

**Πρόβλεψη εγκατάστασης φυσικής αναγέννησης στα καμένα δάση χαλεπίου πεύκης (*Pinus halepensis*) στο νομό Ηλείας.**

**Prediction of post-fire regeneration in burned forest Aleppo pines (*Pinus halepensis*) at Pii prefecture (Greece).**

**Ποϊραζίδης, Κ.<sup>1\*</sup>, Ζωγράφου, Κ.<sup>1</sup>, Κορδοπάτης, Π.<sup>1</sup>, Καλύβας, Δ.<sup>2</sup>, Αριανούτσου, Μ.<sup>3</sup>, Καζάνης, Δ.<sup>3</sup>, Κορακάκη, Ε.<sup>1</sup>**

Poirazidis K, Zografou K, Kordopatis P, Kalivas D, Arianoutsou M, Kazanis D, Korakaki E

<sup>1</sup> WWF Ελλάς, Φιλελλήνων 26, Τ.Κ. 10558, Αθήνα

<sup>2</sup> Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής - Τομέας Εδαφολογίας – Ερευνητική μονάδα Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, Ιερά Οδός 75, Τ.Κ. 118 55 Αθήνα

<sup>3</sup> Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Οικολογίας και Συστηματικής, Πανεπιστημιούπολη, Τ.Κ. 15784, Αθήνα

\* k.poirazidis@wwf.gr

### **Περίληψη**

Το 2007, στην Ηλεία, η καταστροφική πυρκαγιά που διήρκησε δέκα ημέρες κατέστρεψε 20.586 ha εκτάρια δάσους Χαλεπίου πεύκης. Με στόχο να προσδιοριστούν τα αναγκαία διαχειριστικά μέτρα ανάλογα με την ανάκαμψη της δασικής βλάστησης στην πληγείσα περιοχή, διαμορφώθηκε ένα πολυκριτηριακό μοντέλο προσδιορισμού και χαρτογράφησης του βαθμού επιτυχίας της αναγέννησης της Χαλεπίου πεύκης. Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε αποτελείτο από τρία στάδια: Πρώτον, δεδομένα πεδίου συλλέχθηκαν σε 84 περιοχές, δύο χρόνια μετά την πυρκαγιά (2009). Δεύτερον, δύο παράλληλα μοντέλα αναπτύχθηκαν, προκειμένου να προβλεφθεί η φυσική αναγέννηση με βάση τη χωρική παρεμβολή των μετρήσεων του πεδίου (γεωστατιστική) στο σύνολο της καμένης έκτασης και β) πολυκριτηριακή ανάλυση και χαρτογράφηση περιβαλλοντικών παραγόντων. Τέλος, τα δύο μοντέλα συνδυάστηκαν για να παραχθεί το τελικό μοντέλο πρόβλεψης και να προσδιοριστούν ενότητες της καμένης έκτασης με διαφορετικό βαθμό φυσικής ανάκαμψης μετά τη φωτιά. Σύμφωνα με το τελικό μοντέλο, περίπου το 41% των καμένων εκτάσεων ανήκει στις μεσαίες κατηγορίες με πυκνότητα πεύκων από 0.8 έως 1,5 άτομα/ m<sup>2</sup>, το 33% στις κατηγορίες με εξαιρετική αναγέννηση και πυκνότητα πεύκων από 6-10 άτομα/ m<sup>2</sup>, ενώ ιδιαίτερο πρόβλημα αποκατάστασης φέρει μόνο το 26% της καμένης έκτασης (κατηγορίες 1-5) με πυκνότητα πεύκων μόλις 0,1-0,6 άτομα/ m<sup>2</sup>.

## 1. Εισαγωγή

Τα μεσογειακά οικοσυστήματα έχουν εξελιχθεί υπό την επίδραση περιβαλλοντικών καταπονήσεων, με κυρίαρχες τη θερινή ξηρασία και την περιορισμένη διαθεσιμότητα θρεπτικών στοιχείων στο έδαφος. Βασικό εξελικτικό συστατικό τους είναι η περιοδική επίδραση της φωτιάς στη διαμόρφωση / διατήρηση της ποικιλότητας τους (Cowling κ.α. 1996). Η σχέση μεταξύ της φωτιάς και των φυτικών ειδών της Μεσογείου, εκφράζεται μέσα από τις προσαρμοστικές στρατηγικές που έχουν αναπτύξει τα ίδια τα φυτά, προκειμένου να επιβιώσουν και να εξελιχθούν παράλληλα με την περιοδική δράση της πυρκαγιάς (Pausas κ.α. 2004, Pausas και Verdú 2008).

