

# Δείκτες μεταπτυρικής φυσικής αναγέννησης στα Μεσογειακά οικοσυστήματα

**Μ. Αριανούτσου-Φαραγγιτάκη**

*Τομέας Οικολογίας – Ταξινομικής, Τμήμα Βιολογίας,  
Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών,  
Ιλίσια 15784, τηλ. 210.7274352, fax 210.7274885,  
Email: marianou@biol.uoa.gr*

## Εισαγωγή

### *Η φωτιά ως οικολογικός παράγοντας στα Μεσογειακά τοπία*

**Ο**ι κλιματικές συνθήκες που επικρατούν στα μεσογειακά περιβάλλοντα, ιδιαίτερα κατά το μακρύ, θερμό και άνυδρο θέρος επάγουν ειδικές φαινολογικές, μορφολογικές, φυσιολογικές και οικολογικές στρατηγικές στα φυτά που ενδiciαιτούν στα περιβάλλοντα αυτά. Οι υψηλές θερμοκρασίες που επικρατούν το καλοκαίρι σε συνδυασμό με την ταυτόχρονη έλλειψη νερού αποξηραίνουν την ποώδη βλάστηση στον υπόροφο των συστάδων καθώς επίσης και τμήματα της ιστάμενης ξυλώδους βιομάζας. Φύλλα και κλαδίσκοι απορρίπτονται μαζικά από τα θαμνώδη και δενδρώδη είδη. Το υλικό αυτό καθώς και η ξηρή ποώδης φυτομάζα σχηματίζουν μία ιδιαίτερα εύφλεκτη στρωμνή (Arianoutsou, 1979). Αρκετά επίσης μεσογειακά φυτικά είδη παράγουν εύφλεκτες ουσίες, όπως τα αιθέρια έλαια και οι ρητίνες.

Οι κλιματικές συνθήκες και οι στρατηγικές αυτές των φυτών μπορούν να 'υποστηρίξουν' έναρξη και εξάπλωση πυρκαγιών.

Τα Μεσογειακά οικοσυστήματα έχουν εξελιχθεί υπό την περιοδική δράση της φωτιάς. Ιστορικές αποδείξεις για τη δράση της φωτιάς στη Μεσογειακή βλάστηση υπάρχουν απ' όλες τις περιοχές του κόσμου με μεσογειακού-τύπου κλίμα. Στη Μεσογειακή λεκάνη υπάρχουν αναφορές που ανάγουν τη δράση της φωτιάς μετά το τέλος της τελευταίας παγετώδους περιόδου.

## ***Ο άνθρωπος και τα Μεσογειακά οικοσυστήματα***

Ο άνθρωπος, ως συνιστώσα των οικοσυστημάτων, έχει δράσει στα Μεσογειακά οικοσυστήματα από την αρχή της εγκατάστασής τους στη Γη, περίπου 15000 χρόνια πριν. Η αλληλεπίδραση του ανθρώπου με το φυσικό περιβάλλον της Μεσογείου διατήρησε τα τοπία και τα οικολογικά συστήματα που τα συγκροτούν σε μια δυναμική ισορροπία για μεγάλο χρονικό διάστημα. Η δυναμική αυτή ισορροπία εμπεριείχε και τη δράση της φωτιάς ως μιας φυσικής περιοδικής διαταραχής. Ωστόσο, μετά το Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο η επίδραση του ανθρώπου στα Μεσογειακά οικοσυστήματα έχει αλλάξει, τόσο τους τρόπους με τους οποίους ασκείται, όσο και την ένταση και την έκταση που καλύπτουν αυτές οι δράσεις. Ανάμεσα στις άλλες συνέπειες της εντατικοποίησης της δράσης του ανθρώπου είναι και η τροποποίηση του φυσικού καθεστώτος δράσης της φωτιάς, συνήθως προς συχνότερα περιστατικά που ξεσπούν στην ίδια περιοχή.

## ***Ο ρόλος των οικολογικών μοντέλων στη διαχείριση των οικοσυστημάτων***

Στις μέρες μας, που η περιβαλλοντική ευαισθητοποίηση συνεχώς αυξάνει, η ανάγκη για ορθολογική διαχείριση των μεσογειακών οικοσυστημάτων γίνεται όλο και πιο επιτακτική. Προς την κατεύθυνση αυτή, η πρόβλεψη της απόκρισης των οικολογικών συστημάτων και ειδικότερα της δυναμικής της βλάστησης στις περιβαλλοντικές μεταβολές (διαταραχές φυσικών κύκλων ξηρασίας – κλιματικές μεταβολές, τροποποίηση του φυσικού περιοδικού καθεστώτος φωτιάς, μεταβολές στις χρήσεις γης κ.ο.κ.) καθίσταται αναγκαία. Τα οικολογικά μοντέλα, τα οποία έχουν σχεδιαστεί για να ανταποκρίνονται στην παραπάνω ανάγκη είναι πλέον σημαντικά εργαλεία για τη διαχείριση των οικολογικών συστημάτων, τόσο ως προς το επίπεδο της πρόβλεψης των επιπτώσεων όσο και ως προς τις εναλλακτικές μεθόδους αποκατάστασης.

Η ακρίβεια και ορθότητα της πρόβλεψης των οικολογικών μοντέλων εξαρτάται από τα στοιχεία που χρησιμοποιούνται για την παραμετροποίησή τους καθώς και από την ακρίβεια και ορθότητα της επιστημονικής γνώσης στην οποία στηρίχθηκε η κατασκευή τους. Στη βάση όλων των μοντέλων που αφορούν τη διαχείριση δασικών πυρκαγιών είναι η πληροφορία που αφορά τους μηχανισμούς αναγέννησης των μεσογειακών φυτών και οι στρατηγικές επανασυγκρότησης των βιοκοινοτήτων που σχηματίζουν.

