



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



Νοέμβριος 2010

« Το Μέλλον των Δασών »



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

Νοέμβριος 2010

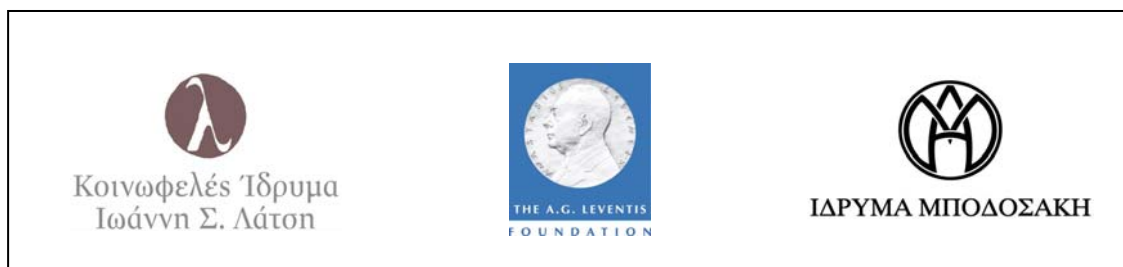
«Το Μέλλον των Δασών»

Βιβλιογραφική αναφορά: Ποϊραζίδης, Κ., Ζωγράφου, Κ., Κορδοπάτης, Π., Καλύβας, Δ., Αριανούτσου, Μ., Καζάνης, Δ., Κορακάκη, Ε., 2010. Πρόβλεψη εγκατάστασης φυσικής αναγέννησης στα καμένα δάση χαλεπίου πεύκης (*Pinus halepensis*) στο νομό Ηλείας. Επιστημονική αναφορά, WWF Ελλάς, Αθήνα, σελ. 74.

Ευχαριστίες: Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τις Ταραμπιέ Κωνσταντίνα και Χριστοπούλου Γεωργία για τη συνεισφορά τους στις εργασίες πεδίου.

Φωτογραφίες εξωφύλλου: Ο νομός Ηλείας στις φωτιές (Φώτο Τσανέτος Κώστας), οι υπόλοιπες (Φώτο Ποϊραζίδης Κώστας).

Η παρούσα αναφορά ετοιμάστηκε στο πλαίσιο του προγράμματος «Το Μέλλον των Δασών», το οποίο εκπονείται από το WWF Ελλάς. Το πρόγραμμα συγχρηματοδοτείται από τα Κοινωνικά Ιδρύματα Ι.Σ. Λάτση, Α.Γ. Λεβέντη και Μποδοσάκη, καθώς και με την υποστήριξη ιδιωτών.



Πρόλογος

Οι δασικές πυρκαγιές αποτελούν ένα φυσικό φαινόμενο με σημαντικό ρόλο για την ισορροπία και την αναγέννηση των Μεσογειακών οικοσυστημάτων. Τα οικοσυστήματα αυτά είναι σε μεγάλο βαθμό προσαρμοσμένα στη φωτιά, με αποτέλεσμα να έχουν συνήθως τη δυνατότητα να αναγεννηθούν άμεσα και αποτελεσματικά μετά από αυτή. Κατά μέσο όρο σε ένα Μεσογειακού τύπου δάσος εμφανίζεται μία πυρκαγιά από φυσικά αίτια κάθε 100-150 χρόνια. Όμως τα φυσικά αίτια ευθύνονται μόνο για το 5% των πυρκαγιών που ξεσπούν στην Ελλάδα. Το υπόλοιπο 95% οφείλεται στην ανθρώπινη δραστηριότητα και έχει σαν συνέπεια τη διατάραξη του φυσικού ρόλου των πυρκαγιών ή την εξάντληση της φυσικής ικανότητας των οικοσυστημάτων να ανταποκρίνονται στις προκλήσεις της μεταπυρικής αναγέννησης. Το αποτέλεσμα είναι πως οι πυρκαγιές αποτελούν πλέον την πιο σοβαρή απειλή των Ελληνικών Μεσογειακών δασών.

Το WWF Ελλάς, από το 1990 οπότε και η οργάνωση εγκαταστάθηκε μόνιμα στην Ελλάδα, ασχολείται εντατικά με θέματα που αφορούν στην προστασία των δασικών οικοσυστημάτων, τόσο μέσα από προγράμματα ευαισθητοποίησης, ενημέρωσης και δασικής πολιτικής, όσο και μέσα από προγράμματα πεδίου (Δάσος Δαδιάς, Ροδόπη, Εθνικό Πάρκο Βόρειας Πίνδου, Πάρνηθα, κοκ).

Μετά τις καταστροφικές πυρκαγιές του 2007, το WWF Ελλάς ξεκίνησε το πρόγραμμα «**Το Μέλλον των Δασών**», με σκοπό την καταπολέμηση των βασικών αιτιών υποβάθμισης των ελληνικών δασών, τη συνεισφορά στην αποτελεσματικότερη καταπολέμηση των δασικών πυρκαγιών και τη συνεχή παρουσία στις πυρόπληκτες περιοχές της Πελοποννήσου. Οι δραστηριότητες του προγράμματος περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων πολιτική διαβούλευση, παρακολούθηση των καμένων περιοχών, επιστημονική έρευνα, ευαισθητοποίηση και εκπαίδευση, καθώς και ενδυνάμωση της δράσης των πολιτών μέσα από την προώθηση του εθελοντισμού και τη δημιουργία εργαλείων πρόσβασης στην περιβαλλοντική πληροφορία (για την περιγραφή του προγράμματος «Το Μέλλον των Δασών» βλ. την ιστοσελίδα της οργάνωσης www.wwf.gr)

Μέσα στο πλαίσιο του παραπάνω προγράμματος και μετά από την εμπειρία και τη γνώση που αποκομίστηκε από σχετικές δράσεις στην ευρύτερη περιοχή της Πελοποννήσου, κρίθηκε αναγκαία η δημιουργία ενός μοντέλου πρόβλεψης της πορείας της φυσικής αναγέννησης στα καμένα δάση χαλεπίου πεύκης στο νομό Ηλείας, το οποίο θα προσφέρει μία μακροσκοπική απεικόνιση των περιοχών που αντιμετωπίζουν –ή θα αντιμετωπίσουν– προβλήματα αναγέννησης και στις οποίες θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη διαχειριστική προτεραιότητα. Η προσέγγιση αυτή είναι εξαιρετικά σημαντική, καθώς θα αποτελέσει σημαντικό εργαλείο για την λήψη έγκαιρων αποφάσεων από τους σχετικούς φορείς, με σκοπό πάντα την ταχεία αποκατάσταση των πληγέντων οικοσυστημάτων αλλά και ευρύτερα τη διαφύλαξη του δασικού μας πλούτου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. Εισαγωγή.....	8
2. Σκοπός της δράσης.....	13
3. Περιοχή Μελέτης.....	13
4. Μεθοδολογία.....	15
4.1. Έρευνα Πεδίου.....	15
4.1.1. Χωρική οργάνωση εκτός πεδίου(<i>ex situ</i>)	15
4.1.2. Χωρική οργάνωση εντός πεδίου (<i>in situ</i>)	17
4.1.3. Χρονική Οργάνωση	18
4.1.4. Πρωτόκολλα δειγματοληψίας.....	18
4.1.5. Στατιστική Ανάλυση.....	18
4.2. Ανάπτυξη Γεωστατιστικού μοντέλου.....	19
4.3. Ανάπτυξη Πολυκριτηριακής Ανάλυσης και χρήση GIS	21
4.3.1. Δημιουργία των κριτηρίων.....	21
4.3.2. Παράγοντες ανάλυσης.....	22
4.3.3. Διαμόρφωση του πολυκριτηριακού μοντέλου.....	39
5. Αποτελέσματα.....	41
5.1. Αποτελέσματα Έρευνας πεδίου.....	41
5.1.2 Κατάταξη των περιβαλλοντικών παραμέτρων.....	41
5.1.3 Ερμηνεία των αξόνων	42
5.1.4 Διάγραμμα ειδών και στατιστικά σημαντικών περιβαλλοντικών παραμέτρων	43
5.2. Ανάλυση γεωστατιστικού μοντέλου.....	44
5.3. Αποτελέσματα Πολυκριτηριακής Μοντελοποίησης.....	47
5.3.1. Διακριτά πολυκριτηριακά μοντέλα A και B.....	48
5.3.2. Συνδυαστικό πολυκριτηριακά μοντέλα A και B	50
5.3.3. Τελικό Bayes μοντέλο	51
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ.....	54
Παράρτημα 1. Χάρτες καταλληλότητας (πρόβλεψης του βαθμού αναγέννησης) ανά Δήμο	61
Παράρτημα 2. Πρωτόκολλο δειγματοληψίας της αναγέννησης.....	66
Παράρτημα 3. Περιβαλλοντικές παράμετροι που λήφθηκαν στο πεδίο για τα 84 δειγματοληπτικά σημεία.....	67

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ - ΧΑΡΤΩΝ – ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

ΠΙΝΑΚΕΣ

Πίνακας 1. Κατηγορίες οικοπεριφερειών με βάση 3 κριτήρια (συγκόμωση, κλίση και υπόστρωμα).....	16
Πίνακας 2. Κατηγοριοποίηση της δομής του δάσους σε σχέση με την ικανότητα τους για φυσική αναγέννηση της πεύκης.....	25
Πίνακας 3. Κατάταξη περιβαλλοντικών μεταβλητών με βάση τους δείκτες Lambda1 και P.....	42
Πίνακας 4. Ερμηνεία των αξόνων 1 και 2 που χρησιμοποιούνται στο Σχήμα 2.	42
Πίνακας 5. Χαρακτηριστικά ημιβαριογραμμάτων.	44
Πίνακας 6. Τιμές σφάλματος πρόβλεψης των μοντέλων αναγέννησης	44
Πίνακας 7. Ταξινόμηση του αριθμού των αρτιβλάστων της χαλεπίου πεύκης σε 10 κατηγορίες πυκνότητας.....	46

ΧΑΡΤΕΣ

Χάρτης 1. Περιοχή μελέτης και σημεία δειγματοληψίας.....	14
Χάρτης 2. Απεικόνιση των 23 κατηγοριών δομής της βλάστησης των καμένων πευκοδασών της Ηλείας το 2007.....	26
Χάρτης 3. Απεικόνιση των κατηγοριών δομής της βλάστησης των καμένων πευκοδασών της Ηλείας το 2007, μετά το μετασχηματισμό σε κλίμακα 0-255.	27
Χάρτης 4. Απεικόνιση των κυριότερων εδαφών και της κατηγοριοποίησης τους από το πιο γόνιμο (1) στο λιγότερο γόνιμο (5), σε μια ευρύτερη περιοχή των καμένων εκτάσεων.....	30
Χάρτης 5. Γεωστατιστικό μοντέλο πρόβλεψης της αναγέννησης με βάση τη μέση τιμή των πεύκων στις 84 επιφάνειες	45
Χάρτης 6. Κατανομή του μέσου σφάλματος πρόβλεψης του μέσου αριθμού των πεύκων / m ² από τη χωρική παρεμβολή των 84 σημείων δειγματοληψίας.....	45
Χάρτης 7. Απεικόνιση 10 κατηγοριών πρόβλεψης της αναγέννησης χαλεπίου πεύκης με βάση το γεωστατιστικό μοντέλο.....	47
Χάρτης 8. Πολυκριτηριακό μοντέλο καταλληλότητας για φυσική αναγέννησης χαλεπίου πεύκης με βάση τους παραγόντες της ομάδας Α.....	48
Χάρτης 9. Πολυκριτηριακό μοντέλο καταλληλότητας για φυσική αναγέννησης χαλεπίου πεύκης με βάση τους παραγόντες της ομάδας Β.....	49
Χάρτης 10. Συνδυαστικό πολυκριτηριακό μοντέλο καταλληλότητας για φυσική αναγέννησης χαλεπίου πεύκης με βάση τους παραγόντες της ομάδας Α και Β.....	50
Χάρτης 11. Τελικό μοντέλο καταλληλότητας για φυσική αναγέννησης χαλεπίου πεύκης με συνδυασμό του πολυκριτηριακού και γεωστατιστικού μοντέλου μέσα από Bayes στατιστική.	51
Χάρτης 12. Απεικόνιση 10 κατηγοριών πρόβλεψης της αναγέννησης χαλεπίου πεύκης με βάση το τελικό μοντέλο.	53

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

- Διάγραμμα 1.** Αύξηση του αριθμού των πυρκαγιών (σε λογαριθμοποιημένη κλίμακα) κατά τη διάρκεια των τελευταίων 10ετιών σε διαφορετικές περιοχές της Μεσογείου (Ισπανία, Μορόκο, Ελλάδα) και της Ευρώπης. *Τροποποιημένο από Pausas et al. (2004).* 10
- Διάγραμμα 2.** Κατανομή τιμών μέσης τιμής πεύκων / m² σε σχέση με τις κατηγορίες της βλάστησης. 26
- Διάγραμμα 3.** Συσχέτιση κλίσης και αριθμού αρτιβλάστων πεύκης / m² (Για καλύτερη επισκόπηση έχουν αφαιρεθεί 5 δείγματα με ακραίες τιμές πεύκων > από 10 πεύκα/m²). ... 28
- Διάγραμμα 4.** Συσχέτιση κατηγοριών κλίσης και αριθμού αρτιβλάστων πεύκης / m² με βάση το γεωστατιστικό μοντέλο. 29
- Διάγραμμα 5.** Συσχέτιση των μετασχηματισμένων κατηγοριών μητρικού πετρώματος και αριθμού αρτιβλάστων πεύκης / m² με βάση (α) τα 84 σημεία (αριστερά) και (β) το γεωστατιστικό μοντέλο (δεξιά). 31
- Διάγραμμα 6.** Συσχέτιση υψομέτρου και μετρημένης αναγέννησης 32
- Διάγραμμα 7.** Συσχέτιση του αριθμού των αρτιβλάστων στα 84 σημεία σε σχέση με την εδαφοκάλυψη από Πουρνάρι (*Q. coccifera*) και Κουμαριά (*A. unedo*) (έχουν αφαιρεθεί πέντε δείγματα με ακραίες τιμές πεύκων). 34
- Διάγραμμα 8.** Συσχέτιση του αριθμού των αρτιβλάστων στα 84 σημεία σε σχέση με την εδαφοκάλυψη από αγροστώδη (έχουν αφαιρεθεί πέντε δείγματα με ακραίες τιμές πεύκων). 35
- Διάγραμμα 9.** Συσχέτιση του αριθμού των αρτιβλάστων στα 84 σημεία σε σχέση με την εδαφοκάλυψη από πέτρες (έχουν αφαιρεθεί πέντε δείγματα με ακραίες τιμές πεύκων). ... 36
- Διάγραμμα 10.** Συσχέτιση του αριθμού των αρτιβλάστων στα 84 σημεία σε σχέση με την εδαφοκάλυψη από κλαριά (έχουν αφαιρεθεί πέντε δείγματα με ακραίες τιμές πεύκων). ... 38
- Διάγραμμα 11.** Βαθμός συσχέτισης ανάμεσα σε διαφορετικά συνδυαστικά μοντέλα με διαφορετική αναλογία σχετικής βαρύτητας ανάμεσα στην ομάδα Α και στην ομάδα Β και στην καταγραφείσα αναγέννηση στα 84 σημεία. 40
- Διάγραμμα 12.** Κατανομή της *Pinus halepensis* στο χώρο με βάση την εξάρτησή της από τις οχτώ στατιστικά σημαντικές περιβαλλοντικές παραμέτρους ($\alpha < 0,05$). 43
- Διάγραμμα 13.** Κατανομή της έκτασης (σε ha) των 10 κατηγοριών ταξινόμησης της πρόβλεψης από το γεωστατιστικό μοντέλο. 46
- Διάγραμμα 14.** Κατανομή των εκτάσεων των καμένων δασών χαλεπίου πεύκης στην Ηλεία σε κατηγορίες καταλληλότητας για φυσική αναγέννηση. 53

1. Εισαγωγή

Η Μεσογειακή λεκάνη κατοικήθηκε πολύ νωρίς από τους ανθρώπους. Κατά συνέπεια, τα μεσογειακά τοπία έχουν υποστεί την επίδραση του ανθρώπου –σε μικρό ή μεγάλο βαθμό– από την έναρξη της ιστορίας τους. Η γεωργία και η κτηνοτροφία ήταν κοινές δραστηριότητες στην περιοχή για περισσότερα από 10.000 χρόνια (Naveh & Dan 1973; Le Houerou 1981; Naveh 1998), δημιουργώντας τοπία μεγάλης ετερογένειας και σημαντικά κέντρα βιοποικιλότητας (Lloret *et al.* 2002). Τα πρότυπα της βιοποικιλότητας που αναπτύχθηκαν και εξελίχθηκαν στη Μεσόγειο παρέμειναν σε σχετική ισορροπία με τη δραστηριότητα αυτή, τουλάχιστον μέχρι τον Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο (Caravello & Giacomini 1993; Arianoutsou 2001).

