

## 8. Ο οικολογικός ρόλος της φωτιάς στα χερσαία οικοσυστήματα της Ελλάδας

Μαργαρίτα Αριανούτσου-Φαραγγιτάκη, Δημήτριος Καζάνης

**Τ**ο φυσικό περιβάλλον της Ελλάδας χαρακτηρίζεται από ποικιλία τύπων χερσαίων οικοσυστημάτων, οι οποίοι ακολουθούν την αντίστοιχη ποικιλία κλιματικών τύπων. Η εναλλαγή της υγρής, χειμερινής περιόδου με την ξηρή θερινή περίοδο, που χαρακτηρίζει το Μεσογειακό κλίμα, ευνοεί την εκδήλωση πυρκαγιών καθ' όλη τη διάρκεια του καλοκαιριού. Έχοντας υιοθετήσει την επανειλημμένη δράση της φωτιάς στην πορεία της εξέλιξής τους, τα φυτικά είδη των Μεσογειακών περιβαλλόντων έχουν αναπτύξει ειδικές προσαρμογές αντιμετώπισης της δράσης της, εξασφαλίζοντας την παρουσία τους στο χώρο και στο χρόνο. Τα φυτά διαθέτουν δύο βασικούς μηχανισμούς απόκρισης στη δράση της φωτιάς: α) βλαστητική αναγέννηση του ίδιου καμένου ατόμου (αναβλάστηση) και β) εγκατάσταση νέων ατόμων μετά τη φύτευση σπερμάτων, που παραμένουν προστατευμένα από τη φωτιά είτε στο έδαφος είτε στους κώνους των δένδρων. Οι οικολογικές επιπτώσεις της φωτιάς καθορίζονται από το καθεστώς της, δηλαδή τη συνδυασμένη δράση της συχνότητας, της έντασης, της εποχής και του μεγέθους της. Από αυτά, η συχνότητα και η ένταση είναι οι κρίσιμότερες παράμετροι που καθορίζουν τις αποκρίσεις των φυτικών ειδών. Εάν, παραδείγματος χάριν, συμβεί ένα δεύτερο περιστατικό φωτιάς πριν την αναπαραγωγική ωρίμανση των σπερμοαναγεννώμενων φυτών, τότε αναμένονται δραματικές αλλαγές στη σύνθεση της χλωρίδας και στη δομή της βλάστησης. Ο απαιτούμενος χρόνος επανάκαμψης και αποκατάστασης των φυτοκοινοτήτων των Μεσογειακών οικοσυστημάτων κυμαίνεται από λίγα χρόνια για τους θαμνώνες (φρύγανα και μακί) έως τρεις με τέσσερις δεκαετίες για τα πευκοδάση. Εάν οι προβλέψεις για την κλιματική αλλαγή επιβεβαιωθούν, πρέπει να αναμενουμε τροποποίηση του καθεστώτος της φωτιάς, που με τη σειρά της αναμένεται να έχει σημαντικές επιπτώσεις στα φυσικά οικοσυστήματα και στην ικανότητα μεταλυρικής επανισορότησής τους, ιδιαίτερα σε αυτά που δεν είναι προσαρμοσμένα στη φωτιά, όπως τα ορεινά. Η μεταλυρική διαχείριση των συστημάτων πρέπει να στηρίζεται στην επιστημονικά τεκμηριωμένη γνώση, προκειμένου να αποφεύγονται δράσεις οι οποίες ενδεχομένως να έχουν σοβαρότερες συνέπειες από τη φωτιά αυτή καθαυτή.

**Λέξεις κλειδιά:** μεταλυρική αναγέννηση, καθεστώς φωτιάς, κλιματική αλλαγή

### Εισαγωγή

Η χώρα μας αντιμετωπίζει κάθε χρόνο, κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, συχνά περιστατικά πυρκαγιών. Τα στατιστικά στοιχεία δείχνουν ότι κάθε χρόνο καίγονται σημαντικές εκτάσεις, άλλοτε μεγάλες και άλλοτε μικρές. Αναλυτικά δεδομένα παρέχονται στο 5<sup>ο</sup> κεφάλαιο του Β' μέρους. Σύμφωνα με τους Τσαγκάρη κ.ά. (2011), στο διάστημα 1983-2008 συνέβησαν στη χώρα 38.085 περιστατικά που έκαψαν 13.613.121 στρέμματα. Το μεγαλύτερο ποσοστό αυτών των περιστατικών (19%) κατανέμεται στη γεωγραφική ενότητα της Πελοποννήσου, ενώ το μικρότερο (περίπου 7%) στη

Θεσσαλία. Από τη συνολική καμένη έκταση, περίπου 79% αντιστοιχεί σε δασική, ενώ το υπόλοιπο σε γεωργική γη. Αν και το φαινόμενο είναι συχνό, ορισμένα χρόνια είναι ιδιαίτερα οξεία, τόσο λόγω της εκδήλωσης πολλών και μεγάλων περιστατικών πυρκαγιών (2000, 2007, 2009), όσο και από το είδος της βλάστησης που καίγεται (2007).

Η Ελλάδα παρουσιάζει μια διαβάθμιση κλιματικών τύπων, από το Μεσογειακό μέχρι το μεταβατικό μεσευρωπαϊκό και ηπειρωτικό. Τη διαβάθμιση αυτή των κλιματικών τύπων ακολουθεί και μια αντίστοιχη διαβάθμιση στους τύπους χερσαίων διαπλάσεων και, κατ' επέκταση, στους τύπους οικοσυστημάτων που αυτές καθορίζουν. Έτσι, στις

περιοχές με Μεσογειακό κλίμα απαντούν τα χαρακτηριστικά Μεσογειακά οικοσυστήματα, δηλαδή οι θαμνώνες αείφυλλων σκληρόφυλλων (μακί) και εποχιακά διμορφικών θάμνων (φρύγανα), καθώς και δάση ή δασικές εκτάσεις των κωνοφόρων: χαλέπιος πεύκη (*Pinus halepensis*), τραχεία πεύκη (*Pinus brutia*), κυπαρίσσι (*Cupressus sempervirens*) και άρκευθος (*Juniperus* spp.). Το Μεσογειακό κλίμα χαρακτηρίζεται από χειμωνιάτικες κυρίως βροχοπτώσεις, οι οποίες, μάλιστα, παρουσιάζουν μεγάλη διακύμανση από χρόνο σε χρόνο, χωρίς ιδιαίτερα χαμηλές θερμοκρασίες, από ζεστά και κυρίως άνυδρα καλοκαίρια, και έντονη ηλιακή ακτινοβολία, ιδίως το καλοκαίρι. Με άλλα λόγια, σε περιόδους υψηλών θερμοκρασιών, η βροχόπτωση είναι πολύ χαμηλή έως ανύπαρκτη και αντιστρόφως, δημιουργώντας περιόδους ξηρασίας σχετικά μεγάλης διάρκειας. Η βλάστηση η οποία αναπτύσσεται υπό τις συνθήκες αυτές είναι σε μεγάλο βαθμό ξηροφυτική, προκειμένου να μπορεί να αντιμετωπίσει τη χαμηλή διαθεσιμότητα νερού τη θερμή περίοδο του θέρους. Ένα σχετικά μεγάλο ποσοστό της χερσαίας επιφάνειας της χώρας (~40%) καλύπτεται από αυτό το είδος της βλάστησης των Μεσογειακών οικοσυστημάτων.

Μεταβαίνοντας από τις θέσεις με Μεσογειακό κλίμα προς εκείνες όπου επικρατούν υγρότερες και ψυχρότερες συνθήκες (μεσευρωπαϊκού ή/και ηπειρωτικού τύπου κλίμα), περιορίζεται η έκταση των θαμνώνων και επικρατούν δάση φυλλοβόλων και κωνοφόρων ειδών. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν τα δάση βελανιδιάς (*Quercus* spp.), οξιάς (*Fagus* spp.) και καστανιάς (*Castanea sativa*), ενώ στη δεύτερη τα ορεινά δάση πεύκης (*Pinus* spp.) και ελάτης (*Abies* spp.).

## Η φωτιά στα Μεσογειακά οικοσυστήματα

Τα Μεσογειακά οικοσυστήματα έχουν εξελιχθεί σε άμεση σχέση με τη φωτιά. Οι ισχυρά εναλλασσόμενες ατμοσφαιρικές συνθήκες που χαρακτηρίζουν το Μεσογειακό κλίμα, δηλαδή υψηλές θερμοκρασίες που συνοδεύονται από εκτεταμένες περιόδους ανομβρίας, προκαλούν αποξήρανση της βλάστησης, καθιστώντας την ιδιαίτερα εύφλεκτη σ' όλη τη διάρκεια του καλοκαιριού. Οι πηγές που αναφέρουν τη δράση της φωτιάς ως ενός περιβαλλοντικού παράγοντα στις Μεσογειακού τύπου περιοχές (Μεσογειακή λεκάνη, Καλιφόρνια στο βόρειο ημισφαίριο, Χιλή, Ν. Αφρική και ΝΔ Αυστραλία στο νότιο) είναι πολλές.

Ιστορικά στοιχεία για τη δράση της φωτιάς υπάρχουν για όλες τις περιοχές όπου απαντούν τα Με-

σογειακά οικοσυστήματα. Για την Καλιφόρνια, οι σχετικές αναφορές εμφανίζουν ως πρώτα αίτια τους κεραυνούς και τις εκρήξεις των ηφαιστειών. Συχνά, γίνεται μνεία για τους Ινδιάνους που άναβαν φωτιές για να προετοιμάσουν το έδαφος για καλλιέργεια, έτσι ώστε να διευκολύνουν τις κυνηγετικές εξορμήσεις τους και τις μετακινήσεις τους. Στη Μεσογειακή λεκάνη αναφέρονται περιπτώσεις δράσης της φωτιάς από το τέλος της τελευταίας μεσοπαγετώδους περιόδου. Στην Ελλάδα, η παλαιότερη αρχαιολογική απόδειξη παρουσίας της φωτιάς ανάγεται στο τέλος της Μεσολιθικής εποχής και είναι ευρήματα στάχτης ξύλου στη σπηλιά Καστρίτσα, κοντά στη λίμνη Ιωαννίνων.

Συστηματικές μετρήσεις για τη συχνότητα δράσης της φωτιάς στο ίδιο σύστημα στην Ελλάδα δεν υπάρχουν. Εκτιμάται ότι αυτή αντιστοιχεί σε μεσοδιάστημα 30-40 χρόνων. Οι εκτάσεις που καίγονται κάθε χρόνο ποικίλλουν, ωστόσο είναι χαρακτηριστικό ότι το 90% της έκτασης που καίγεται ετησίως αντιστοιχεί σε Μεσογειακά οικοσυστήματα [24% σε πευκοδάση και 66% σε φρύγανα και μακί (*maquis*) για το διάστημα 1965-1990].