## ***Προσαρμοστικές στρατηγικές των φυτών***

Τα φυτά των Μεσογειακών περιβαλλόντων έχοντας υποστεί την περιοδική δράση της φωτιάς για χιλιάδες ετών έχουν εξελικτικά αναπτύξει μηχανισμούς που τους εξασφαλίζουν τόσο την επιβίωση όσο και την ταχεία αναγέννηση και

επανάκαμψη. Οι βασικοί αυτοί μηχανισμοί είναι η βλαστητική αναγέννηση (resprouting) των καμένων ατόμων και η εγκατάσταση νέων ατόμων μέσω της φύτευσης σπερμάτων (seed germination). Οι περισσότεροι θάμνοι που συγκροτούν τις κοινότητες των φρυγανικών οικοσυστημάτων, για παράδειγμα η αστοιβή (*Sarcopoterium spinosum*), η ασφάκα (*Phlomis fruticosa*), καθώς και τα είδη που συγκροτούν τις φυτοκοινότητες των αειφύλλων πλατυφύλλων μακί, για παράδειγμα το πουρνάρι (*Quercus coccifera*), ο σχίνος (*Pistacia lentiscus*), η κουμαριά (*Arbutus unedo*), το φυλλίκι (*Phillyrea* sp.), το ρείκι (*Erica arborea*), αναγεννώνται με αναβλάστηση. Η αναβλάστηση συμβαίνει από ληθαργικούς οφθαλμούς, οι οποίοι βρίσκονται προστατευμένοι από το έδαφος στη βάση του καμένου βλαστού και παραμένουν άθικτοι από τη φωτιά. Με αναβλάστηση αναγεννώνται και τα φυτά που διαθέτουν υπόγειους ξυλώδεις κονδύλους, όπως η γαλατσίδα (*Euphorbia acanthothamnus*) ή υπόγειους βολβούς όπως πολλά γεώφυτα π.χ. τα κυκλάμινα (*Cyclamen* spp.), οι κοινοί βολβοί (*Muscari commosum*) κ.ά. Η έναρξη της αναβλάστησης για μεν τα αειφύλλα σκληρόφυλλα είδη μπορεί να ξεκινήσει σχεδόν αμέσως μετά τη φωτιά, ενώ στα φρυγανικά είδη αρχίζει συνήθως την περίοδο των βροχών. Η διαφορά αυτή στη στρατηγική έχει αποδοθεί στο διαφορετικό βάθος που φθάνουν τα ριζικά συστήματα των δύο τύπων φυτών. Τα φύλλα που αναπτύσσονται στα αναβλαστήματα είναι μεγαλύτερα και πλουσιότερα σε χλωροφύλλες από τα ανάλογά τους στα άκαφτα φυτά (Arianoutsou and Margaris, 1981a), ενώ έχουν και υψηλότερο τάχος φωτοσύνθεσης (Oechel, προσωπ. επικοινων.). Εκτός της επιτάχυνσης που δείχνουν στους μηχανισμούς που σχετίζονται με την αποκατάσταση της παραγωγικότητάς τους, αναπτύσσουν επιτάχυνση και ως προς τους μηχανισμούς που τους εξασφαλίζουν ταχεία αναπαραγωγική ωριμότητα: παράγουν άνθη και καρπούς από το πρώτο κίολας έτος της αναγέννησής τους.

Ο δεύτερος μηχανισμός αναγέννησης, που επιστρατεύουν τα Μεσογειακά φυτά για να αντιμετωπίσουν τη δράση της φωτιάς, είναι η φύτευση σπερμάτων. Τα αρτίβλαστα εμφανίζονται μετά τις πρώτες βροχές στο καμένο πεδίο από σπέρματα που είτε είχαν διασπαρεί πριν τη φωτιά και παρέμεναν ληθαργικά στο έδαφος ως «τράπεζα σπερμάτων» είτε διεσπάρησαν εξαιτίας της δράσης της φωτιάς. Τα σπέρματα που μπορούν να βρεθούν στην εδαφική τράπεζα είναι σκληροπεριβληματικά και ανήκουν κυρίως στις οικογένειες των Cistaceae και των Leguminosae. Αυτά τα σπέρματα συνήθως κείνται ληθαργικά στη στρωμνή ή στα ανώτερα στρώματα του εδάφους. Η θερμότητα που παράγεται από τη φωτιά θραύει το σπερματικό τους περιβλημα και έτσι διευκολύνεται η διάβρωση του εμβρύου και η συνεπακόλουθη φύτευση. Από την άλλη πλευρά, οι υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται κατά τη φωτιά στην κόμη των πεύκων αποξηραίνουν τους κώνους, οι οποίοι ανοίγουν διασπείροντας τα σπέρμα-

τα που είχαν παραμείνει άθικτα μέσα στις σκληρές δομές τους. Σε κάθε τετραγωνικό μέτρο καμένου φρυγανικού εδάφους φυτρώνουν εκατοντάδες σπέρματα μετά τις πρώτες βροχές του φθινοπώρου. Τα νεαρά αρτίβλαστα μαζί με τα αναβλαστήματα γρήγορα καλύπτουν με ένα μανδύα το έδαφος, προσφέροντάς του προστασία από τη διάβρωση. Σε κάθε τετραγωνικό μέτρο καμένου πευκοδάσους υπάρχει πληθώρα σπερμάτων πεύκου, τα οποία επίσης φυτρώνουν μετά τις πρώτες φθινοπωρινές βροχές. Συνήθως τα αρτίβλαστα εμφανίζονται σε μεγάλους αριθμούς. Ωστόσο, μετά την πρώτη ξηρά περίοδο ακολουθεί μια φυσική αυτοαραίωση του πληθυσμού τους, η οποία οφείλεται κυρίως στη δράση της ξηρασίας και στον ενδοειδικό ανταγωνισμό (Arianoutsou and Margaris, 1981a; Papavassiliou and Arianoutsou, 1997; Daskalaku and Thanos, 1997; Skourou and Arianoutsou, 1998; Καζάνης και Αριανούτσου αδημ. δεδομένα). Στο τέλος του πρώτου μεταπυρικού καλοκαιριού το νεαρό δάσος έχει μέση πυκνότητα πεύκων ίση με αυτήν πριν τη φωτιά. Η αύξηση και η ωρίμανση των αρτιβλάστων επιτελούνται ταχύτατα, τουλάχιστον σε ότι αφορά τα ποώδη και θαμνώδη είδη. Σύντομα, τα νεαρά άτομα ανθίζουν και καρπίζουν διασπείροντας νέα σπέρματα, τα οποία θα αρχίσουν να σχηματίζουν τη νέα εδαφική τράπεζα σπερμάτων.

## Η μεταπυρική διαδοχή στις φυτοκοινότητες

Η μεταπυρική διαδοχή στις Μεσογειακές φυτικές κοινότητες είναι μία πορεία αυτοδιαδοχής (autosuccession) στην οποία η καμένη κοινότητα, αν και αρχικά φαίνεται διαφορετική από την άκαπτη, διατηρεί την χλωριδική ταυτότητά της στο χρόνο (Arianoutsou, 1979; 1998; Trabaud, 1994, Kazanis and Arianoutsou, 1996; Kazanis and Arianoutsou, 1998; Arianoutsou, 1998a; Arianoutsou and Ne'eman, 2000). Η εγκατάσταση των πριν από τη φωτιά φυτοκοινοτήτων είναι μία ταχεία πορεία. Καθώς οι καμένες κοινότητες ωριμάζουν επιστρέφουν σε καταστάσεις παρόμοιες με αυτές των άκαπτων κοινοτήτων. Η δομή της βλάστησης γίνεται όλο και πιο σύνθετη, ενώ η βιομάζα αυξάνεται σταδιακά, περνώντας από την κυριαρχία των ποωδών, στα ξυλώδη είδη. Τα πλέον σημαντικά χαρακτηριστικά της διαδοχής αυτής φαίνονται στον Πίνακα 1.