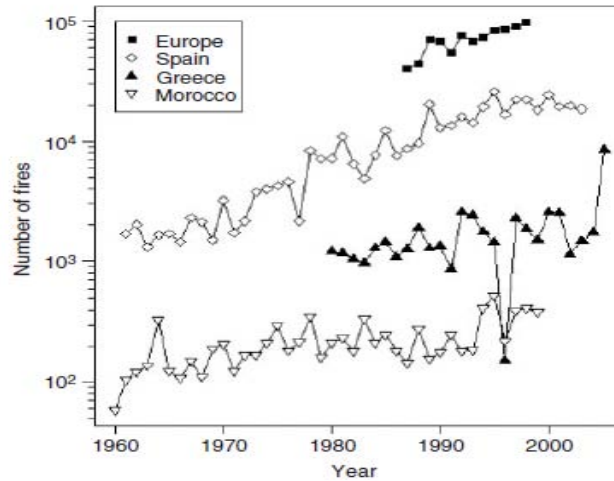
Τα Μεσογειακά οικοσυστήματα (ΜΟ) απαντώνται σε περιβάλλοντα που χαρακτηρίζονται από έντονη διακύμανση των μετεωρολογικών συνθηκών, μεταβαίνοντας από θερμά και ξηρά καλοκαίρια σε θερμοκρασιακά ήπιους και βροχερούς χειμώνες. Είναι ευρέως αποδεκτό, πως τα οικοσυστήματα των περιοχών με Μεσογειακό κλίμα έχουν εξελιχθεί υπό την επίδραση περιβαλλοντικών καταπονήσεων, με κυρίαρχες τη θερινή ξηρασία και την περιορισμένη διαθεσιμότητα θρεπτικών στοιχείων στο έδαφος. Εκτός αυτών, τα ΜΟ δέχονταν την περιοδική επίδραση της φωτιάς από την αρχή της εγκατάστασής τους στη Γη. Οι επιστημονικές αποδείξεις της σχέσης της φωτιάς με τη διαμόρφωση της ποικιλότητας (Cowling *et al.* 1996) αλλά και με τη λειτουργία και εξέλιξη των μεσογειακών περιοχών του κόσμου (Rundel 1981) είναι πλέον πολύ ισχυρές.

Η σχέση μεταξύ της φωτιάς και των φυτικών ειδών μιας περιοχής, 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 *et al.* 2004; Pausas 1999; Pausas et Verdú 2005). 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*). Τα περισσότερα είδη που συστήνουν τις φρυγανικές κοινότητες καθώς επίσης και τις φυτοκοινότητες των αειφύλλων πλατυφύλλων μακί, αναβλαστάνουν αμέσως μετά το ξέσπασμα της πυρκαγιάς ή μετά τις πρώτες βροχές. 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 (Ministry of Agriculture 1992). Πλήθος μελετών έχει ασχοληθεί με την μεταπυρική αναγέννηση της Χαλεπίου (Thanos *et al.* 1996; Tsitsoni 1997; Pausas *et al.* 1999; Néeman 1997; Brocano *et al.* 2005).

Ωστόσο, το καθεστώς της φωτιάς (συχνότητα, ένταση, μεσοδιάστημα) είναι η κρισιμότερη παράμετρος που καθορίζει την απόκριση των ειδών στη δράση της. Για παράδειγμα, μεγάλης συχνότητας φωτιές μπορεί να εμποδίζουν τα σπερμοαναγεννώμενα είδη να αναπληρώσουν τα αποθέματα στις τράπεζες σπερμάτων (Arianoutsou *et al.* 2002), να εξαντλήσουν τα αποθέματα υδατανθράκων των αναβλαστανόντων ειδών (Canadell & Lopez-Soria 1998, Arianoutsou 1999), αλλά ακόμη και να ευνοήσουν την εγκατάσταση ξενικών ειδών (Vilà *et al.* 2001). Επιπρόσθετα, μετά την πρώτη ξηρή περίοδο, ακολουθεί μια φυσική αυτοαραίωση του πληθυσμού τους εξαιτίας της ξηρασίας και του ενδοειδικού ανταγωνισμού (Arianoutsou & Margaris 1981; Papavassiliou & Arianoutsou 1997).

Είναι γεγονός πως η δράση της φωτιάς καθορίζεται από διάφορους παράγοντες, μεταξύ των οποίων εντοπίζεται και η ανθρώπινη δραστηριότητα. Τις τελευταίες δεκαετίες, ο αριθμός των πυρκαγιών - ιδιαίτερα των καταστροφικών - σημειώνει ανοδική πορεία σε μεσογειακό επίπεδο και ιδιαίτερα σε χώρες όπως η Ισπανία, η Ελλάδα και το Μαρόκο (Διάγραμμα 1) (Moreno *et al.* 1998; Pausas & Vallejo 1999; Pausas 2004). Ωστόσο, τα χαρακτηριστικά της φωτιάς –ως φαινομένου- σχετίζονται άμεσα και με τους κλιματικούς παράγοντες (Piñol 1998; Pausas 2004). Δεδομένου λοιπόν ότι υπάρχουν ισχυρές ενδείξεις για θερμότερες και ξηρότερες εποχές την άνοιξη και το καλοκαίρι εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής (IPCC 2001), η πρόβλεψη της τάσης της επανισοροπητικής ικανότητας (*resilience*) σε ένα τροποποιημένο καθεστώς φωτιάς στα ΜΟ είναι επιτακτική (Arianoutsou 2007). Οι φωτιές συνιστούν άμεση απειλή για την ανθρώπινη κοινωνία και η συχνή επανάληψη τους θέτει σε κίνδυνο κατάρρευσης την υφιστάμενη δομή της βλάστησης, ιδιαίτερα σε παραθαλάσσιες περιοχές όπως αυτή της Μεσογειακής λεκάνης, όπου και παρατηρείται έντονη πληθυσμιακή αύξηση (Pausas *et al.* 2008).



Διάγραμμα 1. Αύξηση του αριθμού των πυρκαγιών (σε λογαριθμοποιημένη κλίμακα) κατά τη διάρκεια των τελευταίων 10ετιών σε διαφορετικές περιοχές της Μεσογείου (Ισπανία, Μαρόκο, Ελλάδα) και της Ευρώπης. *Τροποποιημένο από Pausas et al. (2004).*

Αν και οι επιστημονικές έρευνες που συνδέουν άμεσα την αύξηση των πυρκαγιών με την κλιματική αλλαγή είναι ακόμα περιορισμένες (Piñol *et al.* 1998), αυξάνεται η ενασχόληση των ερευνητών με το θέμα αυτό, υπογραμμίζοντας την ανάγκη συμπερίληψης του φαινομένου των πυρκαγιών και της επίδρασης τους στο γενικότερο σχεδιασμό για τη διατήρηση της βιοποικιλότητας (Krawchuk *et al.* 2009). Σε φαινόμενα καταστροφής της φυσικής βλάστησης από πυρκαγιά σε μεγάλη έκταση, η διαφοροποίηση του βαθμού επανάκαμψης της βλάστησης είναι πολύ μεγάλη, καθιστώντας την ανάγκη για πρόβλεψη της πορείας της μεταπυρικής αναγέννησης επιτακτική (Arianoutsou *et al.* 2007).

Παρατηρείται λοιπόν μια έντονη στροφή του ερευνητικού ενδιαφέροντος προς τη μοντελοποίηση της αναγέννησης της *Pinus halepensis* τα τελευταία χρόνια (Pausas 1999; Arianoutsou 2004; Pausas 2003, 2006; Pausas & Ramos 2004, 2006; Alloza & Vallejo 2006, Pausas & Lloret 2007) δεδομένου ότι: (α) οι εκτάσεις που καταλαμβάνει το εν λόγω είδος καλύπτουν μεγάλο τμήμα των δασικών οικοσυστημάτων που συναντώνται σε μεσογειακά περιβάλλοντα, (β) η ένταση της φωτιάς –λόγω της μεγάλης ποσότητας συσσωρευμένης βιομάζας- είναι μεγάλη, (γ) οι εκτάσεις που καίγονται αντιστοιχούν σε πολλά εκτάρια και (δ) η ανάγκη πρόβλεψης της ικανότητας της μεταπυρικής αναγέννησης, προκειμένου να εφαρμοστούν έγκαιρα αλλά και κατάλληλα μεταπυρικά διαχειριστικά μέτρα, καθίσταται πλέον αναγκαία.

Δεδομένης της μεγάλης φυσιογραφικής ετερογένειας της Μεσογειακής λεκάνης 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 μεταπυρική πορεία εξέλιξης της βλάστησης. Με βάση όμως την υφιστάμενη γνώση για τη βαρύτητα των περιβαλλοντικών παραγόντων στην επίδραση της μεταπυρικής εξέλιξης της αναγέννησης, είναι εφικτός ο σχεδιασμός ενός τοπικού μοντέλου πρόβλεψης της αναγέννησης που να οδηγεί στην καλύτερη διαχείριση και προστασία των καμένων περιοχών.

Η περίοδος των δασικών πυρκαγιών το 2007 στην Ελλάδα ήταν δραματική. Πάνω από 2,5 εκ. στρέμματα, δασικών και αγροτικών εκτάσεων κάηκαν το 2007 στο νότιο τμήμα της Χώρας, προκαλώντας το θάνατο δεκάδων ανθρώπων. Η περιοχή που πλήγηκε περισσότερο ήταν η Πελοπόννησος, όπου εκτιμάται ότι συνολικά κάηκαν 975.180 στρέμματα, εκτάσεις οι οποίες καλύπτονταν κυρίως από δάση χαλεπίου πεύκης, χαμηλή φρυγανική βλάστηση και μακί, βοσκοτόπια και αγροδασικά τοπία (π.χ. ελαιώνες με φυσικές νησίδες πεύκων/αείφυλλων). Σε μικρότερο ποσοστό επλήγησαν αμιγείς δασικές συστάδες μαύρης πεύκης και ελάτης, η αναγέννηση των οποίων καθίσταται εξ'ορισμού προβληματική, σε αντίθεση με τη χαλέπιο που θεωρητικά αναγεννάται χωρίς ιδιαίτερες παρεμβάσεις. Συγκεκριμένα από το σύνολο της καμένης έκτασης, το 55% αντιστοιχεί σε δάση, το 41,1% σε καλλιέργειες και το 0,9% σε τεχνητές επιφάνειες όπως οικισμοί, δρόμοι κλπ (δεδομένα χαρτογράφησης δορυφορικής εικόνας ευκρίνειας 32 μέτρων - DMCii).

Ιδιαίτερα στο νομό Ηλείας, εξαιτίας του σαρωτικού χαρακτήρα των πυρκαγιών του 2007, κάηκαν τόσο εκτάσεις με ώριμα πυκνά πευκοδάση, όσο και νεαρά δάση σε φάση ανάκαμψης από προγενέστερες φωτιές (π.χ. στην περιοχή του Λάλα το 1998). Οι διασωθείσες νησίδες φυσικής βλάστησης, οι οποίες αποτελούν τον πυρήνα για τη διατήρηση της προγενέστερης βιοποικιλότητας είναι πλέον ελάχιστες, ενώ και ο βαθμός της φυσικής αποκατάστασης λόγω της μεγάλης ετερογένειας της ηλικίας των καμένων δασών παρουσιάζει μια έντονη χωρική διαφοροποίηση. Πέραν όμως της τεράστιας δασικής έκτασης που χάθηκε, οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες που καταγράφηκαν εκ των υστέρων, ήταν ιδιαίτερα έντονες για τους πυρόπληκτους νομούς της Πελοποννήσου, αυξάνοντας τον κίνδυνο για την αδυναμία ανάκαμψης των καμένων οικοσυστημάτων. Πλήθος τέτοιων δράσεων έχουν ήδη καταγραφεί και αποτυπωθεί χωρικά για όλη την περιοχή στα πλαίσια παράλληλης δράσης «Παρακολούθηση των καμένων εκτάσεων της Πελοποννήσου». Τα αποτελέσματα της τελευταίας δράσης, αναδεικνύουν την Ηλεία ως το

νομό με τους περισσότερους κινδύνους για αλλαγές στις χρήσεις γης (κυρίως δασικές εκτάσεις που μετατρέπονται σε αγροτικές, βόσκηση σε καμένες εκτάσεις και ρήξη μπαζών).

Με σκοπό την ολοκληρωμένη αποκατάσταση (φυσικά ή τεχνητά) των καμένων οικοσυστημάτων της χαλεπίου πεύκης και την επαναφορά της βιοποικιλότητας και των οικολογικών λειτουργιών στα φυσικά οικοσυστήματα του νομού Ηλείας, σχεδιάστηκε η δημιουργία ενός μοντέλου πρόβλεψης της αναγέννησης για τα καμένα -από τη φωτιά του 2007- πευκοδάση της περιοχής. Η δράση αυτή εντάσσεται στο πλαίσιο του προγράμματος του WWF Ελλάς «Το Μέλλον των Δασών» και φιλοδοξεί, παράλληλα, να αποτελέσει μια μεθοδολογική προσέγγιση για την αποτύπωση και τη χαρτογράφηση του βαθμού της φυσικής αποκατάστασης των ελληνικών μεσογειακών οικοσυστημάτων μετά από μια μεγάλη – σε ένταση και έκταση – πυρκαγιά.



Φώτο 1: Διασωθείσες μικρές νησίδες στα πευκοδάση του όρους Λαπίθα πριν το χωριό Σμέρνα (04/03/2008).

2. Σκοπός της δράσης

Ο σκοπός της εν λόγω δράσης καθίσταται διττός:

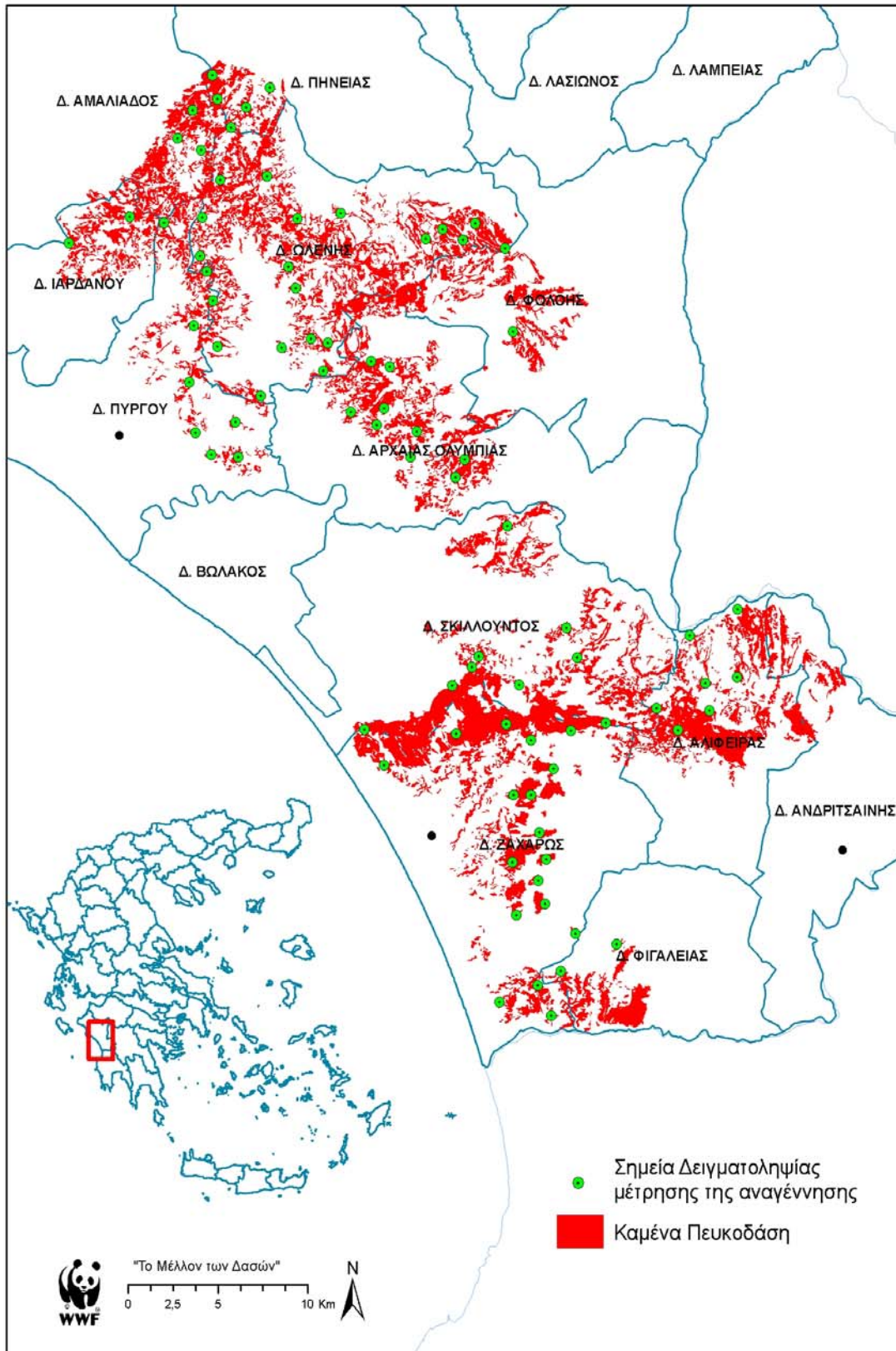
Αρχικά, η δράση στοχεύει στην πρόβλεψη και χωρική απεικόνιση του βαθμού της φυσικής αναγέννησης χαλεπίου πεύκης, με την παραγωγή θεματικών χαρτών πρόβλεψης της μεταπυρικής αναγέννησης, οι οποίοι θα καλύπτουν όλη την έκταση της περιοχής της Ηλείας. Αυτοί οι χάρτες αναμένεται να αποτελέσουν σημαντικό διαχειριστικό εργαλείο για τα Δασαρχεία ή για οιονδήποτε αρμόδιο φορέα, προκειμένου να ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα αποκατάστασης του φυσικού περιβάλλοντος του νομού Ηλείας.

