

**Παράγοντες που επηρεάζουν μεσοπρόθεσμα την φυσική αναγέννηση και αύξηση της χαλεπίου πεύκης στο Πεντελικό όρος**

**Παύλος Χριστακόπουλος<sup>1</sup>, Δημήτριος Παρώνης<sup>2</sup>, Μιχάλης Σκαρβέλης<sup>3</sup>, Γεώργιος Καρέτσος<sup>4</sup>, Πέτρος Γκανάτσας<sup>5</sup>, Κώστας Καλαμποκίδης<sup>6</sup>, Ιωάννης Χατζόπουλος<sup>7</sup>**

<sup>1</sup> Αποκεντρωμένη Διοίκηση Αττικής, Φ. Νέγρη 5, 19500 Λαύριο,  
e-mail: [paulchri@hol.gr](mailto:paulchri@hol.gr)

<sup>2</sup> Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, Ινστιτούτο Διαστημικών Εφαρμογών & Τηλεπισκόπησης, Βασ. Παύλου & Μεταξά, 15236 Παλαιά Πεντέλη  
e-mail: [paronis@noa.gr](mailto:paronis@noa.gr)

<sup>3</sup> ΤΕΙ Λάρισας, 43100 Καρδίτσα, e-mail: [skarvelis@teilar.gr](mailto:skarvelis@teilar.gr)

<sup>4</sup> Ινστιτούτο Μεσογειακών Δασικών Οικοσυστημάτων και Τεχνολογίας Δασικών Προϊόντων, Τέρμα Αλκμάνος, 11528 Ιλίσσια Αθήνα,  
e-mail: [karetsos@fria.gr](mailto:karetsos@fria.gr)

<sup>5</sup> ΑΠΘ, Σχολή Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος, Θεσσαλονίκη, email:  
[pgana@for.auth.gr](mailto:pgana@for.auth.gr)

<sup>6</sup> Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Λόφος Πανεπιστημίου, Τμήμα Γεωγραφίας  
81100 Μυτιλήνη, e-mail: [kalobokides@aegean.gr](mailto:kalobokides@aegean.gr)

<sup>7</sup> Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Τμήμα Περιβάλλοντος, Λόφος Πανεπιστημίου, 81100 Μυτιλήνη, e-mail: [ihatz@aegean.gr](mailto:ihatz@aegean.gr)

**Περίληψη**

Στη παρούσα εργασία διερευνήθηκε η επίδραση διαφόρων παραγόντων σε οικολογικές παραμέτρους της φυσικής αναγέννησης χαλεπίου πεύκης στο Πεντελικό όρος μετά από ένα επεισόδιο πυρκαγιάς και σε χρονικό ορίζοντα 13 ετών μετά την πυρκαγιά. Για τις ανάγκες τις έρευνας έγινε λήψη στοιχείων πεδίου σε 68 επιφάνειες που κάηκαν μόνο μία φορά το έτος 1995. Σε κάθε δοκιμαστική επιφάνεια ελήφθη ένα δείγμα εδάφους και προσδιορίστηκαν διάφοροι εδαφικές παράμετροι με εργαστηριακή ανάλυση. Παράμετροι της φυσικής αναγέννησης που μετρήθηκαν ήταν η κάλυψη, το ύψος, η βασική διάμετρος και αριθμός φυτών ανά στρέμμα. Με παρατηρήσεις πεδίου σε συνδυασμό με ανάλυση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών και τη χρήση Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους προσδιορίστηκαν 3 κατηγορίες παραγόντων ανάλυσης: Η πρώτη κατηγορία περιελάμβανε διαχειριστικούς παράγοντες (βοσκή, κατασκευή αντιδιαβρωτικών έργων), η δεύτερη βιολογικούς παράγοντες (κάλυψη ώριμης χαλεπίου πεύκης πριν την πυρκαγιά) και η τρίτη τοπογραφικούς-εδαφολογικούς παράγοντες (υψόμετρο, κλίση, έκθεση, σημείο πλαγιάς, ποσοστό βράχου, βάθος εδάφους, επίπεδο διάβρωσης). Για την εκτίμηση της επίδρασης των σημαντικών παραγόντων στη φυσική αναγέννηση εφαρμόστηκε η μέθοδος της πολλαπλής παλινδρόμησης με την μετατροπή των κατηγορικών μεταβλητών σε ψευδομεταβλητές. Από τα αποτελέσματα προέκυψε ότι θετική ήταν η επίδραση του βιολογικού παράγοντα της κάλυψης σε ώριμη χαλέπιο πεύκη πριν τις πυρκαγιές καθώς και της εδαφικής σύστασης σε αμμώδες έδαφος στην κάλυψη της φυσικής αναγέννησης. Η καθ' ύψος και κατά πάχος αύξηση της χαλεπίου πεύκης επηρεάστηκε θετικά από το βάθος του εδάφους και την κλίση. Τέλος ο αριθμός φυτών ανά στρέμμα επηρεάστηκε θετικά από την κάλυψη σε ώριμο χαλέπιο πεύκη πριν την πυρκαγιά και αρνητικά από το επίπεδο της διάβρωσης. Ενδιαφέρουσα ήταν ή μη

σημαντική επίδραση διαχειριστικών παραγόντων όπως η βοσκή και η κατασκευή αντιδιαβρωτικών έργων. Στα μη αναμενόμενα και πολύ εντυπωσιακά αποτελέσματα της έρευνας, ήταν η θετική επίδραση της κλίσης στην καθ ύψος και κατά πάχος αύξηση της φυσικής αναγέννησης της χαλεπίου πεύκης.

**Λέξεις κλειδιά:** χαλέπιος πεύκη, φυσική αναγέννηση, διαχειριστικοί παράγοντες, τοπογραφικοί-εδαφολογικοί παράγοντες, βιολογικοί παράγοντες.