Οι βασικές διαδικασίες αποκατάστασης που ακολουθούνται είναι (α) η αναβλάστηση (*resprouting*) των καμένων ατόμων από υπόγεια όργανα και (β) η φύτευση νέων ατόμων μέσω των σπερμάτων από εδαφικές ή επίγειες τράπεζες σπερμάτων (*seed germination*). Το δεύτερο μηχανισμό της αναγέννησης, ο οποίος πραγματοποιείται μέσω της φύτευσης των σπερμάτων, ακολουθούν τα περισσότερα είδη των οικογενειών *Cistaceae* και *Leguminosae* καθώς επίσης και η Χαλέπιος πεύκη (*Pinus halepensis*) με μεγάλη επιτυχία. Η Χαλέπιος πεύκη αποτελεί ένα βασικό αντιπρόσωπο των μεσογειακών οικοσυστημάτων και βέβαια της Ελλάδας καλύπτοντας το 8,7% του συνόλου της δασικής έκτασης που απαντάται στη χώρα. Πλήθος μελετών έχει ασχοληθεί με την μεταπυρική αναγέννηση της Χαλεπίου (Thanos κ.α. 1996, Tsimoni 1997, Brocano κ.α. 2005). Σε φαινόμενα καταστροφής της φυσικής βλάστησης από πυρκαγιά σε μεγάλη έκταση, μεγάλης συχνότητας εμφάνιση και ένταση της φωτιάς, η διαφοροποίηση του βαθμού επανάκαμψης της βλάστησης είναι έντονη, καθιστώντας την ανάγκη για πρόβλεψη της πορείας της μεταπυρικής αναγέννησης επιτακτική, προκειμένου να εφαρμοστούν έγκαιρα αλλά και κατάλληλα μεταπυρικά διαχειριστικά μέτρα (Arianooutsou 2004, Pausas 2006, Alloza και Vallejo 2006).

Το καλοκαίρι του 2007 στην Ελλάδα κάηκαν πάνω από 2,5 εκ. στρέμματα δασικών και αγροτικών εκτάσεων, με την Ηλεία να έχει πληγεί περισσότερο από κάθε άλλο νομό. Οι διασωθείσες νησίδες φυσικής βλάστησης, ενώ και ο βαθμός της φυσικής αποκατάστασης λόγω της μεγάλης ηλικιακής ετερογένειας των καμένων δασών παρουσίαζε μια έντονη χωρική διαφοροποίηση. Με σκοπό την ολοκληρωμένη αποκατάσταση των καμένων οικοσυστημάτων της χαλεπίου πεύκης και την επαναφορά της βιοποικιλότητας καθώς και των οικολογικών λειτουργιών στα φυσικά οικοσυστήματα του νομού Ηλείας, σχεδιάστηκε, στο πλαίσιο του προγράμματος του WWF Ελλάς «Το Μέλλον των Δασών», η δημιουργία ενός μοντέλου πρόβλεψης της αναγέννησης για τα καμένα -από τη φωτιά του 2007- πευκοδάση της περιοχής.

Οι ειδικότεροι στόχοι ήταν α) η πρόβλεψη και απεικόνιση σε μεγάλη χωρική ανάλυση του βαθμού της φυσικής αναγέννησης χαλεπίου πεύκης, οι οποίοι θα κάλυπταν όλη την καμένη έκταση της περιοχής της Ηλείας και β) ο σχεδιασμός και διάδοση μιας εύκολα εφαρμόσιμης μεθοδολογίας, που δύναται να χρησιμοποιηθεί σε αντίστοιχες περιπτώσεις μεγάλης έκτασης πυρκαγιών, προκειμένου να ληφθούν εγκαίρως τα μεταπυρικά μέτρα αποκατάστασης και διαχείρισης του εκάστοτε τόπου.

## 2. Υλικά και μέθοδοι

Η περιοχή μελέτης καταλαμβάνει όλη την καμένη έκταση της χαλεπίου πεύκης του νομού Ηλείας, ύστερα από τις πυρκαγιές του καλοκαιριού του 2007. Καλύπτει έκταση 20.586 ha, αποτελώντας περίπου το 30% της συνολικής έκτασης που κάηκε στο νομό από τις πυρκαγιές του 2007. Στο μεγαλύτερο τμήμα αυτής της έκτασης, κυριαρχούσε το αγρο-δασικό τοπίο χαλεπίου πεύκης με ελαιοκαλλιέργειες και σε πολύ μικρότερο βαθμό με άλλες καλλιέργειες.

