DMMLLUUUUUUUUU]]]]]]]]]]]]]-----
1952	L]]]]]]]]]]]]]]]]]-----
1958	AA]]]]]]]]]]]]]]]]]-----
1962	A]]]]]]]]]]]]]]]]]]]-----
1966	U]]]]]]]]]]]]]]]]]]]]]-----
1973	DAAAAAAAUUU]]]]]]]]]]]]]]]-----
1977	DDDDAAAAU]]]]]]]]]]]]]]]]]]]-----
1978	DD]]]]]]]]]]]]]]]]]]]]]]]-----
1980	A]]]]]]]]]]]]]]]]]]]]]]]]]-----
1981	UU]]]]]]]]]]]]]]]]]]]]]]]]]-----
1982	A]]]]]]]]]]]]]]]]]]]]]]]]]]]-----
1983	MAU]]]]]]]]]]]]]]]]]]]]]]]-----
1984	U]]]]]]]]]]]]]]]]]]]]]]]]]]]-----
1988	DDDDDAU]]]]]]]]]]]]]]]]]]]]]]]-----
1998	DDAAAAAAAAAAAAUUUUUU]]]]]]]]]]]]]]]-----
2007	AAAAAAAAAAAAAU]]]]]]]]]-----

[illegible]

Seasonal Analysis, Part 2:

Dominant Mode of Seasonal Occurrence, 1721 - 2010

Year	Percent					Dominant Mode
	D	E	M	L	A	
1801	.	.	.	.	100	]]]]]]]]]]
1818	.	.	.	.	.	
1823	.	.	.	.	100	]]]]]]]]]]
1830	.	.	.	.	100	]]]]]]]]]]
1845	.	.	.	.	100	]]]]]]]]]]
1848	.	.	.	.	100	]]]]]]]]]]
1860	.	.	.	.	100	]]]]]]]]]]
1861	.	.	.	33	67	]]]]]]]]]]
1868	.	.	.	100	.	]]]]]]]]]]
1877	.	.	.	100	.	]]]]]]]]]]
1879	.	.	.	.	100	]]]]]]]]]]
1880	100	.	.	.	.	]]]]]]]]]]
1889	.	.	.	33	67	]]]]]]]]]]
1890	.	.	.	.	100	]]]]]]]]]]
1899	.	.	.	100	.	]]]]]]]]]]
1910	100	.	.	.	.	]]]]]]]]]]
1913	20	.	.	20	60	]]]]]]]]]]
1917	.	.	.	.	100	]]]]]]]]]]
1924	33	.	.	.	67	]]]]]]]]]]
1930	.	.	.	.	100	]]]]]]]]]]
1942	50	.	.	.	50	]]]]]]]]]]
1944	.	.	.	.	100	]]]]]]]]]]
1945	20	.	40	40	.	]]]]]]]]]]
1952	.	.	.	100	.	]]]]]]]]]]
1958	.	.	.	.	100	]]]]]]]]]]
1962	.	.	.	.	100	]]]]]]]]]]
1966	.	.	.	.	.	
1973	13	.	.	.	88	]]]]]]]]]]
1977	50	.	.	.	50	]]]]]]]]]]
1978	100	.	.	.	.	]]]]]]]]]]
1980	.	.	.	.	100	]]]]]]]]]]
1981	.	.	.	.	.	
1982	.	.	.	.	100	]]]]]]]]]]
1983	.	.	50	.	50	]]]]]]]]]]]
1984	.	.	.	.	.	
1988	83	.	.	.	17	]]]]]]]]]]
1998	11	.	.	.	89	]]]]]]]]]]
2007	.	.	.	.	100	]]]]]]]]]]

[illegible]

Seasonal Analysis, Part 3:

Summary Information on Seasonality of Fires, 1721 - 2010

Total number of fires for site	:	173	
Number and percentage with season	:	111	64.2%
Number and percentage undetermined	:	62	35.8%
Number and percentage of D fires	:	20	18.0%
Number and percentage of E fires	:	0	0.0%
Number and percentage of M fires	:	3	2.7%
Number and percentage of L fires	:	11	9.9%
Number and percentage of A fires	:	77	69.4%
Number and percentage LAD fires	:	108	97.3%
Number and percentage EM fires	:	3	2.7%

[illegible]

Στο πρώτο μέρος, παρουσιάζεται, ανά έτος πυρκαγιάς, ο αριθμός των σημαδιών φωτιάς, ο αριθμός των δένδρων καταγραφέντων, το ποσοστό των καταγραφέντων με σημάδι φωτιάς και το διάστημα από την προηγούμενη πυρκαγιά. Στο δεύτερο μέρος παρουσιάζεται η κατανομή των συχνοτήτων, ενώ στα μέρη 3 έως και 7 γίνονται διάφοροι στατιστικοί έλεγχοι και υπολογίζεται το μέσο πιθανό διάστημα του Weibull. Τέλος, στο μέρος 8, παρουσιάζονται συνοπτικά τα στατιστικά αποτελέσματα της ανάλυσης.

[illegible]

Part 1: Summary Information

Year	Total Scars	Recorder Trees	Percent Scarred	Fire Interval
1845	3	6	50	.
1848	1	7	14	3
1860	4	9	44	12
1861	3	12	25	1
1868	1	12	8	7
1877	3	13	23	9
1879	5	16	31	2
1880	1	16	6	1
1889	6	19	32	9
1890	2	19	11	1
1899	1	20	5	9
1910	1	20	5	11
1913	7	24	29	3
1917	6	28	21	4
1924	4	28	14	7
1930	1	29	3	6
1942	3	32	9	12
1944	12	32	38	2
1945	17	35	49	1
1952	1	35	3	7
1958	2	36	6	6
1962	1	36	3	4
1966	1	37	3	4
1973	12	38	32	7
1977	9	43	21	4
1978	2	44	5	1
1980	1	45	2	2
1981	2	46	4	1
1982	1	47	2	1
1983	3	47	6	1
1984	1	46	2	1
1988	8	50	16	4

<< = significantly short interval, >> = significantly long interval

Exceedance Probability	Associated Fire Interval
0.999	0.03 <<
0.990	0.17 <<
0.975	0.35 <<
0.950	0.59 <<
0.900	1.00 <<
0.875	1.20 <<
0.800	1.75
0.750	2.12
0.700	2.49
0.667	2.74
0.500	4.08 <- Weibull Median Interval
0.333	5.74
0.300	6.15
0.250	6.83
0.200	7.63
0.125	9.23 >>
0.100	9.96 >>
0.050	12.11 >>
0.025	14.14 >>
0.010	16.68 >>
0.001	22.56 >>

=====
 [*]
 =====

Part 7: Two-Parameter Weibull Distribution Probabilities

p > fi : 1 - c.d.f. = 1 - F(fi) = $\exp(-(fi/b)^c)$
 h(t) : hazard function = $c * (fi^{c-1})/b^c$
 p.d.f. : prob. dist. func. = $h(t) * (1 - F(fi))$
 > : significantly long interval
 < : significantly short interval