Το μεγαλύτερο ποσοστό πυρκαγιών, τόσο ως προς τον αριθμό όσο και ως προς την έκταση που καίγεται, αποδίδεται σε απροσεξία και σε άγνωστες αιτίες. Είναι προφανές ότι οι πυρκαγιές που συνέβαιναν στο μακρινό παρελθόν δεν μπορούν να αποδοθούν στα ίδια αίτια με αυτά που συμβαίνουν τώρα. Κεραυνοί και αστραπές προκαλούσαν τις περισσότερες από τις φωτιές που γνώρισαν τα οικοσυστήματα από την αρχή της εγκατάστασής τους στον πλανήτη.

Σήμερα πιστεύουμε ότι τόσο ο αριθμός όσο και η έκταση των καιομένων εκτάσεων σχετίζεται και με τις κοινωνικοοικονομικές συνθήκες μιας περιοχής. Η οικονομία της χώρας μας παλαιότερα στηριζόταν περισσότερο σε πρακτικές όπως η δασοκομία, η ρητινοσυλλογή ή η ξύλευση, και οι κοινωνικές δομές ήταν διαφορετικές από τις σημερινές. Οι άνθρωποι «περιποιούνταν» τα δάση και τις δασικές εκτάσεις περισσότερο, γιατί ζούσαν άμεσα από τους πόρους που τους προσέφεραν (ξύλο, ρετσίνι, μελισσοκομία). Σήμερα, πολλές δασικές εκτάσεις έχουν την «ατυχία» να γειτονεύουν - τουλάχιστον στην Αττική - με μεγάλα αστικά κέντρα και να υφίστανται την πίεση της μετατροπής τους σε χώρους δεύτερης κατοικίας, ή να βρίσκονται κοντά σε τουριστικές μονάδες και συγκροτήματα, οπότε κινδυνεύουν από την τουριστική τους «αξιοποίηση». Οι εκτάσεις με μακί (*maquis*) ή φρύγανα, θεωρούμενες κλασικά ως «χαμηλότερου» αισθητικού κάλλους, χρησιμοποιούνται πολύ συχνά και ως βοσκότοποι, με όλες τις παρεπόμενες συνέπειες (Moreira et al. 2011).

Ένας άλλος κίνδυνος που διατρέχουν αυτές οι θαμνώδεις περιοχές προκύπτει από τη μη θεώρησή τους ως δάση (που δεν είναι) ή δασικές εκτάσεις (που είναι) σύμφωνα με το ισχύον Σύνταγμα. Αυτό έχει ως συνέπεια την ισχυρή πιθανότητα αλλαγής χρήσης γης μετά από φωτιά, κάτι που εκμεταλλεύονται πολλοί, ιδιαίτερα όταν πρόκειται για διακατεχόμενες εκτάσεις.

## Πώς επηρεάζει η φωτιά τα φυσικά συστήματα;

### Έδαφος

Οι μεταβολές που προκαλεί η φωτιά στο έδαφος αμέσως μετά το πέρασμά της είναι πολλές. Αρχικά, η θερμοκρασία μεταβάλλεται σημαντικά στα ανώτερα στρώματα του εδάφους. Ωστόσο, μόνο μικρό ποσοστό της εκλυόμενης θερμότητας μεταδίδεται στα βαθύτερα στρώματα, όπου βρίσκονται και οι ρίζες των φυτών. Τόσο οι αναπτυσσόμενες θερμοκρασίες όσο και η διάρκεια διατήρησής τους σε υψηλά επίπεδα εξαρτώνται από την υφή του εδάφους και την περιεκτικότητά του σε νερό, και προσδιορίζουν, μαζί με την ποσότητα της καιόμενης ύλης, την ένταση της φωτιάς. Συνήθως, με τις υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται, προκαλείται απανθράκωση της οργανικής ύλης, μείωση του αερισμού και της διαβρεξιμότητας του εδάφους (Vallejo et al. 2006).

Μια από τις ενδεχόμενες έμμεσες επιπτώσεις της φωτιάς στο έδαφος είναι η διάβρωση. Η ένταση του φαινομένου εξαρτάται από τη συχνότητα της φωτιάς στην ίδια περιοχή, την κλίση και τη φύση του εδάφους, τα χαρακτηριστικά του κλίματος που επικρατεί στην περιοχή και τη διαχείριση που εφαρμόζεται στην καμένη περιοχή. Είναι προφανές ότι στα Μεσογειακά περιβάλλοντα, που χαρακτηρίζονται από έντονες κλίσεις και συνήθως ραγδαίες φθινοπωρινές βροχοπτώσεις, η πιθανότητα διάβρωσης είναι μεγάλη. Ωστόσο, ο κίνδυνος μειώνεται με την ταχύτερη αποκατάσταση της βλάστησης, αν δεν επακολουθήσει μία δεύτερη διαταραχή σε σύντομο χρονικό διάστημα.

### Φυτά

Έχοντας υποστεί την επανειλημμένη δράση της φωτιάς στην πορεία της εξέλιξής τους, τα φυτικά είδη των Μεσογειακών περιβαλλόντων έχουν αναπτύξει ειδικές προσαρμογές αντιμετώπισης της δράσης της, εξασφαλίζοντας την παρουσία τους στο χώρο και στο χρόνο. Τα φυτά διαθέτουν δύο βασικούς μηχανισμούς απόκρισης στη δράση της φωτιάς: α) βλαστητική αναγέννηση (resprouting) του ίδιου καμένου ατόμου και β) εγκατάσταση νέων ατόμων μετά τη φύτευση σπερμάτων (Whelan 1995, Bond and van Wilgen 1996, Arianoutsou 1999). Η

γνώση των μηχανισμών των φυτικών ειδών που απαντούν σε ένα δασικό οικοσύστημα ή σε ένα θαμνώνα είναι ιδιαίτερα σημαντική για την αξιολόγηση της δυνατότητας φυσικής αναγέννησης και, επίσης, για το σχεδιασμό των εναλλακτικών σεναρίων της μεταπυρικής διαχείρισης.

Τα είδη των πυρογενών περιβαλλόντων που δεν διαθέτουν ειδικούς μηχανισμούς αναγέννησης μετά τη φωτιά είναι ελάχιστα. Στις περιπτώσεις αυτές, η ανάκαμψη των πληθυσμών τους εξασφαλίζεται με αποίκηση από γειτονικές άκαυτες περιοχές, σε χρόνους που εξαρτώνται από τη διαθεσιμότητα των άκαυτων περιοχών και τις ιδιότητες των φυτών. Τυπικά παραδείγματα αυτών είναι το θυμάρι (*Coridothymus capitatus*) και η άρκευθος (*Juniperus phoenicea*).

Η αναβλάστηση είναι μια ιδιότητα που τη συναντάμε σε πολλά δικοτυλήδονα φυτά (Pausas and Keeley 2009). Τα αναβλαστήματα εμφανίζονται συνήθως στο ανώτερο τμήμα της ρίζας, από οφθαλμούς που παραμένουν άθικτοι και ανεπηρέαστοι από τη φωτιά, καλυμμένοι από το προστατευτικό στρώμα του εδάφους. Αναβλάστηση εμφανίζουν και τα φυτά που διαθέτουν ξυλοκόκδυλους, όπως η γαλαστοιβή (*Eurphorbia acanthothamnus*), τα ρείκια (*Erica arborea*, *E. australis*, *E. multiflora*), ή υπόγειους βολβούς, όπως τα κυκλάμινα (*Cyclamen* spp.), ο βολβός (*Muscari comosum*), η σκυλοκρεμμύδα (*Urginea maritima*) και οι κρόκοι (*Crocus* spp.).



Φωτογραφία 1. Αναβλάστηση σκυλοκρεμμύδας (*Urginea maritima*).

Η αναβλάστηση είναι μια διαδικασία η οποία, γενικά, προχωρά απρόσκοπτα, καθώς οι νέοι βλαστοί υποστηρίζονται από την άθικτη υπόγεια ζώσα βιομάζα. Τα αναβλαστήματα ωριμάζουν σύντομα, παράγοντας άνθη και καρπούς από ένα (π.χ. βολβόφυτα) έως και λίγα χρόνια μετά τη φωτιά. Όλα τα θαμνώδη είδη των μακί (*maquis*), π.χ. πουρνάρι (*Quercus coccifera*), σχίνος (*Pistacia lentiscus*) και κουμαριές (*Arbutus* spp.), και τα περισσότερα θαμνώδη είδη των φρυγάνων, π.χ. αστοιβή (*Sar-*

*copoterium spinosum*), γαλαστοιβή (*Euphorbia acanthothamnus*) και αφάνα (*Genista acanthocladia*), είναι αναβλαστώντα είδη.



**Φωτογραφία 2.** Αναβλάστηση πουρνναριού (*Quercus coccoloba*).

Τα είδη που διαθέτουν την αναβλάστηση ως το μοναδικό μηχανισμό απόκρισης απέναντι στη φωτιά ονομάζονται *υποχρεωτικώς αναβλαστώντα* είδη (*obligatory resprouters*). Ως *προαιρετικώς αναβλαστώντα* είδη θεωρούνται αυτά που πρωταρχικά αναγεννώνται με φύτευση σπερμάτων, αλλά μπορούν και να αναβλαστήσουν, π.χ. τα είδη *Sarcopoterium spinosum* και *Erica* spp. Τα είδη των οικοσυστημάτων με αειφύλλα σκληρόφυλλα (μακί) αναγεννώνται σχεδόν αμέσως μετά τη φωτιά, ενώ των φρυγάνων μπορεί και να περιμένουν τις πρώτες φθινοπωρινές βροχές. Η διαφορά έχει αποδοθεί στο διαφορετικό βάθος των ριζικών τους συστημάτων (Arianoutsou 1999). Σε κάθε περίπτωση, η αναβλάστηση μπορεί να συμβεί μόνον εφόσον υπάρχουν επαρκή αποθέματα υδατανθράκων στις ρίζες, στους ξυλοκόνδυλους ή στους βολβούς των φυτών, ώστε να υποστηρίξουν την εμφάνιση των νέων αυτών βλαστητικών δομών (Jones and Laude 1960).

Η δεύτερη προσαρμοστική στρατηγική των μεσογειακών φυτών απέναντι στη φωτιά είναι η φύτευση σπερμάτων. Τα πεύκα της θερμομεσογει-



**Φωτογραφία 3.** Φύτευση σπέρματος χαλεπίου πεύκης (*Pinus halepensis*).

ακής ζώνης (π.χ. *Pinus halepensis* και *Pinus brutia*), τα περισσότερα είδη λαδανιάς (*Cistus* spp.) και πολλά ποώδη ψυχανθή (υπο-οικογένεια Papilionidae), είναι *υποχρεωτικώς σπερμοαναγεννώμενα* είδη (*obligatory seeders*).