### **Εισαγωγή**

Οι πυρκαγιές των δασών χαλεπίου πεύκης είναι οι συνηθέστερες τόσο στην Ελλάδα όσο και σε άλλες χώρες της Μεσογείου. Η φυσική αναγέννηση των δασών της χαλεπίου πεύκης είναι γενικά εξασφαλισμένη μετά από ένα επεισόδιο πυρκαγιάς δεν συμβαίνει όμως το ίδιο όταν μία δεύτερη πυρκαγιά επέρχεται σε σύντομο χρονικό διάστημα (Kazanis and Arianoutsou 2004, Χριστακόπουλος 2005).

Οι φυσική αναγέννηση της χαλεπίου πεύκης έχει ερευνηθεί επαρκώς σε μικρούς χρονικούς ορίζοντες μετά τις πυρκαγιές με βάση τοπογραφικούς κυρίως καθώς και κλιματικούς παράγοντες (Trabaud et al 1985, Τσιτσώνη 1991, Tsitsoni and Zagas 1995, Tsitsoni 1997, Δασκαλάκου 1996, Kazanis and Arianoutsou 2002, Ganatsas et al 2004 Zagas et al 2004). Από τα αποτελέσματα των ερευνών προέκυψε ότι η φυσική αναγέννηση ήταν ικανοποιητική σε εκτάσεις που καλύπτονταν από ώριμες συστάδες χαλεπίου πεύκης, ήταν μεγαλύτερη στο κάτω μέρος των πλαγιών και στα σχιστολιθικά από ότι στα ασβεστολιθικά ή τα εδάφη τριτογενών αποθέσεων.

Η έρευνα επί της φυσικής αναγέννησης της χαλεπίου πεύκης σε μεγάλους χρονικούς ορίζοντες μετά την πυρκαγιά δεν είναι μεγάλη. Επίσης δεν έχει ερευνηθεί επαρκώς η επίδραση διαχειριστικών παραγόντων για το μετά την πυρκαγιά χρονικό διάστημα σε συνδυασμό με τοπογραφικούς παράγοντες. Στους διαχειριστικούς παράγοντες περιλαμβάνονται κυρίως η βοσκή καθώς και η κατασκευή αντιδιαβρωτικών έργων με τη χρήση του καμένου ξυλώδους όγκου. Από την μέχρι τώρα έρευνα δεν βρέθηκε να είναι σημαντική η επίδραση των αντιδιαβρωτικών έργων (κορμοδεμάτων) (Winchester 1999, Raftoyannis and Spanos 2005).

Σκοπός της παρούσας έρευνας ήταν η αξιολόγηση της επίδρασης μεγάλου αριθμού διαχειριστικών-τοπογραφικών-εδαφολογικών-βιολογικών παραγόντων στην φυσική αναγέννηση χαλεπίου πεύκης 13 έτη μετά από ένα επεισόδιο πυρκαγιάς στο Πεντελικό όρος.

### **Υλικά και μέθοδοι**

Η έρευνα έγινε στην περιοχή του Πεντελικού όρους, όπου έλαβαν χώρα πολλές και επαναλαμβανόμενες πυρκαγιές κατά τα έτη 1978, 1982, 1995, 1998 και 2005. Η συνολική έκταση της περιοχής μελέτης ήταν περίπου 5000 στρέμματα.

#### **α. Υλικά και επεξεργασία**

Για τις ανάγκες της έρευνας χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω υλικά με την ανάλογη επεξεργασία:

- Αεροφωτογραφίες της περιοχής μελέτης των ετών 1973, 1982, 1988, 1995, 1998, 2005. Έγινε ορθοαναγωγή των Α/Φ με χρήση εργαλείων

τηλεπισκόπησης στο προβολικό σύστημα ΕΓΣΑ 1987. Με τη χρήση των ορθοφωτοχαρτών κατέστη εφικτή η επιλογή δοκιμαστικών επιφανειών που είχαν καεί μόνο το έτος 1995. Οι ορθοφωτοχάρτες των ετών 1973 και 1988 χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση της κάλυψης της χαλεπίου πεύκης πριν την πρώτη πυρκαγιά.

- Εδαφολογικός χάρτης περιοχής Πεντέλης κλίμακας 1:50.000 του Υπ. Γεωργίας.
- Ορθοφωτοχάρτες της περιοχής Πεντέλης, έτους 1998, με προβολικό σύστημα ΕΓΣΑ 87, του Υπ. Γεωργίας. Οι ορθοφωτοχάρτες αυτοί χρησιμοποιήθηκαν σαν βάση για την ορθοαναγωγή των αεροφωτογραφιών.
- Ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DEM) της περιοχής μελέτης. Χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό τοπογραφικών παραγόντων με τη χρήση ΓΣΠ στις επιφάνειες που λήφθηκαν στο πεδίο (κλίση, υψόμετρο κλπ).

### β. Λήψη στοιχείων πεδίου

Για τις ανάγκες της έρευνας έγινε λήψη 68 δοκιμαστικών επιφανειών στο πεδίο σε περιοχές που είχαν καεί μόνο μία φορά κατά το έτος 1995. Οι επιφάνειες ελήφθησαν με χρήση GPS και με τη μέθοδο της τυχαίας δειγματοληψίας. Η μέση έκταση των επιφανειών ήταν 500 m<sup>2</sup>. Η περίοδος δειγματοληψίας διήρκεσε 2 μήνες (Φεβρουάριος - Μάρτιος 2008). Σε κάθε επιφάνεια έγινε καταμέτρηση των φυτών της φυσικής αναγέννησης της χαλεπίου πεύκης, του ύψους αυτών, της βασικής τους διαμέτρου, της προβολής της κόμης τους και έγινε εκτίμηση παραγόντων όπως: βάθος εδάφους, ποσοστό βράχου, η ύπαρξη ή μη βοσκής, εκτίμηση του βαθμού διάβρωσης, ύπαρξη ή όχι αντιδιαβρωτικών έργων.