## Η δημογραφία των φυτικών ειδών

Η ανάκαμψη των φυτικών ειδών που αναβλαστάνουν είναι μια διεργασία που εξαρτάται από τις μετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή, την παραγωγικότητα της περιοχής (τα διαθέσιμα θρεπτικά στο έδαφος), τον ανταγωνισμό μεταξύ των φυτών που αναγεννώνται καθώς επίσης και από εξωγενείς πα-

ράγοντες, όπως είναι η βόσκηση. Οι πληθυσμοί αυτών των ειδών γενικά αποτελούνται από ομήλικα άτομα. Η κατάσταση είναι διαφορετική για τα είδη που αναπαράγονται με σπέρματα, μια και η ανάκαμψή τους εξαρτάται στενά από τα πρότυπα ζωής (life histories) των συγκεκριμένων φυτών, με άλλα λόγια από το εάν είναι βραχύβια φυτά, όπως τα ετήσια ψυχανθή, λιγότερο ή περισσότερο μακρόβια φυτά, όπως οι λαδανιές και τα πεύκα αντίστοιχα. Από τις λίγες διαθέσιμες δημογραφικές μελέτες φαίνεται ότι παρατηρείται μείωση στην πυκνότητα των αρτιβλάστων των θαμνωδών φυτών κατά τον πρώτο χρόνο μετά τη φωτιά (Papanastasis, 1977; Arianoutsou and Margaris, 1981b; Kazanis and Arianoutsou, in prep.; Σκούρου και Αριανούτσου, αδημ. δεδομένα). Για τα είδη αυτά δεν καταγράφεται αξιοσημείωτη εμφάνιση αρτιβλάστων κατά τη δεύτερη μεταπτυρική περίοδο. Αντίθετα, αρκετά είδη ψυχανθών εμφανίζουν μαζική φύτευση σπερμάτων και εγκατάσταση αρτιβλάστων κατά το δεύτερο ακόμη και το τρίτο μεταπτυρικό έτος (Papavassiliou and Arianoutsou, στο Arianoutsou and Neéman, 2000).

### Πίνακας 1.

#### Χαρακτηριστικά μεταπτυρικής διαδοχής Μεσογειακών φυτοκοινοτήτων

	Φυτοκοινότητες με εποχιακά διμορφικά φυτά (φρύγανα)	Θαμνώνες αειφύλλων σκληροφύλλων (μακί)	Πευκοδάση
Ετήσια και βραχύβια φυτά	Άφθονα	Άφθονα	Άφθονα
Γεώφυτα	Πολλά	Πολλά	Πολλά
Ποώδη πολυετή	Πολλά (κυρίως αγροστώδη)	Πολλά (κυρίως αγροστώδη)	Πολλά (κυρίως αγροστώδη)
Μηχανισμός αναγέννησης των κυρίαρχων ξυλωδών φυτών	Αναβλάστηση / φύτευση σπερμάτων	Αναβλάστηση	Αναβλάστηση / φύτευση σπερμάτων
Χρονιασμός της αναγέννησης των φυτών	Σχεδόν αμέσως μετά τη φωτιά / στην πρώτη βροχερή μεταπτυρική περίοδο	Αμέσως μετά τη φωτιά	Στην πρώτη βροχερή μεταπτυρική περίοδο
Ενεργοποιημένη φύτευση σπερμάτων	Ναι	Όχι στους θάμνους	Ναι
Ανάπτυξη της κόμης	100% σε λιγότερο από 10 χρόνια	100% σε λιγότερο από 5 χρόνια	100% σε περισσότερα από 10 χρόνια
Βιοποικιλότητα	Αρχικά αυξάνει – μειώνεται καθώς ωριμάζει η φυτοκοινότητα	Αρχικά αυξάνει – μειώνεται καθώς ωριμάζει η φυτοκοινότητα	Αρχικά αυξάνει – μειώνεται καθώς ωριμάζει η φυτοκοινότητα

Η νεανική φάση για τα περισσότερα ξυλώδη είδη που αναγεννώνται με φύτευση σπερμάτων, όπως οι λαδανιές, διαρκεί μόνο δύο έτη. Αυτό σημαίνει ότι φθάνουν στην αναπαραγωγική ηλικία αρκετά σύντομα. Σύμφωνα με στοιχεία των Σκούρου και Αριανούτσου (αδημ. δεδομένα) παρατηρείται μία δεύτερη στρατολόγηση αρτιβλάστων (seedling recruitment), η οποία ταυτίζεται με το μέγιστο της μείωσης της πυκνότητας του αρχικού πληθυσμού, περίπου δεκαπέντε (15) χρόνια μετά τη φωτιά.

Η Χαλέπιος πεύκη (*Pinus halepensis*) καθώς και η τραχεία πεύκη (*Pinus brutia*) είναι τα πιο σημαντικά Μεσογειακά πεύκα που σχηματίζουν επίγεια τράπεζα σπερμάτων. Αυτή η τράπεζα αποτελείται από βραδύχωρους (serotinous) κώνους και τα σπέρματα που εσωκλείουν. Η βραδυχωρία είναι ιδιαίτερα εμφανής στους κώνους των νεαρών ατόμων της χαλεπίου, παρόλο που τα σπέρματά τους παρουσιάζουν κανονικά επίπεδα φυρωτικότητας (Thanos et al., 1998). Η νεανική φάση στα πεύκα διαρκεί περισσότερο από αυτή των θάμνων. Για τη χαλέπιο πεύκη έχει βρεθεί ότι η νεανική φάση διαρκεί 4 έτη, ενώ στην τραχεία το διάστημα αυτό είναι λίγο μεγαλύτερο (Thanos et al., 1998). Σε επίπεδο πληθυσμού πάντως αυτό το γνώρισμα επηρεάζεται από τα χαρακτηριστικά (εδαφικά και μετεωρολογικά) που επικρατούν στην περιοχή. Σύμφωνα με προσωπικές παρατηρήσεις σε μεταπτυχιακή χρονοσειρά δασών χαλεπίου πεύκης, ο πληθυσμός των πεύκων είναι σε αναπαραγωγική ηλικία μετά το 15-20 έτος.