Year	fi	p > fi	h(t)	p.d.f.
1845	.	.	.	.
1848	3	0.632	0.206	0.130
1860	12 >	0.052	0.331	0.017
1861	1 <	0.900	0.141	0.127
1868	7	0.239	0.275	0.066
1877	9	0.134	0.300	0.040
1879	2	0.766	0.179	0.137
1880	1 <	0.900	0.141	0.127
1889	9	0.134	0.300	0.040
1890	1 <	0.900	0.141	0.127
1899	9	0.134	0.300	0.040
1910	11 >	0.072	0.322	0.023
1913	3	0.632	0.206	0.130
1917	4	0.509	0.227	0.116
1924	7	0.239	0.275	0.066
1930	6	0.312	0.261	0.081
1942	12 >	0.052	0.331	0.017
1944	2	0.766	0.179	0.137
1945	1 <	0.900	0.141	0.127
1952	7	0.239	0.275	0.066
1958	6	0.312	0.261	0.081
1962	4	0.509	0.227	0.116
1966	4	0.509	0.227	0.116
1973	7	0.239	0.275	0.066
1977	4	0.509	0.227	0.116
1978	1 <	0.900	0.141	0.127
1980	2	0.766	0.179	0.137

1981	1 <	0.900	0.141	0.127
1982	1 <	0.900	0.141	0.127
1983	1 <	0.900	0.141	0.127
1984	1 <	0.900	0.141	0.127
1988	4	0.509	0.227	0.116
1998	10 >	0.099	0.311	0.031
2007	9	0.134	0.300	0.040

=====
 [*]
 =====

Part 8: Summary Statistics

Total Intervals	:	33
Mean Fire Interval	:	4.91
Median Fire Interval	:	4.00
Fire Frequency	:	0.20
Weibull Modal Interval	:	1.94
Weibull Median Interval	:	4.08
Weibull Fire Frequency	:	0.25
Standard Deviation	:	3.64
Coefficient of Variation	:	0.74
Skewness	:	0.49
Kurtosis	:	-1.11
Scale parameter	:	5.36
Shape parameter	:	1.34
Minimum Fire Interval	:	1.00
Maximum Fire Interval	:	12.00
Lower Exceedance Interval	:	1.20
Upper Exceedance Interval	:	9.23
Maximum Hazard Interval	:	39.71

Note: the MHI is now calculated using the 0.50 cutoff rather than using the value set in "Threshold Level." This is a much more ecologically reasonable value.

=====
 [*]
 =====

Χωρική ανάλυση των αποτελεσμάτων

Τα δύο τμήματα της περιοχής μελέτης (Βόρειο και Νότιο) ελέγχθηκαν ως προς το αν παρουσιάζουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ τους όσον αφορά 1) στο μεσοδιάστημα μεταξύ διαδοχικών πυρκαγιών και 2) στο ποσοστό των δένδρων καταγραφών με σημάδια φωτιάς. Η ανάλυση αυτή έγινε, τόσο για το σύνολο των πυρκαγιών, όσο και για τις μεγαλύτερες πυρκαγιές (φίλτρο του 25%). Ακολούθως, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για το σύνολο των πυρκαγιών.

Spatial Differences Analysis Summary for Fire Intervals, ò 0% Scarred

	Range	Num Obs	Mean	Std Err	Variance	Std Dev	CV
Group 1	1845-2010	19	8.37	1.88	67.47	8.21	0.98
Group 2	1845-2010	16	10.13	2.24	80.12	8.95	0.88

=====
 [*]
 =====

Spatial Differences Analysis, Transformation of Fire Intervals:

	Mean	Std Err	Variance	Std Dev	Skewness	Kurtosis
Before:	9.17	1.43	71.85	8.48	1.14	1.00

```
After :      0.00      0.17      1.00      1.00     -0.24     -1.45
=====
[*][*][*][*][*][*][*][*][*][*][*][*][*][*][*][*][*][*][*][*][*][*]
=====

Spatial Differences Analysis, Summary for Transformed Fire Intervals:

           Range   Num Obs    Mean   Std Err  Variance   Std Dev       CV
Group 1  1845-2010    19   -0.07    0.22     0.95     0.97   -14.33
Group 2  1845-2010    16    0.08    0.26     1.11     1.06   13.07
=====
[*][*][*][*][*][*][*][*][*][*][*][*][*][*][*][*][*][*][*][*][*][*]
=====

Spatial Differences Analysis, Fire Intervals, Part 1:
t-test for Significantly Different Means, 1845 - 2010
-----
Ho: Group 1 Mean = Group 2 Mean, Assuming Equal Variances
Ha: Group 1 Mean <> Group 2 Mean, Two-Tailed Test
Reject Ho if t-statistic is significant.

t-statistic          degrees of freedom        prob > |t|
   -0.4332              33                   0.6677

Ho: Group 1 Mean = Group 2 Mean, Assuming Unequal Variances
Ha: Group 1 Mean <> Group 2 Mean, Two-Tailed Test
Reject Ho if t-statistic is significant

t-statistic          degrees of freedom        prob > |t|
   -0.4302             31.0                  0.6700
=====
[*][*][*][*][*][*][*][*][*][*][*][*][*][*][*][*][*][*][*][*][*][*]
=====

Spatial Differences Analysis, Fire Intervals, Part 2:
F-test for Significantly Different Variances, 1845 - 2010
-----
Ho: Group 1 Variance = Group 2 Variance
Ha: Group 1 Variance <> Group 2 Variance, Two-Tailed Test
Reject Ho if F-value is significant.

folded F-value      degrees of freedom         prob > F
    1.1719            (15,18)                0.819

=====
[*][*][*][*][*][*][*][*][*][*][*][*][*][*][*][*][*][*][*][*][*][*]
=====

Spatial Differences Analysis, Fire Intervals, Part 3:
Kolmogorov-Smirnov Test for Significantly
Different Distributions, 1845 - 2010
-----
Ho: Group 1 Distribution = Group 2 Distribution
Ha: Group 1 Distribution <> Group 2 Distribution
Reject Ho if d-statistic is significant.

K-S d-statistic      total number observations      prob > d
-----
    0.342                 35                    0.2613
Minimum Samples Scarred: 1
Include Other Injuries : No
Group 1: Series 1 to 27
Group 2: Series 28 to 54
=====
[*][*][*][*][*][*][*][*][*][*][*][*][*][*][*][*][*][*][*][*][*][*]
```

Spatial Differences Analysis Summary for Percent Scarred, 0% Scarred

	Range	Num Obs	Mean	Std Err	Variance	Std Dev	CV
Group 1	1845-2010	20	40.29	7.91	1251.83	35.38	0.88
Group 2	1845-2010	17	31.50	5.93	598.25	24.46	0.78

[illegible]

Spatial Differences Analysis, Transformation of Percentage Scarred:

	Mean	Std Err	Variance	Std Dev	Skewness	Kurtosis
Before:	36.25	5.06	946.31	30.76	0.80	-0.57
After :	0.00	0.16	1.00	1.00	-0.11	-1.36

[illegible]

Spatial Differences Analysis, Summary for Transformed Percent Scarred:

	Range	Num Obs	Mean	Std Err	Variance	Std Dev	CV
Group 1	1845-2010	20	0.03	0.25	1.26	1.12	38.42
Group 2	1845-2010	17	-0.03	0.21	0.75	0.87	-25.28

[illegible]

Spatial Differences Analysis, Percentage Scarred, Part 4:
t-test for Significantly Different Means, 1845 - 2010

Ho: Group 1 Mean = Group 2 Mean, Assuming Equal Variances
Ha: Group 1 Mean $\neq$ Group 2 Mean, Two-Tailed Test
Reject Ho if t-statistic is significant.

t-statistic	degrees of freedom	prob > t
0.1900	35	0.8504

Ho: Group 1 Mean = Group 2 Mean, Assuming Unequal Variances
Ha: Group 1 Mean $\neq$ Group 2 Mean, Two-Tailed Test
Reject Ho if t-statistic is significant

t-statistic	degrees of freedom	prob > t
0.1940	34.7	0.8473

[illegible]

Spatial Differences Analysis, Percentage Scarred, Part 5:
F-test for Significantly Different Variances, 1845 - 2010

Ho: Group 1 Variance = Group 2 Variance
Ha: Group 1 Variance $\neq$ Group 2 Variance, Two-Tailed Test
Reject Ho if F-value is significant.

folded F-value	degrees of freedom	prob > F
1.6687	(19,16)	0.314

[illegible]

Spatial Differences Analysis, Percentage Scarred, Part 6:
Kolmogorov-Smirnov Test for Significantly
Different Distributions, 1845 - 2010

Ho: Group 1 Distribution = Group 2 Distribution
Ha: Group 1 Distribution <> Group 2 Distribution
Reject Ho if d-statistic is significant.

K-S d-statistic	total number observations	prob > d
0.341	37	0.2351

=====
[*]
=====

Συγχρονισμός των δύο τμημάτων της περιοχής μελέτης

Στη συνέχεια, ελέγχθηκε ο συγχρονισμός μεταξύ των δύο τμημάτων της περιοχής μελέτης, τόσο για το σύνολο των πυρκαγιών, όσο και για τα περιστατικά που απομονώθηκαν με την εφαρμογή του φίλτρου του 25%. Ειδικότερα, εξετάστηκε αν οι χρονοσειρές της φωτιάς των δύο τμημάτων είναι στατιστικώς ανεξάρτητες μεταξύ τους. Ακολουθώς, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για το σύνολο των πυρκαγιών.

Spatial Differences Analysis, Fire Date Synchronicity, Part 1:
Summary Information, >= 0% Scarred, 1845 - 2010

Group #1	Group #2	Synchronicity	Number of Runs
-----	-----	-----	-----
1845	1845	- + Async	- (1)
1848	1848	+ - Async	-
1860	1860	- + Async	-
1861	1861	- + Async	-
1868	1868	+ - Async	-
1877	1877	- + Async	-
1879	1879	+ + Sync	+ (2)
1880	1880	- + Async	- (3)
1889	1889	- + Async	-
1890	1890	- + Async	-
1899	1899	- + Async	-
1910	1910	+ - Async	-
1913	1913	+ - Async	-
1917	1917	- + Async	-
1924	1924	+ - Async	-
1930	1930	- + Async	-
1942	1942	- + Async	-
1944	1944	- + Async	-
1945	1945	+ + Sync	+ (4)
1952	1952	+ - Async	- (5)
1958	1958	- + Async	-
1962	1962	+ - Async	-
1966	1966	+ - Async	-
1973	1973	- + Async	-
1977	1977	+ - Async	-
1978	1978	+ - Async	-
1980	1980	+ - Async	-
1981	1981	+ - Async	-
1982	1982	+ - Async	-
1983	1983	+ - Async	-
1984	1984	+ - Async	-
1988	1988	+ - Async	-
1998	1998	+ - Async	-
2007	2007	+ + Sync	+ (6)

[illegible]

Spatial Differences Analysis, Fire Date Synchronicity, Part 2:
Chi-squared test for synchronicity, >= 0% Scarred, 1845 - 2010
Full 2 X 2 contingency table

Ho: Fire chronologies statistically independent between groups.
Ha: Fire chronologies not statistically independent between groups.
Reject Ho if chi-squared is significant.

Cell	Observed	Expected	(O-E) ^2/E
a	3	2.05	0.44
b	17	17.95	0.05
c	14	14.95	0.06
d	132	131.05	0.01

Chi-squared: 0.56 NS

[illegible]

Spatial Differences Analysis, Fire Date Synchronicity, Part 3:
Chi-squared test for synchronicity, $\geq 0\%$ Scarred, 1845 - 2010
2 X 1 contingency table, b and c cells grouped, d cell censored

Ho: Fire chronologies statistically independent between groups.
Ha: Fire chronologies not statistically independent between groups.
Reject Ho if:
 (1) chi-squared is significant, and
 (2) observed (a) > expected (a)

Cell	Observed	Expected	(O-E) ^2/E
a	3	11.33	6.13
b+c	31	22.67	3.06

Chi-squared: 9.19 p < 0.005

[illegible]

Spatial Differences Analysis, Fire Date Synchronicity, Part 4:
Similarity Indices, $\geq 0\%$ Scarred, 1845 - 2010

Note: 0.0 = minimum similarity, 1.0 = maximum similarity

Ochiai Index	:	0.163
Jaccard Index	:	0.088
Dice Index	:	0.162
Kulczynski Index	:	0.163
Yule Index	:	0.529
Baroni-Urbani & Buser Index	:	0.425

[illegible]

Spatial Differences Analysis, Fire Date Synchronicity, Part 5:
Wald-Wolfowitz Runs Test, 1845 - 2010

Ho: Sequence of runs was generated by a random process.
Ha: Number synchronous dates << number asynchronous dates.
Reject Ho if test statistic is significant (i.e. total number of runs < W-statistic : random process indicated by total number actual runs > W-statistic.)


```
Total number positive dates:      3
Total number negative dates:     31
Total number positive runs :      3
Total number negative runs :      3
Total number of all runs   :      6
Expected number of runs    :    6.47
Expected std dev of runs   :    0.86
W-statistic                :    5.05   NS
```

=====
[*]
=====

--< End of Spatial Differences Tests >--
INFORMATION FOR: C:\WORK\TAYG7.TXT, ALL 54 SERIES
Minimum Samples Scarred: 1
Include Other Injuries : No
Group 1: Series 1 to 27
Group 2: Series 28 to 54

=====
[*]

Ανάλυση της επαλληλίας των εποχών (SEA)

Τέλος, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος SEA για την εύρεση πιθανής συσχέτισης μεταξύ του κλίματος και των ετών εκδήλωσης των πυρκαγιών, που αντιστοιχούν στο έτος 0. Η ανάλυση έγινε για το σύνολο των πυρκαγιών, καθώς και για τις μεγαλύτερες πυρκαγιές (φίλτρο του 25%).