Σε κάθε επιφάνεια έγινε λήψη εδαφικού υλικού, για την εκτίμηση εδαφικών παραμέτρων μέσω εδαφικών αναλύσεων. Το βάθος δειγματοληψίας ήταν 10 cm. Η δειγματοληψία διήρκεσε από 15-7-2008 μέχρι 3-8-2008.

### γ. Ανάλυση στοιχείων υπαίθρου-προσδιορισμός παραμέτρων φυσικής αναγέννησης-Εργαστηριακές αναλύσεις

Τα στοιχεία υπαίθρου καταγράφηκαν σε βάση δεδομένων, έγιναν οι ανάλογοι υπολογισμοί και η στατιστική εξαγωγή των μέσων όρων του αριθμού φυτών, του ύψους, της βασικής διαμέτρου, της κάλυψης ανά δοκιμαστική επιφάνεια. Τα στοιχεία αυτά φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα 1:

**Πίνακας 1: Περιγραφικά στατιστικά φυσικής αναγέννησης χαλεπίου πεύκης**  
**Table 1: Descriptive statistics of *Pinus halepensis* Mill natural regeneration**

Παράμετρος	Μέσος όρος	Διάμεσος	25 <sup>ο</sup> -75 <sup>ο</sup> Τεταρτημόριο
Κάλυψη %	40,11 (25,75)	42,50	13,50-60,00
Μέσο ύψος (m)	1,83 (0,46)	1,78	1,53-2,09
Μέση διάμετρος (cm)	4,61 (1,14)	4,62	3,90-5,45
Φυτά ανά στρέμμα	355,44 (265,74)	297,50	141,50-547,25

Σε εδαφολογικό εργαστήριο του Υπουργείου Γεωργίας (ΠΕΓΕΑΛ) έγιναν οι εδαφολογικές αναλύσεις των δειγμάτων εδάφους που ελήφθησαν στο πεδίο και

προσδιορίστηκαν η μηχανική σύσταση (άμμος-άργιλος-ίλος), η οξύτητα (pH), το ολικό ανθρακικό ασβέστιο, το ολικό άζωτο, η οργανική ουσία, ο φωσφόρος και το κάλιο. Τα αποτελέσματα των εδαφικών αναλύσεων χρησιμοποιήθηκαν στη συνέχεια στην στατιστική ανάλυση.

#### δ. Παράγοντες ανάλυσης-αξιολόγησης της φυσικής αναγέννησης-Multiple regression analysis

Οι παράγοντες που προσδιορίστηκαν στο πεδίο, αυτοί που προσδιορίστηκαν ηλεκτρονικά από το ψηφιακό μοντέλο εδάφους καθώς και αυτοί που προσδιορίστηκαν εργαστηριακά, χρησιμοποιήθηκαν στην στατιστική ανάλυση με τη μέθοδο της πολλαπλής παλινδρόμησης και είναι οι εξής:

- **Βοσκή.** Προσδιορίστηκε με επιτόπια παρατήρηση επί μεγάλο χρονικό διάστημα και με βάση την ύπαρξη ή όχι περιττωμάτων των ζώων (μη ύπαρξη βοσκής=0, ύπαρξη βοσκής=1) (εικ. 1):



Εικόνα 1: Αιγοβοσκή στο Πεντελικό όρος  
Picture 1: Goats grazing in mountain Pendeliko

- **Αντιδιαβρωτικά έργα.** Χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό τους οι χάρτες των μελετών των αντιδιαβρωτικών έργων και η επιτόπια παρατήρηση (μη ύπαρξη=0, ύπαρξη=1).
- **Υψόμετρο.** Προέκυψε άμεσα από τον πίνακα χαρακτηριστικών (attribute table) του διανυσματικού αρχείου της επιφάνειας που πάρθηκε με το GPS.
- **Κλίση.** Προσδιορίστηκε επί τόπου με τη χρήση κλισιμέτρου.
- **Έκθεση.** Μια πρώτη εκτίμηση έγινε με τη χρήση πυξίδας στο πεδίο. Η εκτίμηση αυτή διορθώθηκε στη συνέχεια με GIS ανάλυση με τη χρήση του Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους (DEM) και την εξαγωγή του χάρτη εκθέσεων. Καθορίστηκαν 4 κλάσεις εκθέσεων: Νότιες, βόρειες, ανατολικές και δυτικές με βάση την έκθεση που κατά το μεγαλύτερο ποσοστό χαρακτήριζε την κάθε επιφάνεια. Οι κλάσεις αυτές αναφέρονται ως 1 οι νότιες, 2 οι βόρειες, 3 οι ανατολικές και 4 οι δυτικές.

