

**Η επίδραση του μεσοδιαστήματος και της έντασης των πυρκαγιών στη φυσική αναγέννηση της χαλεπίου πεύκης*
(Προσωρινά αποτελέσματα)**

**Παύλος Χριστακόπουλος¹, Μιγάλης Σκαρβέλης², Γαβριήλ Ξανθόπουλος²,
Δημήτριος Παρώνης³, Καλαμποκίδης Κώστας⁴, Χατζόπουλος Ιωάννης¹**

¹ Τμήμα Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Λόφος Πανεπιστημίου,
81100 Μυτιλήνη, e-mail: phrista@env.aegean.gr

² Ινστιτούτο Μεσογειακών Δασικών Οικοσυστημάτων και Τεχνολογίας
Δασικών Προϊόντων, Τέρμα Αλκμάνος, 11528 Ιλίσσια Αθήνα, e-mail:
skmi@fria.gr, gxnrnt@fria.gr

³ Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, Ινστιτούτο Διαστημικών Εφαρμογών &
Τηλεπισκόπησης, Βασ. Παύλου & Μεταξά, 15236 Παλαιά Πεντέλη
e-mail: paronis@space.noa.gr

⁴ Τμήμα Γεωγραφίας, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Λόφος Πανεπιστημίου,
81100 Μυτιλήνη, e-mail: kalobokides@aegean.gr

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία διερευνήθηκε η επίδραση του μεσοδιαστήματος και της έντασης των πυρκαγιών στη φυσική αναγέννηση της χαλεπίου πεύκης στο όρος Πεντελικό. Για την έρευνα έγινε λήψη στοιχείων υπαίθρου αναφορικά με αυξητικά δεδομένα της αναγέννησης καθώς και τους παράγοντες που την επηρεάζουν. Παράμετροι της αναγέννησης που μετρήθηκαν ήταν ο αριθμός των φυτών, η κάλυψη, το ύψος, η βασική διάμετρος και η βιομάζα. Για τη βιομάζα ειδικότερα προτείνεται μέθοδος εκτίμησης με τη χρήση αλλομετρικών εξισώσεων. Στη συνέχεια της έρευνας θα διερευνηθεί η δυνατότητα εκτίμησης της βιομάζας με τη χρήση δορυφορικών εικόνων QUICKBIRD. Το σενάριο των πυρκαγιών (μεσοδιάστημα-ένταση) προσδιορίστηκε με επί τόπια έρευνα και φωτοερμηνεία σειράς αεροφωτογραφιών ληφθέντων κατά τα έτη που έλαβαν χώρα οι πυρκαγιές στο Πεντελικό όρος.

Από τα μέχρι στιγμής αποτελέσματα προέκυψε ότι, οι πυρκαγιές που συνέβησαν για πρώτη φορά είχαν μεγάλη ένταση και οδήγησαν σε ικανοποιητική φυσική αναγέννηση. Στη περίπτωση επανάληψης της πυρκαγιάς με μεσοδιάστημα 3 ετών, η δεύτερη πυρκαγιά ήταν πυρκαγιά μικρής έντασης και οδήγησε σε αδυναμία φυσικής αναγέννησης πλην όμως δεν έκαψε όλη την φυσική αναγέννηση που αναπτύχθηκε μετά την πρώτη πυρκαγιά. Στις περιπτώσεις μεγαλύτερων μεσοδιαστημάτων η ένταση της δεύτερης φωτιάς ήταν σταδιακά μεγαλύτερη και μετά τα 10 χρόνια παρατηρήθηκε φυσική αναγέννηση που προήλθε από την καμένη νεοφυτεία. Στο μεγαλύτερο μεσοδιάστημα των 17 ετών, η αναγέννηση μετά τη δεύτερη πυρκαγιά είχε πυκνότητα 160 φυτών/στρέμμα.

Λέξεις κλειδιά: χαλέπιος πεύκη, αναγέννηση, μεσοδιάστημα πυρκαγιών, ένταση πυρκαγιών, αλλομετρικές εξισώσεις, δορυφορικές εικόνες QUICKBIRD.

* Εργασία που παρουσιάστηκε, ύστερα από κρίση, στο 14^ο Πανελλήνιο Δασολογικό Συνέδριο που έγινε στη Πάτρα από 1-4 Νοεμβρίου 2009 και πρόκειται να δημοσιευθεί στα πρακτικά.

Εισαγωγή

Η μεταπυρική εξέλιξη των δασών χαλεπίου πεύκης έχει μελετηθεί, τόσο στη χώρα μας, όσο και σε άλλες παραμεσόγειες χώρες. Η φυσική αναγέννηση της χαλεπίου πεύκης φαίνεται εξασφαλισμένη μετά από ένα επεισόδιο πυρκαγιάς. Σημαντικό ρόλο στην αναγέννηση παίζουν οι καιρικές συνθήκες της πρώτης χειμερινής περιόδου μετά την πυρκαγιά (Daskalaku and Thanos 1994, Δασκαλάκου 1996, Thanos et al 1996,). Στη βιβλιογραφία αναφέρονται πυκνότητες φυσικής αναγέννησης από 100 αρτίφυτρα/στρέμμα μέχρι 14.000/στρέμμα σε έρευνες που έγιναν 5-12 χρόνια μετά τη πυρκαγιά (Trabaud et al 1985, Tsitsoni et Zagas 1995, Tsitsoni 1997, Zagas et al 2004). Σημαντικό ρόλο στη φυσική αναγέννηση της χαλεπίου πεύκης παίζουν επίσης παράγοντες όπως το βραχώδες του εδάφους, η κλίση, το σημείο της πλαγιάς, η πυκνότητα της αρχικής συστάδας, το είδος του μητρικού πετρώματος κ.α. (Τσιτσώνη 1991, Ganatsas et al 2004).