Στο πρώτο μέρος παρουσιάζονται τα στατιστικά των δακτυλιοχρονοσειρών που χρησιμοποιήθηκαν για την ανακατασκευή του κλίματος. Στο δεύτερο μέρος παρέχεται η βασική πληροφορία και η περιγραφική στατιστική του κλίματος για τα έτη που προηγούνται και έπονται των ετών με πυρκαγιές. Στο τρίτο μέρος παρέχεται η αντίστοιχη πληροφορία και η περιγραφική στατιστική για τα αποτελέσματα της bootstrap αναδειγματοληψίας. Στο τέταρτο μέρος γίνεται διαγραμματική απεικόνιση των αποτελεσμάτων. Το εύρος των τιμών για κάθε έτος του παραθύρου απεικονίζεται σαν μια κάθετη γραμμή, με τα τρία διαφορετικά σύμβολα να καθορίζουν τα διαστήματα εμπιστοσύνης του 95%, του 99% και του 99.9%. Ακολούθως, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για τις μεγαλύτερες πυρκαγιές (φίλτρο του 25%).

```

=====
                                --<>--
CHRONOLOGY AND EVENTS IN          Program EVE      Run T4          12:31    P 10 MAY 1912    Page   1
SUPERPOSED EPOCH ANALYSIS                                *   ProgLib Tucson/Mendoza/Hamburg/LDGO   *   -51
-----
0Title of run:
0Tree-ring chronology or reconstruction:  gree009.crn
0Event dates:                             tayg25
0Menu options:                             Selected values

1  Years taken prior to event              6
2  Years taken following event              4
    Window analyzed                        11 years
3  Separation of simulated events:
    Actual separation of events redistributed
4  Include incomplete epochs                N
5  Number of simulations to run             1000  Random seed      -51
6  Time span to process                     0  2020
7  Process by segments, starting year       0
    Segment length                         0 years
    Lag between segments                   0 years
8  Save spreadsheet and ASCII data files    Y
=====

Title of data: 229000 1 Taygetos Forest          PINI
Title of data: 229000 2 Greece      Black Pine    1400M  3655 02221      1657 1999
Title of data: 229000 3 Peter I. Kuniholm and Christine Groneman
0Series identification: 229000

```

OTIME-SERIES STATISTICS															
Seq	Series	Interval	Years	Mean	Median	Mean sens	Std dev	Skew-ness	Kurto-sis	Trend var %	Partial Ord 1	autocorr Ord 2	Ord 3	L-Box Prob	
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	229000	1657	1999	343	1.003	.993	.149	.188	-.026	1.338	-.0038	.53	.03	.03	.000

OACTUAL EVENTS: TAYG7

14 event dates; years between events: 15.15 mean; 1 minimum															
1801	1818	1823	1830	1845	1860	1861	1879	1889	1913	1944	1945	1973	1998		
0Event	Mean	No. of	Std dev	Limits +/-		Limits +/-		Limits +/-		Limits +/-		Limits +/-		Range of values	
year	value	values		1.960	St dev	2.575	St dev	3.294	St dev	3.294	St dev	3.294	St dev	Min	Max
----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
-6	1.0210	13	.1687	.6903	1.3517	.5865	1.4555	.4652	1.5768	.6580	1.2480				
-5	1.0115	13	.1552	.7073	1.3157	.6119	1.4112	.5003	1.5228	.8400	1.2720				
-4	1.0121	13	.1660	.6868	1.3374	.5847	1.4395	.4654	1.5588	.7640	1.2650				
-3	1.0449	13	.1779	.6962	1.3936	.5868	1.5031	.4589	1.6310	.7640	1.5270				
-2	1.0849	13	.1634	.7646	1.4052	.6642	1.5057	.5467	1.6232	.7670	1.3490				
-1	1.0763	13	.2309	.6238	1.5289	.4818	1.6709	.3157	1.8369	.7370	1.4740				
0	1.0285	13	.2375	.5630	1.4939	.4170	1.6400	.2462	1.8107	.7370	1.6330				
1	1.0108	13	.1930	.6324	1.3891	.5137	1.5079	.3749	1.6467	.6580	1.3850				
2	1.0371	13	.1372	.7682	1.3060	.6838	1.3904	.5852	1.4890	.8400	1.2650				
3	1.0499	13	.1436	.7685	1.3313	.6802	1.4196	.5770	1.5228	.8720	1.2800				
4	.9697	13	.2317	.5156	1.4238	.3731	1.5663	.2065	1.7329	.6660	1.5270				

OSIMULATED EVENTS 14 dates, 1000 simulations; 1 years minimum between events

OEvent	Mean	No. of	Std dev	Limits +/-		Limits +/-		Limits +/-		Limits +/-		Range of values	
year	value	values		1.960	St dev	2.575	St dev	3.294	St dev	3.294	St dev	Min	Max
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
-6	1.0008	1000	.0513	.9003	1.1013	.8687	1.1329	.8318	1.1697	.8327	1.1489		
-5	.9992	1000	.0515	.8983	1.1002	.8666	1.1319	.8296	1.1689	.8302	1.1669		
-4	.9983	1000	.0490	.9022	1.0943	.8721	1.1245	.8368	1.1597	.8353	1.1729		
-3	.9976	1000	.0511	.8974	1.0978	.8660	1.1293	.8292	1.1660	.8036	1.1678		
-2	.9970	1000	.0517	.8956	1.0983	.8638	1.1301	.8267	1.1672	.8257	1.1494		
-1	.9998	1000	.0521	.8976	1.1019	.8656	1.1339	.8281	1.1714	.8323	1.1643		
0	.9995	1000	.0510	.8995	1.0995	.8681	1.1309	.8314	1.1676	.8287	1.1695		
1	1.0002	1000	.0517	.8988	1.1015	.8670	1.1333	.8299	1.1704	.8367	1.1551		
2	1.0008	1000	.0502	.9023	1.0992	.8715	1.1301	.8353	1.1662	.8339	1.1353		
3	1.0015	1000	.0489	.9056	1.0974	.8755	1.1275	.8403	1.1627	.8061	1.1731		
4	1.0015	1000	.0503	.9029	1.1000	.8720	1.1309	.8359	1.1670	.8279	1.1518		

OBAR GRAPH :

```

gree009.crn : 229000
tayg25 : TAYG7
0For ACTUAL events the event year digit appears at the mean and the line of dashes is the +/- 1.960 std dev band.
0SIMULATED events two-tailed standard deviation limits are:

          95.0% CI, +/- 1.960 std dev:      <      >
          99.0% CI, +/- 2.575 std dev:      [      ]
          99.9% CI, +/- 3.294 std dev:      {      }

0Event
year

-6      -----{---[---<-----6----->---]---}-----
-5      -----{---[---<-----5----->---]---}-----
-4      -----{---[---<-----4----->---]---}-----
-3      -----{---[---<-----3----->---]---}-----
-2      -----{---[---<-----2----->---]---}-----
-1      -----{---[---<-----1----->---]---}-----
0      -----{---[---<-----0----->---]---}-----
1      -----{---[---<-----1----->---]---}-----
2      -----{---[---<-----2----->---]---}-----
3      -----{---[---<-----3----->---]---}-----
4      -----{---[---<-----4----->---]---}-----

^^ Symbol in these columns indicates the level of confidence exceeded

=====
--<>--

```

Παράρτημα VI- Βιβλιοθήκες και λειτουργίες στο R

- **Βιβλιοθήκη agricolae**

Η βιβλιοθήκη αυτή σχεδιάστηκε αρχικά για τη στατιστική ανάλυση πειραματικών δεδομένων που σχετίζονται με τον τομέα της γεωργίας και της αναπαραγωγής των φυτών. Περιλαμβάνει λειτουργίες όπως μη παραμετρικοί στατιστικοί έλεγχοι, μεταξύ των οποίων και το Kruskal-Wallis, σχεδιασμός πειραμάτων πεδίου, σύγκριση διαφορετικών χειρισμών, αναλύσεις γενετικών πειραμάτων, αναδειγματοληψίες και προσομοιώσεις κ.ά.