- **Μητρικό Υλικό.** Προέκυψε από τον εδαφολογικό χάρτη του Υπουργείου Γεωργίας. Καθορίστηκαν δύο κλάσεις μητρικού υλικού: Οι σχιστόλιθοι και οι τριτογενείς αποθέσεις και αναφέρονται με 0-1 αντίστοιχα.
- **Βάθος εδάφους.** Έγινε εμπειρική εκτίμηση στο πεδίο με βάση το ποσοστό βράχου σε κάθε επιφάνεια καθώς και το είδος και το ύψος της υπάρχουσας βλάστησης. Καθορίστηκαν έτσι τρεις κλάσεις: Αβαθές, μέτρια βαθύ και βαθύ έδαφος και αναφέρονται ως 1-2-3 αντίστοιχα.
- **Σημείο πλαγιάς.** Είναι γνωστό ότι λόγω της υδατικής και αιολικής διάβρωσης θρεπτικά στοιχεία ποσότητες εδάφους μεταφέρονται από τα ανάντη προς τα κατόντη με αποτέλεσμα το ύψος των δένδρων στο κάτω μέρος μιας πλαγιάς να είναι μεγαλύτερο και να μειώνεται όσον ανερχόμαστε προς την κορυφή της πλαγιάς. Το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό ως «**τοποδιαδοχή**» (Ντάφης 1986). Ο παράγοντας αυτός καθορίστηκε στο πεδίο και έχει τρεις διαβαθμίσεις: Άνω-μέση-κάτω και αναφέρεται ως 1-2-3 αντίστοιχα.
- **Ποσοστό βράχου.** Έγινε εμπειρική εκτίμηση στο πεδίο με βάση την συνολική κάλυψη των βράχων που εκτείνονταν σε αρκετό βάθος εντός του εδάφους (όχι επιφανειακή κάλυψη).
- **Επίπεδο διάβρωσης.** Καθορίστηκε στο πεδίο με βάση το ποσοστό επιφανειακού εδάφους, στο οποίο παρατηρείται επιφανειακή απορροή του νερού και παρουσία μικρού και μεσαίου μεγέθους χαραδρώσεων βάθους μέχρι 10 cm. Οι κλάσεις διάβρωσης που καθορίστηκαν ήταν και εδώ τρεις: Μικρή, μέτρια και μεγάλη διάβρωση και αναφέρονται, ομοίως ως 1-2-3 αντίστοιχα.
- **Κάλυψη χαλεπίου πριν τις πυρκαγιές.** Ο παράγοντας αυτός θα μπορούσε να θεωρηθεί ως ένα είδος «**βιολογικού**» παράγοντα. Για την εκτίμησή του χρησιμοποιήθηκαν οι ορθοανηγμένες Α/Φ των ετών 1973 & 1988 με τη χρήση ΓΣΠ.
- **Παράγοντες εδαφολογικής ανάλυσης.** Τα αποτελέσματα της εδαφολογικής ανάλυσης χρησιμοποιήθηκαν ως παράγοντες κατά την ανάλυση οικολογικών παραμέτρων της φυσικής αναγέννησης της χαλεπίου πεύκης

Επειδή, οι παράμετροι της ανάλυσης (κάλυψη χαλεπίου, ύψος, βασική διάμετρος, αριθμός φυτών ανά στρέμμα) ήταν σε μετρική μορφή, η μέθοδος ανάλυσης για την διακρίβωση των σημαντικών παραγόντων που επηρεάζουν την φυσική αναγέννηση της χαλεπίου πεύκης, είναι η μέθοδος της πολλαπλής παλινδρόμησης (multiple regression analysis) (Hair et al 2006). Πριν την έναρξη της ανάλυσης έγινε έλεγχος (Kolmogorov-Smirnov) για την ύπαρξη κανονικότητας στις μεταβλητές της φυσικής αναγέννησης. Υπολογίστηκε το KS Z-statistic και το αντίστοιχο p-value. Η επιλογή των σημαντικών παραγόντων έγινε με τη μέθοδο stepwise. Θα πρέπει να αναφερθεί εδώ ότι, οι παράγοντες ανάλυσης ήταν σε δύο μορφές: την κατηγορική και την μετρική μορφή. Για να χρησιμοποιηθούν στην πολλαπλή παλινδρόμηση οι κατηγορικές μεταβλητές έπρεπε να μετατραπούν σε ψευδομεταβλητές (dummy variables) (Hair et al 2006). Αν μια κατηγορική μεταβλητή έχει k επίπεδα, τότε ένα επίπεδο δεν λαμβάνεται υπόψη και θεωρείται ως επίπεδο αναφοράς (reference category) ενώ χρησιμοποιούνται στην ανάλυση k-1 ψευδομεταβλητές της μορφής 0,1.

#### **Αποτελέσματα**

##### **α. Κάλυψη φυσικής αναγέννησης χαλεπίου πεύκης %**

Από την στατιστική ανάλυση με τη μέθοδο της πολλαπλής παλινδρόμησης προέκυψε το ακόλουθο μοντέλο (πίνακας 2):

Πίνακας 2: Παράγοντες που επηρεάζουν την κάλυψη της χαλεπίου πεύκης  
Table 2: Factors influencing *Pinus halepensis* Mill cover

Ανεξάρτητες μεταβλητές	beta (s.e.)	95% C.I.	p-value	Partial Eta Squared
Σταθερά	-54.549 (19.734)	(-93.927, - 15.171)	0.007	0.101
Κάλυψη χαλεπίου πριν τις πυρκαγιές	0.661 (0.071)	(0.520, 0.803)	<0.001	0.560
Άμμος	0.785 (0.295)	(0.197, 1.373)	0.010	0.095
$R^2$ -adj=0.572, SSE=17.314, F=47.812, p-value<0.001				

Η επεξηγηματική ικανότητα του μοντέλου είναι πολύ μεγάλη (57,2 %). Παρατηρούμε ότι οι παράγοντες που επενεργούν θετικά στη κάλυψη της φυσικής αναγέννησης χαλεπίου πεύκης είναι η κάλυψη σε ώριμο χαλέπιο πεύκη πριν την πυρκαγιά και το ποσοστό της εδαφικής σύστασης σε άμμο.

#### β. Μέσο ύψος φυσικής αναγέννησης χαλεπίου πεύκης

Το μοντέλο που προέκυψε στη περίπτωση αυτή είναι το παρακάτω (πίνακας 3):

Πίνακας 3: Παράγοντες επηρεάζοντες την καθ' ύψος αύξηση της χαλεπίου πεύκης  
Table 3: Factors influencing the height growth of *Pinus halepensis* Mill

Ανεξάρτητες μεταβλητές	beta (s.e.)	95% C.I.	p-value	Partial Eta Squared
Σταθερά	0.558 (0.154)	(0.250, 0.865)	0.001	0.346
Κλίση	0.019 (0.004)	(0.012, 0.026)	<0.001	0.306
Βάθος εδάφους				0.240
Αβαθές	Reference category			
Μέτρια βαθύ	0.167 (0.099)	(-0.030, 0.364)	0.095	
Βαθύ	0.802 (0.181)	(0.439, 1.165)	<0.001	
Κάλυψη ώριμου δάσους χαλεπίου πεύκης	0.007 (0.002)	(0.004, 0.010)	<0.001	0.241
$R^2$ -adj=0.577, SSE=0.298, F= 23.891, p-value<0.001				

Παρατηρούμε ότι το μοντέλο έχει πολύ υψηλή επεξηγηματική ικανότητα (57,7 %). Οι παράγοντες που επιδρούν θετικά στην καθ' ύψος αύξηση της φυσικής αναγέννησης της χαλεπίου πεύκης είναι η κλίση, το βάθος του εδάφους και η κάλυψη σε ώριμο χαλέπιο πεύκη πριν την πυρκαγιά. Η θετική επίδραση της κλίσης ήταν μη αναμενόμενο αποτέλεσμα.