Η ένταση της πυρκαγιάς παίζει σημαντικό ρόλο στη μεταπυρική εξέλιξη του καμένου οικοσυστήματος. Η ένταση εξαρτάται κυρίως από τη συσσώρευση καύσιμης ύλης και από τις επικρατούσες καιρικές συνθήκες κατά τη διάρκεια της πυρκαγιάς. Επανάληψη της πυρκαγιάς σε σύντομο χρονικό διάστημα δεν δίδει μεγάλη ένταση λόγω της περιορισμένης ποσότητας καύσιμης ύλης.

Η επανάληψη των πυρκαγιών σε σύντομο χρονικό διάστημα έχει, επίσης, σαν συνέπεια την αδυναμία φυσικής αναγέννησης της χαλεπίου πεύκης. Δεν υπάρχουν πολλές βιβλιογραφικές αναφορές σχετικά με το εύρος αυτού του μεσοδιαστήματος (interval) που συνεπάγεται τη μη αναγέννησή της. Σχετικές έρευνες αναφέρουν ότι μεσοδιαστήματα 4 και 15 ετών είχαν σαν συνέπεια την παντελή αδυναμία της χαλεπίου πεύκης να αναγεννηθεί (Tsitsoni 1991, Kazanis and Arianoutsou 2004, Χριστακόπουλος 2005, Goudelis et al 2008).

Η εκτίμηση της μεταπυρικής εξέλιξης της δασικής βιομάζας κρίνεται σημαντική για τη διαχείριση της μεταπυρικής αποκατάστασης αλλά και για τον αντιπυρικό σχεδιασμό των νεαρών δασών της φυσικής αναγέννησης. Στη βιβλιογραφία υπάρχει σημαντικός αριθμός μεθόδων εκτίμησης της δασικής βιομάζας, κυρίως με τη χρήση αλλομετρικών εξισώσεων, λαμβάνοντας υπόψη παραμέτρους της βλάστησης (Xanthopoulos and Manasi 2002, Saglam et al 2008).

Οι μέθοδοι Τηλεπισκόπησης και Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ΓΣΠ), χρησιμοποιούνται ευρέως στη έρευνα της μεταπυρικής εξέλιξης των καμένων δασικών οικοσυστημάτων. Στοχεύουν κυρίως στη ταχεία διακρίβωση των μορφών βλάστησης που επικρατούν σε μια περιοχή (επιβλεπόμενη ταξινόμηση) καθώς και στην μελέτη της διαχρονικής εξέλιξης και των τάσεων που επικρατούν μετά την πυρκαγιά (δείκτες βλάστησης) (Viedma et al 1997, Χατζόπουλος 1998, Chuvieco 1999, Mouillot et al 2003, Χριστακόπουλος 2005) . Μέθοδοι τηλεπισκόπησης έχουν επίσης αναφερθεί και για την εκτίμηση της δασικής βιομάζας. Η ακρίβεια των μεθόδων αυτών για ώριμα δάση είναι σχετικά χαμηλή (Harrel et al 1997, Skole and Qi 1999).

Σκοπός της παρούσας έρευνας είναι κατ' αρχήν η διερεύνηση ύπαρξης φυσικής αναγέννησης της χαλεπίου πεύκης κάτω από συγκεκριμένα σενάρια πυρκαγιών όσον

αφορά τα μεσοδιαστήματα και την ένταση των πυρκαγιών. Επίσης ο προσδιορισμός και ανάλυση των παραγόντων που επηρεάζουν τη φυσική αναγέννηση με τη χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων και μεθόδων Τηλεπισκόπησης. Στους επί μέρους σκοπούς της έρευνας περιλαμβάνεται η πρόταση μεθοδολογίας εκτίμησης της βιομάζας φυσικής αναγέννησης χαλεπίου πεύκης με τη χρήση αλλομετρικών εξισώσεων καθώς επίσης και τη χρήση δεικτών βλάστησης από δορυφορικές εικόνες υψηλής διακριτικής ικανότητας.