Επίσης, αποβλέπει στο σχεδιασμό και στη διάδοση μιας εύκολα εφαρμόσιμης πρακτικής, που δύναται να χρησιμοποιηθεί σε αντίστοιχες περιπτώσεις μεγαπυρκαγιών, προκειμένου να ληφθούν εγκαίρως τα μεταπυρικά μέτρα αποκατάστασης και διαχείρισης του εκάστοτε τόπου. Σαφέστατα κάθε φορά θα πρέπει να γίνονται οι απαραίτητες προσαρμογές με βάση το κλίμα, το έδαφος και την ηλικία του καμένου δάσους, έτσι όπως αυτά ορίζονται από την περιοχή ενδιαφέροντος.

3. Περιοχή Μελέτης

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. Εκτείνεται βόρεια από το Δημοτικό Διαμέρισμα Εφύρας του Δήμου Πηνείας, ανατολικά από το Δ.Δ. Σέκουλα Δήμου Ανδρίτσαινας, δυτικά από την ευρύτερη περιοχή της πόλης του Πύργου και νότια καταλήγει στον ποταμό της Νέδας στα σύνορα με τον νομό Μεσσηνίας (Χάρτης 1).

Στο μεγαλύτερο τμήμα αυτής της έκτασης, κυριαρχούσε το αγρο-δασικό τοπίο χαλεπίου πεύκης με ελαιοκαλλιέργειες και σε πολύ μικρότερο βαθμό με άλλες καλλιέργειες. Ανάμεσα στις καμένες περιοχές ανήκαν και τμήματα τριών περιοχών Natura (GR2330002: Οροπέδιο Φολόης, GR2330004 Ολυμπία, GR2330005: Θίνες και παραλιακό δάσος Ζαχάρως, Λίμνη Καϊάφα, Στροφυλιά, Κακόβατος), όπου κάηκαν συνολικά 1.370 ha πευκοδάσους.



Χάρτης 1 . Περιοχή μελέτης και σημεία δειγματοληψίας.

4. Μεθοδολογία

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε αποτελείτο από τρία στάδια. **Αρχικά** οργανώθηκε η έρευνα πεδίου (δύο χρόνια μετά τη φωτιά, 2009), με σκοπό να ληφθεί ένα ασφαλές δείγμα του πραγματικού αριθμού της φυσικής αναγέννησης από κάθε διακριτή γεωγραφική ενότητα (με βάση τη συγκόμωση του δάσους, 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) την πολυκριτηριακή ανάλυση και χαρτογράφηση περιβαλλοντικών παραγόντων, που σύμφωνα με την υφιστάμενη γνώση αλλά και την τοπική έρευνα πεδίου, επιδρούσαν στην πορεία της φυσικής αναγέννησης. **Στο τρίτο στάδιο**, το τελικό πολυκριτηριακό μοντέλο πρόβλεψης της αναγέννησης, συνδυάστηκε με το αντίστοιχο γεωστατιστικό για να προσδιοριστούν ενότητες της καμένης έκτασης με διαφορετικό βαθμό φυσικής ανάκαμψης μετά τη φωτιά.

4.1. Έρευνα Πεδίου

4.1.1. Χωρική οργάνωση εκτός πεδίου (*ex situ*)

Η δειγματοληψία των σημείων (Χάρτης 1) έλαβε χώρα σε διακριτές οικοπεριοχές¹. Τα κριτήρια που χρησιμοποιήθηκαν επηρεάζουν έντονα το βαθμό της αναγέννησης και ήταν: το ποσοστό συγκόμωσης του πευκοδάσους πριν τη φωτιά, η κλίση του εδάφους και η τοπική γεωλογία. Ο συνδυασμός αυτών των κριτηρίων έδωσε εννιά (9) κατηγορίες οικοπεριοχών, όπου με στρωματωποιημένη τυχαία δειγματοληψία επιλέχθηκαν 100 σημεία (sites) μέσα σε περιβάλλον GIS από το λογισμικό ArcGIS. Σε κάθε κατηγορία – οικοπεριφέρεια αποδόθηκε αριθμός σημείων, ανάλογα με το ποσοστό της έκτασής της σε σχέση με την συνολική έκταση της περιοχής μελέτης (Πίνακας 1). Τελικά, εξαιτίας τεχνικών δυσκολιών (αδυναμία πρόσβασης, κακές καιρικές συνθήκες, αλλαγή καλύψης γης) και χρονικού περιορισμού οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στα 84 από τα 100 αρχικά σημεία (Χάρτης 1).

¹ Ο Bailey (1983) ορίζει τις οικοπεριοχές ως γεωγραφικές ζώνες που παρουσιάζουν γεωγραφικές σχέσεις με όμοια λειτουργικά οικοσυστήματα ενώ οι Brunckhorst & Rollings (2000) αναφέρουν ότι οικοπεριοχή είναι ένα επαναλαμβανόμενο πρότυπο οικολογικών ενδιαιτημάτων που βασίζεται στο συνδυασμό παραμέτρων όπως το έδαφος, οι χρήσεις γης, η βλάστηση και άλλες περιβαλλοντικές παράμετροι που χαρακτηρίζουν τις συγκεκριμένες περιοχές.

Πίνακας 1. Κατηγορίες οικοπεριφερειών με βάση 3 κριτήρια (συγκόμωση, κλίση και υπόστρωμα).

Κωδικός SITE	Κλάσεις Συγκόμωσης*	Κλάσεις κλίσης	Γεωλογικός σχηματισμός	Έκταση (ha)	Αριθμός επιφανειών	%
12TRIT	1	2	Τριτογενείς αποθέσεις	5.171,749	23	25
13ASB	1	3	Ασβεστόλιθος	665,1799	3	3
13TRIT	1	3	Τριτογενείς αποθέσεις	1.469,87	4	7
22ASB	2	2	Ασβεστόλιθος	645,6283	5	3
22TRIT	2	2	Τριτογενείς αποθέσεις	5.886,621	21	29
23ASB	2	3	Ασβεστόλιθος	846,846	10	4
23FLYSX	2	3	Φλύσχη	628,2637	3	3
23TRIT	2	3	Τριτογενείς αποθέσεις	2.939,838	5	14
32TRIT	3	2	Τριτογενείς αποθέσεις	1.448,711	8	7
33TRIT	3	3	Τριτογενείς αποθέσεις	815,8792	2	4

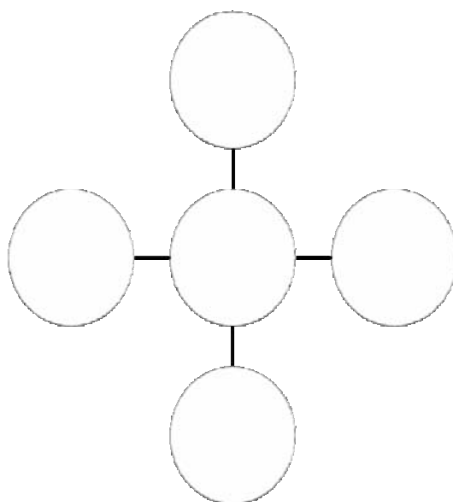
Η κατηγοριοποίηση των παραμέτρων του Πίνακα 1 επεξηγούνται ως εξής:

- ✓ Οι κλάσεις συγκόμωσης προέκυψαν από φωτογραφίες της Google όπου ο αριθμός 1 αντιστοιχεί σε αραιή συγκόμωση, ο αριθμός 2 σε μέτρια και ο αριθμός 3 σε πυκνή συγκόμωση .
- ✓ Οι κλάσεις κλίσης προήλθαν από ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DTM) με μέγεθος εικονοστοιχείου 30 μέτρων. Η κλάση 2 αντιπροσωπεύει κλίση 6-25% και η κλάση 3 μεγαλύτερη 25%. Στην κλάση 1 (κλίση μέχρι 5%) αποφασίστηκε να μην γίνει διασπορά επειδή η Χαλέπιοι σε αυτήν την περίπτωση αναμιγνυόταν συχνά με αγροτικές εκτάσεις και δημιουργούσε προβλήματα στη δειγματοληψία.
- ✓ Τα διαφορετικά γεωλογικά υποστρώματα που απαντώνται στην περιοχής μελέτης ξεχωρίζουν σε τριτογενείς αποθέσεις, ασβεστολιθικά πετρώματα και φλύσχη όπως φαίνεται στην 4^η στήλη του Πίνακα 1.

4.1.2. Χωρική οργάνωση εντός πεδίου (*in situ*)

Με δεδομένη την ετερογένεια που χαρακτηρίζει τα φυσικά οικοσυστήματα και ιδιαίτερα τα μεσογειακά, η δειγματοληψία σε ευθεία γραμμή (*transect*) πιθανότατα να αλλοιώνει την πραγματική εικόνα της φυσικής αναγέννησης. Αυτό συμβαίνει γιατί πολύ απλά, τα διαχειριστικά μέτρα που είθισται να εφαρμόζονται μετά από μια πυρκαγιά, όπως η τοποθέτηση κορμοδεμάτων παράλληλα των υψομετρικών καμπυλών για την συγκράτηση των πρηνών, μπορεί να ενισχύει τη συγκέντρωση των σπερμάτων πεύκης στα συγκεκριμένα σημεία της καμένης γης. Με αυτόν τον τρόπο υπερεκτιμάται ο βαθμός αναγέννησης και το δείγμα δεν αντικατοπτρίζει την πραγματική εικόνα της περιοχής.

Για τους παραπάνω λόγους, η καταγραφή σε κάθε ένα από τα 84 σημεία (*sites*) έγινε με μετρήσεις σε πέντε συνδεδεμένους κύκλους, οι οποίοι ήταν τοποθετημένοι στο κέντρο και στις άκρες ενός σταυρού όπως δείχνει το παρακάτω Σχήμα 1:



Σχήμα 1. Απεικόνιση της διάταξης των δειγματοληπτικών επιφανειών ανά περιοχή δειγματοληψίας.

Κάθε ένας από τους κύκλους (*plot*) είχε ακτίνα 2,5 μέτρων, καλύπτοντας τη συνολική επιφάνεια των 20 τ.μ. Τα κέντρα των κύκλων απείχαν 15 μέτρα το ένα από το άλλο, με αποτέλεσμα η συνολική εξωτερική περιοχή που κάλυπτε και τους πέντε κύκλους να φτάνει τα 100 τ.μ. (~0.1 ha).

4.1.3. Χρονική Οργάνωση

Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε από τις 19 Μαΐου μέχρι 26 Ιουνίου 2009, δύο χρόνια σχεδόν, μετά τις καταστροφικές πυρκαγιές. Πραγματοποιούνταν δύο δειγματοληψίες καθημερινά, μία το πρωί από τις 8 -12πμ και μία το απόγευμα από τις 5-9μμ με τη συμβολή δύο ανεξάρτητων ομάδων των δύο ατόμων.

4.1.4. Πρωτόκολλα δειγματοληψίας

Η δημιουργία των πρωτοκόλλων στηρίχτηκε στην ισχύουσα βιβλιογραφία (Tsitsoni 1997; Pausas *et al.* 2004; Arianoutsou *et al.* 2007) και στη γνώμη των ειδικών (προσωπική επικοινωνία με Μ. Αριανούτσου & Δ. Καζάνη), προκειμένου να συμπεριληφθούν το δυνατό περισσότερες αβιοτικές παράμετροι, ικανές να λειτουργήσουν και ως «δείκτες» καλής ποιότητας ή υποβάθμισης του τοπίου. Έτσι συγκεντρώθηκαν 12 περιβαλλοντικές μεταβλητές, για τις οποίες οι μετρήσεις έγιναν επί τόπου, στην περιοχή δειγματοληψίας. Αναλυτικά αυτές είναι: 1) υψόμετρο, 2) κλίση εδάφους, 3) έκθεση, 4) ποσοστό κάλυψης πεσμένων κλαριών και κορμών, 5) ποσοστό συνολικής κάλυψης βλάστησης, 6) αριθμός ατόμων αναγεννημένης πεύκης (πυκνότητα), 7) αριθμός ατόμων ασφοδέλου (η μεγάλη παρουσία του οποίου δηλώνει συχνά υποβάθμιση του ενδιαίτηματος), 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. Για τα ξυλώδη είδη καταγράφηκε το ποσοστό παρουσίας τους ανά είδος (Παράρτημα 3).

4.1.5. Στατιστική Ανάλυση

Με σκοπό την ανάδειξη της επιρροής των μεταβλητών που μετρήθηκαν *in situ*, στο βαθμό αναγέννησης (παραμέτρων που εξηγούν το μεγαλύτερο ποσοστό της μεταβλητότητας της αφθονίας της αναγέννησης), εφαρμόστηκε μια πολυπαραγοντική ανάλυση με χρήση του λογισμικού Canoco 4.0 (ter Braak & Smilauer 2002) και την επιλογή RDA (Redundancy analysis). Η κατάταξη των περιβαλλοντικών μεταβλητών που επηρεάζουν την αναγέννηση της χαλεπίου από την πιο σημαντική στη λιγότερο σημαντική έγινε με μη παραμετρικές δοκιμασίες. Αρχικά, εφαρμόστηκε η μέθοδος της ανάλυσης αντιστοίχισης (Detrended Correspondence Analysis - DCA) για να δούμε αν το σύνολο των δεδομένων μας είναι ομοιογενές ή ετερογενές. Αποδείχτηκε η ομοιογένεια των δεδομένων μας (μήκος του πρώτου άξονα <4) για αυτό και ακολουθήσαμε τη γραμμική μέθοδο ανάλυσης RDA

(Redudancy Analysis). Αυτό σημαίνει ότι οι φυτοκοινότητες της πεύκης ανταποκρίνονται γραμμικά –θετικά ή αρνητικά– στη μεταβολή μιας περιβαλλοντικής μεταβλητής. Ακολούθησε η διαδικασία επιλογής των πιο σημαντικών στατιστικά περιβαλλοντικών παραμέτρων ($p < 0,05$) χρησιμοποιώντας τους συνδυασμούς που προέκυψαν από έλεγχο Monte-Carlo (1.000 επαναλήψεις). Οι σημαντικότερες στατιστικά μεταβλητές είναι αυτές που εξηγούν το μεγαλύτερο ποσοστό της μεταβλητότητας των δεδομένων, ενώ ταυτόχρονα εμφανίζονται να είναι ανεξάρτητες από τις υπόλοιπες περιβαλλοντικές παραμέτρους. Τα αποτελέσματα της εν λόγω ανάλυσης χρησιμοποιήθηκαν ώστε να αποκομίσουμε μια πρώτη εικόνα του οικοσυστήματος που επρόκειτο να μελετήσουμε και σίγουρα δεν καθόρισαν την πορεία της σύστασης του βασικού μας μοντέλου.