### γ. Μέση διάμετρος χαλεπίου πεύκης

Στη περίπτωση της διαμέτρου προέκυψε το ακόλουθο μοντέλο (πίνακας 4):

Πίνακας 4: Παράγοντες επηρεάζοντας την αύξηση διαμέτρου της χαλεπίου πεύκης  
Table 4: Factors influencing the diameter growth of *Pinus halepensis* Mill

Ανεξάρτητες μεταβλητές	beta (s.e.)	95% C.I.	p-value	Partial Eta Squared
Σταθερά	2.745 (0.494)	(1.758, 3.732)	<0.001	0.474
Κλίση	0.046 (0.012)	(0.023, 0.070)	<0.001	0.193
Βάθος εδάφους				0.121
Αβαθές	Reference category			
Μέτρια βαθύ	0.208 (0.311)	(-0.412, 0.829)	0.505	
Βαθύ	1.661 (0.573)	(0.516, 2.805)	0.005	

$R^2$ -adj=0.225, SSE=0.999, F= 7.490, p-value<0.001

Το μοντέλο έχει επεξηγηματική ικανότητα 22,5%. Οι παράγοντες που επιδρούν θετικά είναι η κλίση και το βάθος του εδάφους. Η θετική επίδραση της κλίσης ήταν επίσης μη αναμενόμενο αποτέλεσμα.

### δ) Φυτά φυσικής αναγέννησης χαλεπίου πεύκης ανά στρέμμα

Προέκυψε το ακόλουθο μοντέλο (πίνακας 5):

Πίνακας 5: Παράγοντες επηρεάζοντας τον αριθ. φυτών χαλεπίου πεύκης ανά στρέμμα  
Table 5: Factors influencing the plants number per stremma of *Pinus halepensis* Mill

Ανεξάρτητες μεταβλητές	beta (s.e.)	95% C.I.	p-value	Partial Eta Squared
Σταθερά	51.337 (63.250)	(-74.911, 177.585)	0.420	0.007
Κάλυψη χαλεπίου πριν τις πυρκαγιές	5.467 (0.844)	(3.783, 7.151)	<0.001	0.385
Επίπεδο διάβρωσης				0.110
Μικρή	Reference category			
Μέτρια	-146.451 (54.548)	(-255.331, - 37.572)	0.009	
Μεγάλη	-137.877 (88.707)	(-314.937, 39.183)	0.125	

$R^2$ -adj=0.429, SSE= 203.830, F= 18.539, p-value<0.001

Η επεξηγηματική ικανότητα του μοντέλου είναι αρκετά μεγάλη (42,9%). Θετικά επιδρά η κάλυψη σε ώριμο χαλέπιο πεύκη πριν τις πυρκαγιές και το επίπεδο της διάβρωσης.

### **Συζήτηση-Συμπεράσματα**

#### **α) κάλυψη φυσικής αναγέννησης χαλεπίου πεύκης %**

Παρατηρήθηκε ότι η κάλυψη σε ώριμο χαλέπιο πεύκη πριν την πυρκαγιά επέδρασε θετικά στη κάλυψη % της φυσικής αναγέννησης χαλεπίου πεύκης. Η κάλυψη του ώριμου δάσους και η χωρική κατανομή των δένδρων πριν την πυρκαγιά, επηρεάζει την μεταπυρική διαδικασία επανάκαμψης (Davis et al 1989, Ne'eman et al 1992). Από έρευνες που έχουν γίνει στο χώρο της λεκάνης της Μεσογείου, διαπιστώθηκε ότι στην αρχή η πυκνότητα της φυσικής αναγέννησης της χαλεπίου πεύκης ήταν μεγαλύτερη σε ζώνες μακριά από τα μητρικά δένδρα σε σχέση με την πυκνότητα ζωνών κοντά στα μητρικά δένδρα. Στη συνέχεια, όμως, τα φυτάρια των μακρινών ζωνών παρουσίασαν μεγάλη θνησιμότητα, με αποτέλεσμα η πυκνότητα των φυταρίων στην κοντινή ζώνη να είναι μεγαλύτερη (Ne'eman 2000). Η ικανότητα των μικροθέσεων που καλύπτονται από ώριμη χαλέπιο πεύκη να αποτελούν και τις καλύτερες μικροθέσεις για την εγκατάσταση φυσικής αναγέννησης, εξηγείται και από την μεγάλη συσσώρευση καύσιμης ύλης που συντελείται στις ώριμες συστάδες (μεγάλη ευφλεκτικότητα, διατήρηση των νεκρών κλαδιών, μη διασπορά των άδειων κώνων) (Keeley and Zedler 1998). Αυτό συνεπάγεται πυρκαγιά μεγάλης έντασης, η οποία στη συνέχεια μειώνει την ικανότητα γειτονικών θάμνων να αναβλαστήσουν (Bond and Midgley 1995) καθώς επίσης μειώνει την εδαφική τράπεζα σπερμάτων άλλων φυτών που αναγεννώνται με σπόρους (Eshel et al 2000). Κατ' αυτό τον τρόπο μειώνονται οι ανταγωνιστές και ευνοείται η ανάπτυξη της φυσικής αναγέννησης σε ζώνες κοντά στα μητρικά δένδρα.