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε αποτελείται από τρία στάδια. Αρχικά οργανώθηκε η έρευνα πεδίου (δύο χρόνια μετά τη φωτιά, 2009), με σκοπό να ληφθεί ένα ασφαλές δείγμα της πραγματικής πυκνότητας της φυσικής αναγέννησης από κάθε διακριτή γεωγραφική ενότητα (με βάση τη συγκόμωση του δάσους πριν τη φωτιά, την κλίση και τη γεωλογία). Στη συνέχεια αναπτύχθηκαν δύο παράλληλα μοντέλα πρόβλεψης της αναγέννησης με βάση, α) τη χωρική παρεμβολή των μετρήσεων του πεδίου (γεωστατιστική) στο σύνολο της καμένης έκτασης και β) πολυκριτηριακή ανάλυση και χαρτογράφηση περιβαλλοντικών παραγόντων, που σύμφωνα με την υφιστάμενη γνώση αλλά και την έρευνα πεδίου, επιδρούσαν στην πορεία της φυσικής αναγέννησης. Στο τρίτο στάδιο, το πολυκριτηριακό μοντέλο πρόβλεψης της αναγέννησης, συνδυάστηκε με το αντίστοιχο γεωστατιστικό για να παραχθεί το τελικό μοντέλο πρόβλεψης και να προσδιοριστούν ενότητες της καμένης έκτασης με διαφορετικό βαθμό φυσικής ανάκαμψης μετά τη φωτιά. Αναλυτικότερα:

### 2.1. Έρευνα πεδίου

Με βάση την ισχύουσα βιβλιογραφία και γνώση ειδικών (Tsitsoni 1997, Arianoutsou κ.α. 2011) απογράφηκαν στο πεδίο 12 μεταβλητές σε 84 σημεία: 1) υψόμετρο, 2) κλίση εδάφους, 3) έκθεση, 4) ποσοστό κάλυψης πεσμένων κλαριών και κορμών, 5) ποσοστό συνολικής κάλυψης βλάστησης, 6) αριθμός αρτιβλάστων αναγεννημένης πεύκης, 7) αριθμός ατόμων ασφοδέλου (δείκτης υποβάθμισης), 8) ποσοστό κάλυψης κυρίαρχων ξυλωδών ειδών, 9) ποσοστό κάλυψης αγρωστωδών, 10) ποσοστό κάλυψης ψυχανθών, 11) ποσοστό κάλυψης λοιπών ποών και 12) ποσοστό κάλυψης βράχων/ πετρών. Η δειγματοληπτική έκταση αποτελούνταν από πέντε συνδεδεμένους κύκλους (ακτίνας 2,5 μέτρων), οι οποίοι ήταν τοποθετημένοι στο κέντρο και στις άκρες ενός σταυρού με αποτέλεσμα η συνολική δειγματοληπτική περιοχή έφτανε τα 100 τ.μ. Η ανάδειξη της επιρροής των μεταβλητών που μετρήθηκαν *in situ*, στο βαθμό αναγέννησης της πεύκης έγινε με χρήση του λογισμικού Canoco 4.0 (ter Braak & Smilauer 2002) και την επιλογή RDA (Redundancy analysis).

### 2.2. Ανάπτυξη Γεωστατιστικού μοντέλου

Με βάση τους σημαντικούς παράγοντες που προήλθαν από την προηγούμενη ανάλυση, πραγματοποιήθηκε χωρική παρεμβολή αυτών των σημειακών τιμών στο σύνολο της καμένης έκτασης με τη μέθοδο *Ordinary kriging*, ενώ ο έλεγχος της ακρίβειας έγινε με τη χρήση της τεχνικής *jack-knifing*. Συνολικά αναλύθηκαν τόσο η κατανομή των

αρτιβλάστων της πεύκης (συνολικός αριθμός και μέση τιμή πεύκων/δειγματοληπτική επιφάνεια) όσο και πέντε σημαντικοί περιβαλλοντικοί παράγοντες που χρησιμοποιήθηκαν στο δεύτερο στάδιο ανάπτυξης του πολυκριτηριακού μοντέλου. Οι παράγοντες αυτοί ήταν: το ποσοστό κάλυψης γης από πουρνάρι (*Quercus coccifera*) και κουμαριά (*Arbutus unedo*), η κάλυψη από αγροστώδη, η κάλυψη των κλαριών στο έδαφος και η κάλυψη από πέτρες.

### 2.3. Ανάπτυξη Πολυκριτηριακής Ανάλυσης (MCE) και χρήση GIS

Ο συνδυασμός πολυκριτηριακών αναλύσεων και Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS) για την αξιολόγηση της καταλληλότητας χωρικών επιφανειών έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως με πολλά πλεονεκτήματα (Malczewski 2006). Τα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών επιτρέπουν τον υπολογισμό χωρικών κριτηρίων, ενώ οι πολυκριτηριακές αναλύσεις μπορούν να ενοποιήσουν αυτά τα κριτήρια σε ένα δείκτη καταλληλότητας σε κάθε χωρική μονάδα (Arianooutsou κ.α. 2011).