**Φωτογραφία 4.** Φύτευση σπερμάτων λαδανιάς (*Cistus creticus*) και ψυχανθών (*Fabaceae*).

Τα αρτίβλαστα εμφανίζονται μετά τις πρώτες βροχές του φθινοπώρου από τα σπέρματα, τα οποία είτε είχαν διασπαρεί πριν τη φωτιά, παραμένοντας ληθαργικά στο έδαφος, σχηματίζοντας μόνιμες εδαφικές τράπεζες σπερμάτων, είτε διασπείρονται μετά τη φωτιά, από επίγεια τράπεζα σπερμάτων στην οποία παρέμειναν προστατευμένα, όπως στους κώνους των πεύκων της θερμομεσογειακής ζώνης. Ο λήθαργος των σκληροπεριβληματικών σπερμάτων που συγκροτούν τις μόνιμες εδαφικές τράπεζες αίρεται είτε με θερμικό ερέθισμα (Keeley and Fotheringham 2000, Ferrandis et al. 2001, Papavassiliou and Arianoutsou 1993, Doussi and Thanos 1994), είτε λόγω των υψηλών συγκεντρώσεων των νιτρικών ιόντων (Thanos and Rundel 1995, Pérez-Fernández and Rodríguez-Echeverría 2003), που αφθονούν στα καμένα εδάφη (Arianoutsou-Faraggitaki and Margaritis 1982), είτε με την αλλαγή που προκαλείται εξαιτίας της απομάκρυνσης της κόμης των φυτών στην ποιότητα του φωτός που φτάνει στο έδαφος, επηρεάζοντας τη φύτευση των σπερμάτων (κόκκινο/σκοτεινό κόκκινο μήκος κύματος) (Roy and Arianoutsou-Faraggitaki 1985) ή υπό την επίδραση του καπνού της φωτιάς (Dixon et al. 1995, Pérez-Fernández and Rodríguez-Echeverría 2003).

Ορισμένα είδη των Μεσογειακών πεύκων διατηρούν τα σπέρματά τους σε κώνους που παραμένουν κλειστοί σχηματίζοντας επίγεια τράπεζα σπερμάτων. Τα πεύκα αυτά εμφανίζουν βραδύχωρη διασπορά σπερμάτων (*serotinous pines*). Οι υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στην κόμη των δένδρων, κατά τη διάρκεια της φωτιάς, αποξηραίνουν τους κώνους και η ρητίνη που διατηρεί τα λέπια των κώνων κλειστά λιώνει, επιτρέποντας τη διασπορά των σπερμάτων (Leone et al.

1999, Thanos and Daskalaku 2000, Ne'eman et al. 2004). Η φύτευση των σπερμάτων γίνεται το φθινόπωρο, μετά τις πρώτες βροχές, αφού επιτευχθεί η διάβρεξή τους. Ο αριθμός των εμφανιζόμενων αρτιβλάστων είναι ιδιαίτερα υψηλός, ωστόσο, μετά την πρώτη περίοδο ξηρασίας καταγράφεται μεγάλη θνησιμότητα (Arianoutsou and Margaritis 1981, Papavassiliou and Arianoutsou 1993, Daskalaku and Thanos 2004). Τυπικά παραδείγματα βραδύχωρης διασποράς σπερμάτων εμφανίζουν τα είδη *Pinus halepensis* (χαλέπιος πεύκη) και *Pinus brutia* (τραχεία πεύκη).

Οι οικολογικές επιπτώσεις της φωτιάς καθορίζονται από το καθεστώς της, δηλαδή τη συνδυασμένη δράση της συχνότητας, της έντασης, της εποχής και του μεγέθους της (Gill and Bradstock 2003). Από αυτά, η συχνότητα και η ένταση είναι οι κρίσιμότερες παράμετροι που καθορίζουν τις αποκρίσεις των φυτικών ειδών. Προκειμένου να εκτιμήσουμε τη δυνατότητα μακρόχρονης επιβίωσης των φυτών, είναι σημαντικό να γνωρίζουμε όχι μόνον τις προσαρμοστικές στρατηγικές τους απέναντι σε ένα κανονικό καθεστώς φωτιάς, αλλά και πώς αυτά επηρεάζονται από ένα τροποποιημένο καθεστώς, π.χ. συχνότερες φωτιές με μικρότερο μεσοδιάστημα μεταξύ τους. Η ικανότητα των ειδών να αποκρίνονται στη φωτιά είναι συνάρτηση του μεσοδιαστήματος που μεσολαβεί μεταξύ δύο διαδοχικών περιστατικών, δεδομένου ότι κάθε είδος απαιτεί συγκεκριμένο χρόνο προκειμένου να αναπληρώσει είτε τα αποθέματα υδατανθράκων του - αν αναγεννάται βλαστικά - είτε το αναπαραγωγικό του δυναμικό - αν αναγεννάται με φύτευση σπερμάτων (Arianoutsou 1998). Ο χρόνος αυτός ποικίλλει, μεταξύ του ενός έτους, όπως είναι στα ποώδη ψυχανθή, μέχρι 6-8 έτη, όπως στα πεύκα, τα οποία φθάνουν στην αναπαραγωγική τους ηλικία μόλις σε αυτήν την ηλικία. Εάν συμβεί ένα δεύτερο περιστατικό φωτιάς πριν την αναπαραγωγική ωρίμανση των σπερμοαναγεννώμενων φυτών, τότε αναμένονται δραματικές αλλαγές στη σύνθεση της χλωρίδας και στη δομή της βλάστησης (Arianoutsou et al. 2002, 2011, Goudelis et al. 2008). Το ίδιο ισχύει και για τα είδη που αναβλαστάνουν, για τα οποία απαιτείται χρόνος αναπλήρωσης των αποθεμάτων υδατανθράκων τους. Ωστόσο, κάποια είδη έχουν ιδιαίτερα υψηλή ικανότητα αναβλάστησης, ανεξάρτητα από τη συχνότητα της φωτιάς. Το πουνράρι (*Quercus coccifera*) είναι μια τέτοια χαρακτηριστική περίπτωση (Trabaud 1991a, Delitti et al. 2005).

Η ένταση της φωτιάς είναι η άλλη κρίσιμη παράμετρος του καθεστώτος της. Επηρεάζει την πορεία της αναγέννησης αλλά, ενδεχομένως, και τη δυνατότητα φύτευσης των σπερμάτων. Οι έντονες φωτιές μπορεί να καταστρέψουν τα όργανα

αναβλάστησης των φυτών, αν και αυτό δεν έχει τεκμηριωθεί επιστημονικά. Αντίθετα, έχει βρεθεί πως η φύτευση των σπερμάτων αρκετών ειδών προωθείται από την σχετικά υψηλή θερμοκρασία που μπορεί να αναπτυχθεί κατά τη διάρκεια της φωτιάς (π.χ. Arianoutsou and Margaritis 1981, Thanos and Georgiou 1988, Doussi and Thanos 1994, Keeley and Bond 1997).

Το διάστημα για να αρχίσουν και να ολοκληρωθούν οι κρίσιμες αυτές φάσεις στην ανάκαμψη του οικοσυστήματος είναι περίπου δύο χρόνια. Στο διάστημα αυτό τα φυτά που αναγεννώνται παρουσιάζουν ιδιαίτερα ενεργοποιημένους ρυθμούς αύξησης, εκμεταλλευόμενα τον ανοιχτό χώρο και αξιοποιώντας την αυξημένη διαθεσιμότητα των θρεπτικών ιόντων που βρίσκονται στη στάχτη. Αν στο διάστημα αυτό δεν συμβεί καμιά δευτερογενής παρέμβαση, οι φυτοκοινότητες θα επανέλθουν στην προ-πυρική κατάσταση. Ο απαιτούμενος χρόνος επανάκαμψης και αποκατάστασης των φυτοκοινοτήτων των Μεσογειακών οικοσυστημάτων κυμαίνεται από λίγα χρόνια για τους θαμνώνες (φρύγανα και μακί) έως τρεις με τέσσερις δεκαετίες για τα πευκοδάση (Arianoutsou 1998, Zagas et al. 2004). Σε κάθε, πάντως, περίπτωση, η πορεία της αναγέννησης και ανάκαμψής τους δεν ακολουθεί το τυπικό πρότυπο της διαδοχής διαφορετικών ομάδων φυτών από τα αρχικά έως και τα τελικά στάδια, αλλά το πρότυπο της λεγόμενης «αυτοδιαδοχής» (Hanes 1971), σύμφωνα με το οποίο η πλειονότητα των ειδών που συνθέτουν τις φυτοκοινότητες των τελικών σταδίων αναγεννώνται αμέσως μετά τη φωτιά, συμμετέχοντας στη σύνθεση των φυτοκοινοτήτων καθ' όλη την πορεία της μεταπυρικής αναγέννησής τους. Κατά συνέπεια, η δυναμική της βλάστησης είναι κυρίως αποτέλεσμα των διαδοχικών μεταβολών στην αφθονία και την κάλυψη των ειδών αυτών. Υπάρχουν ομάδες φυτών, όπως τα ετήσια ψυχανθή, που παρουσιάζουν υψηλή αφθονία και κάλυψη κατά τα πρώτα μεταπυρικά έτη (Παπαβασιλείου 2001), αφού η φύτευσή τους ευνοείται από τη δράση της φωτιάς, και των οποίων η συμμετοχή στη δομή των φυτοκοινοτήτων περιορίζεται στη συνέχεια, ενώ η ομάδα των ξυλωδών αναρριχώμενων ειδών [π.χ. ο αρκουδόβατος (*Smilax aspera*)] παρουσιάζει το αντίθετο πρότυπο, με παρουσία από το πρώτο μεταπυρικό έτος, αλλά μέγιστη αφθονία και κάλυψη στα τελικά στάδια (Καζάνης 2005).

Αν, για κάποιο λόγο, οι μηχανισμοί επανάκαμψης «μπλοκαριστούν», το πρότυπο της αυτοδιαδοχής παύει να ισχύει και προκύπτει υποβάθμιση των οικοσυστημάτων λόγω υπο-εκπροσώπησης κάποιων φυτικών ομάδων, λόγω αδυναμίας ή ανεπαρκούς αναγέννησης (Kazanis and Arianoutsou 2004b). Στην Ελλάδα, δυστυχώς, λείπει η σοβα-

ρή πολιτική διαχείρισης των καμένων εκτάσεων. Έτσι, πολύ συχνά, η φυσική πορεία αναγέννησης των Μεσογειακών οικοσυστημάτων ανακόπτεται από την ξύλευση και την ανεξέλεγκτη βόσκηση που γίνονται στα πρώτα κρίσιμα στάδια της μεταπυρικής αναγέννησης, με αποτέλεσμα την ανασχεση της πορείας επανάκαμψης. Δεν είναι υπερβολή να πούμε ότι δεν είναι η φωτιά που προκαλεί υποβάθμιση στα χερσαία οικοσυστήματα της χώρας μας, αλλά η ανυπαρξία σωστής μεταπυρικής διαχείρισής τους.