4.2. Ανάπτυξη Γεωστατιστικού μοντέλου

Τα αποτελέσματα της δειγματοληψίας των 84 σημείων, αποτέλεσαν τη βάση για την παραγωγή χαρτών χωρικής παρεμβολής. Επιλέχθηκε η χρήση της γεωστατιστικής μεθοδολογίας λόγω των πλεονεκτημάτων που εμφανίζει έναντι των άλλων μεθόδων χωρικής παρεμβολής όπως *Inverse Distance Weighting*, κλπ. Σε κάθε μεταβλητή έγινε υπολογισμός του πειραματικού ημιβαριογράμματος και επιλογή του καλύτερου προσαρμοζόμενου θεωρητικού μοντέλου. Χρησιμοποιώντας τις παραμέτρους του θεωρητικού ημιβαριογράμματος έγινε εκτίμηση των τιμών σε θέσεις που δεν υπήρχαν μετρήσεις με εφαρμογή της *Kriging* θεωρίας.

Η διαδικασία περιλαμβάνει, για κάθε ένα σημείο που εκτιμάται η τιμή, υπολογισμό σταθμικών συντελεστών (*weights*) για κάθε μία από τις γνωστές τιμές (στις γειτονικές θέσεις που υπήρχαν μετρήσεις) κατά τέτοιο τρόπο ώστε το άθροισμα των γινομένων - συντελεστής Χ τιμή – να δίνει αμερόληπτη εκτίμηση της προσδιοριζόμενης τιμής ενώ η προσδιοριζόμενη διακύμανση να είναι ελάχιστη.

Η θεωρία *kriging* υπολογίζει και τη διακύμανση του σφάλματος (*estimation variance*) που πραγματοποιείται κατά τον υπολογισμό της άγνωστης τιμής, αποτελεί δε μέτρο της αξιοπιστίας της εκτίμησης και τελικά ελέγχει αν το προσαρμοσθέν μοντέλο εκφράζει ικανοποιητικά τη χωρική μεταβολή της ιδιότητας.

Χρησιμοποιήθηκε η περισσότερο χρησιμοποιούμενη μέθοδος *Ordinary kriging* ενώ ο έλεγχος της ακρίβειας της χωρικής παρεμβολής έγινε με τη χρήση της τεχνικής *jack-knifing* ή *cross-validation*. Σύμφωνα με αυτή την τεχνική σε κάθε σημείο δειγματοληψίας εκτιμάται

η τιμή της μεταβλητής και συγκρίνεται με την μετρημένη τιμή. Από τις μετρημένες και εκτιμηθείσες τιμές υπολογίσθηκαν οι δείκτες που ακολουθούν: το μέσο σφάλμα (*Mean Error – ME*, που είναι ο μέσος όρος των διαφορών εκτιμούμενων - πραγματικών), η τετραγωνική ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (*Root Mean Square Error - RMSE*), το μέσο τυπικό σφάλμα (*Average Standar Error - ASE*), το τυποποιημένο μέσο σφάλμα (*Standardized Mean Error - SME*, εδώ οι διαφορές διαιρούνται με τα τυπικά σφάλματα της πρόβλεψης), και η τυποποιημένη τετραγωνική ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (*Standardized Root Mean Square Error, SRMSE*).

Για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων πρέπει τα *ME* και *SME* να είναι όσο το δυνατό πιο κοντά στο μηδέν και το *RMSE* όσο πιο μικρό γίνεται, γεγονός το οποίο σημαίνει ότι οι προβλέψεις είναι αμερόληπτες και κοντά στις πραγματικές τιμές αντίστοιχα. Οι τιμές του *ASE* χρησιμοποιούνται για να αξιολογήσουν την μεταβλητότητα των προβλέψεων από τις μετρημένες τιμές. Επομένως το *ASE* πρέπει να είναι ίδιο με το *RMSE* προκειμένου να αξιολογηθεί σωστά η μεταβλητότητα των προβλέψεων. Αν η τιμή του *ASE* είναι μεγαλύτερη από το *RMSE* σημαίνει ότι οι τιμές των προβλέψεων είναι υπερεκτιμημένες. Αν αντιθέτως το *ASE* είναι μικρότερο από το *RMSE* τότε οι προβλέψεις είναι υποεκτιμημένες. Οι τιμές του *SRMSE* θα πρέπει να βρίσκονται κοντά στην μονάδα, ενώ αυτές του *SME* να είναι όσο το δυνατό μικρότερες.

Συνολικά αναλύθηκαν τόσο η κατανομή των αρτιβλάστων της πεύκης (συνολικός αριθμός και μέση τιμή πεύκων/δειγματοληπτική επιφάνεια) όσο και πέντε 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. Τα βασικά κριτήρια για την αποδοχή αυτών των μεταβλητών σε σχέση με τις υπόλοιπες μεταβλητές, ήταν αφενός ο βαθμός σημαντικότητας τους που προέκυψε από την προηγούμενη ανάλυση, όσο και ο βαθμός συσχέτισης (*correlation*) ανάμεσα στον αριθμό των καταγεγραμμένων αρτιβλάστων πεύκης και στις τιμές κάθε παράγοντα.

4.3. Ανάπτυξη Πολυκριτηριακής Ανάλυσης (MCE-multicriteria evaluation) 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 (Joerin *et al.* 2001; Malczewski 2006; Geneletti & Duren 2008). 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.

4.3.1. Δημιουργία κριτηρίων

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 βάση τα αποτελέσματα των στατιστικών αναλύσεων των πραγματικών δεδομένων της περιοχής.

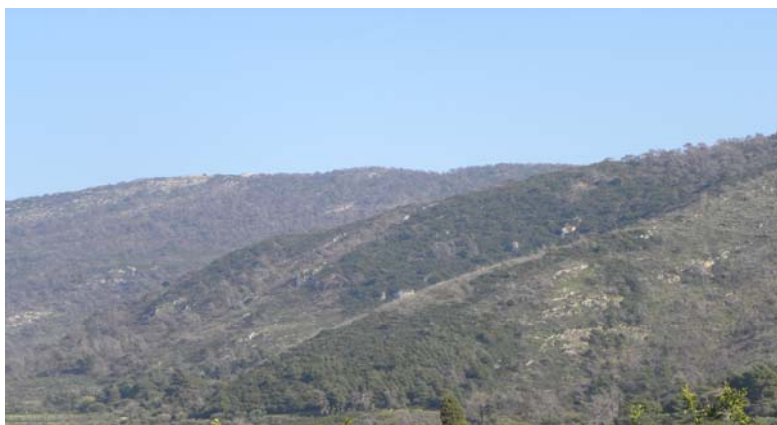
Με σκοπό την παραγωγή του τελικού πολυκριτηριακού μοντέλου, οι χρησιμοποιούμενοι παράγοντες ταξινομήθηκαν σε δύο ομάδες. Η ομάδα Α, περιλαμβάνει τους παράγοντες που επηρεάζουν πρωτογενώς την παραγωγή και διασπορά των σπερμάτων της πεύκης από τα οποία θα προκύψουν τα μελλοντικά αρτίβλαστα. Σε αυτή την ομάδα, περιλαμβάνονται α) η δομή του πευκοδάσους (ηλικία, συγκόμωση κλπ), β) η κλίση του εδάφους, γ) το μητρικό πέτρωμα και δ) το υψόμετρο της περιοχής. Στην ομάδα Β, περιλαμβάνονται παράγοντες που επιδρούν δευτερογενώς στην επιτυχία φύτευσης των σπερμάτων και επιβίωσης των παραγομένων αρτιβλάστων. Σε αυτή την ομάδα περιλαμβάνονται 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 μοντέλο με βάση τη βαθμονόμηση της κάθε ομάδας.

4.3.2. Παράγοντες ανάλυσης

Ομάδα Α

Μετά από μια μεγάλη φωτιά, μια σειρά πρωτογενών παραγόντων καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό τον τύπο και τα χαρακτηριστικά της αναγεννώμενης φυτοκοινότητας καθώς και το βαθμό αναγέννησης της χαλεπίου πεύκης. Ο καθοριστικός παράγοντας είναι (1) η ηλικία του πευκοδάσους και γενικότερα παράμετροι της δομής του δάσους που κάηκε (Kazanis & Arianoutsou 1996; Arianoutsou *et al.* 2007; Lloret *et al.* 2002; Kushla & Ripple 1997; Broncano & Retana 2004; Henig-Sever *et al.* 2000; Pausas *et al.* 2004; Alloza & Vallejo 2006; Pausas *et al.* 2008; Kazanis *et al.* 2007; Verkaik & Espelta 2006; Zagas *et al.* 2004; Daskalaku & Thanos 1996). Περαιτέρω η διασπορά και φύτευση των σπερμάτων που βρίσκονται στο καμένο έδαφος επηρεάζεται έντονα από (2) την κλίση του εδάφους (Arianoutsou *et al.* 2007; Kushla & Ripple 1997; Broncano & Retana 2004; Tsitsoni 1999; Kazanis *et al.* 2007), (3) το μητρικό πέτρωμα (Arianoutsou *et al.* 2007; Tsitsoni 1999; Alloza & Vallejo 2006; Pausas *et al.* 1999; Kazanis *et al.* 2007) και (4) το υψόμετρο της περιοχής (Kushla & Ripple 1997; Broncano & Retana 2004).

Η συσχέτιση και αξιολόγηση των παραγόντων αυτών με τα πραγματικά δεδομένα έγινε με βάση τις μετρήσεις πεδίου στα 84 σημεία δειγματοληψίας, και με βάση το γεωστατιστικό χάρτη πρόβλεψης του αριθμού των αρτιβλάστων πεύκης / m² στις καμένες περιοχές. Για την ανάλυση της συσχέτισης χρησιμοποιήθηκε η δοκιμασία *Pearson* και στις περιπτώσεις που τα δεδομένα δεν ακολουθούσαν κανονική κατανομή, η δοκιμασία *Spearman*.



Φώτο 2. Καμένη έκταση ώριμου πευκοδάσους στην βόρεια περιοχή του όρους Λατίθα στην Ηλεία, με απότομες κλίσεις και ασβεστολιθικά πετρώματα.

A1. Η δομή της βλάστησης του πευκοδάσους

Το πρώτο κριτήριο ήταν η **δομή του πευκοδάσους** το 2007 (χρονιά της φωτιάς). Τα δάση της *P. halepensis* είναι πολύ κοινός τύπος ενδιαιτήματος των μεσογειακών οικοσυστημάτων και κατά κύριο λόγο απαντώνται στη ζώνη αείφυλλων σκληρόφυλλων θάμνων (Zagas *et al.* 2004). Δεδομένης της συχνότητας του φαινομένου των πυρκαγιών στη Μεσογειακή λεκάνη –ιδιαίτερα δε κατά τη διάρκεια της Τεταρτογενούς περιόδου (Carrión *et al.* 2003)- η χαλέπιος πεύκη έχει υιοθετήσει προσαρμοστικούς μηχανισμούς που της επιτρέπουν να επιτυγχάνει την αναγέννησή της σε ικανοποιητικό βαθμό (Néeman *et al.* 2004).

Το είδος αυτό πληροί πέντε από τα εννέα πλεονεκτήματα που έχουν τα φυτά όψιμης βιωσιμότητας σπερμάτων (serotinus) για την αναγέννηση τους (Lamont *et al.* 1991), όπως η προστασία των ώριμων σπερμάτων προς σπορά στους κώνους, η διαθεσιμότητα τους μετά από πυρκαγιά, μεταπυρική διασπορά με τον άνεμο, μιμητισμός σπερμάτων και βελτιστοποίηση της βλάστησης των σπερμάτων μετά την πυρκαγιά (Moya *et al.* 2008). Ο μηχανισμός αναγέννησης που αναπτύσσεται είναι ο ακόλουθος: αρχικά πραγματοποιείται η ανάπτυξη μιας ασφαλούς τράπεζας σπερμάτων στην κόμη των ώριμων δένδρων (Verkaik & Espelta 2006). Υπό την επίδραση των υψηλών θερμοκρασιών που αναπτύσσονται κατά τη διάρκεια της φωτιάς, λιώνει η ρητίνη που κρατάει τα λέπια συγκολλημένα σφιχτά πάνω στους κώνους. Αυτοί ανοίγουν και τα σπέρματα διασπείρονται στο καμένο έδαφος (*moderate heat shock more than 150°C for 1 minute*), διαδικασία που με τον καιρό θα οδηγήσει στη φύτευση αρτιβλάστων και άρα επαναφορά της αρχικής ισορροπίας στο οικοσύστημα (Verkaik & Espelta 2006).

Οι φυσικές συστάδες της χαλεπίου πεύκης απαιτούν 15-20 χρόνια προτού δώσουν επαρκή ποσότητα γόνιμων σπερμάτων (Arianoutsou 1998; Tarpas *et al.* 2001; Zagas *et al.* 2004). Η αφθονία γόνιμων σπερμάτων εξαρτάται πάντα από τις κλιματικές συνθήκες που έπονται μιας πυρκαγιάς (βροχοπτώσεις, ξηρασία κτλ), από την τοπογραφία της περιοχής (έντονες κλίσεις), καθώς και από τη μετέπειτα διαχείριση του ενδιαιτήματος (υπερβόσκηση, καλλιέργειες κτλ). Στην περίπτωση που συμβεί και δεύτερο περιστατικό φωτιάς πριν την ολοκλήρωση της διαδικασίας ωρίμανσης (15-20 χρόνια), υπάρχει μεγάλη πιθανότητα να εξαφανιστεί το είδος από την περιοχή (Tsitsoni 1997; Arianoutsou 2001; Verkaik & Espelta 2006), διότι τα δένδρα δε θα έχουν φτάσει στην κατάλληλη ηλικία της γονιμότητας. Συνεπώς, η ηλικία του πευκοδάσους, ακόμα και η ύπαρξη μιας ώριμης ή άκαυτης συστάδας εντός νεαρού δάσους (Kazanis *et al.* 2007), είναι καθοριστικής σημασίας για το βαθμό της αναγέννησης που θα καταγραφεί μετά το πέρας της πυρκαγιάς (Verkaik & Espelta 2006;

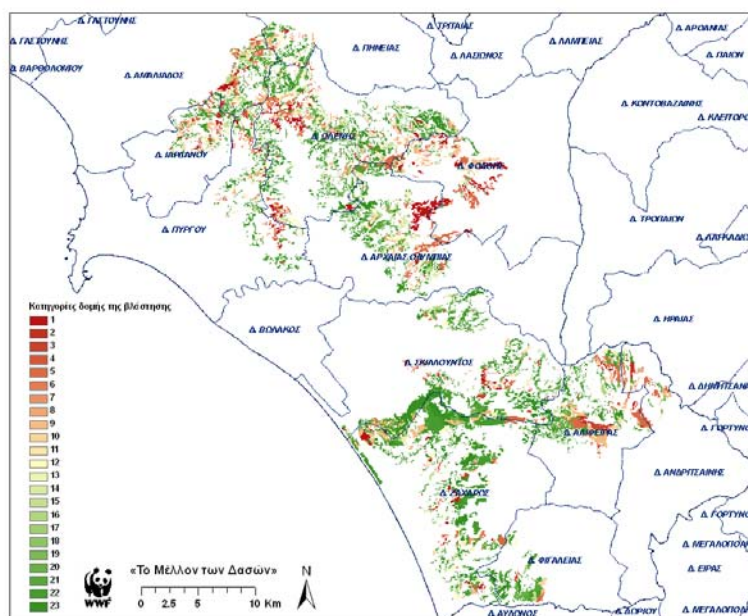
Zagas *et al.* 2004; Pausas *et al.* 2008; Henig-Sever *et al.* 2000; Broncano & Retana 2004; Alloza & Vallejo 2006; Pausas & Vallejo 2004; Arianoutsou *et al.* 2007).