Για τη δημιουργία του πολυκριτηριακού μοντέλου, χρησιμοποιήθηκε η εφαρμογή IDRISI (ver. 15). Με βάση την υφιστάμενη γνώση και τα αποτελέσματα από την επιτόπια έρευνα πεδίου, σχετικά με τους παράγοντες που επιδρούν σημαντικά στην επιτυχία της φυσικής αναγέννησης της πεύκης μετά από μια μεγάλη φωτιά, διαμορφώθηκε μια μήτρα οχτώ κριτηρίων - παραγόντων που χρησιμοποιήθηκαν για την παραγωγή του μοντέλου αυτού. Οι παράγοντες αυτοί (ποιοτικοί και ποσοτικοί) διαμορφώθηκαν ή αποδόθηκαν σε χωρική μορφή για να είναι δυνατή η ενοποίηση τους μέσα από το περιβάλλον του GIS. Όλοι οι υπολογισμοί έγιναν σε ανάλυση 30 μέτρων (ελάχιστη ανάλυση του ψηφιακού μοντέλου εδάφους). Στη συνέχεια, κάθε χωρικός παράγοντας μετασχηματίστηκε σε μια κοινή κλίμακα τιμών (0-255) χρησιμοποιώντας τεχνικές FUZZY. Η επιλογή της κατάλληλης καμπύλης μετασχηματισμού έγινε είτε με βάση την υφιστάμενη γνώση (*expert opinion*), είτε με μελέτη της στατιστικής καμπύλης συσχέτισης του αριθμού των αρτιβλάστων πεύκης (από τις μετρήσεις πεδίου) με την μεταβολή του εκάστοτε παράγοντα.

Με σκοπό την παραγωγή του πολυκριτηριακού μοντέλου, οι επιλεγμένοι παράγοντες ταξινομήθηκαν σε δύο ομάδες (Α και Β) και σε κάθε ομάδα βαθμονομήθηκαν με διαφορετικό ειδικό βάρος, σύμφωνα με την γνώμη ειδικών. Η ομάδα Α, περιελάμβανε τους παράγοντες που επηρεάζουν πρωτογενώς την παραγωγή και διασπορά των σπερμάτων της πεύκης από τα οποία θα προκύψουν τα μελλοντικά αρτίβλαστα: α) η δομή του πευκοδάσους πριν τη φωτιά με συνδυασμό τριών κριτηρίων (ηλικία, συγκόμωση, ποσοστό ώριμου δάσους σε χωρικές ενότητες με νεαρότερες ηλικίες δάσους), β) η κλίση του εδάφους, γ) το μητρικό πέτρωμα και δ) το υψόμετρο. Στην ομάδα Β, περιλαμβάνονται παράγοντες που επιδρούν δευτερογενώς στην επιτυχία φύτευσης των σπερμάτων και επιβίωσης των παραγομένων αρτιβλάστων: α) το ποσοστό κάλυψης από πουρνάρι και κουμαριά, β) η κάλυψη από αγροστώδη, γ) η κάλυψη από πέτρες και δ) η κάλυψη από κλαριά. Οι τελικοί χάρτες που δημιουργήθηκαν από τις δύο παραπάνω ομάδες συνδυάστηκαν σε ένα κοινό πολυκριτηριακό μοντέλο με βάση τη ισο-βαθμονόμηση της κάθε ομάδας, καθώς συνδυάζε αφενός μια από τις μεγαλύτερες μετρήσεις συσχέτισης του συνδυαστικού

μοντέλου και της καταγραφείσας αναγέννησης ( $r=0.878$ ) όσο και το μικρότερο βαθμό υποκειμενικότητας.

#### 2.4. Διαμόρφωση τελικού μοντέλου πρόβλεψης της αναγέννησης

Στο τελικό στάδιο το πολυκριτηριακό μοντέλο συνδυάστηκε με το γεωστατιστικό μοντέλο χωρικής παρεμβολής της καταγραφείσας αναγέννησης με τη βοήθεια Μπεϋζιανής στατιστικής μέσα από το περιβάλλον του GIS χρησιμοποιώντας την παρακάτω μαθηματική εξίσωση (Osborne κ.α. 2001):

$$P_{\text{Συνδυαστικό μοντέλο}} = \frac{1}{1 + e^{(\log \frac{1-P_{\text{μοντέλο}}}{P_{\text{μοντέλο}}} - \log \frac{P_{\text{γεωστατιστικό}}}{1-P_{\text{γεωστατιστικό}})}}$$

όπου  $P_{\text{μοντέλο}}$  είναι ο χάρτης πιθανοτήτων που έχει εξαχθεί από το πολυκριτηριακό μοντέλο A50B50,  $P_{\text{γεωστατιστικό}}$  είναι ο χάρτης πιθανοτήτων από το γεωστατιστικό μοντέλο και  $P_{\text{συνδυαστικό μοντέλο}}$ , η νέα αναθεωρημένη πιθανότητα που έχει υπολογιστεί από την εξίσωση.