Η προτίμηση των ελαφριών και καλά αποστραγγιζόμενων (αμμωδών) εδαφών από τη χαλέπιο πεύκη αναφέρεται στη βιβλιογραφία (Παπαμίχος 1979, Ντάφης 1986, Κωνσταντινίδης και Γκατζογιάννης 2001). Επίσης οι Kazanis και Arrianutsu (2002), αναφέρουν ότι η αναγέννηση της χαλεπίου πεύκης είναι καλύτερη σε σχιστολιθικά εδάφη (αμμώδη) από ότι σε τριτογενείς αποθέσεις (αργιλώδη εδάφη), όπως είδαμε στην εισαγωγή της παρούσας.

#### **β. μέσο ύψος φυσικής αναγέννησης χαλεπίου πεύκης**

Η θετική επίδραση της κλίσης, αποτέλεσε κατ' αρχήν μη αναμενόμενο αποτέλεσμα. Γενικά επικρατεί η άποψη ότι οι συνθήκες για την ανάπτυξη της βλάστησης είναι δυσμενέστερες σε πολύ επικλινείς θέσεις, λόγω δυσμενέστερων εδαφικών συνθηκών (μικρό βάθος εδάφους, μεγαλύτερη διάβρωση, έκπλυση των θρεπτικών συστατικών (Ντάφης 1986). Η χαλέπιος πεύκη είναι ανθεκτικό φυτό και αδιάφορο ως προς τις εδαφικές συνθήκες (Παπαμίχος 1979, Ντάφης 1986). Η χαλέπιος πεύκη όμως είναι ένα από τα πιο φωτόφιλα είδη, το πλέον ίσως φωτόφιλο μετά τη κουκουναριά (Ντάφης 1986). Ο κρίσιμος, λοιπόν παράγοντας για την ανάπτυξη της χαλεπίου πεύκης είναι το φως (Schiller 1978), όπως αναφέρει ο ίδιος (Schiller 2000). Επίσης ο Zavala (2000), αναφέρει ότι στην Ισπανία οι καθοριστικοί παράγοντες που επηρεάζουν την σύνθεση των δασών χαλεπίου πεύκης-αείφυλλων σκληρόφυλλων θάμνων είναι το νερό και το φως. Στις επικλινείς θέσεις οι συνθήκες φωτισμού είναι καλύτερες, λόγω της



διάθρωσης της συστάδας κατακόρυφα. Ο συναγωνισμός για το φως στις επίπεδες επιφάνειες είναι πολύ μεγαλύτερος.

Η κάλυψη της χαλεπίου πεύκης πριν τις πυρκαγιές ήταν θετική. Η στάχτη που εναποτίθεται κάτω από τα μεγάλα δένδρα, επηρεάζει τη μεταπυρική αναγέννηση με σπόρους επηρεάζοντας επίσης θετικά την αύξηση (Ne'eman 1997). Έχει βρεθεί ότι πεύκα που αναπτύχθηκαν κοντά στα μητρικά ήταν μέχρι και 9 φορές ψηλότερα από αυτά που αναπτύχθηκαν μακριά από τα μητρικά πεύκα (Ne'eman 2000).

Η θετική επίδραση του βάθους του εδάφους ήταν αναμενόμενο αποτέλεσμα (Ντάφης 1986).

#### **γ. μέση διάμετρος φυσικής αναγέννησης χαλεπίου πεύκης**

Οι παράγοντες που την επηρέασαν σημαντικά ήταν η κλίση και το βάθος του εδάφους. Το βάθος έχει σχέση με τις καλύτερες συνθήκες ανάπτυξης. Η κλίση επενεργεί θετικά για τους ίδιους λόγους που είδαμε στη προηγούμενη παράγραφο.

#### **δ. φυτά φυσικής αναγέννησης χαλεπίου πεύκης ανά στρέμμα**

Ο κύριος παράγοντας που έδρασε θετικά είναι η κάλυψη σε ώριμο χαλέπιο πεύκη πριν την πυρκαγιά και σχετίζεται με την ύπαρξη ικανής υπέργειας τράπεζας σπερμάτων πριν την πυρκαγιά. Η ύπαρξη ώριμης χαλεπίου έχει σαν αποτέλεσμα πυρκαγιές μεγάλης έντασης. Οι πυρκαγιές αυτές θανατώνουν είδη, πιθανούς ανταγωνιστές που αναβλαστάνουν και μειώνουν την επίγεια τράπεζα σπερμάτων ειδών που αναγεννώνται με σπόρους (Eshel et al 2000).

Η αρνητική επίδραση της διάβρωσης, ήταν αναμενόμενο αποτέλεσμα και σχετίζεται με τη δυνατότητα εγκατάστασης των φυταρίων κατά το κρίσιμο διάστημα αμέσως μετά τη πυρκαγιά.

Από την ανάλυση προέκυψε ότι η ή ύπαρξη ή όχι των αντιδιαβρωτικών έργων δεν επηρέασε σημαντικά τις παραμέτρους της φυσικής αναγέννησης της χαλεπίου πεύκης. Επίσης δεν προέκυψε σημαντική επίδραση της βοσκής. Η αιγοβοσκική που παρατηρείται στο Πεντελικό όρος αφορά κυρίως την υποβλάστηση (θαμνώδη βλάστηση) (Παπαχρήστου 1990).