Η αποτύπωση αυτής της πληροφορίας έγινε με τον καλύτερο δυνατό τρόπο με ψηφιοποίηση των πολυγώνων πεύκης στις περιοχές που επλήγησαν από τη φωτιά και με χρήση δορυφορικών εικόνων υψηλής ευκρίνειας του 2006 και 2007. Τα πολύγωνα αναγνωρίστηκαν και ταξινομήθηκαν με βάση κυρίως τρία κριτήρια:

- ✓ Το πρώτο κριτήριο ήταν η ηλικία του δάσους σε τρεις κλάσεις (1: πολύ νεαρά δάση, συνήθως 1-5 ετών, αποτέλεσμα υποβάθμισης της βλάστησης μετά από επαναλαμβανόμενες φωτιές στο παρελθόν και μεγάλη παρουσία αειφύλλων πλατυφύλλων, 2: νεαρά δάση, συνήθως ηλικίας 5-20 ετών, με συχνή την παρουσία αειφύλλων πλατυφύλλων και 3: πευκοδάση ηλικίας μεγαλύτερης των 20 ετών αλλά συνθεστέρα δάση ηλικίας >40 ετών). Η αναγνώριση έγινε επί της οθόνης με βάση το διαφορετικό μοτίβο και την υφή των δέντρων.
- ✓ Το δεύτερο κριτήριο ήταν το ποσοστό ώριμου δάσους σε περιοχές με νεαρότερες ηλικίες δάσους (κλάσεις 1 και 2). Τα ποσοστά αυτά διακρίθηκαν σε 9 κατηγορίες από 5% μέχρι 40% (0, 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35% και 40%). Μεγαλύτερο ποσοστό ώριμου δάσους σε μια περιοχή εντασσόταν στην κατηγορία ηλικίας 3 (ώριμο δάσος) αλλά με χαμηλή συγκόμωση.
- ✓ Το τρίτο κριτήριο ήταν η συγκόμωση του προσδιορισμένου πολυγώνου με βάση τα δύο προηγούμενα κριτήρια, σε τρεις κλάσεις πυκνότητας (1, 2, 3). Ως συγκόμωση καθοριζόταν το ποσοστό κάλυψης του πολυγώνου από βλάστηση σε σχέση με τον κυρίαρχο τύπο (είτε από πεύκα είτε από άλλο τύπο βλάστησης) ή την κυρίαρχη ηλικία του δάσους. Ο μετασχηματισμός αυτού του σύνθετου παράγοντα σε παράγοντα καταλληλότητας για τη φυσική αναγέννηση της πεύκης έγινε αρχικά με συνδυασμό των τριών παραπάνω κριτηρίων και την κατηγοριοποίηση τους σε μια κλίμακα αυξητική 1-23, όπου 1 η χειρότερη και 23 η καταλληλότερη περιοχή (Πίνακας 2 και Χάρτης 2).

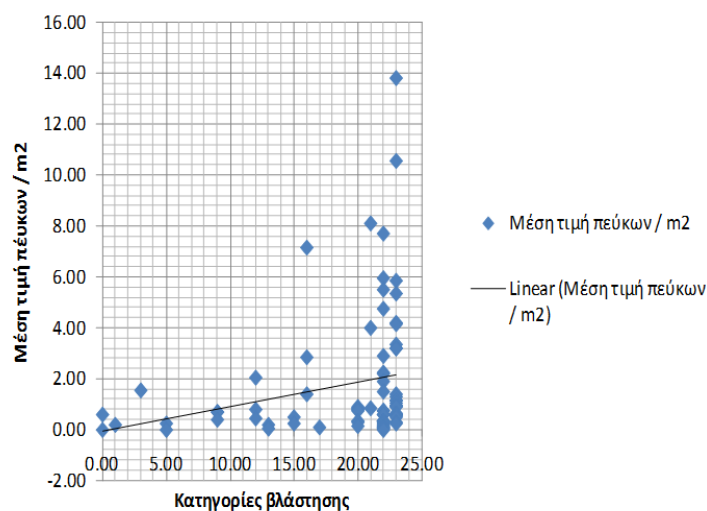
Πίνακας 2. Κατηγοριοποίηση της δομής του δάσους σε σχέση με την ικανότητα τους για φυσική αναγέννηση της πεύκης.

Κατηγορία	Ηλικία δάσους	% παρουσία ώριμου δάσους	Συγκόμωση
1	1	0	όλες
2	2	0	1
3	2	0	2
4	2	0	3
5	1	>0 - 10	όλες
6	2	>0 - 10	1
7	2	>0 - 10	2
8	2	>0 - 10	3
9	1	10-20	όλες
10	2	10-20	1
11	2	10-20	2
12	2	10-20	3
13	1	20-30	όλες
14	2	20-30	1
15	2	20-30	2
16	2	20-30	3
17	1	30-40	όλες
18	2	30-40	1
19	2	30-40	2
20	2	30-40	3
21	3	0	1
22	3	0	2
23	3	0	3



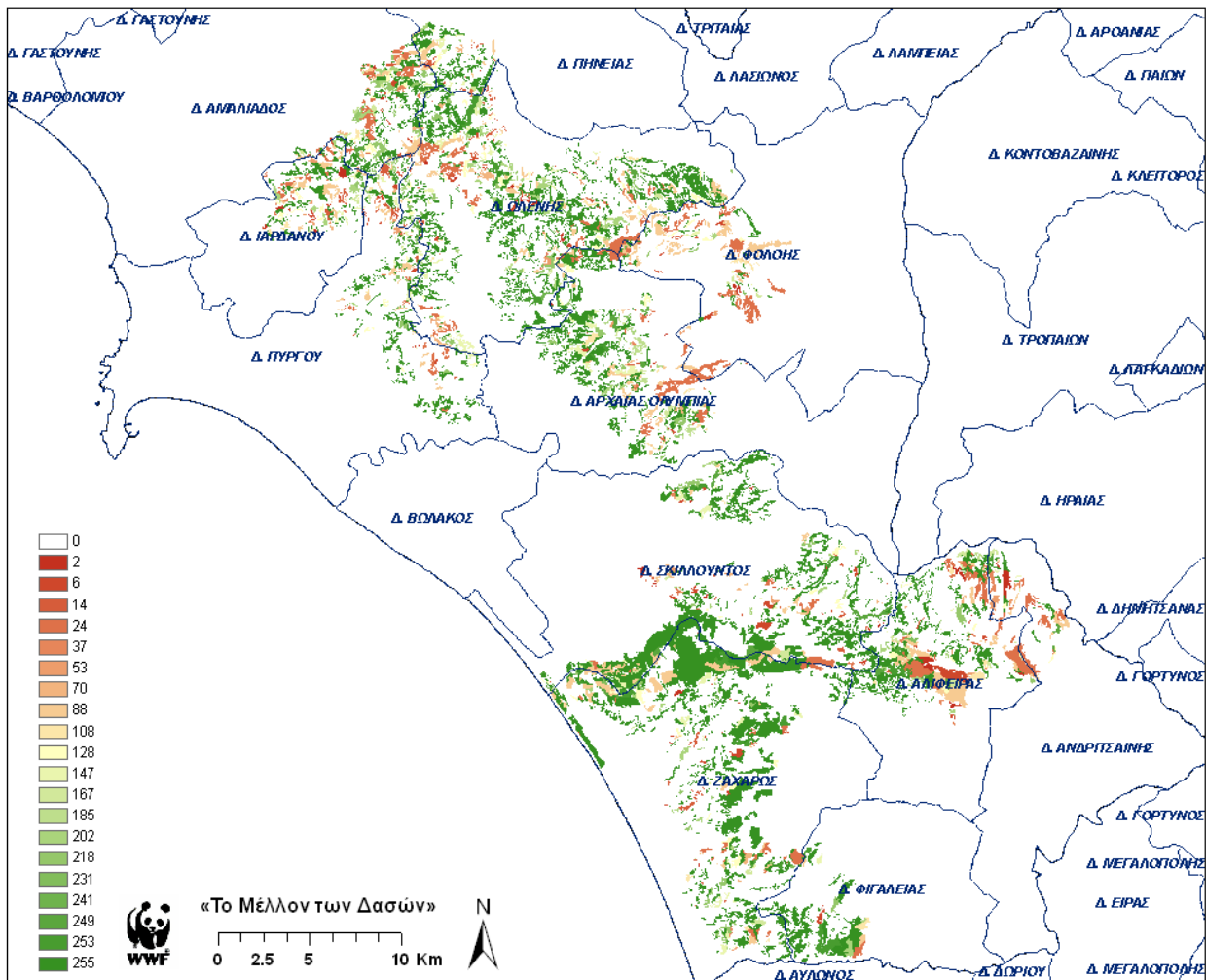
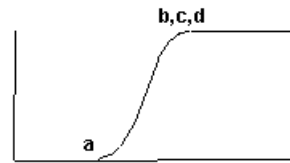
Χάρτης 2. Απεικόνιση των 23 κατηγοριών δομής της βλάστησης των καμένων πευκοδασών της Ηλείας το 2007.

Η συσχέτιση του παράγοντα της βλάστησης με τα 84 σημεία με βάση την μέση τιμή των πεύκων ανά m^2 , έδειξε μια πολύ καλή συσχέτιση ($r = 0.361$), ενώ όταν χρησιμοποιήθηκε το γεωστατιστικό μοντέλο της μέσης τιμής των πεύκων η συσχέτιση ανέβηκε πολύ σημαντικά ($r = 0.677$). Η παράμετρος μετατράπηκε σε παράγοντα Fuzzy σε ένα εύρος τιμών 0-255. Για το μετασχηματισμό μελετήθηκε η κατανομή των μετρήσεων των 84 σημείων σε σχέση με τις 23 κατηγορίες με τη βοήθεια Scatter διαγραμμάτων (Διάγραμμα 2). Τέσσερα δείγματα με ιδιαίτερα υψηλές τιμές πεύκων έχουν αφαιρεθεί από το διάγραμμα.



Διάγραμμα 2. Κατανομή τιμών μέσης τιμής πεύκων / m^2 σε σχέση με τις κατηγορίες της βλάστησης.

Σύμφωνα με την κατανομή αυτή, η καμπύλη μετασχηματισμού ορίστηκε ως η αυξητική σιγμοειδής καμπύλη, όπου το σημείο ελέγχου α ορίστηκε στην κατηγορία 1 και το σημείο β στην κατηγορία 21 (Χάρτης 3).

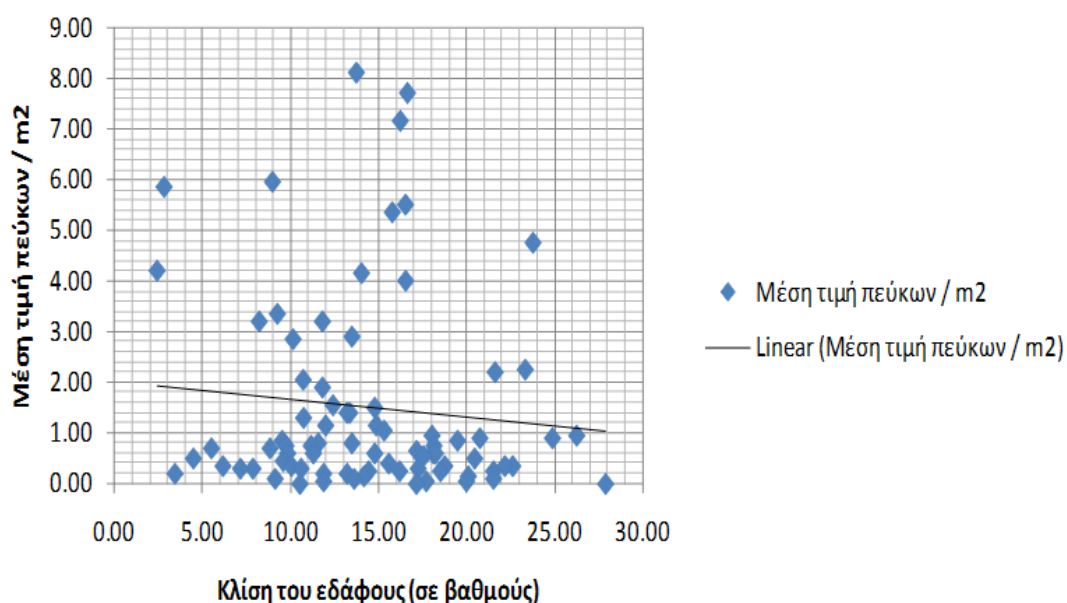


Χάρτης 3. Απεικόνιση των κατηγοριών δομής της βλάστησης των καμένων πευκοδασών της Ηλείας το 2007, μετά το μετασχηματισμό σε κλίμακα 0-255.

A2. Η κλίση του εδάφους

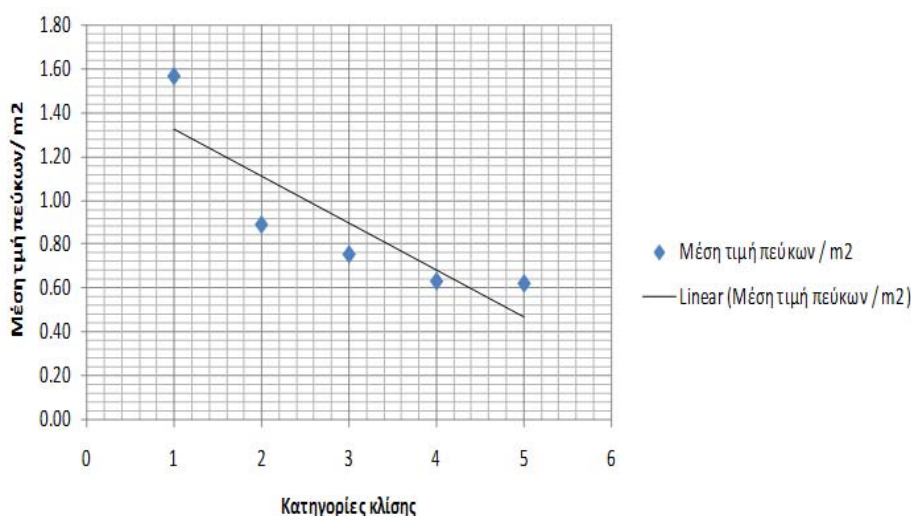
Ο δεύτερος παράγοντας ήταν η **κλίση του εδάφους**. Η κλίση του εδάφους είναι ένας σημαντικός παράγοντας που δείχνει να επηρεάζει θετικά ή αρνητικά την αναγέννηση της χαλεπίου. Σύμφωνα με τη Tsitsoni (1997) η αναγέννηση εμφανίζεται να είναι πολύ μικρότερη όταν η κλίση του εδάφους ξεπερνά το 50%. Αντιθέτως, όταν η κλίση κυμαίνεται μεταξύ 5% και 50% η αναγέννηση είναι εμφανώς μεγαλύτερη. Αυτό συμβαίνει λόγω της μεταφοράς και ακολούθως της συσσώρευσης σπερμάτων και εδάφους προς τις μισγάγγειες οι οποίες τοποθετούνται στα χαμηλότερα σημεία της πλαγιάς όπου και δημιουργούνται τα λεγόμενα «παταράκια». Επίσης υψηλές τιμές στην αναγέννηση της χαλεπίου σε μικρές και μεσαίες κλίσεις αποκαλύπτουν οι μελέτες των Kushla and Ripple (1997) και Kazanis *et al.* 2007 αντίστοιχα.

Η κλίση προσδιορίστηκε από ψηφιακό ανάγλυφο εδάφους χωρικής ακρίβειας εικονοστοιχείου 30 μέτρων. Η συσχέτιση των μετρήσεων της αναγέννησης με την κλίση του εδάφους ($r = -0.133$) στα 84 σημεία δεν ήταν μεγάλη. Αυτό πιθανώς να οφείλεται στην αδυναμία μετρήσεων σε εδάφη με απότομη και πολύ απότομη κλίση, καθώς οι παρατηρήσεις έγιναν σε περιοχές με κλίση μικρότερη από 30° (ή αλλιώς 58% κλίση) (Διάγραμμα 3). Παρόλα αυτά οι μεγαλύτερες τιμές αναγέννησης παρατηρήθηκαν σε μεσαίες κλίσεις (8-17 βαθμών), γεγονός που πιθανά οφείλεται και στο λοφώδες υπόβαθρο των περισσότερων πευκοδασών της Ηλείας.



Διάγραμμα 3. Συσχέτιση κλίσης και αριθμού αρτιβλάστων πεύκης / m² (Για καλύτερη επισκόπηση έχουν αφαιρεθεί 5 δείγματα με ακραίες τιμές πεύκων > από 10 πεύκα/m²).

Ταξινομώντας την κλίση της περιοχής σε πέντε κατηγορίες και συσχετίζοντας τις τιμές αυτές με τις τιμές προβλεπόμενης αναγέννησης του γεωστατιστικού μοντέλου παρατηρήθηκε μια έντονη αρνητική γραμμική σχέση (Διάγραμμα 4).