### **Ζωά**

Η επίδραση της φωτιάς στην πανίδα των οικοσυστημάτων της Ελλάδας δεν είναι μελετημένη το ίδιο διεξοδικά όσο η επίδραση στη χλωρίδα και τη βλάστηση. Ωστόσο, από τις μέχρι τώρα διαθέσιμες δημοσιευμένες εργασίες (Sgardelis and Margaris 1983, Sgardelis et al. 1995, Radea and Arianoutsou 2000, Radea et al. 2011) προκύπτουν τα εξής:

Η φωτιά προκαλεί μείωση των πυκνοτήτων των πληθυσμών της εδαφικής πανίδας, η οποία, όμως, επανέρχεται σύντομα στα προ της φωτιάς επίπεδα. Η μείωση αυτή σχετίζεται με την απώλεια της τροφής αλλά και την τροποποίηση του ενδιαίτηματος αρκετών ομάδων. Ωστόσο, επειδή σημαντικός αριθμός ειδών της εδαφικής πανίδας κατά την περίοδο του θέρους έχει μεταναστεύσει σε βαθύτερα στρώματα εδάφους, προς αναζήτηση καλύτερων συνθηκών υγρασίας, η επίδραση αυτή μετριάζεται.

Για μεγάλο χρονικό διάστημα, η αναγέννηση της φυτοκοινότητας και η πορεία ανάκαμψης της δομής και της παραγωγικότητάς της επηρεάζουν το μέγεθος των πληθυσμών, την επιβίωση και αναπαραγωγή των περισσότερων ομάδων της εδαφικής πανίδας, αλλά και άλλων ομάδων ζώων, π.χ. της ορνιθοπανίδας, όπως διαπιστώνουμε από μελέτες που έχουν γίνει σε παρόμοια με τα ελληνικά οικοσυστήματα (π.χ. Pons et al. 2000).

### **Εδαφικές λειτουργίες**

Οι φυσικοχημικές μεταβολές που συμβαίνουν στο έδαφος (π.χ. στη δομή, την οξύτητα και το οργανικό περιεχόμενο) επηρεάζουν, προφανώς, και τους μικροοργανισμούς, οι οποίοι επιτελούν τις εδαφικές λειτουργίες που σχετίζονται με την αποικοδόμηση και την ανοργανοποίηση των βιολογικών δομών.

Η αύξηση του pH του εδάφους που συνήθως ακολουθεί τη φωτιά ευνοεί την ανάπτυξη των βακτηριακών πληθυσμών, ενώ για μικρό χρονικό διάστημα οι πληθυσμοί των μυκήτων εμφανίζονται μειωμένοι (Arianoutsou and Margaris 1982). Ιδιαίτερα ευνοημένα φαίνονται τα νιτροποιητικά βακτήρια, εκείνα δηλαδή που συμμετέχουν στον

κύκλο του αζώτου και συγκεκριμένα στις μετατροπές των αμμωνιακών και νιτρικών ιόντων σε νιτρικά, που τελικά προσλαμβάνουν τα φυτά κατά τη θρέψη τους. Το γεγονός αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό, μιας και η παραγωγή νιτρικών ιόντων, που χρειάζονται τα φυτά για την ανάπτυξή τους, είναι - μέσα από αυτήν τη διαδικασία - ταχύτερη (Arianoutsou and Margaris 1982). Η λειτουργία της αποικοδόμησης έχει βρεθεί πως παραμένει ανεπηρέαστη από τη δράση της φωτιάς, ακολουθώντας το ίδιο πρότυπο τόσο σε άκαυτες όσο και σε καμένες περιοχές Μεσογειακών οικοσυστημάτων (Arianoutsou and Margaris 1982, Radea and Arianoutsou 2000, 2004).

### **Νέα πρότυπα εκδήλωσης πυρκαγιών ως συνέπεια της κλιματικής αλλαγής**

Το κλίμα έχει σαφή επίδραση στα πρότυπα (καθεστώς - regime) των δασικών πυρκαγιών (Pausas et al. 2004a). Κατά συνέπεια, εάν οι προβλέψεις για την κλιματική αλλαγή (IPCC 2007) επιβεβαιωθούν μέσα στα επόμενα 100 χρόνια, πρέπει να αναμένουμε τροποποίηση του καθεστώτος της φωτιάς, που με τη σειρά της αναμένεται να έχει σημαντικές επιπτώσεις στα φυσικά οικοσυστήματα και στην ικανότητα επανισορόπησής τους απέναντι στη φωτιά (resilience). Σύμφωνα με τις αναλύσεις των Liu et al. (2010), οι τάσεις εκδήλωσης πυρκαγιών σε παγκόσμια κλίμακα αναμένεται να αυξηθούν στη Βόρεια και Νότια Αμερική, στην κεντρική Ασία, στη νότια Ευρώπη, στη δυτική Αφρική και στην Αυστραλία. Οι σοβαρότερες μεταβολές αναμένονται στη νότια Ευρώπη.

Εάν η φωτιά συμβεί εκτός του «κανονικού» παράθυρου χρόνου για τα οικοσυστήματα, θα ασκηθεί πίεση προς την επικράτηση αυτών των ειδών που μπορούν να αποκριθούν εντός του συγκεκριμένου παράθυρου χρόνου, περιορίζοντας αυτά τα οποία δεν μπορούν να ακολουθήσουν (Flannigan et al. 2000). Για την πρόβλεψη των τάσεων υποχώρησης και επικράτησης των διαφόρων ειδών, χρήσιμο εργαλείο μπορεί να αποδειχθεί το σχήμα των «ζωτικών παραμέτρων» (vital attributes) που αναπτύχθηκε από τους Noble και Slatyer (1980) και επί του οποίου στηρίχτηκε η διάκριση των ειδών σε λειτουργικές ομάδες με διαφορετικό βαθμό ευαισθησίας στα ποικίλα καθεστώτα φωτιάς (Pausas 1999, Arianoutsou 1999, Lloret and Vilà 2003, Arianoutsou 2004, Pausas et al. 2004, Kazanis and Arianoutsou 2004a, Arianoutsou et al. 2011). Οι πλέον ευαίσθητες λειτουργικές ομάδες είναι αυτές των οποίων τα εγκατεστημένα άτομα (νεαρά και ώριμα) είναι ευάλωτα στη φωτιά, δηλαδή δεν έχουν ικανότητα βλαστητικής αναγέννησης, ή τα αποθέματα των τραπεζών σπερμάτων τους εξαντλούνται από τη φωτιά.

## Η φωτιά στα ορεινά δασικά οικοσυστήματα

Όπως προκύπτει από όσα αναφέρονται παραπάνω, η σχέση των Μεσογειακών οικοσυστημάτων με τη φωτιά αποτέλεσε αντικείμενο διεξοδικών ερευνών και μελετών. Αντιθέτως, στην περίπτωση των δασών κωνοφόρων και φυλλοβόλων ειδών που εξαπλώνονται σε περιοχές μεγαλύτερου υψομέτρου της ορεινής ζώνης της Ελλάδας, αλλά και άλλων Μεσογειακών χωρών, οι διαθέσιμες πληροφορίες είναι περιορισμένες, δεδομένου ότι τα περιστατικά πυρκαγιάς ήταν, μέχρι το πρόσφατο παρελθόν, σπανιότερα και μικρότερης έκτασης. Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια, πιθανότατα λόγω και της κλιματικής αλλαγής αλλά και της αλλαγής στους τρόπους χρήσεις γης (Piñol et al. 1998, Pausas 2004), έχει διαπιστωθεί αύξηση των περιστατικών φωτιάς στα υγρότερα και ψυχρότερα περιβάλλοντα των ορεινών δασικών οικοσυστημάτων, που συγκροτούνται από είδη που δεν είναι προσαρμοσμένα στην περιοδική δράση της φωτιάς (Ordóñez et al. 2006, Arianoutsou et al. 2010, Αριανούτσου κ.ά.-υπό έκδοση). Ενδεικτικές για την Ελλάδα είναι οι πυρκαγιές της θερινής περιόδου του έτους 2007, όταν αποτεφρώθηκαν συνολικά 1.962 τετραγωνικά χιλιόμετρα δασών και δασικών εκτάσεων (JRC 2008), εκ των οποίων ένα σημαντικό ποσοστό αφορά σε αποτεφρωμένα ορεινά δάση κωνοφόρων και φυλλοβόλων (Ευβοία, Αττική, Πιερία, Πελοπόννησος, Ήπειρος).



**Φωτογραφία 5.** Καμένες δασικές εκτάσεις μαύρης πεύκης (*Pinus nigra*) στον Ταύγετο.

### Είναι τα ορεινά δάση φυλλοβόλων προσαρμοσμένα στη φωτιά;

Καταγράφοντας τη μεταπυρική αναγέννηση των φυτοκοινοτήτων δασών βελανιδιάς στην ορεινή Αρκαδία, το βασικό συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι τόσο τα κυρίαρχα είδη, όσο και η πλειονότητα των ειδών του υπορόφου, παρουσιάζουν

ικανοποιητική αναγέννηση μετά τη δράση της φωτιάς (Αριανούτσου κ.ά.-υπό έκδοση). Όσον αφορά στα κυρίαρχα δασικά είδη, οι βελανιδιές αναγεννώνται αναβλαστάνοντας από οφθαλμούς που βρίσκονται επί του κορμού (επικορμικά) ή στο ανώτερο μέρος των ριζών, ενώ καταγράφεται και περιορισμένη φύτευση σπυριών. Ο βαθμός και ο τύπος αναγέννησης φαίνεται να σχετίζεται με την κατά τόπους ένταση της φωτιάς και τα χαρακτηριστικά της κάθε θέσης. Όσον αφορά στα είδη του υπορόφου, η πλειονότητα αναγεννάται μετά από φύτευση σπυριών. Για ένα σημαντικό αριθμό ειδών (κυρίως μονοετείς πόες), τα σπέρματα αυτά δεν φαίνεται να προκύπτουν από μόνιμη εδαφική τράπεζα (δεν είναι σκληροπεριβληματικά), αλλά έχουν διασπαρεί από γειτονικές, άκαυτες θέσεις.