Η τεχνική αυτή επιτρέπει την αναθεώρηση του υπολογισμού μιας εκ των προτέρων πιθανότητας (για παράδειγμα, που προέρχεται από ένα μοντέλο), βάσει μιας νέας (εκ των υστέρων) μεταγενέστερης πιθανότητας που προέρχεται από το δεύτερο μοντέλο. Ο τελικός χάρτης πρόβλεψης της αναγέννησης στις καμένες εκτάσεις ταξινομήθηκε σε 10 ισομερείς κατηγορίες κάθε μια από τις οποίες αναλύθηκε ανεξάρτητα και προτάθηκαν διαχειριστικά μέτρα.

### 3. Αποτελέσματα

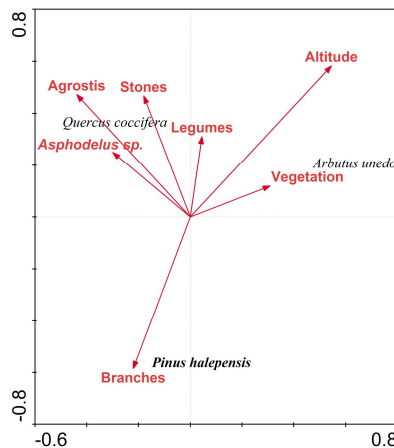
#### 3.1. Περιβαλλοντικοί παράγοντες και αναγέννηση πεύκης

Από το σύνολο των 12 περιβαλλοντικών μεταβλητών που αναλύθηκαν οι επτά είχαν θετική ή αρνητική σχέση με την αναγέννηση. Η παρουσία πεσμένων κλαδιών επηρέαζε θετικά την αναγέννηση της χαλεπίου, ενώ αρνητική σχέση παρατηρήθηκε με όλους τους υπόλοιπους παράγοντες (υψόμετρο, αγροστώδη, ψυχανθή, ασφόδελο, πέτρες και τη γενικότερη κάλυψη της βλάστησης (Διάγραμμα 1).

#### 3.2. Γεωστατιστικό μοντέλο

Τα παραγόμενα (εκθετικά) μοντέλα χωρικής παρεμβολής προσδιόρισαν με απόλυτη ακρίβεια την κατανομή των τιμών της αναγέννησης στην μελετούμενη περιοχή. Αυτό φάνηκε από τις τιμές των στατιστικών μεγεθών εκτίμησης των αποτελεσμάτων της *Kriging* παρεμβολής (μέσο σφάλμα κοντά στο μηδέν και μέσο τυπικό σφάλμα παρόμοιο με την τετραγωνική ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος). Σύμφωνα με

το γεωστατιστικό μοντέλο, η μισή περίπου καμένη έκταση (49,7 %) ανήκει σε μεσαίες κατηγορίες αναγέννησης με πυκνότητα πεύκων από 0.6 έως 1 άτομο / m<sup>2</sup>, σε ένα ποσοστό 37,9 % η πυκνότητα των πεύκων είναι μεγαλύτερη από 1,5 άτομα / m<sup>2</sup>, ενώ ιδιαίτερο πρόβλημα αποκατάστασης εμφανίζεται στο 12,3 % της καμένης έκτασης.



Διάγραμμα 1. Κατανομή της *Pinus halepensis* με βάση την RDA στο χώρο με βάση την εξάρτησή της από τις επτά στατιστικά σημαντικές περιβαλλοντικές παραμέτρους ( $\alpha < 0,05$ ).

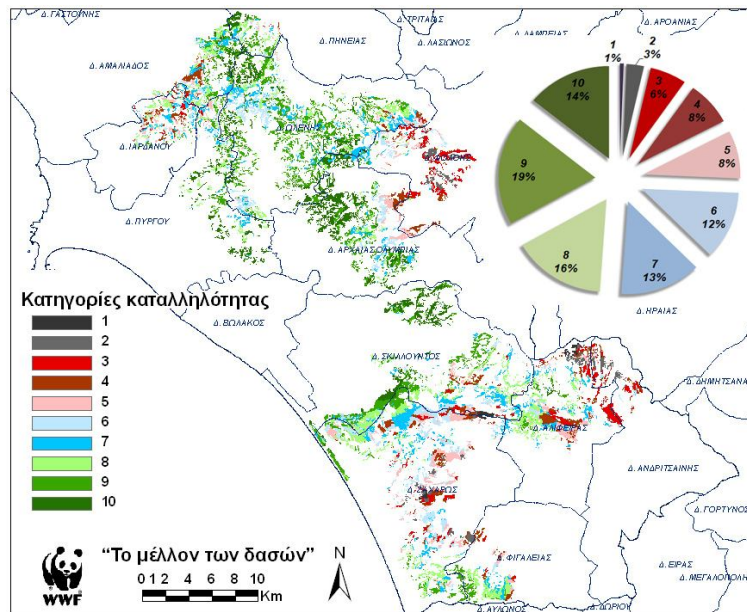
Figure 1. Redundancy analysis diagram (RDA) presenting the significant ( $P < 0.05$ ) environmental factors affecting *Pinus halepensis*'s regeneration.