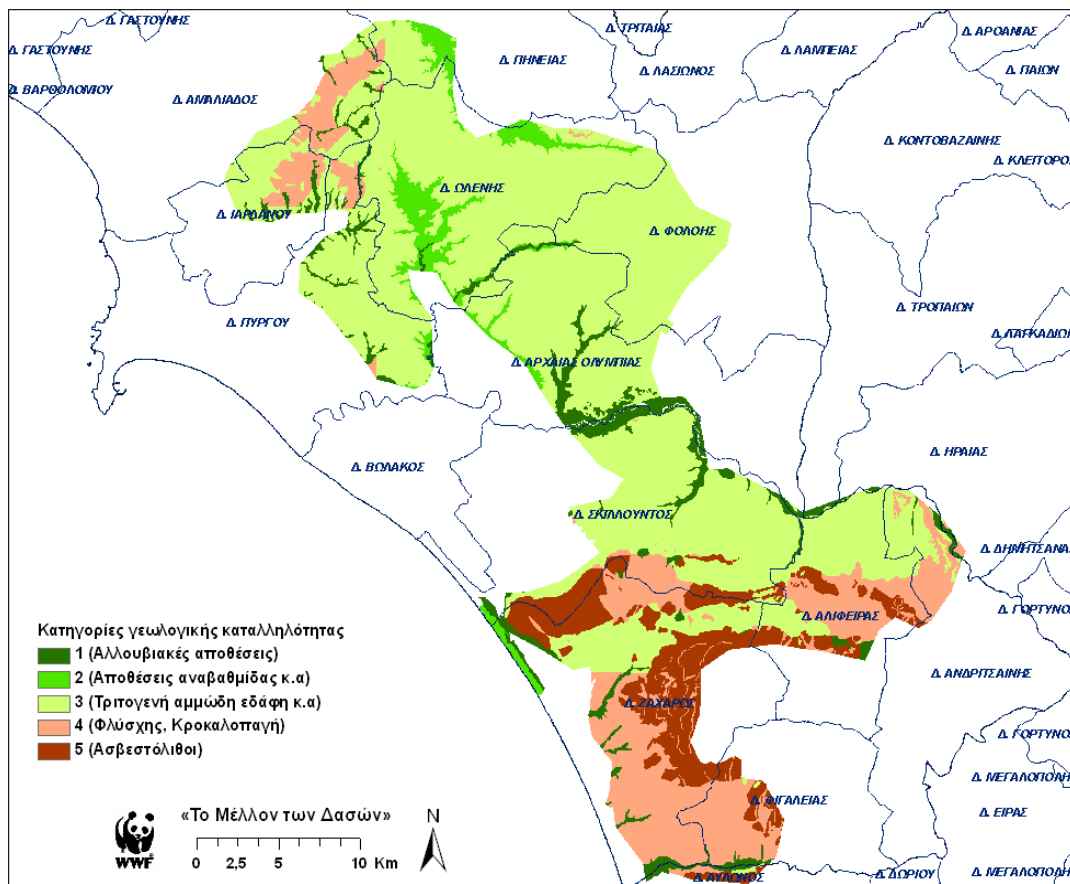
Διάγραμμα 4. Συσχέτιση κατηγοριών κλίσης και αριθμού αρτιβλάστων πεύκης / m² με βάση το γεωστατιστικό μοντέλο.

Με βάση όλα τα προηγούμενα η παράμετρος μετατράπηκε σε παράγοντα Fuzzy σε ένα εύρος τιμών 0-255 ακολουθώντας αρνητική γραμμική σχέση, όπου η μηδενική κλίση πήρε την τιμή 255 και οι 78 βαθμοί κλίσης την τιμή μηδέν.

A3. Το μητρικό πέτρωμα

Ο τρίτος παράγοντας ήταν το **μητρικό πέτρωμα**, όπως προσδιορίστηκε από το Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ). Τα πετρώματα μέσω του τύπου του εδάφους που παράγουν παίζουν σημαντικό ρόλο στην μεταφυρική αναγέννηση. Έχει βρεθεί πως ο διαφορετικός βαθμός συγκράτησης του νερού καθώς και η περιεκτικότητά τους σε πολύτιμα για την ανάπτυξη των φυτών συστατικά (όπως π.χ. N, K, P, Ca) ευνοεί ή όχι τη διαδικασία της αναγέννησης (Kazanis & Arianoutsou 2004; Pausas *et al.* 2004). Είναι γεγονός ότι τα πετρώματα εμφανίζουν μεγάλη ποικιλία ως προς τα δομικά χαρακτηριστικά τους και κατά συνέπεια ως προς τη δομή της βλάστησης που υποστηρίζουν. Για παράδειγμα, τα σχιστολιθικά πετρώματα φαίνεται να υποστηρίζουν χαμηλότερη αφθονία και ποικιλότητα ξυλωδών ειδών, ενώ υψηλότερη αφθονία πεύκης (Kazanis 2005).

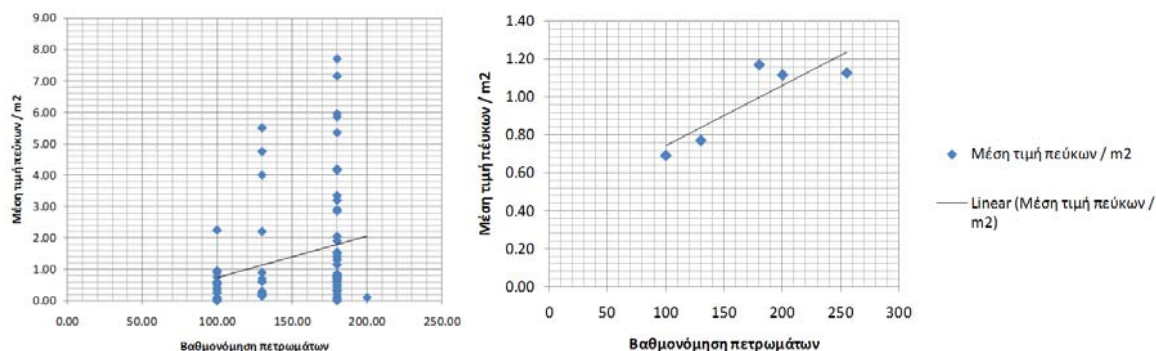
Στην παρούσα μελέτη, οι πολυάριθμες κατηγορίες πετρωμάτων που εμφανίζονται στην περιοχή ενοποιήθηκαν σε πέντε κύριες κατηγορίες με βάση την καταλληλότητα των εδαφών τους για την αναγέννηση της πεύκης. Λόγω της πολυπλοκότητας της συγκεκριμένης παραμέτρου η κατάταξη τους (από το πιο γόνιμο στο λιγότερο γόνιμο) έγινε από ειδικό εδαφολόγο (προσωπική επικοινωνία με Δ. Καλύβα). Βέβαια η σωστότερη επιστημονικά αξιολόγησή τους προϋποθέτει κυρίως τον συνυπολογισμό του βάθους του εδάφους και της διάβρωσης δεδομένου ότι οι πληροφορίες των χαρτών του ΙΓΜΕ δεν εξειδικεύουν θέματα για εδαφολογική και οικολογική χρήση.



Χάρτης 4. Απεικόνιση των κυριότερων εδαφών και της κατηγοριοποίησής τους από το πιο γόνιμο (1) στο λιγότερο γόνιμο (5), σε μια ευρύτερη περιοχή των καμένων εκτάσεων.

Η παράμετρος μετατράπηκε σε παράγοντα Fuzzy σε ένα εύρος τιμών 0-255, όπου τιμή 255 πήρε η κατηγορία των αλλουβιακών πετρωμάτων, τιμή 200 οι αποθέσεις αναβαθμίδας, τιμή 180 τα τριτογενή πλειοκαινικά αμμώδη εδάφη, τιμή 130 ο φλύσσης και τα περισσότερα κροκαλοπαγή και τιμή 100 ο ασβεστόλιθος (Χάρτης 4).

Η συσχέτιση του μετασχηματισμένου παράγοντα του μητρικού πετρώματος με τα 84 σημεία με βάση την μέση τιμή των πεύκων ανά m^2 , έδειξε μια πολύ καλή συσχέτιση ($r=0.286$), ενώ όταν χρησιμοποιήθηκε το γεωστατιστικό μοντέλο της μέσης τιμής των πεύκων η συσχέτιση ανέβηκε πολύ σημαντικά ($r = 0.7$) (Διάγραμμα 5).

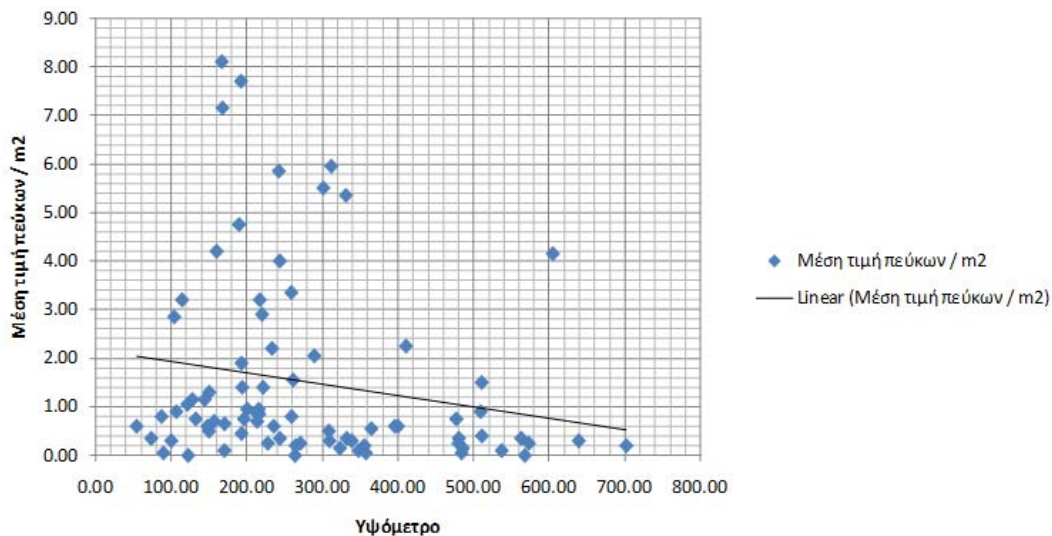


Διάγραμμα 5. Συσχέτιση των μετασχηματισμένων κατηγοριών μητρικού πετρώματος και αριθμού αρτιβλάστων πεύκης / m^2 με βάση (α) τα 84 σημεία (αριστερά) και (β) το γεωστατιστικό μοντέλο (δεξιά).

A4. Το υψόμετρο της περιοχής

Ο τέταρτος παράγοντας ήταν το **υψόμετρο** της περιοχής. Στη μεσογειακή λεκάνη το υψόμετρο σχετίζεται έντονα με την κατανομή της βλάστησης (Pigott and Pigott 1993). Έτσι, εξετάζοντας την περίπτωση της χαλεπίου γνωρίζουμε ότι η φυσική εξάπλωση του είδους στον Ελλαδικό χώρο τοποθετείται μεταξύ 0-800 μέτρων (Ευμεσογειακή ζώνη). Αυτό σημαίνει ότι άνω του ορίου των 800 μέτρων αναμένεται αρνητική συσχέτιση με τη Χαλέπιο. Επιπλέον το υψόμετρο μπορεί να θεωρηθεί καλός «δείκτης» κάποιων αβιοτικών παραμέτρων και συγκεκριμένα της υγρασίας (Broncano and Retana 2004) και της έντασης του ανέμου (Kushla and Ripple 1997) γεγονός που μας δίνει τη δυνατότητα να ερμηνεύσουμε τα αποτελέσματά που θα πάρουμε και ως προς αυτές τις κατευθύνσεις.

Η καλύτερη συσχέτιση αυτού του παράγοντα με την αναγέννηση βρέθηκε σε μια εξομάλυνση των τιμών του σε μια μέση τιμή κύκλου 100 μέτρων γύρω από το κάθε σημείο, οπότε χρησιμοποιήθηκε αυτή η τροποποιημένη παράμετρος στις επόμενες αναλύσεις. Μια σημαντική αρνητική σχέση βρέθηκε ανάμεσα στο υψόμετρο και την αναγέννηση ($r = -0.335$), με τα περισσότερα αρτίβλαστα στο εύρος τιμών 100 -340 μέτρα και με μια απότομη πτώση του ποσοστού αναγέννησης πριν τα 100 και μετά από τα 340 μέτρα (Διάγραμμα 6).



Διάγραμμα 6. Συσχέτιση υψομέτρου και μετρημένης αναγέννησης

Για το λόγο αυτό η βαθμονόμηση του παράγοντα υψομέτρου στην κλίμακα 0-255, ακολούθησε τη συμμετρική σιγμοειδή καμπύλη με μέγιστα σημεία ελέγχου της καμπύλης τα 100 και 340 μέτρα αντίστοιχα.

Ομάδα Β

Ο βαθμός επιτυχούς φύτευσης των σπερμάτων της χαλεπίου πέρα από τους βασικούς πρωτογενείς παράγοντες, επηρεάζονται από μια σειρά παραγόντων και συνθηκών που επιδρούν δευτερογενώς στην επιτυχία φύτευσης των σπερμάτων και επιβίωσης των παραγομένων αρτιβλάστων. Αυτοί οι παράγοντες επιδρούν είτε θετικά, βοηθώντας τα αρτίβλαστα στην φύτευση και επιβίωση τους, είτε αρνητικά ανταγωνιζόμενα με αυτά το ζωτικό χώρο της καμένης γης.

Σε αυτή την ομάδα περιλαμβάνονται μια σειρά από παράγοντες, όπως το ποσοστό κάλυψης από πουρνάρι και κουμαριά, από σχίνο, η κάλυψη από αγροστώδη, η κάλυψη από άλλα είδη φυτών, η κάλυψη από πέτρες, η κάλυψη από κλαριά κλπ. Στην μελέτη αυτή μια σειρά μεταβλητών επιλέχτηκαν αρχικά με βάση την υπάρχουσα βιβλιογραφία και μετρήθηκαν δειγματοληπτικά *in situ*. Στη συνέχεια η μετατροπή τους σε θεματικούς χάρτες για την εισαγωγή στα γεωγραφικά μοντέλα, έγινε με χωρική παρεμβολή (γεωστατιστική). Για λόγους όμως γενίκευσης της εξηγηματικής δύναμης των μοντέλων πρόβλεψης, χρησιμοποιήθηκαν μόνο όσες από αυτές τις μεταβλητές είχαν αφενός μια στατιστική σχέση με την καταγραφείσα αναγέννηση και αφετέρου έδειχναν ένα ξεκάθαρο μοτίβο συσχέτισης με την αναγέννηση. Οι επιλεγμένες μεταβλητές περιγράφονται αναλυτικά παρακάτω.



Φώτο 3: Φυσική αναγέννηση στο καμένο δάσος του Καϊάφα (18/03/2010)

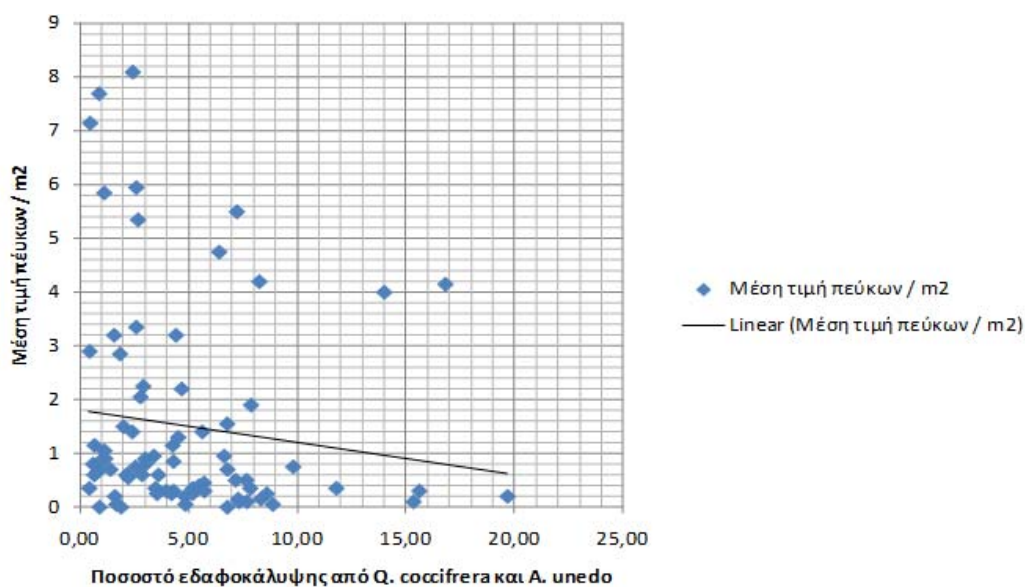
B1. Κάλυψη από Πουρνάρι και Κουμαριά

Τα φυτικά είδη που απαντώνται στην ευμεσογειακή ζώνη (*Quercetalia ilicis*) (Tsitsoni 1999) έχουν αναπτύξει στην πάροδο του χρόνου εντυπωσιακούς μηχανισμούς αναγέννησης. Αυτό συμβαίνει είτε με την φύτευση σπερμάτων είτε με αναβλαστήματα (πρέμνο-, κλάδο- ή και ριζοβλαστήματα). Στην δεύτερη κατηγορία ανήκουν κυρίως θάμνοι, που βρίσκονται σε αφθονία στα χαμηλά υψόμετρα της μεσογειακής λεκάνης και είναι εκεί που παρατηρούνται και οι περισσότερες πυρκαγιές. Τα σημαντικότερα είδη αυτής της κατηγορίας που παρατηρούνται στη συγκεκριμένη περιοχή μελέτης είναι το πουρνάρι *Quercus coccifera* και η κουμαριά *Arbutus unedo*.