Η λειτουργία `kruskal` επιτρέπει την πολλαπλή σύγκριση με τον μη παραμετρικό στατιστικό έλεγχο Kruskal-Wallis (Felipe de Mendiburu 2013). Ακολουθώντας, παρατίθεται ο κώδικας που χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση.

```
data=read.csv("transect_analysis_distance.csv",header=T,sep=",")
head(data)
attach(data)
install.packages
library(agricolae)
kr.mc=kruskal(data$density.mean,data$distance,p.adj="holm")
boxplot(density.mean~distance,data, xlab="distance classes", ylab="density")
title(main="distance classes")
```

- **Βιβλιοθήκη dismo**

Η βιβλιοθήκη αυτή δίνει τη δυνατότητα εφαρμογής μια σειρά μοντέλων κατανομής των ειδών. Επιπλέον, παρέχει μια σειρά από λειτουργίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την Ανάλυση με ενισχυμένα δένδρα παλινδρόμησης (Boosted Regression Tree- BRT).

Στην παρούσα έρευνα χρησιμοποιήθηκαν οι λειτουργίες `gbm.step` και `gbm.simplify`.

Η λειτουργία **`gbm.step`** επιτρέπει την εκτίμηση του βέλτιστου αριθμού ενισχυμένων δένδρων με χρήση της k-fold διασταυρούμενης επικύρωσης (cross-validation). Τα δεδομένα χωρίζονται σε 10 υποκατηγορίες, με στρωματοποίηση μέσω υπερίσχυσης εφόσον απαιτείται, για τα παρόντα ή απόντα δεδομένα. Στη συνέχεια προσαρμόζεται ένα `gbm` μοντέλο αυξανόμενης πολυπλοκότητας από η αριθμό δένδρων σε $n+1$, υπολογίζοντας την υπολειπόμενη απόκλιση σε κάθε βήμα. Ύστερα από κάθε επεξεργασία, υπολογίζεται η μέση υπολειπόμενη απόκλιση και το τυπικό της σφάλμα και προσδιορίζεται ο βέλτιστος αριθμός δένδρων, στον οποίο ελαχιστοποιείται η

απόκλιση. Ακολούθως, γίνεται προσαρμογή ενός μοντέλου με τον συγκεκριμένο αριθμό δένδρων, το οποίο μετατρέπεται σε gbm μοντέλο, μαζί με πρόσθετες πληροφορίες με τη διαδικασία της επιλογής μέσω διασταυρούμενης επικύρωσης.

Η λειτουργία **gbm.simplify** χρησιμοποιεί αρχικά το μοντέλο της διασταυρούμενης επικύρωσης που έχει παραχθεί από τη λειτουργία **gbm.step** και αξιολογεί τη δυνατότητα αφαίρεσης των μεταβλητών πρόβλεψης ή ερμηνείας χρησιμοποιώντας την k-fold διασταυρούμενη επικύρωση. Αυτό γίνεται αφαιρώντας κάθε φορά τη μεταβλητή με τη χαμηλότερη ερμηνευτική σημασία. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται για ένα συγκεκριμένο αριθμό βημάτων. Μετά την αφαίρεση της κάθε μεταβλητής, υπολογίζεται η μεταβολή της απόκλισης στην πρόβλεψη, σε σχέση με εκείνη που λαμβάνεται όταν χρησιμοποιηθεί το σύνολο των μεταβλητών. Η λειτουργία τότε δίνει μία λίστα που περιλαμβάνει τη μέση αλλαγή στην απόκλιση και το τυπικό της σφάλμα ως μια συνάρτηση του αριθμού των μεταβλητών που αφαιρέθηκαν. Μετά την ολοκλήρωση της διασταυρούμενης επικύρωσης, προσδιορίζεται η σειρά αφαίρεσης των μεταβλητών σε περίπτωση που χρησιμοποιηθεί το σύνολο των δεδομένων. Ειδικότερα, εμφανίζεται ένας πίνακας που περιέχει τη σειρά με την οποία θα πρέπει να αφαιρεθούν οι μεταβλητές, αρχίζοντας με τη μεταβλητή με τη χαμηλότερη συνεισφορά (Hijmans et al. 2013).

Ακολούθως, παρατίθεται ο κώδικας που χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση.

```
data=read.csv("plot_analysis_f.csv",header=T)
dat=na.omit(data)
library(dismo)
d=data.frame(Recruits=dat$Recruits, distance=dat$distance, alt=dat$Altitude,
sd=dat$SD ,hl=dat$HL, dbh=dat$dbh, Nt=dat$No.trees, fern=dat$fern,
herbs=dat$herbs, woody=dat$woody, n_fires=dat$n_fires, cwd=dat$CWD,
cl=dat$clear, s_r=dat$stone_rock, ho=dat$hole, li=dat$litter, cr=dat$creek)
rec6=gbm.step(data=d, gbm.x=2:17,gbm.y=1,tree.complexity = 3, learning.rate =
0.005, bag.fraction = 0.5,family="poisson")
summary(rec6)
rec7<-gbm.simplify(rec6,n.drops=10)
rec7.simp<-gbm.step(d,gbm.x=rec7$pred.list[[6]],gbm.y=1,tree.complexity = 3,
learning.rate = 0.005,family="poisson")
summary(rec7.simp)
gbm.plot(rec7.simp,n.plots=10,write.title=F,plot.layout=c(3,
4),smooth=TRUE,rug=FALSE, common.scale=F, y.label="Marginal effect on Black pine
densities")
gbm.plot.fits(rec7.simp)
```

Παράρτημα VII- Φωτογραφίες



Εικόνα 7.2 Ζωντανό δένδρο καταγραφέας μετά την αφαίρεση σφήνας (partial cross-section) κοντά στο σημάδι της φωτιάς.



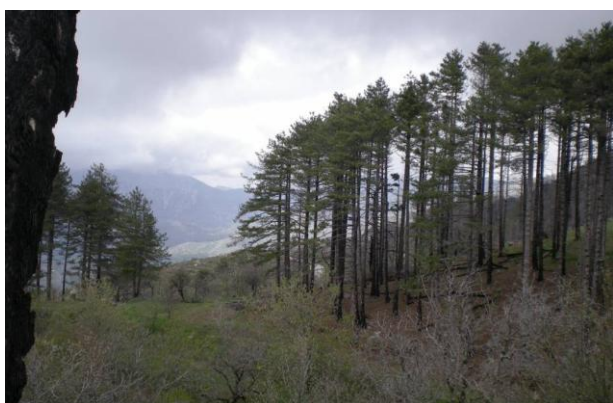
Εικόνα 7.3 Σφήνα σε ξύλινη βάση.