### 3.3. Πολυκριτηριακό μοντέλο πρόβλεψης αναγέννησης

Στο αρχικό πολυκριτηριακό μοντέλο χρησιμοποιήθηκαν 8 παράγοντες κατανομημένοι σε δύο ομάδες. Στην ομάδα Α, τα σχετικά βάρη των παραγόντων που επηρεάζουν πρωτογενώς την παραγωγή και διασπορά των σπερμάτων της πεύκης καθορίστηκαν ως εξής: Βλάστηση: 60%, Γεωλογία: 20%, Κλίση: 10% και Υψόμετρο: 10% και το μοντέλο που παρήχθη είχε σημαντική συσχέτιση με τη μέση τιμή των αρτιβλάστων (Spearman  $r=0.438$ ,  $p < 0.05$ ). Αντίστοιχα στην ομάδα Β (παράγοντες κάλυψης που επιδρούν δευτερογενώς στην επιτυχία φύτευσης των σπερμάτων και επιβίωσης των παραγομένων αρτιβλάστων) τα σχετικά βάρη καθορίστηκαν ως εξής: Πουρνάρι και Σχίνο - 45%, Αγροστόδια - 25%, Πέτρες - 15% και Κλαριά - 15% και είχε μια σημαντική συσχέτιση με τη μέση τιμή των αρτιβλάστων (Spearman  $r=0.513$ ,  $p < 0.05$ ). Ο συνδυασμός αυτών των δύο ομάδων σε ένα ενιαίο μοντέλο πρόβλεψης έδωσε το συνδυαστικό πολυκριτηριακό μοντέλο που είχε σημαντική συσχέτιση με τη μέση τιμή των αρτιβλάστων της πεύκης στα 84 σημεία  $r=0.544$ ,  $p < 0.05$  (Spearman test).

### 3.4. Τελικό Μοντέλο πρόβλεψης αναγέννησης

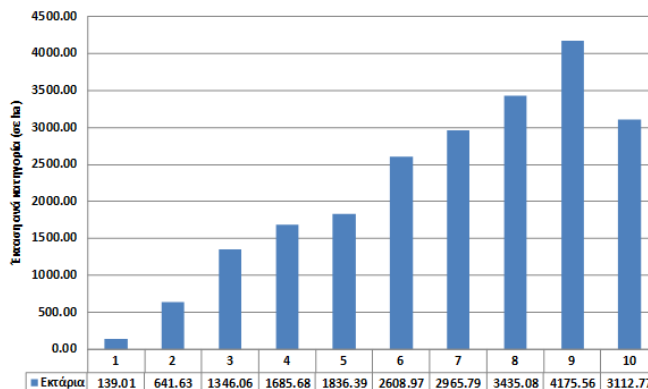
Το συνδυαστικό μοντέλο στην τελική μορφή του διορθώθηκε ως προς τις ασυμφωνίες του σχετικά με την παρατηρούμενη αναγέννηση με το γεωστατιστικό μοντέλο. Η διόρθωση έγινε με τη βοήθεια Μπεύζιανής στατιστικής μέσα από το περιβάλλον του GIS, όπου η αρχική πιθανότητα (συνδυαστικό μοντέλο) αναθεωρείται στη βάση νεότερων πιθανοτήτων (γεωστατιστικό μοντέλο). Η συσχέτιση του τελικού μοντέλου με τη μέση τιμή των πεύκων στα 84 σημεία βελτιώθηκε σημαντικά και έφτασε το  $r=0.834$ ,  $p < 0.01$ .



Χάρτης 1. Απεικόνιση των 10 κατηγοριών πρόβλεψης της αναγέννησης χαλεπίου πεύκης με βάση το τελικό μοντέλο.

Map 1. Representation of the 10 prediction categories of *P. halepensis* regeneration based on the final model.

Ο τελικός χάρτης πρόβλεψης βαθμού αναγέννησης, ταξινομήθηκε σε 10 ισόβαρες κατηγορίες με στόχο να σχεδιαστούν αντίστοιχες διαχειριστικές δράσεις παρέμβασης (Χάρτης 1). Με βάση αυτό το χάρτη, στο 25% της καμένης έκτασης (κατηγορίες 1-5) χρειάζεται κάποιος βαθμός επέμβασης για την αποκατάσταση των δασών, από τα οποία σε 22.000 στρέμματα (ποσοστό 9,7%) που αντιστοιχεί στις κατηγορίες 1,2 και 3, τα έργα αυτά είναι τελείως αναγκαία (Διάγραμμα 2). Τέτοιες ενέργειες είναι οι οργανωμένες δενδροφυτεύσεις και η σταθεροποίηση των εδαφών τους με χρήση κορμοπλεγμάτων ή και κλαδοπλεγμάτων προς αποφυγή μελλοντικής ερημοποίησης των εδαφών και αποτυχίας αποκατάστασης του οικοσυστήματος.