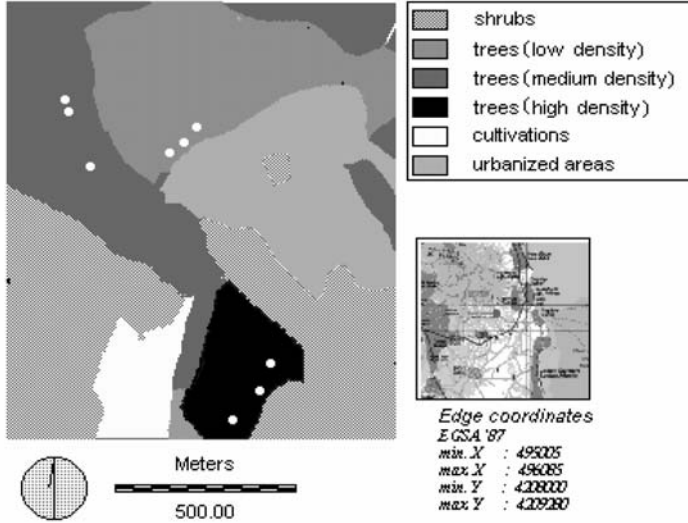
## **Το καθεστώς της φωτιάς και οι αποκρίσεις της βλάστησης**

Για να προβλέψουμε τη μακρόχρονη επιβίωση των φυτών είναι σημαντικό να γνωρίζουμε όχι μόνο τις προσαρμογές τους απέναντι στην περιοδική «κανονική» συχνότητα φωτιάς αλλά και πώς αυτά επηρεάζονται από το καθεστώς της φωτιάς, δηλαδή τη συχνότητα, την ένταση, την εποχή και την έκταση. Στην εργασία αυτή θα μας απασχολήσουν κυρίως η συχνότητα και η ένταση, μίας και οι φωτιές που συμβαίνουν στις περιοχές της Μεσογείου συμβαίνουν κατά βάση τους καλοκαιρινούς μήνες. Σε ότι αφορά στην έκταση, αυτή είναι σημαντική γιατί μπορεί να καθορίσει τις πιθανότητες διασποράς των σπερμάτων από άκαφτες περιοχές, το πόσο ευάλωτη είναι η περιοχή στη βόσκηση κ.λπ.

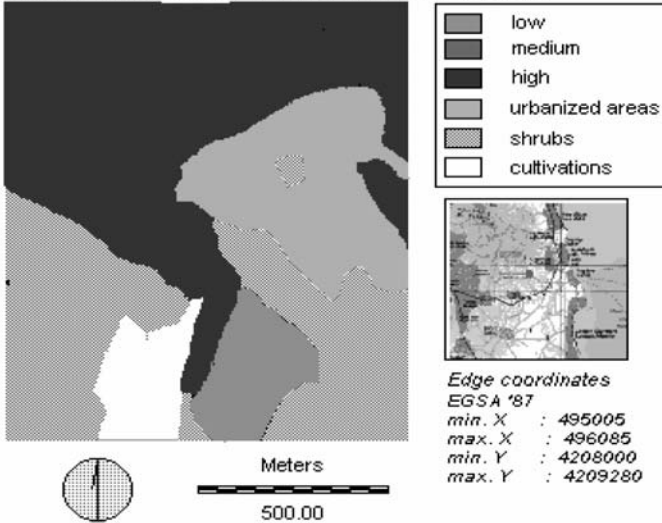
### **Η συχνότητα της φωτιάς**

Όλες οι φωτιές που συμβαίνουν στις Μεσογειακές περιοχές καινε εκτάσεις που είχαν καιεί πάλι στο παρελθόν. Κατά συνέπεια, η βλάστηση αυτών των περιοχών είναι ένα μωσαϊκό ιστορίας φωτιάς, στο οποίο κάποια τμήματα έχουν καιεί περισσότερες και κάποια λιγότερες φορές σε δεδομένο χρονικό διάστημα.

**Kallittechnoupoli, Attica - Land cover types**



**Kallittechnoupoli, Attica - Risk of vegetation change**



**Πλαίσιο 1.** Χάρτης της Καλλιτεχνούπολης στο όρος Πεντέλη της Αττικής.

Άνω τμήμα: Χάρτης βλάστησης της περιοχής. Κατώτερο τμήμα: Κίνδυνος μεταβολής τύπου (φυσιογνωμίας και δομής) της βλάστησης εξαιτίας των συχνών πυρκαγιών (κύκλοι στην άνω εικόνα). Το κριτήριο για την εκτίμηση του κινδύνου είναι η πυκνότητα των αριβλάστων χαλεπίου πεύκης *Pinus halepensis* (Ariannoutsou, 1998).

Τα φυτά που θανατώνονται από τη φωτιά και αναγεννώνται με φύτευση των σπερμάτων τους εξαρτώνται από αυτή τη φύτευση προκειμένου να συνεχίσουν να υπάρχουν στη συγκεκριμένη περιοχή. Για αυτά τα φυτά, θα πρέπει να μεσολαβεί αρκετός χρόνος μεταξύ των διαδοχικών περιστατικών ώστε να ωριμάζουν τα νεαρά αρτίβλαστα, να παράγουν σπέρματα και να τροφοδοτούν την τράπεζα σπερμάτων. Αυτός ο χρόνος ποικίλει ανάλογα με το είδος (δες ανωτέρω), από ένα χρόνο μετά τη φωτιά (όπως στα ποώδη ψυχανθή) μέχρι δύο (στις λαδανιές) ή 6-8 (στα πεύκα) προκειμένου τα άτομα να ωριμάσουν αναπαραγωγικά. Εάν συμβεί ένα δεύτερο περιστατικό φωτιάς πριν να ωριμάσουν αυτά τα φυτά, τότε θα συμβούν δραματικές μεταβολές στη σύνθεση και τη φυσιολογία της. Ένα τυπικό παράδειγμα της τελευταίας περίπτωσης προέρχεται από το όρος Πεντέλη (Πλαίσιο 1), το οποίο έχει δεχθεί πολλαπλές επιδράσεις από πυρκαγιές. Ο κίνδυνος να υπάρξουν δραματικές μεταβολές στη φυσιολογία και τη δομή της βλάστησης είναι πολύ υψηλός στις θέσεις που έχουν καεί 3 φορές με μεσοδιάστημα μικρότερο των 10 χρόνων. Αυτό συμβαίνει γιατί τα νεαρά άτομα της χαλεπίου πεύκης, που ήταν το κυρίαρχο είδος στην περιοχή, δεν είχαν τον απαιτούμενο χρόνο να ωριμάσουν αναπαραγωγικά και να φθάσουν να παράγουν σπέρματα, τα οποία θα εξασφάλιζαν την ανάκαμψη του πληθυσμού των πεύκων.