### Είναι τα ορεινά δάση κωνοφόρων προσαρμοσμένα στη φωτιά;

Οι κύριοι τύποι ορεινών δασών κωνοφόρων που κάηκαν κατά τις μεγάλης κλίμακας δασικές πυρκαγιές των τελευταίων ετών, ιδιαίτερα το 2007, ήταν δάση μαύρης πεύκης (*Pinus nigra*) και Κεφαλληνιακής ελάτης (*Abies cephalonica*), ενός ελληνικού ενδημικού είδους δένδρου. Στα ορεινά δάση κωνοφόρων κατά κανόνα τα συνήθη περιστατικά φωτιάς λαμβάνουν χώρα ως συνέπεια της δράσης κεραυνών κατά τις θερινές ξηρές καταιγίδες. Ως αποτέλεσμα, δεδομένων των συνθηκών που επικρατούν στη στρωμνή αλλά και στα ίδια τα δένδρα αυτών των συστημάτων, που είναι περισσότερο υγρά, η φωτιά δεν μεταδίδεται εύκολα. Έτσι, καίγονται λιγοστά δένδρα δημιουργώντας ένα διάκενο στη δασική βλάστηση, στο οποίο, στην πορεία του χρόνου, εγκαθίστανται νεαρά άτομα μαύρης πεύκης ή ελάτης από σπέρματα που παρήγαγαν γειτονικά, άκαυτα δένδρα (Fyllas et al. 2010). Επιπροσθέτως, ο κορμός της μαύρης πεύκης διαθέτει παχύ φλοιό, ο οποίος προστατεύει το δένδρο σε περιπτώσεις περιστατικών έρπουσας φωτιάς (Fulé et al. 2008).

Σε περιπτώσεις περιστατικών δασικών πυρκαγιών μεγάλης έκτασης, όπως αυτή του 2007, τα επιστημονικά δεδομένα από μελέτες στον ελληνικό χώρο (Αριανούτσου et al. 2010, Αριανούτσου κ.ά.-υπό έκδοση,) αλλά και αντίστοιχες στην Ευρώπη (Retana et al. 2002, Ordóñez et al. 2006) συνηγορούν στο ότι η αναγέννηση της μαύρης πεύκης εξαρτάται άμεσα από τη διαθεσιμότητα άκαυτων νησίδων που διαθέτουν ενήλικα, αναπαραγωγικά ώριμα άτομα, που συνεισφέρουν στον αποικισμό των καμένων εκτάσεων μέσω της διασποράς σπυριών. Είναι χαρακτηριστικό το γεγονός της ανεύρεσης των περισσότερων αρτιβλάστων και νεαρών

ατόμων μαύρης πεύκης σε μικρή απόσταση από άκαυτους πυρήνες. Παράλληλα, η εγκατάσταση των αρτιβλάστων φαίνεται να ευνοείται από ορισμένα χαρακτηριστικά των διαθέσιμων μικροθέσεων και μικροενδιαιτημάτων. Σε επίπεδο φυτοκοινότητας, η μεταπυρική αναγέννηση είναι ικανοποιητική για τα περισσότερα είδη του υπορόφου. Όπως και στην περίπτωση των δασών βελανιδιάς, η πλειονότητα των ειδών που καταγράφονται στον υπόροφο κατά τα πρώτα μεταπυρικά έτη αναγεννήθηκε μετά από φύτευση σπερμάτων.

Όσον αφορά στην Κεφαλληνιακή ελάτη, συστηματικές δειγματοληψίες στα καμένα ελατοδάση του Εθνικού Δρυμού Πάρνηθας και στον ορεινό όγκο του Ταΰγετου αποδεικνύουν την πρακτικά μηδενική αναγέννηση της Κεφαλληνιακής ελάτης και αναδεικνύουν τη σημαντική συνεισφορά άκαυτων πυρήνων στη μελλοντική επανάκαμψη του οικοσυστήματος, μέσω της διασποράς των σπερμάτων (Χριστοπούλου κ.ά. 2008, Arianoutsou et al. 2009). Κατά συνέπεια, η διατήρηση των άκαυτων νησίδων κρίνεται απαραίτητη. Σε επίπεδο φυτοκοινότητας, η μεταπυρική αναγέννηση είναι ικανοποιητική για τα περισσότερα είδη του υπορόφου. Χαρακτηριστικότερη περίπτωση είδους του υπορόφου με αδυναμία μεταπυρικής αναγέννησης αποτελεί η άρκευθος (*Juniperus oxycedrus*), είδος που σε ορισμένες θέσεις αποτελεί κυρίαρχη συνιστώσα του υπορόφου, το οποίο καταγράφηκε να εγκαθίσταται τρία χρόνια μετά τη φωτιά από φύτευση σπερμάτων που διεσπάρησαν από τις άκαυτες συστάδες.

## Μεταπυρική διαχείριση

### Η περίπτωση των θερμόβιων Μεσογειακών οικοσυστημάτων

Τα Ελληνικά φυσικά Μεσογειακά οικοσυστήματα είναι προσαρμοσμένα να αντιμετωπίζουν τη φωτιά. Η φωτιά είναι, όμως, ταυτόχρονα, και μία μορφή καταστροφής. Ωστόσο, επειδή υπό «κανονικές» συνθήκες μια Μεσογειακή περιοχή μπορεί να καεί χωρίς μακροπρόθεσμα να υποστεί υποβάθμιση ως προς την ποικιλότητα των ειδών της, τη δομή των κοινοτήτων της και τη γονιμότητα των εδαφών της, με μια περιοδικότητα 40 χρόνων περίπου, η φωτιά αυτή καθαυτή δεν είναι καταστροφή, αλλά κυκλική διαταραχή.

Τα επιστημονικά δεδομένα μάς υποδεικνύουν ότι στις περισσότερες περιπτώσεις η καλύτερη τακτική είναι να αφήσουμε το οικοσύστημα να ενεργοποιήσει τους μηχανισμούς του για να αντιμετωπίσει τη διαταραχή. Ωστόσο, το γεγονός ότι τα Με-



Φωτογραφία 6. Αναγέννηση χαλεπιού πεύκης (*Pinus halepensis*).

σογειακά οικοσυστήματα διαθέτουν προσαρμοστικούς μηχανισμούς αποτελεσματικής απόκρισης στη φωτιά δεν σημαίνει ότι οι μηχανισμοί αυτοί ενεργοποιούνται ανεξάρτητα της μεταπυρικής διαχειριστικής πολιτικής που θα εφαρμοστεί. Τα πρώτα στάδια της μεταπυρικής διαδοχής είναι ιδιαίτερα εύθραυστα και κρίσιμα για την επιτυχημένη επανάκαμψη του οικοσυστήματος. Για να μπορέσει το οικοσύστημα να αρχίσει και να ολοκληρώσει μόνο του με επιτυχία τη φυσική πορεία επανάκαμψης μετά τη φωτιά, πρέπει να αφαιρεθεί χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση, που σχετίζεται συνήθως με την ξύλευση και απομάκρυνση της καμένης βιομάζας, τις αναδασώσεις, τη βοσκή ή την αλλαγή χρήσης γης.

Η ξύλευση στα καμένα πευκοδάση γίνεται, στις περισσότερες των περιπτώσεων, με μηχανικά μέσα και κατά τη διάρκεια του πρώτου και δεύτερου χρόνου μετά τη φωτιά, όταν τα αναβλαστήματα και τα αρτίβλαστα είναι ακόμη ιδιαίτερα ευάλωτα. Το αποτέλεσμα είναι, να μην να γίνεται εκμετάλλευση των καμένων κορμών, αλλά να καταστρέφονται οι δομές που θα εξασφάλιζαν τη συνέχιση της ύπαρξης του δάσους.

Οι αναδασώσεις, από την άλλη, δεν λύνουν κανένα πρόβλημα, για πολλούς λόγους. Συνήθως χρησιμοποιούνται είδη ξενικά προς την περιοχή, τα οποία διαταράσσουν τη φυσική ισορροπία που υπάρχει μεταξύ των διαφόρων οργανισμών, με μοιραίο επακόλουθο σε πολλές περιπτώσεις τις εκρήξεις εντόμων ή την εξαφάνιση ειδών του υπορόφου από το δασικό οικοσύστημα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η «αναδάσωση» του Υμηττού με τραχεία πεύκη ή κουκουναριά (*Pinus pinea*), τα οποία είναι μεν ελληνικά είδη, αλλά βρίσκονται εκτός των ορίων φυσικής εξάπλωσής τους. Ακόμη χειρότερη είναι η αναδάσωση που συντελείται με είδη ξενικά όπως ο ευκάλυπτος, το κυπαρίσσι της Αριζόνας, οι ακακίες ή ακόμη και οι φραγκοσυκιές. Τα τελευταία έχουν καταγραφεί σε αναδασώσεις στο Πεντελικό όρος!



Η παρουσία των ειδών αυτών σε θέσεις εκτός των φυσικών ορίων εξάπλωσής τους προκαλεί τροποποίηση της βιοποικιλότητας της περιοχής, πιθανότατα ανταγωνισμό με τα ιθαγενή είδη και πολύ συχνά αλλαγή της φυσικής όψης του τοπίου.

Αν και τυπικά απαγορεύεται από το νόμο, πολλές φορές έντονη βόσκηση ακολουθεί την εμφάνιση της φωτιάς. Τα νεαρά αναβλαστήματα και τα αρτίβλαστα - και ανάμεσά τους κυρίως τα ψυχανθή - είναι ιδιαίτερα πλούσια σε θρεπτικά συστατικά και κυρίως άζωτο. Έτσι, θεωρούνται εξαιρετικές ζωοτροφές. Η εκμετάλλευση του γεγονότος αυτού από τους βοσκούς είναι μία πραγματικότητα την οποία δεν μπορούμε να αγνοήσουμε. Η βόσκηση, όμως, στα κρίσιμα στάδια της έναρξης της μεταπυρικής διαδοχής είναι καταστρεπτική, γιατί ανακόπτει την πορεία φυσικής αναγέννησης των οργανισμών, προκαλείται συμπίεση του εδάφους, απομακρύνεται ζωτικής σημασίας οργανική ουσία, το έδαφος διαβρώνεται και το οικοσύστημα καταρρέει.

Αξίζει να τονιστεί ότι οι επαναλαμβανόμενες πυρκαγιές σε συνδυασμό με την έντονη βόσκηση είναι από τα σοβαρότερα περιβαλλοντικά προβλήματα που αντιμετωπίζει η Ελλάδα, και συχνά οδηγεί σε υποβάθμιση του τοπίου και ερημοποίηση. Αντίθετα, η φωτιά από μόνη της δεν είναι απειλή για τα Μεσογειακά οικοσυστήματα και ο άνθρωπος δεν θα μπορέσει να αποτρέψει την εμφάνισή της σε τακτά χρονικά διαστήματα, όποια μέτρα πρόληψης και να λάβει. Ένας διαφορετικός τρόπος αντιμετώπισης του θέματος θα ήταν προτιμότερος και αποδοτικότερος τελικά.