Εικόνα 7.4 Άποψη της θέσης δειγματοληψίας A01.



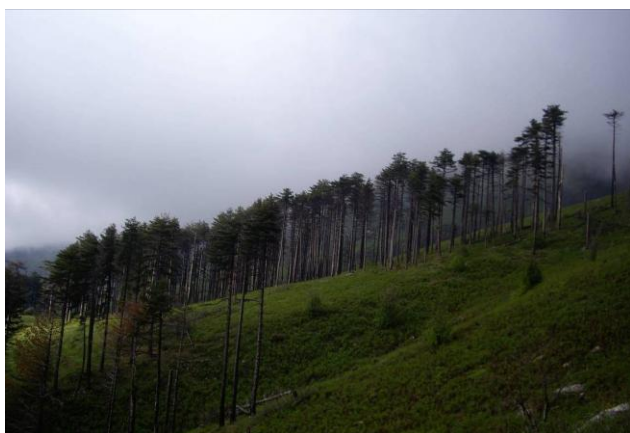
Εικόνα 7.5 Άποψη της θέσης δειγματοληψίας A02.



Εικόνα 7.6 Άποψη της θέσης δειγματοληψίας A03.



Εικόνα 7.7 Άποψη της θέσης δειγματοληψίας A04.



Εικόνα 7.8 Άποψη της θέσης δειγματοληψίας A05.



Εικόνα 7.9 Άποψη της θέσης δειγματοληψίας A06.



Εικόνα 7.10 Άποψη της θέσης δειγματοληψίας A07.



Εικόνα 7.11 Άποψη της θέσης δειγματοληψίας A08.



Εικόνα 7.12 Άποψη της θέσης δειγματοληψίας A09.



Εικόνα 7.13 Άποψη της θέσης δειγματοληψίας A10.



Εικόνα 7.14 Άποψη της θέσης δειγματοληψίας A11.



Εικόνα 7.15 Άποψη της θέσης δειγματοληψίας A12.



Εικόνα 7.16 Άποψη της θέσης δειγματοληψίας K01. Νεαρό άτομο *Pinus nigra*, κοντά σε καμένο κομμένο κορμό.



Εικόνα 7.17 Άποψη της θέσης δειγματοληψίας K02.



Εικόνα 7.18 Άποψη της θέσης δειγματοληψίας K04.



Εικόνα 7.19 Νεαρό άτομο ενός έτους που διατηρεί ακόμα τις κοτυληδόνες, σε πεσμένο, καμένο κορμό.



Εικόνα 7.20 Νεαρά άτομα *Pinus nigra* ανάμεσα σε πεσμένους κορμούς και κλαδιά.



Εικόνα 7.21 Νεαρά άτομα *Pinus nigra* ανάμεσα σε *Pteridium aquilinum*.



Εικόνα 7.22 *Cotinus coggygria* (χρυσόξυλο) στη θέση δειγματοληψίας K04



Εικόνα 7.23 *Limodorum abortivum* στη θέση δειγματοληψίας A05.

Παράρτημα VIII- Δημοσιεύσεις

Επιστημονικά περιοδικά

Christopoulou A., Fulé P.Z., Andriopoulos P., Sarris D., Arianoutsou M., 2013. Dendrochronology-based fire history of *Pinus nigra* forests in Mount Taygetos, Southern Greece. *Forest Ecology and Management* 293: 132-139.

Sarris D., Christopoulou A., Angelonidi E., Koutsias N., Fulé P.Z., Arianoutsou M., 2013. Increasing extremes of heat and drought associated with recent severe wildfires in southern Greece. *Regional Environmental Change*. DOI 10.1007/s10113-013-0568-6.

Christopoulou A., Fyllas N., Andriopoulos P., Koutsias N., Dimitrakopoulos P., Arianoutsou M. (accepted). Post-fire regeneration patterns of *Pinus nigra* in a recently burned area in Mount Taygetos, Southern Greece: the role of unburned forest patches. *Forest Ecology and Management*

Πρακτικά διεθνών συνεδρίων

Christopoulou A., Kazanis D., Andriopoulos P., Bazos I., Kokkoris Y., Arianoutsou M., 2011. Resilience of *Pinus nigra* forest ecosystems to fire: the case of Mt Taygetos, Greece. *Medpine4*. 4th International Conference on Mediterranean Pine, Book of Abstracts, p. 140.

Sarris D., Christodoulakis D., Körner Ch., Christopoulou A., Arianoutsou M., 2011. Recent growth reduction in *Pinus halepensis* and *Pinus nigra* forests associated with drought intensification in the eastern Mediterranean. *Medpine4*. 4th International Conference on Mediterranean Pines. Book of Abstracts, p. 24.

Πρακτικά ελληνικών συνεδρίων

Χριστοπούλου Α., Ανδριόπουλος Π., Πλένιου Μ., Κούτσιας Ν., Αριανούτσου Μ., 2010. Οι επιπτώσεις της φωτιάς του 2007 στα δάση Μαύρης πεύκης (*Pinus nigra* J.F Arnold) στον Ταΰγετο: χωρική αποτίμηση της διαθεσιμότητας άκαυτων νησίδων. 5ο Πανελλήνιο Συνέδριο Οικολογίας - «Οικολογικές διεργασίες στο χώρο και το χρόνο». Ελληνική Οικολογική Εταιρεία - Ελληνική Ζωολογική Εταιρεία - Ελληνική Βοτανική Εταιρεία, Πάτρα 7 - 10 Οκτωβρίου 2010.

Χριστοπούλου Α., Αγγελονίδη Ε., Σαρρής Δ., Αριανούτσου Μ., 2011. Διερεύνηση της σχέσης κλίματος και αύξησης σε Μεσογειακά ορεινά κωνοφόρα, η περίπτωση των ειδών *Pinus nigra* & *Abies cephalonica*. 12^ο Πανελλήνιο Επιστημονικό Συνέδριο της Ελληνικής Βοτανικής Εταιρείας, Ρέθυμνο- Κρήτη, 29 Σεπτεμβρίου- 2 Οκτωβρίου 2011.

Χριστοπούλου Α., Fulé P.Z., Αριανούτσου Μ., 2012. Ανασύσταση της ιστορίας της φωτιάς σε δάση Μαύρης πεύκης στον Ταΰγετο. Υποβλήθηκε στο 6^ο Πανελλήνιο

Συνέδριο Οικολογίας- Οικολογική Έρευνα στην Ελλάδα: τάσεις, προκλήσεις και εφαρμογές. 4-7 Οκτωβρίου 2012 Πανεπιστημιούπολη Ιλίσίων, Αθήνα.