### ***Η ένταση της φωτιάς***

Η ένταση της φωτιάς εκφράζεται ως το ποσό της θερμότητας που εκλύεται κατά το πέρασμα της φωτιάς από μιά συστάδα βλάστησης. Το ποσό αυτό είναι συνάρτηση πολλών παραμέτρων ανάμεσα στις οποίες οι πιο σημαντικές είναι το ποσό του καυσίμου υλικού, η υγρασία του καυσίμου, η κατακόρυφη και οριζόντια κατανομή του κ.λπ. Τα φυτά «αντιλαμβάνονται» την ένταση της φωτιάς μέσα από το ποσό της απελευθερούμενης ενέργειας και τη διάρκεια του περιστατικού. Οι έντονες φωτιές συνήθως θανατώνουν τα αναβλασπώνοντα είδη, χωρίς ωστόσο να επηρεάζουν την αναγεννησιμότητά τους, καθώς αυτή καθορίζεται από τους διαθέσιμους υδατάνθρακες στις ρίζες των υπογείων δομών τους, που προστατεύονται από τη φωτιά. Τα σπέρματα που συγκροτούν την εδαφική τράπεζα σπερμάτων επίσης δεν φαίνεται να επηρεάζονται από τις έντονες φωτιές. Αντίθετα, υπάρχουν αρκετές εργασίες, οι οποίες αναφέρουν ενεργοποίηση της φύτευσης των σπερμάτων της εδαφικής τράπεζας από τη θερμότητα της φωτιάς (Arianoutsou and Margaris, 1981b; Thanos and Georgiou, 1988; Keeley, 1991; Σκούρου και Αριανούτσου υπό προετοιμ.; Καρή και Αριανούτσου, αδημ. δεδομένα).



## **Δείκτες πρόβλεψης δυναμικής της βλάστησης σε μεταπυρικά αναγεννούμενες Μεσογειακές φυτοκοινότητες**

Όπως αναφέρθηκε και στην αρχή, είναι αναγκαίο πλέον να μπορούν να γίνονται προβλέψεις της πιθανής εξέλιξης της βλάστησης υπό το συνεχώς τροποποιούμενο καθεστώς φωτιάς. Στην κατεύθυνση αυτή, τα μοντέλα είναι ιδιαίτερα χρήσιμα εργαλεία στην διαδικασία υποστήριξης λήψης αποφάσεων.

Μία από τις πρόσφατες προσεγγίσεις του ζητήματος αυτού έχει επιχειρηθεί από τους ερευνητές, οι οποίοι χρησιμοποιούν τις προσαρμοστικές στρατηγικές λειτουργικής απόκρισης των φυτών απέναντι σε μία διαταραχή (π.χ. φωτιά ή βόσκηση) για να εκτιμήσουν την πιθανότητα που έχει μία φυτοκοινότητα να παραμείνει ως έχει ή να μεταβληθεί προς κάτι άλλο (Pausas, 1999; Lavorel et al., 1997; Kazanis and Arianoutsou, 2004). Αυτά τα μοντέλα μπορούν να προβλέψουν τις πιθανές οδούς που θα ακολουθήσει η δυναμική πληθυσμών των φυτών σε φυτοκοινότητες Μεσογειακών τοπίων ανάλογα με τη σύνθεσή τους ως προς τις 4 λειτουργικές ομάδες φυτών που διακρίνονται στα οικολογικά αυτά συστήματα (Εικόνα 1 και Πίνακας 2).

Εξίσου δυναμικά είναι και τα μοντέλα, τα οποία στηρίζονται σε κανόνες γνώσης και λειτουργούν σε περιβάλλον Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS). Ως παράδειγμα αναφέρουμε την εφαρμογή που αναπτύχθηκε στα πλαίσια ενός προγράμματος ΠΕΝΕΔ που χρηματοδοτήθηκε από την ΓΓΕΤ με τίτλο: «Εκτίμηση των τάσεων ερημοποίησης των Μεσογειακών οικοσυστημάτων ως αποτέλεσμα της δράσης των πυρκαγιών» με στόχο την διαμόρφωση κατάλληλων δεικτών που να απεικονίζουν αφενός μεν τον κίνδυνο αλλαγής της κάλυψης γης και αφ' ετέρου την πιθανότητα να συμβεί διάβρωση ως αποτέλεσμα της δράσης των συχνών πυρκαγιών. Για την πρώτη ομάδα δεικτών ως κατάλληλη παράμετρος χρησιμοποιήθηκε η πυκνότητα των αρτιβλάστων ή των νεαρών φυταρίων της πεύκης, ενώ για τη δεύτερη, η κάλυψη γης. Οι τιμές των παραμέτρων αυτών ομαδοποιούνται σε κλάσεις που αντιστοιχούν στις κατώτερες, μέσες και ανώτερες καταστάσεις της κάθε παραμέτρου, μετά την εφαρμογή κανόνων γνώσης (knowledge rules). Η προβολή της εφαρμογής των κανόνων γνώσης στα όμοια πολύγωνα του χώρου (τοπίου) μελέτης (δηλαδή στα πολύγωνα που έχουν τις ίδιες ιδιότητες: κλίση, προσανατολισμό, ιστορία φωτιάς κλπ) παράγει τη ζητούμενη θεματική πληροφορία στο περιβάλλον των ΓΣΠ (Εικόνες 2 και 3, από Arianoutsou et al., 2000).

Ανάλογη είναι και η περίπτωση του λογισμικού που αναπτύχθηκε στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού προγράμματος PROMETHEUS s.v., το οποίο αποσκοπεί στην δημιουργία βάσεων με κανόνες γνώσης ανά θεματική ενότητα του ενδιαφέροντός του με τελικό στόχο την ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων των πυρκα-