Η αλλαγή χρήσης γης των καμένων εκτάσεων είναι, τέλος, μια σύγχρονη μάστιγα του περιβάλλοντος, ιδιαίτερα σε χώρες όπως η Ελλάδα, που στερούνται Εθνικού Κτηματολογίου (και δασικού κτηματολογίου), αλλά και όπου οι περιβαλλοντικές πολιτικές ή δεν υπάρχουν ή και αν υπάρχουν αμφισβητούνται ως προς την πληρότητά τους. Σύμφωνα με το νόμο, τα δάση που καίγονται κηρύσσονται αναδασωτέα, με την έννοια ότι δεν μπορεί να γίνουν τίποτε άλλο εκτός από δάση. Συχνά αυτό δεν συμβαίνει, δεδομένου ότι είτε οικοπεδοποιούνται άμεσα είτε έμμεσα μετά τη μετατροπή τους σε αγροτεμάχια, αν βρίσκονται σε προνομιούχο θέση. Αυτό είναι, πλέον, καθεστώς στις «διακατεχόμενες εκτάσεις», εκεί δηλαδή όπου αμφισβητείται το ιδιοκτησιακό καθεστώς και διεκδικούνται οι εκτάσεις παράλληλα από το δημόσιο και τους ιδιώτες. Οι κατά το Σύνταγμα δασικές εκτάσεις είναι σε χειρότερη θέση, δεδομένου ότι η παρουσία δένδρων σε αυτές είναι αραιή, ενώ πολύ περισσότερο επικίνδυνη είναι η κατάσταση για τις καμένες εκτάσεις με μακί (*maquis*) και φρύγανα, που θεωρούνται περιθωριακές ή χαρακτηρίζονται ως «χορτολιβαδικές» και χάνουν τη νομική τους προστασία.

## Η περίπτωση των ορεινών δασικών οικοσυστημάτων

Δεδομένου ότι η αναγέννηση των δασών φυλλοβόλων δρυών είναι στην πλειονότητα των θέσεων ικανοποιητική, δεν κρίνεται σκόπιμη η εφαρμογή αναδασώσεων και εκτεταμένων διαχειριστικών επεμβάσεων, οι οποίες στην πραγματικότητα μπορούν να οδηγήσουν σε υποβάθμιση την αναγεννώμενη μεταπυρική φυτοκοινότητα. Η λήψη διαχειριστικών μέτρων θα πρέπει να περιορίζεται σε δράσεις που αφορούν στην προστασία του εδάφους από τη διάβρωση, ειδικότερα σε θέσεις όπου η κλίση είναι μεγάλη και ο κίνδυνος διάβρωσης αυξημένος. Πριν την υλοποίηση των δράσεων αυτών, είναι απαραίτητη η σύνταξη μελέτης αντιδιαβρωτικής προστασίας, ενώ τα αντιδιαβρωτικά μέτρα προστασίας και συγκράτησης του εδάφους θα πρέπει να υλοποιούνται πριν την έναρξη των βροχοπτώσεων και με τρόπο που να μην προκαλείται υποβάθμιση της αναγεννώμενης φυτοκοινότητας. Επιπλέον, κατά τα πρώτα στάδια της μεταπυρικής αναγέννησης των φυλλοβόλων δρυών, είναι ιδιαίτερα σημαντικό να απαγορεύεται η βόσκηση, καθώς έχει βρεθεί ότι επηρεάζει σημαντικά τη χλωριδική σύνθεση των οικοσυστημάτων αυτών (Chaideftou et al. 2006) και αποτελεί, γενικά, έναν αρνητικό παράγοντα για τις αναγεννώμενες φυτοκοινότητες.

Για τη διαχείριση και την αποκατάσταση των καμένων δασών μαύρης πεύκης έχουν εκφραστεί πρόσφατα νέες προσεγγίσεις (Κακούρος και Χρυσολίτου 2010). Κοινό χαρακτηριστικό των προσεγγίσεων αυτών αποτελεί η ανάγκη διατήρησης και προστασίας των άκαυτων νησίδων. Γενικά, ως προς την επιλογή και την εφαρμογή μεταπυρικών διαχειριστικών μέτρων μπορούν να διακριθούν διάφορες περιπτώσεις, οι οποίες και παρουσιάζονται συνοπτικά ακολούθως. Η πρώτη περίπτωση είναι αυτή της έρπουσας πυρκαγιάς, χαμηλής έντασης, στην οποία δεν είναι απαραίτητη η λήψη μέτρων αναδάσωσης. Η δεύτερη περίπτωση είναι αυτή των επικόρυφων πυρκαγιών, μεγάλης έντασης και έκτασης, δίχως την παρουσία άκαυτων νησίδων. Στην περίπτωση αυτή, και λαμβάνοντας υπόψη ότι η μεταπυρική αναγέννηση του είδους αναμένεται να είναι εξαιρετικά χαμηλή (Trabaud and Campant 1991), θα πρέπει να υλοποιηθούν αναδασώσεις. Από τις τεχνικές αποκατάστασης που χρησιμοποιούνται συνήθως (σπορά ή φύτευση), η σπορά θεωρείται ως η πιο φυσική μέθοδος αποκατάστασης, ενώ ταυτόχρονα εμφανίζει πλήθος συγκριτικών πλεονεκτημάτων (Ντάφης 2010). Απαραίτητη, ωστόσο, προϋπόθεση για την επιτυχία των αναδασώσεων είναι ο καθορισμός της προέλευσης και η εξασφάλιση καλής ποιότητας δασικού πολλαπλασιαστικού υλικού (Παϊτα-

ρίδου 2010). Η συλλογή των σπερμάτων που θα χρησιμοποιηθούν στη σπορά θα πρέπει να γίνεται από όσο το δυνατόν πιο κοντινή περιοχή. Η τρίτη περίπτωση είναι αυτή όπου ο βαθμός επίδρασης της φωτιάς είναι κατά τόπους διαφορετικός, με αποτέλεσμα να έχουν απομείνει κάποιες άκαυτες συστάδες, μεγαλύτερου ή μικρότερου μεγέθους. Στην περίπτωση αυτή και λαμβάνοντας υπόψη τη συνεισφορά των άκαυτων νησίδων στην αποίκιση της καμένης έκτασης, θα πρέπει πρώτα να υλοποιούνται μελέτες παρακολούθησης της φυσικής μεταπυρικής αναγέννησης και, στη συνέχεια, να επιλέγεται το πού, πώς και ποια μέτρα αναδάσωσης θα πρέπει να εφαρμοστούν. Προτείνεται πάντως, σε κάθε περίπτωση, η τεχνητή αναδάσωση να μην πραγματοποιείται σε απόσταση μικρότερη των 150 m από τις άκαυτες νησίδες, ακόμα και σε περίπτωση διτλοκαμένων εκτάσεων (Αριανούτσου 2010). Επιπλέον, για τις τεχνικές αποκατάστασης θα πρέπει να ακολουθούνται τα όσα αναφέρθηκαν συνοπτικά για την περίπτωση των επικόρυφων πυρκαγιών, μεγάλης έντασης και έκτασης. Και στις τρεις αυτές διακριτές περιπτώσεις, τα αντιδιαβρωτικά μέτρα και τα μέτρα προστασίας του εδάφους κρίνονται απαραίτητα σε περίπτωση που ο κίνδυνος διάβρωσης είναι αυξημένος και ανάλογα με τα εκάστοτε τοπογραφικά χαρακτηριστικά. Επίσης, όσον αφορά στις υλοτομίες και στη διαχείριση της καμένης ξυλείας, αυτές θα πρέπει να γίνονται ύστερα από σύνταξη πίνακα υλοτομίας και μετά από τη σύμφωνη γνώμη του εκάστοτε αρμόδιου Δασαρχείου. Ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δίνεται στον έλεγχο της βιωσιμότητας των δένδρων. Τέλος, ιδιαίτερα σημαντικό είναι να απαγορεύεται η βόσκηση, τουλάχιστον κατά τη διάρκεια των πρώτων μεταπυρικών χρόνων, καθώς μπορεί να μειώσει την επιβίωση και την ανάπτυξη των αρτιβλάστων και των νεαρών φυταρίων μαύρης πεύκης (Ordóñez and Retana 2004, Tavsanoğlu 2008).

Η αναγέννηση της Κεφαλληνιακής ελάτης, ακόμα και με την προϋπόθεση της παρουσίας άκαυτων νησίδων με ώριμα άκαυτα άτομα που μπορούν να συνεισφέρουν στην αναγέννηση της περιοχής μέσω της διασποράς των σπερμάτων, αναμένεται να είναι εξαιρετικά αργή και δύσκολη διαδικασία. Για το λόγο αυτό και λαμβάνοντας υπόψη τις πιθανές πιέσεις και κινδύνους για αλλαγή της χρήσης γης, αλλά και τον ανθρώπινο συναισθηματικό παράγοντα, φαίνεται να είναι απαραίτητη η υλοποίηση δράσεων αναδάσωσης. Στην περίπτωση αυτή, όπως αντίστοιχα αναφέρθηκε για τη μαύρη πεύκη, ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δίνεται στο υλικό που θα χρησιμοποιηθεί για τις αναδασώσεις, το οποίο θα πρέπει να προέρχεται από την ίδια περιοχή (για παράδειγμα, συλλογή κώνων και σπερμάτων από γειτονικές άκαυτες συστάδες κ.ά.).

Ωστόσο, η επιτυχία των αναδασώσεων δεν είναι εγγυημένη, καθώς τα ποσοστά επιβίωσης των αρτιβλάστων και των νεαρών φυταρίων Κεφαλληνιακής ελάτης είναι ιδιαίτερα χαμηλά (Politi et al. 2009, Τσιαμήτας κ.ά. 2009). Δοκιμές χρήσης σκιάστρων που πραγματοποιήθηκαν στον Εθνικό Δρυμό της Πάρνηθας δεν έχουν αξιολογηθεί πλήρως ως προς την αποτελεσματικότητά τους. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των πρώτων ερευνών που έγιναν για την αξιολόγηση της επιβίωσης και αύξησης των δενδρυλλίων ελάτης που χρησιμοποιήθηκαν για την αναδάσωση της καμένης έκτασης, βρέθηκε ότι αν και παρατηρούνται διαφορές στην επιβίωση μεταξύ των διαφόρων θέσεων, κυρίαρχο στοιχείο αποτελεί η ποιότητα του φυτευτικού υλικού (Θεοδωροπούλου κ.ά. 2010).