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 25.000 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, 2005, 1998, 2005. Έγινε ορθοαναγωγή των Α/Φ με χρήση εργαλείων τηλεπισκόπησης στο προβολικό σύστημα ΕΓΣΑ 1987. Χρησιμοποιήθηκαν για την διαπίστωση των σεναρίων των πυρκαγιών καθώς και την εκτίμηση της κάλυψης της χαλεπίου πεύκης πριν την πρώτη πυρκαγιά.
- Εδαφολογικός χάρτης περιοχής Πεντέλης κλίμακας 1:50.000 του Υπ. Γεωργίας. Ο χάρτης ψηφιοποιήθηκε στις υπάρχουσες εδαφολογικές κλάσεις. Θα χρησιμοποιηθεί στη συνέχεια της έρευνας κατά την ανάλυση των παραγόντων με τη χρήση ΓΣΠ.
- Χάρτες με τα όρια των πυρκαγιών των ετών 1978, 1982, 1995, 1998, 2005 από μελέτες της Δ/σης Αναδασώσεων Αττικής. Ομοίως ψηφιοποίηση των χαρτών στα όρια των πυρκαγιών. Χρησιμοποιήθηκαν για την επιλογή των επιφανειών στο πεδίο και βοηθητικά στον καθορισμό των σεναρίων των πυρκαγιών.
- 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 και των δορυφορικών εικόνων.
- Ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DEM) της περιοχής μελέτης. Χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό τοπολογικών παραγόντων στις επιφάνειες που λήφθηκαν στο πεδίο (κλίση, υψόμετρο κλπ)
- Δύο δορυφορικές εικόνες QUICKBIRD με ημερομηνίες λήψης 28-5-2006 και 14-3-2008, με 4 κανάλια εκάστη, διακριτικής ικανότητας 2,4 μ. Έγινε ορθοαναγωγή και ατμοσφαιρική-τοπογραφική διόρθωση. Θα χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια της έρευνας για την ταξινόμηση της βλάστησης και την εξαγωγή δεικτών βλάστησης.

β. Λήψη στοιχείων πεδίου

Για τις ανάγκες της έρευνας έγινε λήψη δοκιμαστικών επιφανειών στο πεδίο Συγκεκριμένα ελήφθησαν οι παρακάτω ομάδες επιφανειών:

- **Ομάδα 1^η:** Επιφάνειες εκτίμησης της μεταπυρικής εξέλιξης χαλεπίου πεύκης. Συνολικά ελήφθησαν 261 επιφάνειες με χρήση GPS και με τη μέθοδο της στρωματοποιημένης τυχαίας δειγματοληψίας. Η μέση έκταση των επιφανειών ήταν 500 m². Η περίοδος δειγματοληψίας διήρκεσε 6 μήνες (Οκτώβριος 2007-Μάρτιος 2008). Σε κάθε επιφάνεια έγινε καταμέτρηση των φυτών, του ύψους, της βασικής διαμέτρου, της προβολής της κόμης και έγινε εκτίμηση παραγόντων όπως βάθος εδάφους, ποσοστό βράχου, η ύπαρξη ή μη βοσκής καθώς και του βαθμού διάβρωσης. Μέρος των επιφανειών αυτών θα χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο των ταξινομήσεων των δορυφορικών εικόνων. Στις ανωτέρω επιφάνειες έγινε υλοτόμηση 100 φυτών φυσικής αναγέννησης για τον προσδιορισμό της βιομάζας. Η επιλογή των φυτών έγινε με τρόπο ώστε να αντιπροσωπεύονται όλες οι κλάσεις των ηλικιών από 3 έως 12 έτη. Κατεβλήθη επίσης προσπάθεια έτσι ώστε η κατανομή των υψών, των βασικών διαμέτρων και των προβολών της κόμης των υλοτομηθέντων φυτών να πλησιάζει την κανονική. Πριν την υλοτόμηση γινόταν καταμέτρηση του ύψους, της βασικής διαμέτρου και της προβολής της κόμης. Από κάθε δένδρο που υλοτομήθηκε λήφθηκε ικανό δείγμα βιομάζας, το οποίο κλείστηκε αεροστεγώς σε νάυλον σακούλα. Τα δείγματα μεταφερόταν στο Ίδρυμα Δασικών Ερευνών Αθηνών, όπου έγιναν οι ζυγίζεις ακριβείας, η ξήρανση των δειγμάτων και η εκτίμηση της καθαρής βιομάζας.
- **Ομάδα 2^η:** Επιφάνειες για τον προσδιορισμό φασματικών υπογραφών, κατά την ταξινόμηση των εικόνων QUICKBIRD. Συνολικά ελήφθησαν 100 επιφάνειες αμιγείς με τα κυριότερα είδη του υπό μελέτη μεσογειακού οικοσυστήματος.

γ. Καθορισμός των σεναρίων πυρκαγιών στις επιφάνειες.

Οι ορθοανηγμένες αεροφωτογραφίες εισήχθησαν σταδιακά στο ΓΣΠ μαζί με τα vector αρχεία των δοκιμαστικών επιφανειών. Με φωτοερμηνεία καθορίστηκε το έτος ή τα έτη που είχε καεί η κάθε επιφάνεια. Έγινε επίσης και μια προσέγγιση εκτίμησης της έντασης της πυρκαγιάς. Από τις αεροφωτογραφίες των ετών 1973 και 1988 καθορίστηκε η αρχική κάλυψη των επιφανειών σε ώριμο δάσος χαλεπίου πεύκης.

δ. Ανάλυση στοιχείων υπαίθρου-προσδιορισμός παραμέτρων φυσικής αναγέννησης σε διάφορα σενάρια πυρκαγιών

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.

ε. Ανάπτυξη μεθοδολογίας προσδιορισμού της δασικής βιομάζας.