Συνοψίζοντας τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας μπορούμε να δούμε ότι η φυσική αναγέννηση της χαλεπίου πεύκης στη συγκεκριμένη περίπτωση, επηρεάστηκε κυρίως από τοπογραφικούς-εδαφολογικούς-βιολογικούς παράγοντες (κάλυψη σε ώριμη χαλέπιο πεύκη) και λιγότερο από διαχειριστικούς παράγοντες. Τα μοντέλα που προέκυψαν είχαν υψηλή επεξηγηματική ικανότητα. Σε ανάλογη έρευνα στην Ισπανία, η επεξηγηματική ικανότητα του μοντέλου ήταν 38 % ( Pausas et al 2004). Η θετική επίδραση της κλίσης στην καθ' ύψος και κατά πάχος αύξηση της φυσικής αναγέννησης αποτελεί σημαντικό εύρημα που χρήζει περαιτέρω έρευνας. Επί πλέον αποτελεί σημαντική πληροφόρηση για τον σχεδιασμό της αντιπυρικής προστασίας των νεαρών οικοσυστημάτων που αναπτύσσονται μετά από ένα επεισόδιο πυρκαγιάς σε δάση χαλεπίου πεύκης, αν ληφθεί υπόψη ότι η ταχύτητα των πυρκαγιών είναι μεγαλύτερη στις επικλινείς θέσεις (Καϊλίδης 1981).

Τέλος, σημαντική είναι και η διαπίστωση ότι η φυσική αναγέννηση της χαλεπίου πεύκης δεν επηρεάστηκε σημαντικά από τα εδαφικά στοιχεία κάτι που συμβαδίζει και την κρατούσα άποψη ότι η χαλέπιος πεύκη είναι πολύ ανθεκτική και αδιάφορη ως προς τις εδαφικές απαιτήσεις

**Factors impact to medium-term natural regeneration and growth of *Pinus halepensis* Mill in Pendelikon mountain**

**Paul Christakopoulos<sup>1</sup>, Dimitrios Paronis<sup>2</sup>, Mihalis Skarvelis<sup>3</sup>, Georgios Karetsos<sup>4</sup>,  
Petros Ganatsas<sup>5</sup>, Kostas Kalabokides<sup>6</sup>, Ioannis Xatzopoulos<sup>6</sup>**

<sup>1</sup> Decentralized Administration of Attica, F. Negri 5, 19500 Lavrio,  
e-mail: [paulchri@hol.gr](mailto:paulchri@hol.gr)

<sup>2</sup> National Observatory of Athens, Institute for Space Applications & Remote Sensing, Vas. Pavlou & Metaxa, 15236 Palea Pendeli  
e-mail: [paronis@space.noa.gr](mailto:paronis@space.noa.gr)

<sup>3</sup> Technological Educational Institute of Larisa, 43100 Karditsa,  
e-mail: [skarvelis@teilar.gr](mailto:skarvelis@teilar.gr)

<sup>4</sup> Institute of Mediterranean Forest Ecosystems and Technology of Forest Products, Terma Alkmanos, 11528 Ilissia Athens, e-mail: [karetsos@fria.gr](mailto:karetsos@fria.gr)

<sup>5</sup> Aristotle University of Thessaloniki, School of Forestry and Natural Environment, e-mail: [pgana@for.auth.gr](mailto:pgana@for.auth.gr)

<sup>6</sup> Faculty of Geography, Aegean University, Lofos Panepistimiou, 81100 Mytilene,  
e-mail: [kalabokides@aegean.gr](mailto:kalabokides@aegean.gr)

<sup>7</sup> Faculty of Environmental Studies, Aegean University, Lofos Panepistimiou, 81100 Mytilene, e-mail: [ihat@aegean.gr](mailto:ihat@aegean.gr)

**Abstract**

The present work examined the effects of different factors into ecological parameters of *Pinus halepensis* Mill natural regeneration in the Pendelikon mountain in a time 13 years after the fire. For the propose of the research, a detailed amount of field work took place in 68 training areas that have been burnt once at the year 1995. In each training area a soil sample was extracted and soil parameters were defined with factory analysis. Parameters of the natural regeneration that were measured were: cover, height, basal diameter and number of saplings per stremma. Using combined field observations, Digital Elevation Model (DEM) and GIS analysis, three groups of determined factors were specified: The first group included management factors (grazing, flood works), the second biological factors (mature *Pinus halepensis* cover before fire) and the third topographical-terrestrial factors (altitude, slope, aspect, position in the slope, rock percentage, soil deepness, erosion level, soil parameters). For the specification of the important factors to the natural regeneration, multiple regression analysis was adapted by transforming the categorical parameters to dummy variables. The research was concluded that the impact of the biological factor of mature *Pinus halepensis* Mill cover before fires and the sandy soil contain were positive. The growth of natural regeneration was positively influenced by slope and the soil deepness. Finally, the number of sapling per stremma was positively influenced by mature *Pinus halepensis* Mill cover before fire and negatively by the erosion level. Interesting result was the non-important impact of the management factors such as grazing and flood works construction. Into the most unexpected and impressive results was the positive impact of the slope to *Pinus halepensis* Mill natural regeneration growth (height, basal diameter).

**Key words:** *Pinus halepensis* Mill, regeneration, management factors, topographical-terrestrial factors, biological factors.