Παραδοτέα επιστημονικών προγραμμάτων

Arianoutsou M., Fulé P.Z., Sarris D., Christopoulou A., Andriopoulos P. Contributors: Angelonidi E., Koutsias N. 2012. Reconstruction of past fire regimes at local scale using dendrochronology. Deliverable Number 34- Fire scars maps. Task 3.1. FUME-Forest Fires under Climate, Social and Economic changes in Europe, the Mediterranean and other fire-affected areas of the world. Grant agreement n°: 243888.

Arianoutsou M., Kazanis D., Christopoulou A. Contributors: Fyllas N., Andriopoulos P., Koutsias N., Pleniou M. 2013. Deliverable number 2.2.9 –Species change and new fire areas. Task 2.2.2. Evaluation of systems vulnerability due to changes in climate and fire regions. FUME-Forest Fires under Climate, Social and Economic changes in Europe, the Mediterranean and other fire-affected areas of the world. Grant agreement n°: 243888.

ΑΝΤΙ ΕΠΙΛΟΓΟΥ

Η παρούσα διδακτορική διατριβή εκπονήθηκε στον Τομέα Οικολογίας και Ταξινόμικης του Τμήματος Βιολογίας του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών. Το μεγαλύτερο μέρος της χρηματοδοτήθηκε από το Ευρωπαϊκό ερευνητικό πρόγραμμα με τίτλο FUME-Forest Fires under Climate, Social and Economic changes in Europe, the Mediterranean and other fire-affected areas of the world. Grant agreement nº: 243888 με Κ.Α. 70/3/10347.

Ειδικά για την ανασύσταση του ιστορικού της φωτιάς μέσω της δενδροχρονολόγησης η επεξεργασία, οι μετρήσεις και η ανάλυση ολοκληρώθηκαν στο School of Forestry and Ecological Restoration Institute, στο Πανεπιστήμιο της Βόρειας Αριζόνα στο Flagstaff (Northern Arizona University- NAU), την περίοδο Μαρτίου- Μαΐου 2012, με την οικονομική υποστήριξη του Ecological Restoration Institute (NAU).

Και στο σημείο αυτό πρέπει να ξεκινήσω τις ευχαριστίες... Θυμάμαι πόση εντύπωση μου είχε κάνει όταν διαβάζοντας τη διδακτορική διατριβή του Ordóñez J.L. μέτρησα επτά σελίδες ευχαριστίες. Σκέφτηκα θα είναι υπερβολικός... Μετά, άρχισα να κάνω flash back. Να κοιτάζω σημειώσεις, φωτογραφίες, να σκέφτομαι στιγμές από τα τελευταία τέσσερα και χρόνια της ζωής μου. Και ευχήθηκα να καταφέρω να γράψω λιγότερες...

Ξεκίνησα τη διδακτορική διατριβή το Δεκέμβρη του 2009, όμως στην πραγματικότητα η αρχή της ιστορίας εντοπίζεται λίγο νωρίτερα. Ήταν φθινόπωρο του 2007, λίγο μετά τις φοβερές πυρκαγιές σε όλη σχεδόν την Ελλάδα όταν ξεκίνησα να κάνω διπλωματική στην Πάρνηθα και στα καμένα ελατοδάση της. Θυμάμαι καλά την πρώτη φορά που πήγαμε στην Πάρνηθα με την κ. Αριανούτσου και τον Δρ. Δημήτρη Καζάνη, με τη συνάδελφο και φίλη Έφη. Περπατούσαμε στο δάσος και ήταν όλα καμένα, στάχτες παντού. Και ήμουν λιγάκι απογοητευμένη. Και τότε η κ. Αριανούτσου έσκυψε πάνω από ένα μικρό, τοσοδούλικο φυτάκι και είπε: «Δες αυτό το μικρό. Είναι αναγκασμένο να ζήσει εδώ για πάντα και όμως το προσπαθεί και επιβιώνει..». Λίγα χρόνια μετά ξεκίνησα το διδακτορικό..

Και η Πάρνηθα που τόσο είχα αγαπήσει άρχισε σιγά-σιγά να ξεφτίζει στα μάτια μου, γιατί ήρθε ο Ταϋγκετος. Ο γνωστός και υμνημένος από τον Νικηφόρο Βρεττάκο Ταϋγκετος. «Όσοι από εμάς ανεβαίνουμε συχνά στον Ταϋγκετο μόνο με την ποίηση του Νικηφόρου μπορούμε να ερμηνεύσουμε εκείνο το δάκρυ που στεγνώνει τ' αγιάζι στην κορυφή του βουνού..» (Κακούρου Χρόνη Γ.). Από τα παιδικά μου χρόνια, όταν ταξιδεύαμε για Μονεμβασιά, θυμάμαι τον Ταϋγκετο που «στεκόταν άνέπαφος» πάνω από τη Σπάρτη. Ο Ταϋγκετος που κάθε φορά είναι σα να σου επιφυλάσσει μία νέα έκπληξη, ένα άλλο βουνό, ένα άλλο ταξίδι.

Ευχαριστώ λοιπόν την Καθηγήτρια Μαργαρίτα Αριανούτσου που με έκανε να δω αλλιώς τα τοσοδούλικά φυτάκια, τα μεγάλα δένδρα, τις πυρκαγιές, τον Ταϋγκετο.

Που με στήριξε επιστημονικά και προσωπικά σε όλο το διάστημα εκπόνησης της διδακτορικής διατριβής. Κ. Αριανούτσου σας ευχαριστώ για όλα.

Και μετά την κ. Αριανούτσου ήρθε ο Peter Z Fulé, ένας Αμερικάνος με ισπανική ιδιοσυγκρασία. Νοιώθω εξαιρετικά τυχερή, επιστημονικά και προσωπικά, που τον γνώρισα. Χωρίς τον Pete δεν θα είχα γνωρίσει τη δενδροχρονολόγηση, δεν θα είχα αρχίσει να κοιτάζω περίεργα τους κορμούς των δένδρων για να βρω κάποιο fire scar, δεν θα είχα χρησιμοποιήσει ποτέ αλυσοπρίονο, δεν θα είχα δει ποτέ τους βαρετούς βράχους του Grand Canyon... Muchas gracias Pete!

Ιδιαίτερα θέλω να ευχαριστήσω τα δύο μέλη της τριμελούς συμβουλευτικής επιτροπής. Τον κ. Π. Δημητρακόπουλο, Αναπληρωτή Καθηγητή Παν. Αιγαίου, για τις εύστοχες διορθώσεις και παρατηρήσεις του και τον κ. Αθ. Καλλιμάνη, Επίκουρο Καθηγητή Παν. Πατρών, για τις στατιστικές συμβουλές του στα πρώτα στάδια της διδακτορικής διατριβής.

Θερμές ευχαριστίες οφείλω και στα μέλη της επταμελούς εξεταστικής επιτροπής. Στον κ. Θ. Κωνσταντινίδη, Επίκουρο Καθηγητή Τμήματος Βιολογίας ΕΚΠΑ, οι παρατηρήσεις του οποίου ήταν πάντα εύστοχες και επικοδομητικές. Στον κ. Κ. Θάνο, Καθηγητή Τμήματος Βιολογίας ΕΚΠΑ και στον κ. Κ. Γεωργίου, Αναπληρωτή Καθηγητή Τμήματος Βιολογίας ΕΚΠΑ για τις διορθώσεις και τις επιστημονικές κατευθύνσεις τους. Στον κ. Ν. Κούτσια, Επίκουρο Καθηγητή Παν. Πατρών, για την ανεκτίμητη βοήθεια στην ανάλυση των δορυφορικών εικόνων.