Από τα στοιχεία βιομάζας που λήφθηκαν στο πεδίο και τις μετρήσεις που έγιναν στο εργαστήριο, έγινε προσδιορισμός αλλομετρικών εξισώσεων εκτίμησης της βιομάζας με στατιστική ανάλυση παλινδρόμησης. Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση είναι το ύψος, η βασική διάμετρος και η προβολή της κόμης. Η μεθοδολογία θα ολοκληρωθεί με τη διερεύνηση εκτίμησης της βιομάζας

με βάση αυξητικά στοιχεία και τηλεπισκοπικούς δείκτες (δείκτες βλάστησης) σε δορυφορικές εικόνες υψηλής διακριτικής ικανότητας QUICKBIRD.

δ. Παράγοντες που επηρεάζουν τη φυσική αναγέννηση-Ανάλυση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών

Οι παράγοντες που εκτιμήθηκαν στο πεδίο και εξήχθησαν με τη χρήση του ψηφιακού μοντέλου εδάφους καθώς και τα αυξητικά στοιχεία της χαλεπίου πεύκης για κάθε δοκιμαστική επιφάνεια, θα εισαχθούν ως επίπεδα πληροφορίας (layers) στο ΣΓΠ. Επίπεδο πληροφορίας για την κάλυψη της χαλεπίου πεύκης θα αποτελέσει η ταξινομημένη εικόνα QUICKBIRD. Με ανάλυση ΓΣΠ θα προσδιοριστούν οι παράγοντες που επηρεάζουν την εμφάνιση και εξέλιξη της φυσικής αναγέννησης χαλεπίου πεύκης.

Αποτελέσματα

α. Σενάρια και ένταση πυρκαγιών-φυσική αναγέννηση χαλεπίου πεύκης

Στον πίνακα 1 που ακολουθεί φαίνονται κατά σειρά ο αριθμός των επιφανειών, η μέση κάλυψη της ώριμης χαλεπίου πεύκης πριν τις πυρκαγιές (από Α/Φ των ετών 1973 ή 1988), τα έτη των πυρκαγιών, τα μεθοδιαστήματα, η ηλικία της φυσικής αναγέννησης (το Χ αναγράφεται στις περιπτώσεις που είναι δύσκολος ο ακριβής προσδιορισμός της), η υπολογισθείσα μέση κάλυψη της φυσικής αναγέννησης, το ποσοστό της κάλυψης της φυσικής αναγέννησης σε σχέση με την κάλυψη πριν τις πυρκαγιές καθώς και οι μέσες τιμές του αριθμού των φυτών, του ύψους και της βασικής διαμέτρου. Για τον προσδιορισμό της ηλικίας έγινε η παραδοχή ότι η φυσική αναγέννηση εγκαταστάθηκε στο τέλος ακριβώς του έτους της πυρκαγιάς καθώς και η παραδοχή ότι οι μετρήσεις έγιναν την 1-1-2008. Στην πραγματικότητα οι μετρήσεις διήρκεσαν 6 μήνες από τον Οκτώβριο του 2007 μέχρι τον Μάρτιο του 2008 αλλά επειδή οι μετρήσεις έγιναν σε μη αυξητική περίοδο, η παραδοχή του χρόνου μέτρησης δεν δημιουργεί κανένα απολύτως πρόβλημα.

Από τα στοιχεία του πίνακα 1 παρατηρούμε τα εξής:

Σε περίπτωση που πυρκαγιές λαμβάνουν χώρα για πρώτη φορά κατά τα έτη 1995 και 1998 η φυσική αναγέννηση έχει μια μέση πυκνότητα 350 φυτά/στρέμμα για την πρώτη περίπτωση και 270φυτά/στρέμμα για τη δεύτερη. Η κάλυψη της αναγέννησης του 1995, ηλικίας 12 ετών, ανέρχεται στο 58,18 % της αρχικής κάλυψης. Η αντίστοιχη του έτους 1998, ηλικίας 9 ετών, ανέρχεται στο 30,68 % της αρχικής.

Στις περιπτώσεις 3-8 του πίνακα οι επιφάνειες που μελετήθηκαν κάηκαν 2 φορές και τα αντίστοιχα μεσοδιαστήματα των πυρκαγιών ήταν: 3, 10, 13, 16, 17, 22+ έτη. Ο αντίστοιχος αριθμός φυτών ανά στρέμμα είναι 34, 26, 73, 27, 160, 58 και οι αντίστοιχες καλύψεις σε ποσοστό % των αρχικών 7,56-0,20-9,47-1,71-26,85-39,85.

Στις περιπτώσεις 9,10 οι εκτάσεις έχουν καεί 3 φορές με αριθμούς φυτών ανά στρέμμα 1 και 32 και αντίστοιχες καλύψεις 0,01 και 12,45 % των αρχικών καλύψεων.

Τέλος, στις περιπτώσεις 11,12 οι εκτάσεις έχουν καεί 4 φορές. Οι αριθμοί φυτών είναι 1,3 και 2 αντίστοιχα, ενώ οι καλύψεις ανέρχονται σε 0,02 και 3,17 % των αρχικών καλύψεων.