### **Βιβλιογραφία**

- Αλιφραγκής Δ., Παπαμίχος Ν., 2006. Περιγραφή- Δειγματοληψία-Εργαστηριακές αναλύσεις δασικών εδαφών και φυτικών ιστών, Θεσσαλονίκη 2006,σελ. 11-15.
- Bond W., Midgley J., 1995. Kill the neighbour: An individualistic argument for the evolution of flammability, *Oikos* 73: 79-85.
- Δασκαλάκου, Ε., 1996. Οικοφυσιολογία της μεταπυρικής αναγέννησης της χαλεπίου πεύκης, Διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Βιολογίας, Τομέας Βοτανικής, σελ. 76-103.
- Davis S., Borchert I., Odion C., 1989. Establishment of micro-scale vegetation patterns in maritime chaparral, after fire. *Vegetatio* 84: 63-67.
- Eshel A., Henig-Sever N., Ne'eman G., 2000. Spatial variation of seedling distribution in an east Mediterranean pine woodland at the beginning of post-fire succession, *Plant Ecology* 148: 175-182.
- Ganatsas, P., Zagas, T., Tsakalidimi, M., Tsitsoni, T., 2004. Post-fire regeneration dynamics in a Mediterranean type ecosystem in Sithonia, northern Greece: ten years after the fire, *proceedings 10<sup>th</sup> MEDECOS International Conference on Mediterranean Climate Ecosystems*, April 25-May 1, 2004. Rhodes, Greece. pp. 1-9.
- Hair J., Black W., Babin B., Anderson R., Tatham R., 2006. Multivariate data analysis, *Pearson International Edition*, 2006, p. 198-199.
- Καλιδής Δ., 1981. Υλωρική, μέρος πρώτο, δασικές πυρκαγιές, Β' έκδοση, Θεσσαλονίκη 1981,σελ. 149.
- Kazanis D., Arianoutsou M., 2002. Long term post-fire dynamics of *Pinus halepensis* forests of Central Greece: *plant community patterns*, *Forest fire Research & Wildland Fire Safety*, Viegas (ed.) Millpress 2002 (σελ. 1-12).
- Kazanis, D., Arianoutsou, M., 2004. Factors determining low Mediterranean ecosystems resilience to fire: the case of *Pinus halepensis* forests, *proceedings 10<sup>th</sup> MEDECOS International Conference on Mediterranean Climate Ecosystems*, April 25-May 1, 2004, Rhodes, Greece: 4-7.
- Keeley E., Zedler H., 1998. Evolution of life history in pines. In: Richardson D.M. (ed), *Ecology and Biogeography of Pinus*, Cambridge University Press, Cambridge, pp. 219-250.
- Κωνσταντινίδης Π., Γκατζογιάννης Σ., 2001. Επιλογή δασικών ειδών για αναδασώσεις σε πυρόπληκτες περιοχές, ΕΘΙΑΓΕ, Θεσσαλονίκη, σελ. 124.
- Ne'eman G., Lahav H., Izhaki I., 1992. Spatial pattern of seedlings one year after fire in a Mediterranean pine forest, *Oecologia* 91: 365-370.
- Ne'eman G., 1997. Regeneration of natural pine forest-review of work done after the 1989 fire in Mount Carmel, Israel, *International Journal of Wildland Fire* 7: 295-306.
- Ne'eman G., 2000. The effect of burned pine trees on post-fire regeneration. In *Ecology, biogeography and management of Pinus halepensis and P. brutia forest ecosystems in the Mediterranean Basin*, Eds G. Ne'eman, L.Trabaud, pp. 303-319.

- Ντάφης Σ., 1986. Δασική Οικολογία, εκδόσεις Γιαχούδη, Θεσσαλονίκη 1986, σελ. 54 & 130.
- Παπαμίχος Ν., 1979. Σημειώσεις Δασικής Εδαφολογίας, ΑΠΘ, Θεσ/νικη 1979, σελ. 114.
- Παπαχρήστου Γ., 1990. Βοτανική σύνθεση και θρεπτική αξία της τροφής των γιδιών που βόσκουν σε θαμνολίβαδα με διαφορετική αναλογία σε θαμνώδη και ποώδη φυτά, Διδακτορική Διατριβή, ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη, σελ. 10-17.
- Pausas, J., Ribeiro, E., Vallejo, R., 2004. Post-fire regeneration variability of *Pinus halepensis* in the eastern Iberian Peninsula, *Forest Ecology and Management* 203 (2004): 251-259.
- Raftoyannis Y., Spanos I., 2005. Evaluation of log and branch barriers as post-fire rehabilitation treatments in a Mediterranean forest in Greece, *International Journal of Wildland Fire*, 2005, 14: 183-188.
- Schiller G., 2000. Ecophysiology of *Pinus halepensis* Mill and *P. brutia* Ten., In *Ecology, biogeography and management of Pinus halepensis and P. brutia forest ecosystems in the Mediterranean Basin*, Eds G. Ne'eman, L.Trabaud, pp. 51-65.
- Τσιτσώνη, Θ., 1991. Ανάλυση δομής και συνθήκες φυσικής αναγέννησης μετά από πυρκαγιά στα δάση χαλεπίου πεύκης της Κασσάνδρας Χαλκιδικής. Διδακτορική διατριβή, Τμήμα Δασολογίας & Φυσικού Περιβάλλοντος, Θεσσαλονίκη, σελ. 94-111.
- 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.
- Tsitsoni, T., Zagas, T., 1995. Development of *Pinus halepensis* natural regeneration in Kassandra Chalkidiki. *Scientific Annals of the department of Forestry and natural Environment* Vol. LH (1): 93-103.
- Trabaud, L., Mickels, C., Grosman, J., 1985. Recovery of burnt *Pinus halepensis* Mill Forests II Pine reconstruction after wildfire. *Forest Ecology and Management* 13: 167-169.
- Χριστακόπουλος Π., 2005. Η μεταπτυχιακή εξέλιξη των μεσογειακών δασικών οικοσυστημάτων και η επιλογή των προς αναδάσωση εκτάσεων με τη χρήση μεθόδων Τηλεπισκόπησης και Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών στον Εθνικό Δρυμό Σουνίου, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Τμήμα Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, σελ. 84.
- Winchester J., 1999. Using felled timber as water bars to control post-fire erosion. *Fire management Notes* 59: 35-38
- Zagas, T., Ganatsas, P., Tsitsoni, T., Tsakalidimi, M., 2004. Post fire regeneration of *Pinus halepensis* Mill stands in the Sithonia peninsula, northern Greece, *Plant Ecology*, 171. pp 91-99.
- Zavala M., 2000. Alepo pine stand dynamics in relation to water balance and disturbance: A mechanistic model, in *Ecology, biogeography and management of Pinus halepensis and P. brutia forest ecosystems in the Mediterranean Basin*, Eds G.Ne'eman, L.Trabaud, pp. 153-165.