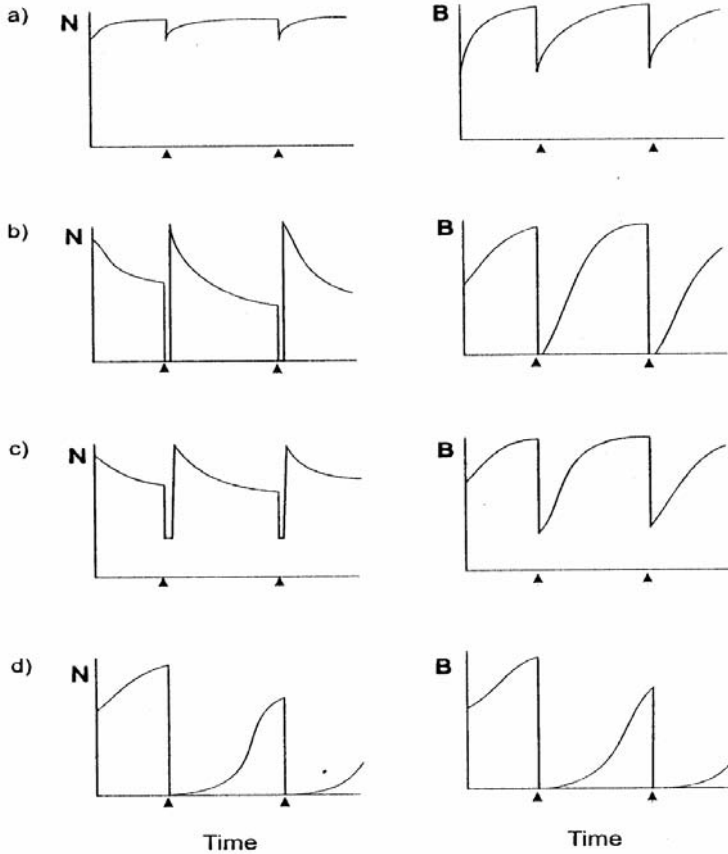
γιών και την αριστοποίηση της πρόβλεψης (Arianoutsou, 1998b; Ευτυχίδης και συν., 2001; Αριανούτσου και συν., 2001) και εφαρμογή τους σε περιβάλλον ΓΣΠ. Εφαρμογή αυτού του λογισμικού για ένα σενάριο φωτιάς με δεδομένα χαρακτηριστικά παράγει ένα αποτέλεσμα με βάση τους κανόνες που έχουν ενσωματωθεί στη σχετική βάση δεδομένων, όπως αυτό απεικονίζεται στην Εικόνα 4 και το οποίο αφορά την ικανότητα αναγέννησης και επανάκαμψης της βλάστησης. Αν το σενάριο της φωτιάς ήταν διαφορετικό, τότε οι κανόνες θα οδηγούσαν στην παραγωγή διαφορετικού χάρτη για την αναγεννησιμότητα και επανάκαμψη της περιοχής.

### Πίνακας 2.

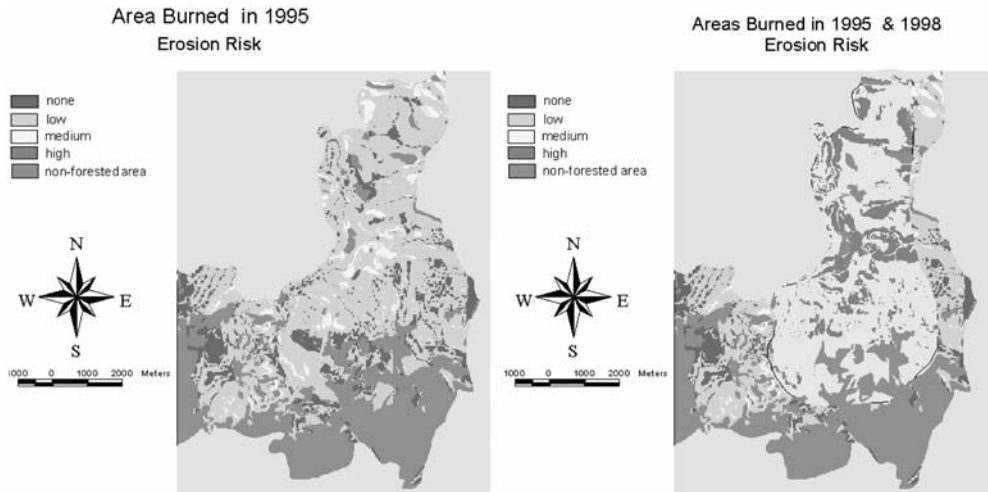
*Σχέση μεταξύ των χαρακτηριστικών προτύπου ζωής και των 4 λειτουργικών ομάδων προσαρμοστικής απόκρισης των φυτών της Μεσογειακής βλάστησης απέναντι στη φωτιά (προσαρμογή από Pausas, 1999).*

Χαρακτηριστικά ζωής			Λειτουργικές ομάδες	
Ικανότητα αναβλάστησης	Ναι (υψηλή)	Όχι	Ναι (μέτρια)	Όχι
Ενεργοποίηση φύτευσης σπερμάτων από τη φωτιά	Όχι	Όχι	Όχι	Όχι
Διάρκεια ζωής	Μακρά	Βραχεία	Μακρά/Μέση	Βραχεία
Τάχος αύξησης	Μικρό	Υψηλό	Μέσο	Υψηλό/μέσο
Μονάδες διασποράς	Μεγάλες, σαρκώδεις ή βελανοειδείς	Μικρές, ελαφρές, σκληρές	Μικρές, ελαφρές	Μικρές, ελαφρές
Αριθμός μονάδων διασποράς	Λίγες	Πολλές	Αρκετές	Πολλές
Παράγοντας διασποράς	Ζώα	Ανεμος	Διάφοροι	Ανεμος
Τράπεζα σπερμάτων	Όχι	Ναι (εδαφική ή επίγεια)	Ναι (εδαφική)	;
Βιωσιμότητα σπερμάτων	Μικρή	Μακρά	Ποικίλη/Βραχεία	Βραχεία
Εγκατάσταση σπερμάτων	Μικρή	Υψηλή	Μέση	Μέση
Ευαισθησία σε διαταραχές	Μικρή	Υψηλή	Μέση	Υψηλή

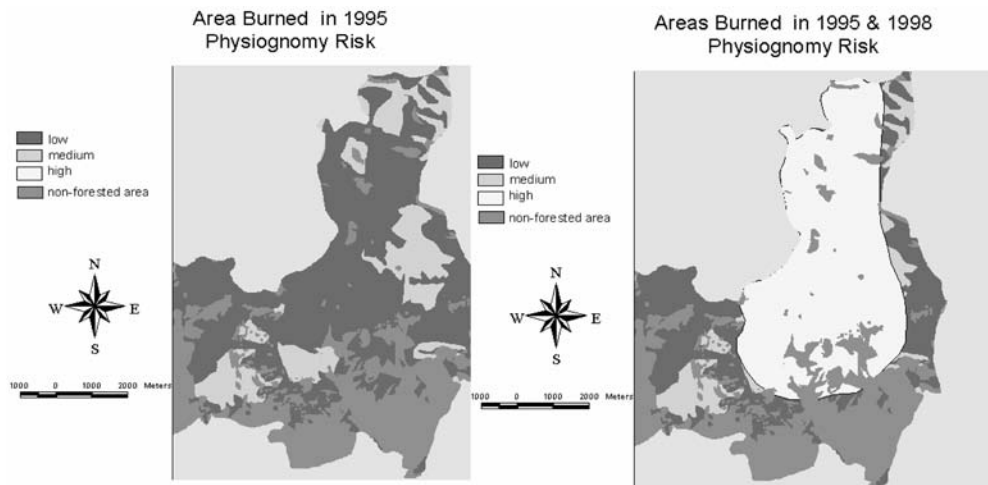
Παραδείγματα	Quercus ilex Q. coccifera Arbutus unedo Pistacia lentiscus Phyllirea spp.	Cistus spp. Pinus halepensis P. brutia Ulex parviflorus	Anthyllis cytisoides Bituminaria bituminosa Genista scorpius Piptatherum sp.	Taraxacum spp. Chenopodium Juniperus phoenicea
--------------	---------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------