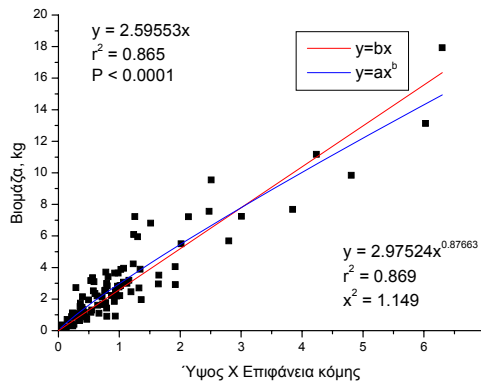
Πίνακας 1: Σενάρια πυρκαγιών και φυσική αναγέννηση χαλεπίου πεύκης
 Table 1: Fire's scenario and *Pinus halepensis* Mill natural regeneration

A/A	ΑΡΙΘ. ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ	ΜΕΣΗ ΚΑΛΥΨΗ ΧΑΛΕΠΙΟΥ ΠΡΙΝ ΤΙΣ ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ (1973 ή 1988) %	ΕΤΗ ΠΥΡΚΑΓΙΩΝ	ΜΕΣΟΛΙΑΣΤΗΜΑΤΑ ΠΥΡΚΑΓΙΩΝ	ΗΛΙΚΙΑ ΦΑ (ΜΕΤΡΗΣΗ 1-1-2008)	ΜΕΣΗ ΚΑΛΥΨΗ ΦΑ %	ΜΕΣΗ ΚΑΛΥΨΗ ΦΑ / ΜΕΣΗ ΑΡΧΙΚΗ ΚΑΛΥΨΗ	ΑΡΙΘ. ΦΥΤΩΝ ΦΑ /ΣΤΡ.	ΜΕΣΟ ΥΨΟΣ ΦΑ (m)	ΜΕΣΗ ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΦΑ (cm)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1.	69	66	1995	0	12	38,40	58,18	350	1,83	4,61
2.	11	88	1998	0	9	27,00	30,68	270	1,66	4,47
3.	81	67	1995 1998	3	12	5,07	7,56	34	1,69	5,45
4.	3	75	1995 2005	10	3	0,15	0,20	26	0,30	0,47
5.	26	53	1982 1995	13	12	5,02	9,47	73	1,33	4,65
6.	15	85	1982 1998	16	9	1,45	1,71	27	0,97	3,35
7.	16	65	1978 1995	17	12	17,45	26,85	160	1,48	4,13
8.	5	20	<1973 1995	>22	12	7,97	39,85	58	1,80	5,56
9.	2	75	1995 1998 2005	3- 7	3	0,01	0,01	1	0,23	0,40
10.	2	35	1978 1995 1998	17-3	X*	4,36	12,45	32	1,79	4,83
11.	9	82	1978 1995 1998 2005	17-3-7	X*	0,02	0,02	1,3	0,54	1,41
12.	22	6	<1973 1982 1995 1998	>9-13- 3	X*	0,19	3,17	2	1,01	2,20

* Η ηλικία της αναγέννησης δεν μπορεί να προσδιορισθεί με ακρίβεια

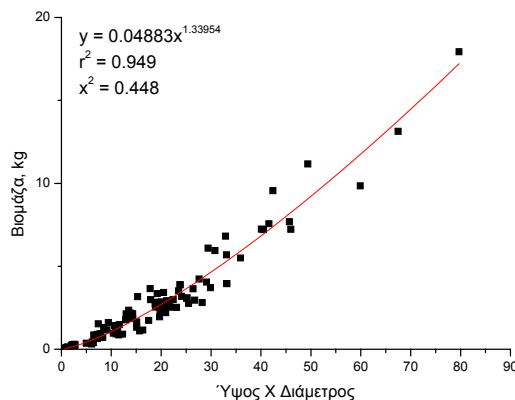
β. Αλλομετρικές εξισώσεις για την εκτίμηση της βιομάζας φυσικής αναγέννησης χαλεπίου πεύκης.

Για τα 100 δένδρα που ελήφθησαν υπολογίστηκε η καθαρή βιομάζα. Από την υπολογισθείσα, βιομάζα (εξαρτημένη μεταβλητή) και το ύψος, βασική διάμετρο και προβολή κόμης (ανεξάρτητες μεταβλητές), με στατιστική παλινδρόμηση, προέκυψαν τα ακόλουθα διαγράμματα με τις αντίστοιχες αλλομετρικές εξισώσεις:



Σχήμα 1: Εκτίμηση βιομάζας φυσικής αναγέννησης χαλεπίου πεύκης από το ύψος και την προβολή της κόμης

Figure 1: *Pinus halepensis* Mill natural regeneration biomass estimation from height and canopy cover



Σχήμα 2: Εκτίμηση βιομάζας φυσικής αναγέννησης χαλεπίου πεύκης από το

Ύψος και τη βασική διάμετρο

Figure 2: : *Pinus halepensis* Mill natural regeneration biomass estimation from height and basal diameter