Σε πολλές περιπτώσεις, σε αναδασώσεις δασών Κεφαλληνιακής ελάτης φυτεύεται μαύρη πεύκη (*Pinus nigra*), με στόχο τη δημιουργία κατάλληλου ενδιαιτήματος για τη φύτευση των σπερμάτων της ελάτης και την εγκατάσταση των νεαρών ατόμων της, καθώς, γενικά, η ελάτη θεωρείται είδος σκιάφιλο, τουλάχιστον στα πρώτα στάδια ανάπτυξής της. Η δράση αυτή ήταν ιδιαίτερα κοινή κατά το παρελθόν, ενώ συνεχίζει να προτείνεται και να υλοποιείται αρκετές φορές μέχρι και σήμερα. Ωστόσο, η σκοπιμότητα και η αποτελεσματικότητά της δεν έχουν επιβεβαιωθεί επιστημονικά. Κρίνεται σκόπιμο να αποφεύγεται, πάντως, η δημιουργία «προδάσους» δεδομένου ότι: 1) τούτο ποτέ δεν απομακρύνεται από την περιοχή, 2) τα μαυρόπευκα που συνήθως χρησιμοποιούνται έχουν ταχύτερους ρυθμούς αύξησης και μπορούν να δράσουν ανταγωνιστικά ως προς τα νεαρά αρτιβλάστα ή φυτάρια ελάτης. Πρόσφατα άρχισε να συζητείται στους κόλπους της επιστημονικής κοινότητας η φύτευση θάμνων που θα λειτουργούν ως φυσικά σκιάστρα στα αναπτυσσόμενα νεαρά φυτά (Vallejo et al. 2011). Στην περίπτωση των αναδασώσεων στον Εθνικό Δρυμό της Πάρνηθας, έχει διαπιστωθεί ότι η γειτνίαση των φυτεμένων δενδρυλλίων ελάτης με άτομα γλιστροκουμαριάς (*Arbutus andrachne*) ή αριάς (*Quercus ilex*) οδηγεί σε αυξημένο ποσοστό επιβίωσης, σε σχέση με δενδρύλλια φυτεμένα σε ανοιχτές θέσεις (Θεοδωροπούλου κ.ά. 2010).

## Βιβλιογραφία

### Α. Ελληνική

Αριανούτσου, Μ., Δ. Καζάνης, Ι. Κόκκορης Ι. Μπαζός, Α. Χριστοπούλου, και Π. Κωνσταντινίδης-Γεωργίου. Υπό έκδοση. Διερεύνηση της επίδρασης της φωτιάς σε ορεινά δασικά οικοσυστήματα της Πελοποννήσου στο Κ.Α. Θάνος κ.ά.

επιμ. έκδοσης. Πρακτικά 11ου Συνεδρίου της Ελληνικής Βοτανικής Εταιρείας. 8-11 Οκτωβρίου 2009, Αθήνα.

Αριανούτσου, Μ. 2010. Κριτήρια επιλογής σκοπών και μέτρων μεταπυρικής διαχείρισης των δασών μαύρης πεύκης με βάση την επιστήμη της οικολογίας. Σελ. 51-59 στο Π. Κακούρος και Β. Χρυσοπολίτου, συντονιστές έκδοσης. Νέες προσεγγίσεις στην αποκατάσταση των δασών μαύρης πεύκης. Πρακτικά Συνεδρίου, 15-16 Οκτωβρίου 2009, Σπάρτη. Φορέας Διαχείρισης Όρους Πάρνωνα και Υγροτόπου Μουστού, Άστρος.

Θεοδωροπούλου, Ο., Β. Δέτσης, και Γ. Ευθυμίου. 2010. Αναδάσωση ελάτης στην Πάρνηθα: πότε έχει σημασία η θέση και πότε το φυτευτικό υλικό; Σελ. 147 στο Περιλήψεις 5ου Πανελληνίου Συνεδρίου Οικολογίας - «Οικολογικές διεργασίες στο χώρο και το χρόνο». 7 - 10 Οκτωβρίου 2010, Πάτρα (ηλεκτρονική έκδοση).

Καζάνης, Δ. 2005. Μεταπυρική διαδοχή σε δάση *Pinus halepensis* Mill.: πρότυπα στη δυναμική της βλάστησης. Διδακτορική διατριβή. Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα.

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

Ντάφης, Σ. 2010. Το πρόβλημα της αποκατάστασης των καμένων δασών μαύρης πεύκης – Αρχές αποκατάστασης δασικών οικοσυστημάτων. Σελ. 13-16 στο Π. Κακούρος, Π. και Β. Χρυσοπολίτου, συντονιστές έκδοσης. Νέες προσεγγίσεις στην αποκατάσταση των δασών μαύρης πεύκης. Πρακτικά Συνεδρίου, 15-16 Οκτωβρίου 2009, Σπάρτη. Φορέας Διαχείρισης Όρους Πάρνωνα και Υγροτόπου Μουστού, Άστρος.

Παϊταρίδου, Δ. 2010. Ο ρόλος της κεντρικής αποθήκης δασικών σπόρων στην αποκατάσταση των δασών. Σελ. 21-28 στο Π. Κακούρος και Β. Χρυσοπολίτου, συντονιστές έκδοσης. Νέες προσεγγίσεις στην αποκατάσταση των δασών μαύρης πεύκης. Πρακτικά Συνεδρίου, 15-16 Οκτωβρίου 2009, Σπάρτη. Φορέας Διαχείρισης Όρους Πάρνωνα και Υγροτόπου Μουστού, Άστρος.

Παπαβασιλείου, Σ. 2001. Η σημασία των ψυχανθών στη μεταπυρική αναγέννηση Μεσογειακών δασικών οικοσυστημάτων. Διδακτορική διατριβή. Πανεπιστήμιο Αθηνών.

Τσαγκάρη, Κ., Γ. Καρέτσος, και Ν. Προύτσος. 2011. Δασικές πυρκαγιές Ελλάδας, 1993-2008. WWF Ελλάς και ΕΘΙΑΓΕ-ΙΜΔΟ & ΤΔΠ, Αθήνα.

Τσαμής, Χ., Ε.Ν. Δασκαλάκου, και Κ.Α. Θάνος. 2009. Μελέτη της φύτευσης της κεφαλληνιακής ελάτης (*Abies cephalonica* Loudon) - εγκατάσταση αρτιβλάστων στον Εθνικό Δρυμό της Πάρνηθας. Αναρτημένη ανακοίνωση. Σελ. 164 στο Μ.Α. Δούση και Κ.Α. Θάνος, επιμ. έκδοσης. Πρόγραμμα και Περιλήψεις. 11ο Πανελλήνιο Επιστημονικό Συνέδριο, Ελληνική Βοτανική Εταιρεία. Αθήνα, 8-11 Οκτωβρίου 2009. Εκδόσεις Πανεπιστημίου Αθηνών, Αθήνα.

Χριστοπούλου, Α., Γ. Κόκκορης, Δ. Καζάνης, και Μ. Αριανούτσου. 2008. Μεταπυρική διασπορά των σπερμάτων *Abies cephalonica* Loudon στον Εθνικό Δρυμό της Πάρνηθας: ο ρόλος των άκαυτων πυρήνων του πληθυσμού. Σελ. 233 στο Σ. Παρασκευόπουλος, Α. Σφουγγάρης, Κ. Γουργουλιάνης, Ν. Δαλέζιος, Β. Παπαδημητρίου, Χ. Καραγιαννίδης, και Δ. Βαβουγιός, επιμ. έκδοσης. Πρακτικά 4ου Πανελληνίου Συνεδρίου της Ελληνικής Οικολογικής Εταιρείας, Βοτανικής Εταιρείας, Ζωολογικής Εταιρείας και Φυκολογικής Εταιρείας «Σύγχρονες τάσεις της έρευνας στην οικολογία», Βόλος.

## **Β. Ξενόγλωσση**

Arianoutsou, M., N. Christopoulou, E. Ganou, Y. Kokkoris, and D. Kazanis. 2009. Post-fire response of the Greek endemic *Abies cephalonica* forests in Greece: the example of a NATURA 2000 site in Mt Parnitha National Park. Page 184 in L. Miko, and L. Boitani, editors. Proceedings of the 2nd European Congress of Conservation Biology, Czech University of Life Sciences, Faculty of Environmental Sciences, Prague.

Arianoutsou M., A. Christopoulou, Th. Tountas, E. Ganou, D. Kazanis, I. Bazos, and I. Kokkoris. 2010. Effects of fire on high altitude coniferous forests of Greece. In D.X. Viegas, editor. Book of Proceedings of the VIth International Conference on Forest Fire Research, Coimbra, Portugal (electronic edition).

Arianoutsou, M. 1998. Aspects of demography in post-fire Mediterranean plant communities of Greece. Pages 273-295 in P.W. Rundel, G. Montenegro and F. Jaksic, editors. Landscape degradation in Mediterranean –Type Ecosystems. Ecological Studies 136, Springer-Verlag.

Arianoutsou, M. 1999. Effects of fire on vegetation demography. Pages 265-273 in Proceedings of the International Symposium on Forest Fires: Needs and Innovations, (DELFI). 18-19 November 1999, Athens.

Arianoutsou, M. 2004. Predicting the post-fire regeneration and resilience of Mediterranean plant