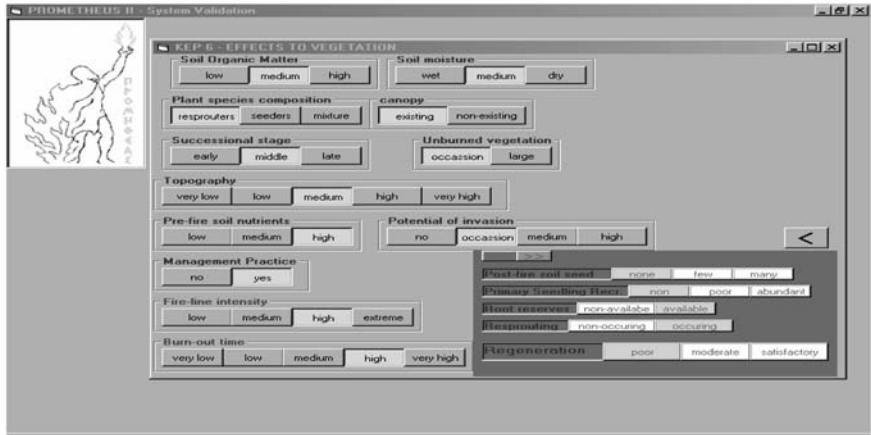
**Εικόνα 1.** Πιθανά σενάρια δυναμικής πληθυσμών για τις 4 λειτουργικές ομάδες προσαρμοστικής απόκρισης των φυτών απέναντι στη φωτιά: (N: μέγεθος πληθυσμού, B: Βιομάζα –υπέργεια και υπόγεια). Τα βέλη παριστούν τη δράση των περιστατικών της φωτιάς. (a): αναβλαστώνοντα είδη, (b): αποκλειστικά σπερμοαναγεννώμενα είδη, (c): προαιρετικά αναβλαστώνοντα είδη με ενεργοποιούμενη από τη φωτιά φύτευση σπερμάτων, (d): μη αναβλαστώνοντα είδη χωρίς ιδιαίτερη ενεργοποίηση της φύτευσης των σπερμάτων τους από τη φωτιά (κατά Pausas, 1999).



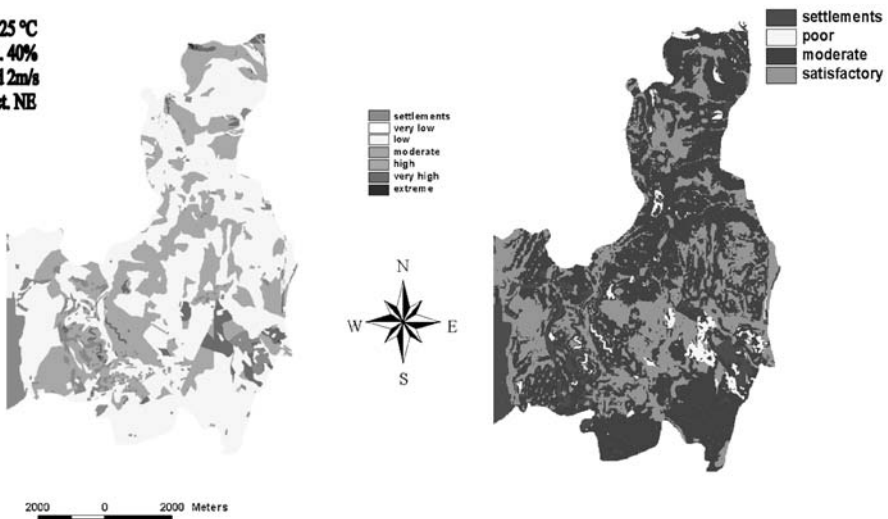
*Εικόνα 2. Δείκτης κινδύνου αλλαγής της φυσιογνωμίας της βλάστησης μετά από ένα ή δύο κοντινά περιστατικά φωτιάς στην περιοχή της Πεντέλης (Arianoutsou et al., 2000).*



*Εικόνα 3. Δείκτης κινδύνου διάβρωσης μετά από 1 ή 2 κοντινά περιστατικά φωτιάς (ως άνω).*



Air Temp. 25 °C  
Air Humid. 40%  
Wind speed 2m/s  
Wind direct. NE



**Εικόνα 4.** Οθόνη του λογισμικού του ΠΡΟΜΗΘΕΑ (άνω). Ένα περιστατικό φωτιάς, το οποίο έχει τα χαρακτηριστικά που φαίνονται στο άνω άκρο αριστερά της Εικόνας προκαλεί καύση της βλάστησης κατά το πρότυπο της έντασης που φαίνεται αριστερά. Εφαρμόζοντας το μοντέλο πρόβλεψης της απόκρισης της βλάστησης σε αυτές τις συνθήκες πυρκαγιάς προκύπτει το αποτέλεσμα που φαίνεται στο δεξί μέρος της Εικόνας με τις διαβαθμίσεις του πράσινου χρώματος, όπου όσο περισσότερο σκούρο είναι το χρώμα, τόσο πιά ικανοποιητική είναι η αναγέννηση (Αριανούτσου και συν. 2001).

## Συμπεράσματα

Η μακρόχρονη έκθεση των Μεσογειακών οικοσυστημάτων στη φωτιά έχει επάγει την ανάπτυξη και εξέλιξη ειδικών προσαρμογών απέναντι στη διαταραχή αυτή. Η αυξανόμενη ανθρώπινη δραστηριότητα και επέμβαση του ανθρώπου στα συστήματα αυτά προκαλεί σημαντική επίδραση στα Μεσογειακά τοπία και τα οικολογικά τους συστήματα. Κατά συνέπεια, είναι αδύνατον να διαχειριστούμε τα τοπία και τα συστήματα αυτά χωρίς να πάρουμε υπόψη μας τα χαρακτηριστικά των φυτών που ενδιαιτούν σε αυτά. Η διαχείριση αυτή μπορεί να αποβλέπει στην ελαχιστοποίηση των καταστρεπτικών αποτελεσμάτων που μπορεί να έχει η φωτιά, στη διατύπωση ορθολογιστικών μεθόδων αποκατάστασης των καμένων εκτάσεων, ακόμη και στην ελαχιστοποίηση του κινδύνου έναρξης και εξάπλωσης πυρκαγιάς. Τα μοντέλα, τα οποία ενσωματώνουν τις ιδιότητες των φυτών που συγκροτούν αυτά τα συστήματα, αποδεικνύονται ιδιαίτερα χρήσιμα εργαλεία στη διαδικασία της υποστήριξης λήψης αποφάσεων.