Στη πρώτη περίπτωση η εξηρητημένη μεταβλητή είναι η βιομάζα και η ανεξάρτητη το γινόμενο του ύψους επί την προβολή της κόμης. Βρέθηκαν δύο καμπύλες που προσαρμόζονται στα δεδομένα: Η μία, γραμμική, του τύπου $y=bx$ με $r^2=0,865$ και η δεύτερη η power του τύπου $y=ax^b$ με $r^2=0,869$. Οι δύο αλλομετρικές εξισώσεις που προτείνονται μπορεί να αποτελέσουν ισχυρό εργαλείο εκτίμησης της βιομάζας, καθόσον ο παράγοντας προβολή της κόμης (κάλυψη) μπορεί να προκύψει από την ταξινόμηση της δορυφορικής εικόνας υψηλής διακριτικής ικανότητας QUICKBIRD. Στη δεύτερη περίπτωση η ανεξάρτητη μεταβλητή είναι το γινόμενο του ύψους επί την διάμετρο. Η καμπύλη που προσαρμόζεται καλύτερα στα δεδομένα είναι η power με υψηλό $r^2=0,949$, αλλά στην περίπτωση αυτή απαιτούνται οπωσδήποτε μετρήσεις 2 παραμέτρων της βλάστησης (ύψος και βασική διάμετρος). Σε επόμενο στάδιο θα διερευνηθεί η δυνατότητα εκτίμησης της βιομάζας με τη χρήση αυξητικών στοιχείων και δεικτών τηλεπισκοπικής ανάλυσης σε δορυφορικές εικόνες QUICKBIRD.

γ. Παράγοντες που επηρεάζουν τη φυσική αναγέννηση-Ανάλυση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών

Η έρευνα θα ολοκληρωθεί με την ανάλυση των παραγόντων που επηρεάζουν τη φυσική αναγέννηση της χαλεπίου πεύκης με τη χρήση ΓΣΠ.

Συζήτηση-Συμπεράσματα

Η φυσική αναγέννηση της χαλεπίου πεύκης μετά από μία πυρκαγιά, σε χρόνο 12 και 9 ετών από την τελευταία πυρκαγιά, η οποία έλαβε χώρα σε ώριμο δάσος, ήταν καλή (350-270 φυτά/στρέμμα αντίστοιχα). Βέβαια στη βιβλιογραφία αναφέρονται και πολύ μεγαλύτεροι αριθμοί φυτών ανά στρέμμα σε διαστήματα 5-12 ετών μετά τη πυρκαγιά (Trabaud et al 1985, Tsitsoni et Zagas 1995, Tsitsoni 1997, Zagas et al 2004). Η κάλυψη της φυσικής αναγέννησης μετά την πυρκαγιά του 1995 ανέρχεται στο 60 % περίπου της αρχικής κάλυψης του ώριμου δάσους. Η αντίστοιχη κάλυψη για την πυρκαγιά του 1998 αποτελεί το 30 % της αρχικής κάλυψης. Βέβαια η ηλικία της αναγέννησης του 1998 είναι μικρότερη από την αντίστοιχη του 1995 κατά 3 έτη. Και ο αριθμός, όμως, των φυτών/στρέμμα της αναγέννησης του 1998 (270) υστερεί αυτού του 1995 (350). Με την τελική αξιολόγηση της αναγέννησης που θα γίνει στα πλαίσια αυτής της έρευνας, λαμβανομένων υπόψη πολλών παραγόντων που επηρεάζουν τη αναγέννηση, θα καταβληθεί προσπάθεια ερμηνείας της παρατηρούμενης διαφοράς. Βέβαια οι επικρατούσες καιρικές συνθήκες μετά τις δύο πυρκαγιές, πρέπει να έπαιξαν καθοριστικό ρόλο στην εγκατάσταση της φυσικής αναγέννησης, κάτι που είναι δύσκολο να διερευνηθεί στη παρούσα φάση 10-12 χρόνια μετά τις πυρκαγιές.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η περίπτωση 3 του πίνακα 1. Η φυσική αναγέννηση που παρατηρείται (34 φυτά/ στρέμμα), δεν προέκυψε από τη νεαρή αναγέννηση που είχε αναπτυχθεί μετά το 1995, καθόσον τα φυτάρια ηλικίας 2,5 ετών περίπου, δεν είχαν αναπτύξει κώνους για να επακολουθήσει φυσική σπορά. Από επιτόπια έρευνα (μέτρηση ηλικίας) διαπιστώθηκε ότι, η παρατηρηθείσα φυσική αναγέννηση, ήταν αναγέννηση που αναπτύχθηκε μετά τη πυρκαγιά του 1995, αλλά δεν

κάηκε από την πυρκαγιά του 1998. Η αναπτυχθείσα δασική βιομάζα μετά τη πυρκαγιά του 1995 ήταν πολύ μικρή, και η επακολογήσασα πυρκαγιά σε διάστημα 3 ετών ήταν πυρκαγιά χαμηλής έντασης. Λόγω της χαμηλής έντασης πέρασε ανάμεσα από τα φυτάρια, ή έκαψε πολλές επιφάνειες με τη μορφή «γλωσσών». Η ίδια ερμηνεία θα μπορούσε να γίνει και στην περίπτωση 10, όπου μετά από 3 πυρκαγιές με μεσοδιαστήματα 17 και 3 έτη, παρατηρείται μια φυσική αναγέννηση 32 φυτών/στρέμμα. Το γεγονός αυτό θα μπορούσε να θεωρηθεί μια επί πλέον στρατηγική διατήρησης της χαλεπίου πεύκης στα μεσογειακά δασικά οικοσυστήματα.