Θα ήταν παράλειψη να μην ευχαριστήσω τον Δρ. Δ. Σαρρή, ο οποίος μου υπέδειξε με επιμονή και υπομονή πώς να τρυπάω δένδρα, να μετράω και να αναλύω δακτυλίδιους.

Ευχαριστίες οφείλω και στα κορίτσια από το Αγρίνιο, πλέον Δρ. και οι δύο, Μάγδα Πλένιου και Φούλα Νιοτή για την αμέριστη βοήθειά τους κατά τη σύντομη παραμονή μου στο Αγρίνιο.

Δεν μπορώ να μην αναφέρω τη φίλη και βιολόγο Ελίνα Αγγελονίδη, με την οποία περάσαμε αξέχαστες στιγμές στον Ταΰγετο, ψάχνοντας δένδρα για να τρυπήσουμε, κρυμμένα στην ομίχλη.

Μου είναι δύσκολο να φανταστώ τους σχεδόν δύο μήνες που φιλοξενήθηκα στην Αριζόνα χωρίς την Alicia Azpeleta, τις επιστημονικές συζητήσεις, τους προβληματισμούς και τα happy hours. Alicia te echo de menos!

Και μετά από αυτή τη μικρή περιπλάνηση επιστρέφω στο Γραφείο 29 και στον Τομέα Οικολογίας. Εκεί από όπου ξεκίνησα.

Θα αρχίσω με το Δρ. Δημήτρη Καζάνη. Χωρίς τον Δημήτρη μάλλον ακόμα θα έψαχνα ποιες θέσεις δειγματοληψίας να διαλέξω στο πεδίο. Η συνεισφορά του στην επιλογή των θέσεων και τη διεξαγωγή των πρώτων δειγματοληψιών

ήταν για μένα πολύτιμη. Οι συζητήσεις που κάναμε, οι ιδέες και οι συμβουλές του με βοήθησαν πολύ.

Ευχαριστώ πολύ τον Δρ. Παύλο Ανδριόπουλο για τη μεγάλη συνεισφορά του στο GIS και στην παραγωγή των χαρτών.

Πολλά ευχαριστώ οφείλω και στον Γιάννη Κόκκορη για τις επιστημονικές συμβουλές του όλα αυτά τα χρόνια. Η παρουσία του Γιάννη στο γραφείο μου έδινε πάντα κουράγιο για να συνεχίσω.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ στον Δρ. Νίκο Φύλλα, που προσπάθησε να με μάθει στατιστική και R, αν και ακόμα δεν είμαι πολύ σίγουρη ότι τα κατάφερε... Σε κάθε περίπτωση, θεωρώ μεγάλη τύχη τη συνεργασία με το Νίκο.

Θερμά ευχαριστώ την Δρ. Κανέλλα Ραδέα για τις στατιστικές και λοιπές επιστημονικές συμβουλές, αλλά και την ενεργή συμμετοχή της σε κάποιες από τις δειγματοληψίες. Μέχρι και έντομα άρχισα να προσέχω χάρη στην κ. Νέλλα..

Φυσικά δεν μπορώ να μην ευχαριστήσω τον Δρ. Ιωάννη Μπαζό που κάθε φορά προσπαθούσε να μου αναγνωρίσει τα, καμιά φορά, απαίσια δείγματά μου.

Αλλά και εκτός του χώρου του Πανεπιστημίου, πολλοί ήταν αυτοί που συνέβαλαν στην ολοκλήρωση της παρούσας διδακτορικής διατριβής.

Ευχαριστίες στο προσωπικό του Δασαρχείου Καλαμάτας για την παροχή δεδομένων σχετικά με τις πυρκαγιές και τις αναδασωτέες εκτάσεις στην περιοχή του Ταυγέτου, αλλά και την επιτόπια υπόδειξη κατάλληλων θέσεων για τη διεξαγωγή της δενδροχρονολόγησης.

Ευχαριστίες οφείλω και στη «ΓΝΩΜΟΝ» Ανδριτσόπουλος και ειδικά στους: Αντρέα, Χρήστο, Παναγιώτη για τη χρήση των εγκαταστάσεων και των μηχανημάτων για την αρχική επεξεργασία των σφηνών.

Ευχαριστώ επίσης την κυρία Θοδώρα, το σύζυγό της, τον Μπάμπη και το υπόλοιπο προσωπικό του Τουριστικού Ταυγέτου για τη ένθερμή τους φιλοξενία και τον αξέχαστο κόκορα.

Ιδιαίτερα ευχαριστώ τη φίλη Φωτεινή Παπανούση για τις συμβουλές της στη χαρτογράφηση.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ στον ξάδερφο Γιώργο για το μαρτύριο που υπέστη στην προσπάθειά του να με βοηθήσει στην αποδελτίωση των σημειώσεων πεδίου.

Ευχαριστώ επίσης τον όχι και τόσο μικρό πια (πριν λίγες μέρες έκλεισε τα 11!) ξάδερφο Αριστείδη, για τη βοήθειά του στο τρίψιμο των δειγμάτων. Αρίστο εύχομαι, αν δεν γίνεις ποδοσφαιριστής, να γίνεις βιολόγος..

Κλείνοντας τις ευχαριστίες δεν μπορώ να μην αναφερθώ, και ας το απεύχονται ορισμένοι, σε αυτούς που με στήριξαν συναισθηματικά και πρακτικά όλα αυτά τα χρόνια. Σε αυτούς που άντεξαν τη γκρίνια, τα νεύρα, την κούραση, τις απουσίες μου και εκείνοι ξέρουν τι άλλο ακόμα.

Στην Πίτσα 41 και τον Ράκο ή Ντα.

Στα αδέρφια μου, Χρήστο και Ελπίδα, που με έκαναν να προσθέσω στην αφιέρωση αυτούς που έρχονται...

Στις, κάτι περισσότερο από φίλες μου, Μάνια, Χρύσα, Ελευθερία, Λία και Έφη.

Στον Εκτώρεν που έφυγε και στη Φαίδρα που κατέλαβε τη θέση του.

Και τέλος, στο Γιώργο Σεϊντή. Που ήρθε μαζί στο πεδίο, έτριψε δείγματα, μέτρησε αρτίβλαστα, κατέγραψε φυτά, διάβασε κείμενα, έγινε σχεδόν βιολόγος... Στο κυνήγι του acknowledgement στις κορυφές του Ταϋγέτου, κέρδισε δύο. Σε ευχαριστώ Γιώργο!

Τελικά τα κατάφερα σε λιγότερο από τέσσερις σελίδες...

Ευχαριστώ λοιπόν και αποχαιρετώ.

Αναστασία Χριστοπούλου,

Μάρτιος 2014