## Βιβλιογραφία

- Arianoutsou M. (1979): «Biological activity after fire in a phryganic ecosystem». Ph.D. Thesis, Univ. of Thessaloniki (in greek with an english summary).
- Arianoutsou M. (1998a): «Aspects of demography in post-fire plant communities of Greece». In: Rundel, P.W., Montenegro G. and Jaksic F. (eds). Landscape Degradation and Biodiversity in Mediterranean Type Ecosystems. Ecological Studies 136. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, pp 273-295.
- Arianoutsou M. (1998b): «Fires effects on the ecosystem: the Prometheus project approach». In: D.X. Viegas (ed). Book of Proceedings of the III International Conference on Forest Fire Research, Luso, Portugal, pp 1827-1841.
- Αριανούτσου Μ. (1998): Έκθεση πεπραγμένων στη Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας του Ερευνητικού προγράμματος ΠΕΝΕΔ με τίτλο: Εκτίμηση των τάσεων ερημοποίησης των Μεσογειακών οικοσυστημάτων ως αποτελέσματος της δράσης των πυρκαγιών. Σελ. 114.
- Arianoutsou M. and Margaris N.S. (1981a): «Producers and the fire cycle in a phryganic ecosystem». In: Margaris N.S. and H.A. Mooney (eds). Components of productivity in Mediterranean climate regions – basic and applied aspects. Dr W. Junk, The Hague, pp 181-190.
- Arianoutsou M. and Margaris N.S. (1981b): «Early stages of regeneration after fire in a phryganic ecosystem (East Mediterranean)». I. Regeneration by seed germination. *Ecol. Medit.*, 7: 119-128.
- Arianoutsou M. and Neéman G. (2000): «Post-fire regeneration of natural Pinus halepensis forests in the East Mediterranean Basin». In: G. Neéman and L. Trabaud (eds).

- Ecology, Biogeography and Management of Mediterranean Pine Forests. Backhuys Publishers, pp 269-290.
- Arianoutsou M., Kazanis D. and Varela V. (2000): «Ecological Indicators of land degradation due to frequent fires: the case of Penteli Mt., Attica, Greece». Book of Abstracts of the 9th International Conference on the Mediterranean – type Ecosystems, Stellenbosch, South Africa.
- Αριανούτσου Μ., Ευτυχίδης Γ. και Βαρελά Β. (2001): «Υποστήριξη ολοκληρωμένου σχεδιασμού διαχείρισης δασικών πυρκαγιών με το σύστημα ΠΡΟΜΗΘΕΑΣ». Στα Πρακτικά του Διεθνούς Συνεδρίου: New communication and information technologies in forest fire prevention and suppression. Kalamata, (in press).
- Daskalakou E. and Thanos C.A. (1997): «Post-fire establishment and survival of Aleppo pine seedlings». In: P. Balabanis, G. Eftichidis and R. Fantechi (eds), EUR 16719. Forest Fire Risk and Management. Proceedings of the Summer School of Climatology and Natural Hazards, pp 357-368.
- Ευτυχίδης Γ., Βαρελά Β. και Αριανούτσου Μ. (2001): «ΠΡΟΜΗΘΕΑΣ – Κώδικας σχεδιασμού πρόληψης δασικών πυρκαγιών». Στο: Διεθνές Συνέδριο FOREST FIRES 2001. Βιβλίο Περίληψεων, σελ. 78-79.
- Kazanis D. and Arianoutsou M. (1996): «Vegetation composition in a post-fire successional gradient of *Pinus halepensis* forests of Attica, Greece». *Int. J. Wildland Fire*, 6: 83-91.
- Kazanis D. and Arianoutsou M. (1998): «Post-fire succession of Aleppo pine forests: plant diversity». In: Proceedings of the 7th Conference of the Hellenic Botanical Society, pp 169-173 (in Greek with an English summary).
- Kazanis D. and Arianoutsou M. (2004): «Long-term post-fire vegetation dynamics in *Pinus halepensis* forests of Central Greece: A functional group approach». *Plant Ecology*, 171:101-121.
- Keeley J. (1991): «Seed germination and life history syndromes in the California chaparral». *Bot. Review*, 57: 81-116.
- Lavorel S., McIntyre S., Landsberg J. and Forbes T.D.A. (1997): «Plant functional classifications: from general groups to specific groups based on response to disturbance». *TREE*, 12(2): 474-478.
- Papanastasis V.P. (1977): Fire ecology and management of phrygana communities in Greece: H.A. Mooney and C.E. Conrad (techn. coord.). Proc. of the Symposium on the environmental consequences of fire and fuel management in Mediterranean ecosystems. USDA Forest Service, General Technical Report WO 3, pp 476-482.
- Papavasiliou S. and Arianoutsou M. (1997): «Natural post-fire regeneration of Leguminosae in a *Pinus halepensis* forest of Attica, Greece». In: Forest Fire Risk and Management. Proceedings of The Summer School of Climatology and Natural Hazards, P. Balabanis, G. Eftichidis and R. Fantechi (eds), EUR 16719, pp 411-417.
- Pausas J. (1999): «Mediterranean vegetation dynamics: modelling problems and functional types». *Plant Ecology* 140: 27-39.
- Skourou P. and Arianoutsou M. (1998): «Population dynamics of *Cistus creticus* along a post-fire chronosequence of Aleppo pine forests of Attica». In: Proceedings of the

- 7th Conference of the Hellenic Botanical Society, pp 219-223. (in greek with an english summary).
- Thanos C.A. and Georgiou K. (1988): «Ecophysiology of fire-stimulated seed germination in *Cistus incanus* ssp. creticus (L.) Heywood and *Cistus salvifolius* L.», *Plant, Cell and Environ.*, 11: 841-849.
- Thanos C.A., Daskalakou E. and A. Skordilis (1998): «Reproductive biology of Mediterranean pines – the duration of the juvenile period». In: Proceedings of the 7th Conference of the Hellenic Botanical Society, pp 155-158 (in greek with an english summary).
- Trabaud L. (1994): «Post-fire community dynamics in the Mediterranean Basin». In: J. M. Moreno and W.C. Oechel (eds). *The Role of Fire in Mediterranean-Type Ecosystems*. Ecological Studies 107, Springer - Verlag, pp 1-15.