Ιδιαίτερη εντύπωση προκαλεί, επίσης στη περίπτωση 3, το γεγονός ότι, το μέσο ύψος της αναγέννησης (1,69 m), υπολείπεται του αντίστοιχου της αναγέννησης που αναπτύχθηκε μετά την πρώτη πυρκαγιά του 1995 και δεν κήκε (1,83 m), ενώ η μέση διάμετρος είναι μεγαλύτερη (5,45 cm έναντι 4,61 cm). Αυτό μπορεί να αποδοθεί στο σοκ που υπέστησαν τα φυτά από το πέρασμα της φωτιάς, αλλά περαιτέρω έρευνα απαιτείται για την εξήγηση αυξητικής διαφοράς που παρατηρήθηκε.

Στις λοιπές περιπτώσεις 4-8 του πίνακα, έχουμε τις περιπτώσεις επαναλαμβανόμενων πυρκαγιών με μεσοδιαστήματα μεγαλύτερα των 10 ετών. Οι πυρκαγιές αυτές, ήταν πυρκαγιές μεγάλης έντασης και η παρατηρηθείσα φυσική αναγέννηση, ήταν αναγέννηση που προέκυψε από τις νεαρές συστάδες που αναπτύχθηκαν μετά τη πρώτη πυρκαγιά. Είναι βέβαια γεγονός ότι η ένταση της πυρκαγιάς δεν εξαρτάται μόνο από την ηλικία της νεαρής συστάδας, αλλά και από το ποσοστό κάλυψης και την κατανομή των φυτών, καθώς επίσης και από την πυκνότητα της υπάρχουσας υποβλάστησης. Η περίπτωση της ύπαρξης φυσικής αναγέννησης, στις περιπτώσεις αυτές, λόγω πλαγιοσπορών, δεν αποκλείεται αλλά είναι εντελώς σπάνια περίπτωση. Σε έρευνες που έχουν γίνει στο παρελθόν δεν αναφέρεται καθόλου φυσική αναγέννηση για μεσοδιαστήματα 4 και 15 ετών (Tsitsoni 1991, Kazanis and Arianoutsou 2004, Χριστακόπουλος 2005). Η ύπαρξη της φυσικής αναγέννησης εξαρτάται από μεγάλο αριθμό παραγόντων, όπως η ηλικία και κάλυψη της αρχικής συστάδας, οι επικρατούσες εδαφικές συνθήκες, οι καιρικές συνθήκες μετά τη πυρκαγιά, τυχόν άκαυτα δένδρα ή ομάδες άκαυτων δένδρων που παραμένουν μετά τη πυρκαγιά κ.α. Εν τέλει θα μπορούσε να λεχθεί, ότι σε μεσοδιαστήματα πυρκαγιών μεγαλύτερα των 10 ετών, λειτούργησε ο μηχανισμός της εκ νέου φυσικής αναγέννησης. Η διαπίστωση αυτή θα μπορούσε να αποτελέσει σημαντική πληροφόρηση για τους διαχειριστές της αποκατάστασης των καμένων εκτάσεων.

Η επανάληψη των πυρκαγιών για 3 ή περισσότερες φορές, οδήγησε στην δραματική μείωση της χαλεπίου πεύκης. Και στις περιπτώσεις, όμως, αυτές η χαλέπιος πεύκη, έστω και σε πολύ μικρά ποσοστά είναι παρούσα, κάτι που αποδεικνύει ότι οι μηχανισμοί διατήρησης του πυρόφιλου αυτού είδους είναι πολλοί (μη καύση φυτών λόγω πυρκαγιών μικρής έντασης, παραμονή άκαυτων δένδρων ή ομάδων δένδρων, πλαγιοσπορές κλπ).

Η εκτίμηση της εξέλιξης της φυσικής αναγέννησης σε επίπεδο βιομάζας, κρίνεται σημαντική για την εκτίμηση του κινδύνου πυρκαγιών αλλά και για τους διαχειριστές της αποκατάστασης των καμένων εκτάσεων. Στα πλαίσια της παρούσας έρευνας καταβάλλεται προσπάθεια για την πρόταση μιας μεθοδολογίας εκτίμησης της βιομάζας με τη χρήση αλλομετρικών εξισώσεων σε συνδυασμό με τη χρήση τηλεπισκοπικών δεικτών από ανάλυση δορυφορικών εικόνων υψηλής διακριτικής ικανότητας.

Η διερεύνηση, τέλος, μεγάλου αριθμού παραγόντων που επηρεάζουν τη φυσική αναγέννηση, πιθανόν να οδηγήσει σε συμπεράσματα, χρήσιμα για τους διαχειριστές της αποκατάστασης των καμένων εκτάσεων και τη λήψη σχετικών αποφάσεων.

Wildfire interval and intensity effects to *Pinus halepensis* Mill natural regeneration (Preliminary results)

Paul Christakopoulos¹, Mihalis Skarvelis², Gavriil Xanthopoulos², Dimitrios Paronis², Kalabokides Kostas⁴, Ioannis Xatzopoulos¹

¹ Faculty of Environmental Studies, Aegean University, Lofos Panepistimiou, 81100 Mytilene, e-mail: phrista@env.aegean.gr

² Institute of Mediterranean Forest Ecosystems and Technology of Forest Products, Terma Alkmanos, 11528 Ilissia Athens, e-mail: skmi@fria.gr, gxnr@fria.gr

³ National Observatory of Athens, Institute for Space Applications & Remote Sensing, Vas. Pavlou & Metaxa, 15236 Palea Pendeli e-mail: paronis@space.noa.gr

⁴ Faculty of Geography, Aegean University, Lofos Panepistimiou, 81100 Mytilene, e-mail: kalabokides@aegean.gr

abstract

The present work examined the effects of wildfire scenario (interval and intensity) to *Pinus halepensis* Mill natural regeneration in Pendelikon Mountain. For the propose of the research a detailed amount of field work took place for the growth of *Pinus halepensis* Mill natural regeneration as well as the determined factors. Parameters of the natural regeneration that were measured were: number of saplings, cover, basal diameter and biomass. For biomass specifically, a method for its estimation using allometric equations is proposed. In the progress of the research the possibility of biomass estimation using satellite images QUICKBIRD will be examined. Wildfires scenario was determined by visiting the research area as well as with interpretation of a series of aerial photos for the years of fires.