Διάγραμμα 2. Κατανομή των εκτάσεων των καμένων δασών χαλεπίου πεύκης στην Ηλεία σε κατηγορίες καταλληλότητας για φυσική αναγέννηση.

Figure 2. Categories Pinus halepensis burned areas of in Ilia prefecture in accordance with natural regeneration

Από την άλλη πλευρά (μετά την κατηγορία 5), η καταλληλότητα για εγκατάσταση της φυσικής αναγέννησης σταδιακά αυξάνεται, με το 33% της έκτασης των καμένων δασών (73.000 στρέμματα – κατηγορίες 9 και 10) να χαρακτηρίζεται από εξαιρετικές συνθήκες για την φυσική αναγέννηση της πεύκης (Διάγραμμα 2). Περιοχές με μέτρια αναγέννηση (5-9) θα πρέπει να υποστηριχτούν, ώστε να διατηρηθεί η φυσική αναγέννησή τους. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει διαδικασίες παρακολούθησης της πορείας των αρτιβλάστων και ίσως τελικά επέμβασης με συμπληρωματικές δενδροφυτεύσεις ή και παροχέτευση νερού όταν ο δείκτης ξηρασίας ξεπερνά κάποιες κατώτατες -για την ανάπτυξη του φυτού- τιμές. Ωστόσο ακόμα και οι κατηγορίες που εμφανίζουν καλή ως πολύ καλή αναγέννηση (κατηγορίες 9-10) χρίζουν εφαρμογής δασοκομικών διαδικασιών όπως γενική φροντίδα ή καλλιέργεια της αναγέννησης, επιλεκτική αραίωση των νεοφυτειών, ευνόηση πλατυφύλλων δενδρωδών ειδών, προκειμένου να ευνοηθεί η γρηγορότερη αποκατάσταση του δάσους όσο και η οικολογική βελτίωση του.

Αυτό που είναι σίγουρο και ισχύει για όλες τις κατηγορίες είναι η εφαρμογή φυτοϋγειονομικών μέτρων προστασίας και απαγόρευση βόσκησης. Μετά από μια πυρκαγιά, το δάσος αδυνατεί να αντιμετωπίσει επιτυχώς πιθανές εισβολές παρασιτικών οργανισμών, όπως ξυλοφάγα ή φυλλοφάγα αρθρόποδα (Martínez-Sánchez κ.α. 1999). Η συστηματική παρακολούθηση της κατάστασης της αναγέννησης για την εκτίμηση της επίδρασης τέτοιων οργανισμών είναι απαραίτητη για την αξιολόγηση της υγείας της αναγέννησης και της πιθανής λήψης πρόσθετων παρεμβάσεων.



#### **4. Συζήτηση – συμπεράσματα**

Στη μελέτη αυτή παρουσιάστηκε μια μεθοδολογία εκτίμησης της πραγματικής αναγέννησης σε εκτάσεις που έχουν επηρεαστεί από μεγάλα πυρκαγιές και όπου η εκτίμηση της αναγέννησης με συμβατικούς τρόπους (απογραφή πεδίου στο σύνολο της έκτασης) είναι πρακτικά και οικονομικά αδύνατη. Δεδομένης της μεγάλης φυσιογραφικής ετερογένειας των μεσογειακών δασών και της έντονης διαφοροποίησης των κλιματικών και εδαφικών συνθηκών, η εφαρμογή υφιστάμενων ή γενικευμένων μοντέλων πρόβλεψης καθίσταται δύσκολη έως αδύνατη. Κάθε περιοχή χαρακτηρίζεται από ιδιαίτερα γνωρίσματα και τοπικές ιδιομορφίες (γεωμορφολογίας, χρήσεις γης, κλίμα κλπ), οι οποίες σε τελική ανάλυση καθορίζουν τη δομή και τη μεταφυτική πορεία εξέλιξης της βλάστησης. Η αρθρωτή δομή της προτεινόμενης μεθοδολογίας, που χρησιμοποιεί τόσο την υφιστάμενη κατάσταση και γνώση για την εκτίμηση της βαρύτητας των περιβαλλοντικών παραγόντων στην επίδραση της μεταφυτικής εξέλιξης της αναγέννησης όσο και γενικευμένα χωρικά μοντέλα εκτίμησης της αναγέννησης αποτελεί ένα ευέλικτο εργαλείο για το σχεδιασμό ενός τοπικού μοντέλου πρόβλεψης της αναγέννησης που να οδηγεί στην καλύτερη διαχείριση και προστασία των καμένων περιοχών.