Γενικά μπορεί να ειπωθεί, λόγω της ιδιότητας της αναβλάστησης, ότι το ενδιαίτημα που παρουσιάζει αφθονία στα δύο αυτά είδη ανθίσταται στην αλλαγή της χλωριδικής του σύνθεσης, (Kontantinidis *et al.* 2005; Trabaud 1984 1991). Οι Kazanis *et al.* (2004) βρήκαν ότι περιοχές όπου το *Q.coccifera* αφθονούσε, παρουσίασαν μακροπρόθεσμα μικρότερη αναγέννηση Χαλεπίου συγκριτικά με άλλες όπου το *Q. coccifera* δεν ήταν το κυρίαρχο είδος. Γενικά, περιοχές όπου ο υπόροφος αποτελείται από ξυλώδη είδη που αναβλαστάνουν, αναμένεται να εμφανίσει μειωμένη αναγέννηση χαλεπίου, λόγω της ανταγωνιστικότητας για φως και αυξητικό χώρο (Kazanis *et al.* 2007). Επιπλέον, το *Q.coccifera* παρουσιάζει έντονη αναβλάστηση ακόμα και από τις πρώτες μέρες μετά την

πυρκαγιά (Pausas *et al.* 2008), γεγονός που του επιτρέπει να δεσμεύσει τα θρεπτικά συστατικά του έδαφος, εις βάρος των αρτιβλάστων πεύκης που θα εμφανιστούν μεταγενέστερα.

Ο παράγοντας δημιουργήθηκε με βάση τη χωρική παρεμβολή των μετρήσεων από τα 84 δειγματοληπτικά σημεία και μετασχηματίστηκε σε $\log_{10}+1$, με σκοπό να δώσει καλύτερα «γεωστατιστικά» αποτελέσματα. Βρέθηκε να έχει μια πολύ σημαντική αρνητική συσχέτιση με τον αριθμό των αρτιβλάστων πεύκης στα 84 σημεία ($r = -0.377$). Οι μεγαλύτερες πυκνότητες αρτιβλάστων καταγράφηκαν σε περιοχές με πολύ μικρή κάλυψη (<5%) από τα παραπάνω είδη (Πουρνάρι και Κουμαριά), ενώ ουσιαστικά σε δειγματοληπτικές περιοχές με κάλυψη μεγαλύτερη από 10% τα καταγεγραμμένα άτομα πεύκης ήταν πολύ λίγα (Διάγραμμα 7).

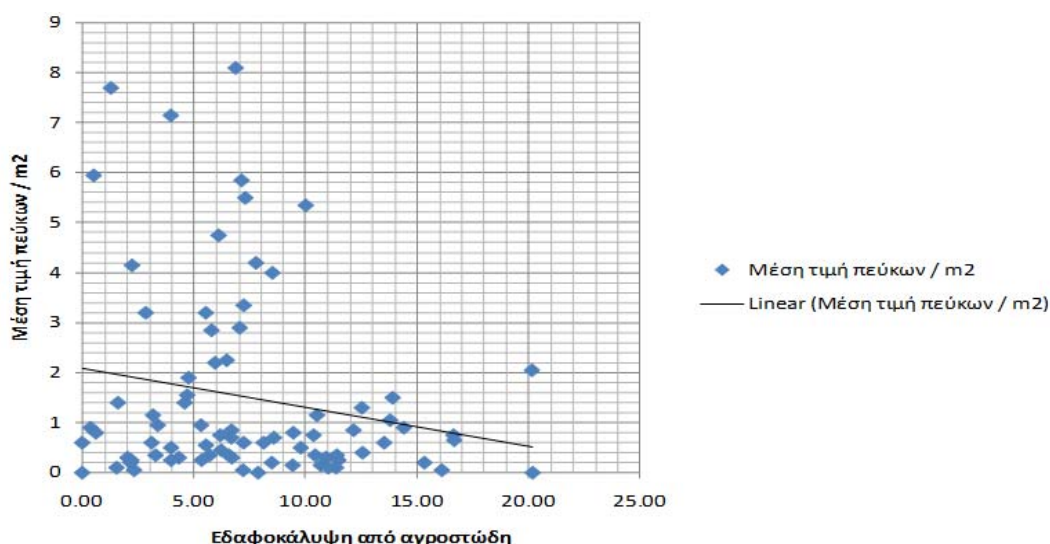


Διάγραμμα 7. Συσχέτιση του αριθμού των αρτιβλάστων στα 84 σημεία σε σχέση με την εδαφικάλυψη από Πουρνάρι (*Q. coccifera*) και Κουμαριά (*A. unedo*) (έχουν αφαιρεθεί πέντε δείγματα με ακραίες τιμές πεύκων).

Με βάση το παραπάνω διάγραμμα 7, ο παράγοντας αυτός μετασχηματίστηκε σε κλίμακα 0-255 με βάση την γραμμική αρνητική καμπύλη, με σημεία ελέγχου το 0% (ως καταλληλότερη περιοχή) και 20% (ως η χειρότερη περιοχή για αναγέννηση πεύκης).

B2. Κάλυψη από αγροστώδη

Ο παράγοντας αυτός δημιουργήθηκε με βάση χωρική παρεμβολή των μετρήσεων από τα 84 δειγματοληπτικά σημεία και μετασχηματίστηκε σε log10. Εμφάνισε μια αρνητική συσχέτιση ($r = -0.180$) με την εμφανιζόμενη αναγέννηση, αλλά η σχέση αυτή δεν ήταν σημαντική. Η σημαντικότερη επίδραση στην αναγέννηση εμφανιζόταν όταν η εδαφοκάλυψη από αγροστώδη ανέβαινε σε ποσοστό περισσότερο από 10% (Διάγραμμα 8).



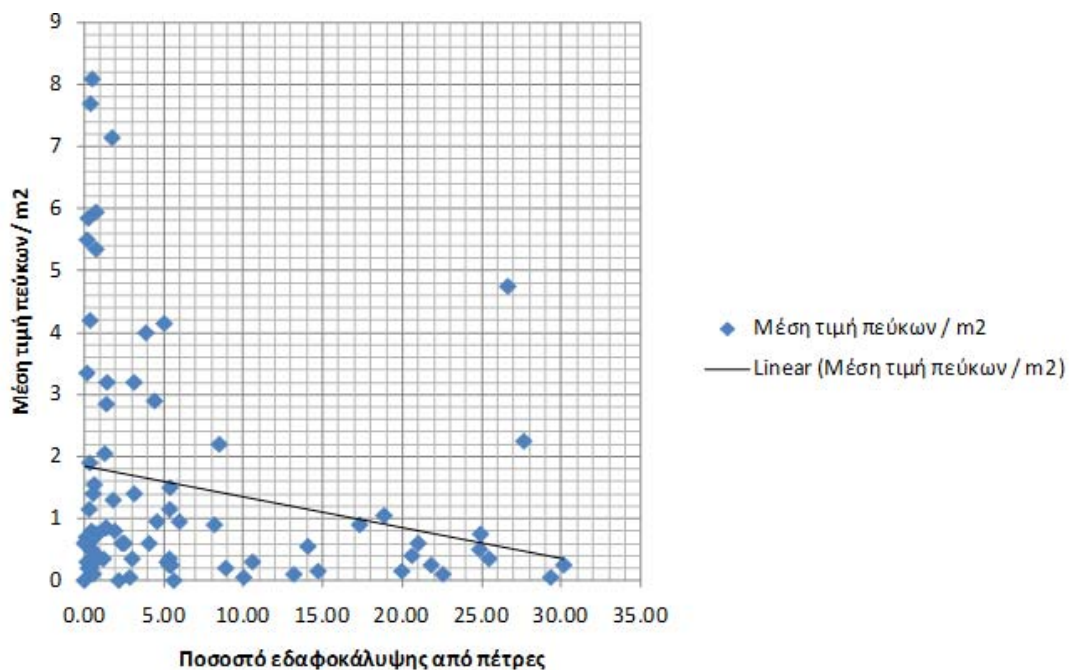
Διάγραμμα 8. Συσχέτιση του αριθμού των αρτιβλάστων στα 84 σημεία σε σχέση με την εδαφοκάλυψη από αγροστώδη (έχουν αφαιρεθεί πέντε δείγματα με ακραίες τιμές πεύκων).

Με βάση το διάγραμμα 8, ο παράγοντας αυτός μετασχηματίστηκε σε κλίμακα 0-255 ακολουθώντας την αρνητική σιγμοειδή καμπύλη, όπου το πρώτο σημείο ελέγχου ορίστηκε στο 10% (περιοχές με μέγιστη καταλληλότητα) και μετά από αυτό το σημείο, η καταλληλότητα μειωνόταν μέχρι το 20% όπου και μηδενιζόταν.

B3. Κάλυψη από πέτρες

Αν και δεν βρέθηκε εκτενής βιβλιογραφική αναφορά σχετικά με την επίδραση που μπορεί να έχει η παρουσία πετρών και βράχων στο κομμάτι της αναγέννησης, οι Prévosto & Ripert 2008 και Jiménez *et al.* 2006 φαίνεται να κρίνουν θετικά την παρουσίας τους. Οι δύο αυτές μελέτες τονίζουν την ευνοϊκή παρουσία των πετρών/βράχων στις καμένες περιοχές, αφού με τη δημιουργία μικροενδιατημάτων και μικροκλιμάτων ευνοούν σε κάποιο βαθμό την ανάπτυξη των νεαρών ατόμων πεύκης.

Ωστόσο, η παρουσία πετρών και βράχων μπορεί να δράσει αρνητικά στα πρώτα στάδια της αναγέννησης, δεδομένου ότι οι θέσεις που απαντούν αφαιρούνται από τις διαθέσιμες θέσεις για φύτευση σπερμάτων και εγκατάσταση των αρτιβλάστων. Στη δική μας μελέτη, ο παράγοντας αυτός δημιουργήθηκε με βάση χωρική παρεμβολή των μετρήσεων από τα 84 δειγματοληπτικά σημεία και μετασχηματίστηκε σε log10. Εμφάνισε μια σημαντική αρνητική συσχέτιση ($r = -0.311$) με την εμφανιζόμενη αναγέννηση. Μειωμένη παρουσία αρτιβλάστων παρουσιάστηκε σε θέσεις με εδαφοκάλυψη από πέτρες σε ποσοστό μεγαλύτερο του 5% (Διάγραμμα 9).



Διάγραμμα 9. Συσχέτιση του αριθμού των αρτιβλάστων στα 84 σημεία σε σχέση με την εδαφοκάλυψη από πέτρες (έχουν αφαιρεθεί πέντε δείγματα με ακραίες τιμές πεύκων).

Με βάση το διάγραμμα 9, ο παράγοντας αυτός μετασχηματίστηκε σε κλίμακα 0-255 με βάση την αρνητική γραμμική καμπύλη, όπου το πρώτο σημείο ελέγχου ορίστηκε στο 5% (0-5% περιοχές με μέγιστη καταλληλότητα) και μετά από αυτό το σημείο η καταλληλότητα μειωνόταν μέχρι το 30% όπου και μηδενιζόταν.

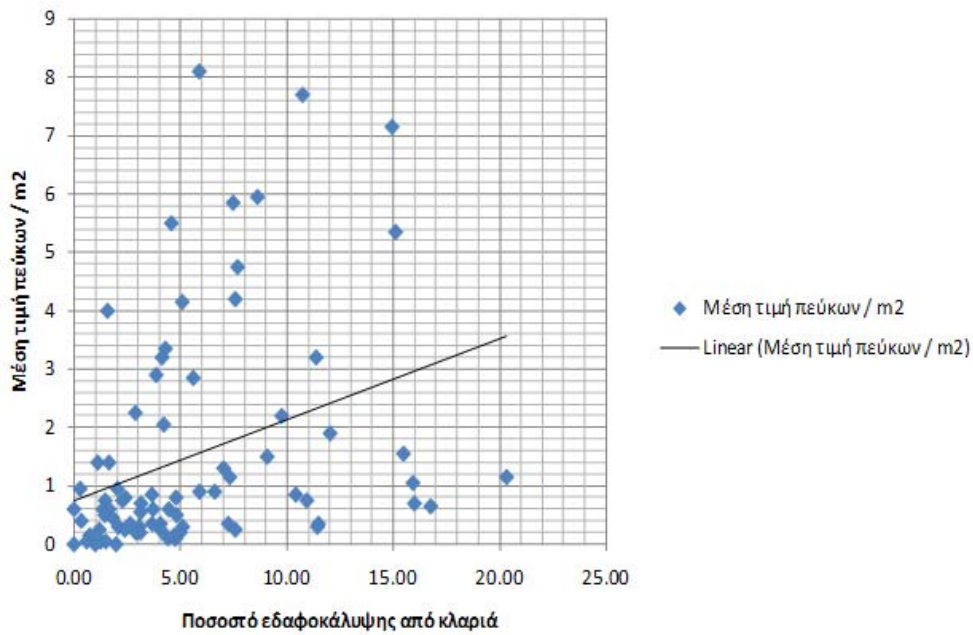
B4. Κάλυψη από κλαριά

Σχετικά με τον παράγοντα «κλαριά» και το κατά πόσο πρέπει ή δεν πρέπει η νεκρή ξυλώδης βιομάζα να απομακρύνεται μετά από μια πυρκαγιά υπάρχει μια σοβαρή διχογνωμία στηριζόμενη σε μια σειρά μελετών.

Από την μία επικρατεί η πολιτική της ξύλευσης και απομάκρυνση της οργανικής ύλης, ενέργειες που συνεισφέρουν στη: (1) μείωση της καύσιμης ύλης, (2) πιθανή μείωση παρασιτικών πληθυσμών εντόμων, (3) αύξηση της ικανότητας διήθησης του νερού και (4) άμεση έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία, (5) μηχανικές επεμβάσεις όπως αναμόχλευση του εδάφους (Prévost & Ripert 2008) παράγοντες που ευνοούν την ανάπτυξη των αρτιβλάστων πεύκης (Néeman *et al.* 1995; Martínez-Sánchez *et al.* 1999; Cabezas & Masia 2004). Από την άλλη μεριά επικρατεί η άποψη της μη παρέμβασης και αποφυγή μετακίνησης των κορμών-κλαδιών (Pausas *et al.* 2004; Saracino & Leone 1993), διότι έτσι αυξάνεται η πιθανότητα διάβρωσης, απομακρύνεται η οργανική ύλη, πιθανότατα καταστρέφονται τα αρτίβλαστα καθώς και πλήθος λοιπών μικροενδιαιτημάτων και μικροκλιματικών συνθηκών τα οποία στηρίζουν ένα σημαντικό κομμάτι της βιοποικιλότητας. Παράλληλα, η σταδιακή αποσύνθεση των ενοπομείναντων κλαδιών/κορμών εμπλουτίζει το έδαφος με στοιχεία που ευνοούν την ανάπτυξη των αρτιβλάστων (κυρίως N), ενώ παράλληλα παρέχουν μερική σκίαση «γλιτώνοντας» έτσι τα ευαίσθητα αρτίβλαστα από πιθανό μαρασμό στα έντονα θερμά μεσογειακά περιβάλλοντα (Nahal 1962; Gindel 1964).

Ίσως ο συγκερασμός των ως άνω, εκ διαμέτρου αντίθετων θέσεων, δηλαδή η μερική απομάκρυνση κορμών που θα βοηθήσει και στην οικονομική ευημερία της κοινωνίας, όταν εφαρμοστεί με παραδοσιακές μεθόδους (χρήση ζώων) και πάντα σε θέσεις με άφθονη αναγέννηση (Martinez-Sanchez *et al.* 1999; Spanos *et al.* 2005), δύναται να λειτουργήσει ως ένα μεταπυρικό μέτρο διαχείρισης. Σύμφωνα τέλος με τους Spanos *et al.* (2007), αν οι υλοτομίες λάβουν χώρα στο πρώτο διάστημα μετά την πυρκαγιά, κάτι τέτοιο δε φαίνεται να επηρεάζει την τελική αναγέννηση.