According to the preliminary results, the conclusion was that once-burn wildfires had a big intensity resulting to a satisfactory natural regeneration. In the case of wildfire recurrence in an interval of 3-years, the second fire was of low intensity and didn't burn the whole natural regeneration developed after the first fire. But in the cases of bigger intervals, the intensity of the second fire was progressively bigger and after 10 years a natural regeneration developed from the burned young stand was observed. Finally, in the case of an interval of 17 years, the natural regeneration after the second fire had a density of 160 plants per stremma.

Key words: *Pinus halepensis* Mill, regeneration, wildfire interval, wildfire intensity, allometric equations, QUICKBIRD satellite images.

Βιβλιογραφία

Chuvieco, E., 1999. Measuring change in landscape pattern from satellite images:

- short-terms effects of fire on spatial diversity, international Journal of Remote Sensing 20: 2331-2346.
- Δασκαλάκου, Ε., 1996. Οικοφυσιολογία της μεταπυρικής αναγέννησης της χαλεπίου πεύκης, Διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Βιολογίας, Τομέας Βοτανικής. Σελ. 45-159.
- Daskalaku, E., Thanos, C., 2004. Postfire regeneration of Aleppo pine-the temporal pattern of seedling recruitment, Plant Ecology 171: 81-89.
- Ganatsas, P., Zagaz, T., Tsakalimi, M., Tsitsoni, T., 2004. Postfire regeneration dynamics in a Mediterranean type ecosystem in Sithonia, northern Greece: ten years after the fire, proceedings 10th MEDECOS International Conference on Mediterranean Climate Ecosystems, April 25-May 1, 2004, Rhodes, Greece. pp. 1-9.
- Goudelis, G., Ganatsas, P., Tsitsoni, T., Spanos, Y., Daskalaku, E., 2008. Effects of two successive wildfires in *Pinus halepensis* Mill. stands in Central Greece. Web Ecology 8: 30-34.
- Harrell, A., Kasischke, S., Bourgeau-Chavez, L., Haney, M., Christensen, L., 1997. Evaluation of approaches to estimating above ground biomass in southern pine forests using SIR-C data. Remote sensing of Environment 59: 223-233.
- Kazanis, D., Arianoutsou, M., 2004. Factors determining low Mediterranean ecosystems resilience to fire: the case of *Pinus halepensis* forests, proceedings 10th MEDECOS International Conference on Mediterranean Climate Ecosystems, April 25-May 1, 2004, Rhodes, Greece.
- Mouillot, F., Rtte, J., Joffre, R., Moreno, J., Rambal, S., 2003. Some determinants of the spatio-temporal fire cycle in a Mediterranean landscape (Corsica France), Landscape Ecology 18 : 665-674.
- Saglam, B., Kucuk, O., Bilgili, E., Dinc Durmaz, B., Baysal, I., 2008. Estimating Fuel Biomass of Some Shrub Species (Maquis) in Turkey, Turk J Agric. For. 32 (2008):349-356.
- Skole, D., Qi, J., 1999. Optical remote Sensing Monitoring Forest and Biomass change in the context of the Kyoto Protocol, Remote sensing and the Kyoto Protocol: A Review of Available and Future Technology for Monitoring Treaty Compliance. Ann Arbor, Michigan, USA, October 20-22, 1999: 63-82.
- .Thanos, C., Daskalaku, E., Nikolaidou, S., 1996. Early post-fire regeneration of a *Pinus halepensis* forest on Mount Parnis, Greece, Vegetation science 7: 273-280.
- 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.
- 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., Zagaz, 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.

- Viedma, O., Meliá, J., Segarra, D., Garcia-Haro, J., 1997. Modelling Rates of Ecosystem Recovery after Fires using Landsat TM Data. *Remote Sensing of Environment. An interdisciplinary Journal*. vol.61 (3):383-398.
- Xanthopoulos, G., Manasi, M., 2002. A practical methodology for the development of shrub fuel models for fire behavior prediction, *Forest Fire Research & Wildland Fire Safety*, Viegas (ed), 2002 Millpress.pp. 124.
- Χατζόπουλος, Ι. (1998), Φωτογραμμερία και Τηλεπισκόπηση στο περιβάλλον, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Μυτιλήνη. Σελ. 1-145.
- Χριστακόπουλος, Π. (2005), Η μεταπυρική 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. 119-120.
- Zagas, T., Ganatsas, P., Tsitoni, T., Tsakalidimi, M., 2004. Post fire regeneration of *Pinus halepensis* Mill stands in the Sithonia peninsula, northern Greece, *Plant Ecology*, 171. pp 91-99.