#### **5. Ευχαριστίες**

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τις Ταραμπιέ Κωνσταντίνα και Χριστοπούλου Γεωργία για τη συνεισφορά τους στις εργασίες πεδίου. Η παρούσα εργασία υλοποιήθηκε στο πλαίσιο του προγράμματος «Το Μέλλον των Δασών», το οποίο εκπονείται από το WWF Ελλάς και συγχρηματοδοτείται από τα Κοινοφελή Ιδρύματα Ι.Σ. Λάτση, Α.Γ. Λεβέντη και Μποδοσάκη, καθώς και με την υποστήριξη ιδιωτών.

#### **6. Αγγλική Περίληψη**

During 2007, in southern Greece, a ten-day catastrophic fire burnt 20586 ha of *Pinus halepensis* forests. A GIS based model was developed for this area in order to predict the natural post-fire regeneration of *P.halepensis* as well as to specify the necessary management measure. The methodology used constituted of three stages: Firstly, field data were sampled on 84 plots, two years after the fire (2009), in order to record the number of seedlings and to identify the factors that most affect natural regeneration. Secondly, two parallel models were developed, each one predicted the natural regeneration based on (a) spatial interpolation using geostatistics of field data for the whole burned area and on (b) multi-criteria analysis. Finally, the two models were combined into a final one, in order to identify sections with different degree of natural regeneration of the burned area, using Bayesian statistics. According to the final model a ten degree scale classified pilot area's regeneration. According to this classification, about 41% of the burnt area belongs to the middle classes showing a seedling density from 0.8 to 1.5 individuals/m<sup>2</sup>, 33% to classes with excellent regeneration and seedling density 6-10 individuals/m<sup>2</sup> and the rest 26% of the burnt area shows limited regeneration (0.1 to 0.6 individuals/m<sup>2</sup>).

## Λέξεις κλειδιά – Key words

Μεταπυρρική αναγέννηση, Πολυκριτηριακή Ανάλυση, Γεωστατιστική  
Post-fire regeneration, Multi-criteria analysis, Geostatistic

## 7. Βιβλιογραφία

- Alloza, J.A., and Vallejo, R., 2006. Restoration of burned areas in forest management plans. *Desertification in the Mediterranean Region: a Security Issue* 475–488.
- Arianoutsou, M., 2004. Predicting the post-fire regeneration and resilience of Mediterranean plant communities. In: Arianoutsou M. & Papanastasis V.P. (eds). *Ecology, Conservation and Management of Mediterranean Climate Ecosystems of the World, Proceedings of the 10th MEDECOS International Conference*, Millpress, Rotterdam, Electronic Edition.
- Arianoutsou, M., Koukoulas, S., Kazanis, D., 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.
- Broncano, M.J., Retana J., and Rodrigo, A., 2005. Predicting the recovery of *Pinus halepensis* and *Quercus ilex* forests after a large wildfire in northeastern Spain. *Plant Ecology* 180: 47-56.
- Cowling, R.M., Rundel, P.W., Lamont, B.B., Arroyo, MK., and Arianoutsou, M., 1996. Plant diversity in Mediterranean-climate regions. *Trends in Ecology and Evolution* 11: 362-366.
- Malczewski, J., 2006. GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. *International Journal of Geographical Information Science* 20: 703- 726.
- Martínez-Sánchez, J.J., Ferrandis, P., Heras, J., Herranz, J.M., 1999. Effect of burnt wood removal on the natural regeneration of *Pinus halepensis* after fire in a pine forest in Tus valley (SE Spain). *Forest Ecology and Management* 123: 1-10.
- Osborne, P.E., Alonso, J.C., and Bryant, R.G., 2001. Modelling landscape-scale habitat use using GIS and remote sensing: a case study with great bustards. *Journal of Applied Ecology* 38: 458–471.
- Pausas, J.G., 2006. Simulating Mediterranean landscape pattern and vegetation dynamics under different fire regimes. *Plant Ecology* 187: 249-259.
- Pausas, J.G., Verdú, M., 2008. Fire reduces morphospace occupation in plant communities. *Ecology* 89, 2181–2186.
- ter Braak, C.J.F., Smilauer, P., 2002. *CANOCO Reference manual and canoco draw for windows user's guide: software for canonical community ordination (version 4.5) microcomputer power*. Ithaca, New York.
- Thanos, C.A., Daskalaku, E.N., Nikolaidou, S., 1996. Early postfire regeneration of a *Pinus halepensis* forest on Mountain Párnis, Greece. *Journal of Vegetable Science* 7: 273–280.
- Tsitsoni, T., 1997. Conditions determining natural regeneration after wildfires in the *Pinus halepensis* (Miller, 1768) forests of Kassandra Peninsula (North Greece). *Forest Ecology and Management* 92: 199–208.