- communities. In M. Arianoutsou and V.P. Papanastasis, editors. Ecology, Conservation and Management of Mediterranean Climate Ecosystems of the World. Proceedings of the MEDECOS 10th International Conference, April 25 – May 1 2004, Rhodes, Greece. Millpress, Rotterdam (electronic edition).
- Arianoutsou, M., D. Kazanis, Y. Kokkoris, and P. Skourou. 2002. Land-use interactions with fire in Mediterranean *Pinus halepensis* landscapes of Greece: patterns of biodiversity. In D.X. Viegas, editor. Proceedings of the IV International Forest Fire Research Conference, 18-23 November, Luso, Coimbra, Portugal, Millpress Rotterdam (electronic edition).
- Arianoutsou, M., S. Koukoulas, and D. Kazanis. 2011. Evaluating Post-Fire Forest Resilience Using GIS and Multi-Criteria Analysis: An Example from Cape Sounion National Park, Greece. Environmental Management 47:384-397.
- Arianoutsou, M., and N.S. Margaris. 1981. Producers and the fire cycle in a phryganic ecosystem. Pages 181-190 in N.S. Margaris, and H.A. Mooney, editors. Components of productivity in Mediterranean climate regions - basic and applied aspects. Dr W. Junk, The Hague.
- Arianoutsou-Faraggitaki, M., and N.S. Margaris. 1982. Decomposers and the fire cycle in a phryganic (East Mediterranean) ecosystem. Microbial Ecology 8:91-98.
- Bond, W.J., and B.W. van Wilgen. 1996. Fire and plants. Chapman and Hall, London.
- Chaideftou, E., C.A. Thanos, and P. Dimopoulos. 2006. Plant functional traits in relation to seedling recruitment and light conditions in sub-Mediterranean oak forests of Greece. Pages 597-601 in: D. Ivanova, editor. Proceedings of IV Balkan Botanical Congress, "Plant, fungal and habitat diversity investigation and conservation", 20–26 June 2006, Institute of Botany, Sofia.
- Daskalakou, E.N., and C.A. Thanos. 2004. Post-fire regeneration of Aleppo pine - the temporal pattern of seedling recruitment. Plant Ecology 171:81-89.
- Delitti, W., A. Ferran, L. Trabaud, and V.R. Vallejo. 2005. Effects of fire recurrence in *Quercus coccifera* L. shrublands of the Valencia Region (Spain): I. Plant composition and productivity. Plant Ecology 177:57-70.
- Dixon, K.W., S. Roche, and J.S. Pate. 1995. The promotive effect of smoke derived from burnt native vegetation on seed germination of Western Australian plants. Oecologia 101:185-192.
- Doussi, M.A., and C.A. Thanos. 1994. Post-fire regeneration of hardseeded plants: ecophysiology of seed germination. Pages 1035-1044 (Vol. II) in D.X. Viegas, editor. Proceedings of the 2nd International Conference on Forest Fire Research, 21-24 November 1994, Coimbra, Portugal.
- Ferrandis, P., J. de las Heras, J.J. Martínez Sanchez, and J.M. Herranz. 2001. Influence of a low-intensity fire on a *Pinus halepensis* Mill. forest seed bank and its consequences on early stages of plant succession. Israel Journal of Plant Science 49:105-114.
- Flannigan, M.D., B.J. Stocks, and M.B. Wotton. 2000. Climate change and forest fires. The Science of the Total Environment 262:221-229.
- Fulé, P.Z., M. Ribas, E. Gutiérrez, R. Vallejo, and M.W. Kaye. 2008. Forest structure and fire history in an old *Pinus nigra* forest eastern Spain. Forest Ecology and Management 255:1234-1242.
- Fyllas, N.M., P.I. Politi, A. Galanidis, P.G. Dimitrakopoulos, and M. Arianoutsou. 2010. Simulating Regeneration and Vegetation Dynamics in Mediterranean Coniferous Forests. Ecological Modelling 221:1494-1504.
- Gill, A.M., and R.A. Bradstock. 2003. Fire regimes and biodiversity: a set of postulates. Proceedings of the Australian National University Fire Forum, February 2002, CSIRO Publishing, Melbourne.
- Goudelis, G., P. Ganatsas, T. Tsitsoni, Y. Spanos, and E. Daskalakou. Effect of two successive wild-fires in *Pinus halepensis* stands of Central Greece. Web Ecology 8:30-34.
- Hanes, T.L. 1971. Succession after fire in the chaparral of southern California. Ecological Monographs 41:27-52.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 2007. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden, and C.E. Hanson, editors. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Cambridge University Press, Cambridge.
- Jones, M.R., and H.M. Laude. 1960. Relations between sprouting in chamise and the physiological condition of the plant. Journal of Range Management 13:210-214.
- JRC. 2008. Forest fires in Europe 2007. Joint Research Center, Institute for Environment and Sustainability, EUR23492 EN.
- Kazanis, D., and M. Arianoutsou. 2004a. Long-term post-fire vegetation dynamics in *Pinus ha-*

- lepis* forests of central Greece: a functional-group approach. *Plant Ecology* 171:101-121.
- Kazanis, D., and M. Arianoutsou. 2004b. Factors determining low Mediterranean ecosystems resilience to fire: The case of *Pinus halepensis* forests. In M. Arianoutsou and V.P. Papanastasis, editors. *Ecology, Conservation and Management of Mediterranean Climate Ecosystems*. Millpress (electronic edition).
- Keeley, J.E., and W.J. Bond. 1997. Convergent seed germination in South African fynbos and Californian chaparral. *Plant Ecology* 133:153-167.
- Keeley, J.E., and C.J. Fotherigam. 2000. The role of fire in regeneration from seed. Pages 311-330 in M. Fenner, editor. *Seeds: The Ecology of Regeneration in Plant Communities*, CAB International.
- Leone, V., A. Logiurato, and A. Saracino. 1999. Serotiny in *Pinus halepensis* Mill., recent issues. In: G. Ne'eman, and I. Izhaki, editors. *Abstracts of MEDPINE, International Workshop on Mediterranean Pines*. Beit Oren, Israel.
- Liu, Y., J. Stanturf, and S. Goodrick. 2010. Trends in global wildfire potential in a changing climate. *Forest Ecology and Management* 259:685-697.
- Lloret, F., and M. Vilà. 2003. Diversity patterns of plant functional types in relation to fire regime and previous land use in Mediterranean woodlands. *Journal of Vegetation Science* 14:387-398.
- Moreira, F., O. Viedma, M. Arianoutsou, C. Curt, N. Koutsias, E. Rigolot, A. Barbati, P. Corona, P. Vaz, G. Xanthopoulos, F. Mouillot, and E. Bilgili. 2011. Landscape-wildfire interactions in Southern Europe: implications for landscape management. *Journal of Environmental Management* 92:2389-2402.
- Ne'eman, G., S. Goubitz, and R. Nathan. 2004. Reproductive traits of *Pinus halepensis* in the light of fire - a critical review. *Plant Ecology* 171:69-79.
- Noble, I.R., and R.O. Slatyer. 1980. The use of vital attributes to predict successional changes in plant communities subject to recurrent disturbances. *Vegetatio* 43:5-21.
- Ordóñez, J.L., and J. Retana. 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., R. Molowny-Horas, and J. Retana. 2006. A model of the recruitment of *Pinus nigra* from unburned edges after large wildfires. *Ecological Modelling* 197:405-417.
- Papavassiliou, S., and M. Arianoutsou. 1993. Regeneration of the leguminous herbaceous vegetation following fire in a *Pinus halepensis* forest of Attica, Greece. Pages 119-126 in L. Trabaud and R. Prodon, editors. *Fire in Mediterranean Ecosystem, Ecosystem Research Report no 5*, Commission of the European Communities.
- Pausas, J.G. 1999. Mediterranean vegetation dynamics: modelling problems and functional types. *Plant Ecology* 140:27-39.
- Pausas, J.G., R.A. Bradstock, D.A. Keith, J.E. Keeley, and Global Change and Terrestrial Ecosystem (GCTE) Fire Network. 2004. Plant functional traits in relation to fire in crown-fire ecosystems. *Ecology* 85:1085-1100.
- Pausas, J.G., and J.E. Keeley. 2009. A Burning Story: The Role of Fire in the History of Life. *BioScience* 59:593-601.
- Pérez-Fernández, M.A., and S. Rodríguez-Echeverría. 2003. Effect of smoke, charred wood, and nitrogenous compounds on seed germination of ten species from woodland in central-western Spain. *Journal of Chemical Ecology* 29:237-251.
- Politi, P.I., M. Arianoutsou, and G.P. Stamou. 2009. Patterns of *Abies cephalonica* seedling recruitment in Mount Aenos National Park, Cephalonia, Greece. *Forest Ecology and Management* 258:1120-1136.
- Pons, P., P.Y. Henry, G. Gargallo, R. Prodon, and D. Lebreton. 2000. Local survival after fire in Mediterranean shrublands: combining capture-recapture data over several bird species. *Population Ecology* 45:187-196.
- Radea, C., and M. Arianoutsou. 2000. Decomposition processes and soil arthropod community in a *Pinus halepensis* Mill. forest of Greece after a wildfire. *European Journal of Soil Biology* 36:57-64.
- Radea, C., and M. Arianoutsou. 2004. Decomposition rates of legumes and cellulose in a *Pinus halepensis* Mill. Forest of Greece after a wildfire. In M. Arianoutsou and V.P. Papanastasis, editors. *Ecology, Conservation and Management of Mediterranean Climate Ecosystems*. Millpress (electronic edition).
- Radea, C., D. Kazanis, and M. Arianoutsou. 2011. Effects of fire upon soil macroarthropod communities in *Pinus halepensis* stands in Attica, Greece. *Israel Journal of Ecology and Evolution* 56:165-179.
- Retana, J., J.M. Espelta, A. Habrouk, J.L. Ordóñez, and F. de Solà-Morales. 2002. Regeneration patterns of three Mediterranean pines and forest changes after a large wildfire in northeastern Spain. *Ecoscience* 9:89-97.

- Roy, J., and M. Arianoutsou-Faraggitaki. 1985. Light quality as the environmental trigger for the germination of the post-fire species *Sarcopoterium spinosum* L. *Flora* 177:345-349.
- Sgardelis, S.P., and N.S. Margaritis. 1983. Effects of fire on soil microarthropods of a phryganean ecosystem. *Pedobiologia* 37:83-94.
- Sgardelis, S.P., J.D. Pantis, M.D. Argyropoulou, and G.P. Stamou. 1995. Effects of fire on soil macroinvertebrates in a Mediterranean ecosystem. *International Journal of Wildland Fire* 5:113-121.
- Tavsanoglou, 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* 7:696-699.
- Thanos, C.A., and E.N. Daskalaku. 2000. Reproduction in *Pinus halepensis* and *P. brutia*. Pages 79-90 in G. Ne'eman and L. Trabaud, editors. *Ecology, Biogeography and Management of Pinus halepensis and P. brutia*. Forest Ecosystems in the Mediterranean Basin. Backhuys Publishers, Leiden.
- Thanos, C.A., and K. Georghiou. 1988. Ecophysiology of fire-stimulated seed germination in *Cistus incanus* ssp. *creticus* (L.) Heywood and *Cistus salvifolius* L. *Plant Cell and Environment* 11:841-849.
- Thanos, C.A., and P.W. Rundel. 1995. Fire-followers in chaparral: nitrogenous compounds trigger seed germination. *Journal of Ecology* 83:207-216.
- Trabaud, L. 1991. Fire regimes and phytomass growth dynamics in a *Quercus coccifera* garrigue. *Journal of Vegetation Science* 2:307-314.
- Trabaud, L., and C. Campant. 1991. Difficulté de Recolonisation Naturelle du Pin de Salzman *Pinus nigra* Arn. ssp. *salzmannii* (Dunal) Franco Après Incendie. *Biological Conservation* 58:329-343.
- Vallejo, R., J. Aronson, J. Pausas, and J. Cortina. 2006. Restoration of Mediterranean woodlands. Pages 193-207 in J. van Andel and J. Aronson, editors. *Restoration Ecology: The New Frontier*. Blackwell Science, Oxford.
- Vallejo, R., M. Arianoutsou, and F. Moreira. 2011. Fire ecology and post-fire restoration approaches in Southern European forest types. Pages 93-119 in F. Moreira, M. Arianoutsou, P. Corona and J. de las Heras, editors. *Post-fire Management and Restoration of Southern European Forests*. Springer, Rotterdam.
- Whelan, R.J. 1995. *The ecology of fire*. Cambridge Studies in Ecology. Cambridge University Press, Cambridge.
- Zagas, T., P. Ganatsas, T. Tsitsoni, and M. Tsakalidimi. Post-fire regeneration of *Pinus halepensis* Mill. Stands in the Sithonia peninsula, northern Greece. *Plant Ecology* 171:91-99.