Στην δική μας περιοχή μελέτης, ο παράγοντας των πεσμένων κλαριών στο έδαφος δημιουργήθηκε με βάση τη χωρική παρεμβολή των μετρήσεων από τα 84 δειγματοληπτικά σημεία, μετασχηματίστηκε σε log₁₀ και εμφάνισε μια σημαντική θετική συσχέτιση ($r=0.446$) με την εμφανιζόμενη αναγέννηση. Τα περισσότερα δείγματα με μικρό αριθμό πεύκων είχαν εδαφοκάλυψη από κλαριά μικρότερη από 5%, ενώ μεγάλοι αριθμοί αρτιβλάστων εντοπίστηκαν σε δείγματα με εδαφοκάλυψη κλαριών από 10-15% (Διάγραμμα 10).



Διάγραμμα 10. Συσχέτιση του αριθμού των αρτιβλάστων στα 84 σημεία σε σχέση με την εδαφocάλυψη από κλαριά (έχουν αφαιρεθεί πέντε δείγματα με ακραίες τιμές πεύκων).

Με βάση το διάγραμμα 10, ο παράγοντας αυτός μετασχηματίστηκε σε κλίμακα 0-255 με βάση την γραμμική συμμετρική καμπύλη, όπου το πρώτο σημείο ανόδου ορίστηκε από το 0% στο 5%, από το 5% έως το 15% η καμπύλη καταλάμβανε την ανώτερη κλάση καταλληλότητας και από το 15% έως το 21% η καταλληλότητα μειωνόταν.



Φώτο 4: Αναγέννηση πεύκης σε θέση με μεγάλη παρουσία νεκρής ξυλώδους βιομάζας (κορμοί – κλαριά) από την περιοχή του Καϊάφα, στις 18/03/2010.

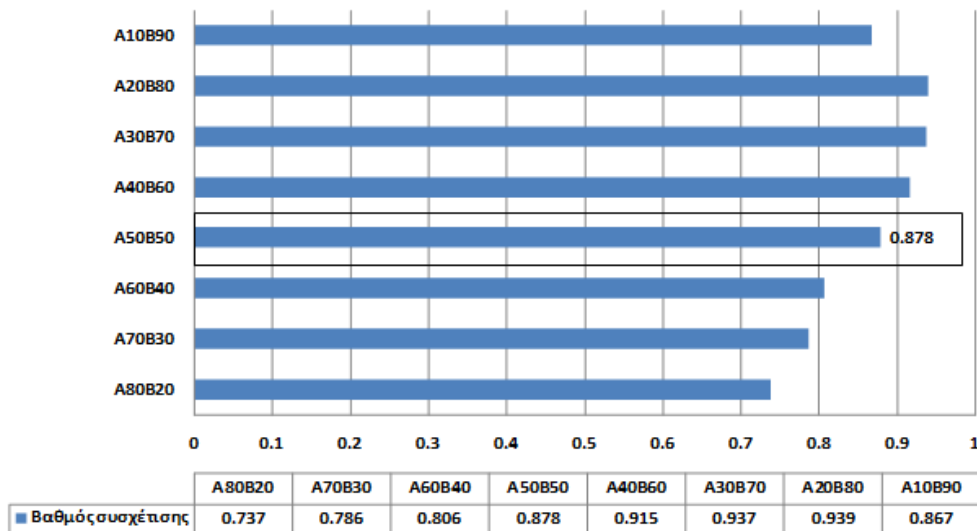
4.3.3. Διαμόρφωση του πολυκριτηριακού μοντέλου

Η διαμόρφωση του τελικού πολυκριτηριακού μοντέλου έγινε σε δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο, πραγματοποιήθηκε σύνδεση των οκτώ περιβαλλοντικών παραμέτρων με ειδική βαθμονόμηση (αρχικό πολυκριτηριακό μοντέλο) και σε δεύτερο στάδιο αυτό συνδυάστηκε με το τελικό γεωστατιστικό μοντέλο πρόβλεψης της αναγέννησης για να δημιουργηθεί το τελικό μοντέλο.

Αρχικά, για κάθε ομάδα παραγόντων (A και B) δημιουργήθηκε ένας ανεξάρτητος συνθετικός χάρτης χρησιμοποιώντας τις παραμέτρους κάθε ομάδας. Για να παραχθεί ο συνδυαστικός χάρτης πρέπει κάθε παράγοντας – μεταβλητή να πάρει έναν ειδικό συντελεστή βάρους, που καταδεικνύει τη σχετική συνεισφορά του στο τελικό αποτέλεσμα. Ο συντελεστής αυτός προσδιορίστηκε με συνδυασμό υφιστάμενης γνώσης και στατιστικής συσχέτισης των μεταβλητών με την καταγραφείσα αναγέννηση. Το σύνολο όλων των συντελεστών από τις μεταβλητές θα πρέπει να ισούται με το 1 (ή το 100%).

Τα δύο αρχεία A και B, στη συνέχεια συνδυάστηκαν μεταξύ τους με βάση τα σχετικά βάρη ανάμεσα στις δύο ομάδες. Με σκοπό την αναγνώριση της σχετικής βαρύτητας της ομάδας A ως προς την ομάδα B, μελετήθηκαν όλοι οι δυνατοί συνδυασμοί ανάμεσα στην A και στη B και διαπιστώθηκε μια σχετική σταθερότητα στον υψηλό βαθμό συσχέτισης του συνδυαστικού μοντέλου και της καταγραφείσας αναγέννησης. Μεταβάλλοντας τη σχετική συμμετοχή της κάθε ομάδας στο τελικό αποτέλεσμα, οι τιμές συσχέτισης κυμάνθηκαν ανάμεσα στο $r=0.737$ για $A = 80\%$ και $B = 20\%$, φθάνοντας στην κορυφαία τιμή $r=0.939$ στο $A = 20\%$ και $B = 80\%$.

Λόγω της μικρής διαφοροποίησης των τιμών αυτών και επειδή λείπουν επιστημονικά δεδομένα για τη σχετική σημασία της κάθε ομάδας στην περιοχή μελέτης, αποφασίστηκε η χρησιμοποίηση ισοβαρών συντελεστών ανάμεσα στις δύο ομάδες ($A=50\%$ και $B=50\%$), καθώς συνδύαζε αφενός μια από τις τέσσερις μεγαλύτερες μετρήσεις ($r=0.878$) όσο και το μικρότερο βαθμό υποκειμενικότητας (Διάγραμμα 11).



Διάγραμμα 11. Βαθμός συσχέτισης ανάμεσα σε διαφορετικά συνδυαστικά μοντέλα με διαφορετική αναλογία σχετικής βαρύτητας ανάμεσα στην ομάδα A και στην ομάδα B και στην καταγραφείσα αναγέννηση στα 84 σημεία.

Στη συνέχεια, στο δεύτερο στάδιο το επιλεγμένο μοντέλο «**A50B50**» συνδυάστηκε με το γεωστατιστικό μοντέλο χωρικής παρεμβολής της καταγραφείσας αναγέννησης με τη βοήθεια Μπεϋζιανής στατιστικής μέσα από το περιβάλλον του GIS (Osborne *et al.* 2001) χρησιμοποιώντας την παρακάτω μαθηματική φόρμουλα (Pereira & Itami 1991):

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

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 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. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη βελτίωση των αποτελεσμάτων της ταξινόμησης και τη μείωση της μεροληψίας, όταν το δείγμα δεν είναι πλήρως αντιπροσωπευτικό του πληθυσμού που θέλουμε να χαρακτηρίσουμε (McIver & Friedl 2002).

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.

5. Αποτελέσματα

5.1. Αποτελέσματα Έρευνας πεδίου

Συνολικά καταγράψαμε 19.634 νεαρά άτομα Χαλεπίου κατά τη διάρκεια της δειγματοληπτικής μας προσπάθειας. Ο ακριβής αριθμός των ατόμων ανά περιοχή μελέτης δίνεται στο Παράρτημα 2.

Ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι πέντε τοποθεσίες (Κωδ. 123,47,124,43,48) στις οποίες καταγράφηκαν πάνω από 1.000 άτομα χαλεπίου. Σε όλες αυτές τις θέσεις, το κυρίαρχο πέτρωμα αντιστοιχεί σε τριτογενείς αποθέσεις, το υψόμετρο δεν ξεπερνά τα 280μ. ενώ η παρουσία αγροστώδων, ψυχανθών και ασφοδέλου στις περισσότερες περιπτώσεις ήταν μηδενική.

Αντιθέτως, ο μικρότερος αριθμός νεαρών ατόμων πεύκης εντοπίζεται σε έξι τοποθεσίες (Κωδ. 61, 30, 25, 34, 118, 66) στις οποίες δεν καταγράφηκαν πάνω από 7 άτομα. Στις περιοχές αυτές καταγράφηκε μεγάλη κάλυψη του εδάφους με αγροστώδη, ψυχανθή και της λοιπής βλάστησης, ενώ πολύ μικρή ήταν η κάλυψη από κλαδιά και κορμούς και μηδενική σχεδόν η παρουσία ώριμης σποροπαραγωγικής συστάδας. Το πέτρωμα στις θέσεις αυτές αντιστοιχεί κυρίως σε ασβεστόλιθο.

5.1.1 Κατάταξη των περιβαλλοντικών παραμέτρων

Σκοπός της πολυκριτηριακής ανάλυσης (RDA), όπως προαναφέρθηκε, ήταν η ανάδειξη των περιβαλλοντικών παραγόντων που επηρεάζουν την αφθονία των νεαρών ατόμων πεύκης. Τα αποτελέσματα της εν λόγω ανάλυσης χρησιμοποιήθηκαν ώστε να πάρουμε μια πρώτη εικόνα του οικοσυστήματος που επρόκειτο να μελετήσουμε και σίγουρα δεν καθόρισαν την πορεία της σύστασης του βασικού μας μοντέλου.

Ο δείκτης Lambda 1 στον Πίνακα 3 καθορίζει τη σειρά των παραμέτρων ανάλογα με την ικανότητά τους να εξηγούν τη μεταβολή των δεδομένων αφθονίας των αρτιβλάστων πεύκης –ανεξάρτητα από τη μεταξύ τους αλληλεπίδραση. Στη διπλανή στήλη του πίνακα, η κατάταξη γίνεται με βάση το βαθμό σημαντικότητας (στατιστικά σημαντικές μεταβλητές για, $p < 0,05$), επιλέγοντας μόνο τις παραμέτρους που είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους. Έτσι λοιπόν, από το σύνολο των 12 περιβαλλοντικών μεταβλητών που πήραν μέρος στην ανάλυση, καταλήγουμε στις εξής επτά παραμέτρους: *το υψόμετρο, τα άτομα ασφοδέλου, την παρουσία πεσμένων κλαδιών και πετρών, την κάλυψη του εδάφους με ψυχανθή, αγροστώδη και τη γενικότερη βλάστηση* (Πίνακας 3).

Πίνακας 3. Κατάταξη περιβαλλοντικών μεταβλητών με βάση τους δείκτες Lambda1 και P

Περιβαλλοντική μεταβλητή	Lambda1	Περιβαλλοντική μεταβλητή	P
Υψόμετρο	0.05	Υψόμετρο	0.002
Ασφόδελος	0.03	Πέτρες	0.020
Κλαδιά	0.03	Βλάστηση	0.002
Πέτρες	0.03	Ψυχανθή	0.014
Ψυχανθή	0.02	Κλαδιά	0.020
Αγροστώδη	0.04	Αγροστώδη	0.002
Βλάστηση	0.03	Ασφόδελος	0.004
Συγκόμωση	0.02	Συγκόμωση	0.062
Κλίση	0.02	Κλίση	0.064
Άκαυτες νησίδες	0.02	Άκαυτες νησίδες	0.198
% Ώριμων δένδρων	0.01	Ηλικία	0.384
Ηλικία	0.01	% Ώριμων δένδρων	0.366

5.1.2 Ερμηνεία των αξόνων

Στον Πίνακα 4, δίνεται αναλυτικά το ποσοστό συμμετοχής των τεσσάρων (4) αξόνων που σε συνδυασμό των δύο κάθε φορά (ο 1^{ος} με το 2^ο, ο 2^{ος} με το 3^ο, ο 3^{ος} με τον 4^ο), παράγεται το παρακάτω Διάγραμμα 12. Για το Διάγραμμα 12, έγινε χρήση του 1^{ου} και 2^{ου} άξονα.

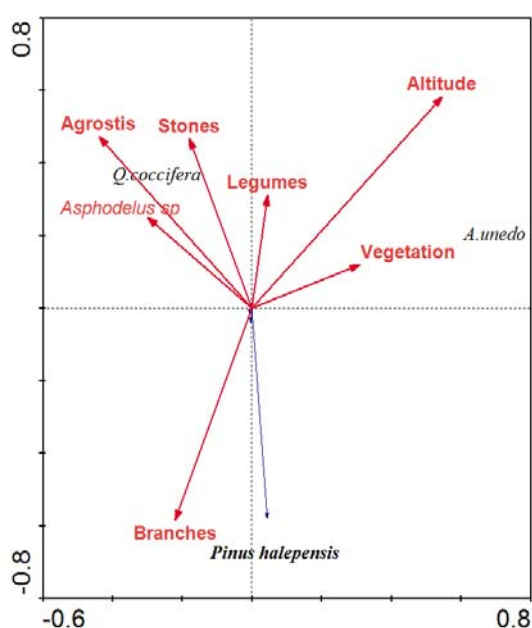
Πίνακας 4. Ερμηνεία των αξόνων 1 και 2 που χρησιμοποιούνται στο Σχήμα 2.

Άξονες	1	2	3	4
Eigenvalues/ Ιδιοτιμές	0.101	0.061	0.036	0.030

Η ιδιοτιμή (eigenvalue) του κάθε άξονα καθορίζει το ποσοστό διακύμανσης των δεδομένων αφθονίας των ειδών (εδώ των αρτιβλάστων χαλεπίου) που ερμηνεύεται από τον άξονα αυτό. Οι 2 πρώτοι άξονες που χρησιμοποιήθηκαν για την παραγωγή του Διαγράμματος 12 εξηγούν το 10,1% (άξονας 1) και 6,1% (άξονας 2), συνολικά το 16,2% της μεταβλητότητας των δεδομένων των ειδών. Οι άξονες είναι γραμμικές συσχετίσεις των περιβαλλοντικών παραμέτρων.

5.1.3 Διάγραμμα ειδών και στατιστικά σημαντικών περιβαλλοντικών παραμέτρων

Στο Διάγραμμα 12 που προκύπτει από την ανάλυση (CanoDrawn), απεικονίζεται ο βαθμός εξάρτησης της *Pinus halepensis* (είδος με έντονη γραφή) από την αντίστοιχη περιβαλλοντική παράμετρο, κόκκινα βέλη (ανάλογα με το μέγεθος και την φορά των βέλων μπορούμε να καταλάβουμε το μέγεθος και τον τρόπο επιρροής του κάθε παράγοντα ως προς την αναγέννηση, δηλαδή την αφθονία των αρτιβλάστων). Όσο αυξάνεται το μήκος της γραμμής, τόσο αυξάνεται ο βαθμός ερμηνείας της διακύμανσης της αφθονίας των αρτιβλάστων από τη συγκεκριμένη μεταβλητή. Όταν μια παράμετρος (βέλος) έχει την ίδια φορά με το *P.halepensis*, τότε η μεταβλητή επηρεάζει θετικά την αναγέννηση.



Διάγραμμα 12. Κατανομή της *Pinus halepensis* στο χώρο με βάση την εξάρτησή της από τις οχτώ στατιστικά σημαντικές περιβαλλοντικές παραμέτρους ($\alpha < 0,05$).

Παρατηρούμε ότι, η παρουσία πεσμένων κλαδιών επηρεάζει θετικά (0.5050) την αναγέννηση της χαλεπίου. Αυτό σημαίνει ότι όσο αυξάνει αυτός ο παράγοντας τόσο αυξάνεται και ο αριθμός ατόμων χαλεπίου. Αντίθετα, αρνητική εμφανίζεται να είναι η σχέση τους με όλους τους υπόλοιπους παράγοντες όπως υψόμετρο (-0.4048), αγροστώδη (-0.5059), ψυχανθή (-0.4138), ασφόδελο (-0.1545), πέτρες (-0.3741) και τη γενικότερη βλάστηση (-0.2252).

5.2. Αποτελέσματα (ανάλυση) γεωστατιστικού μοντέλου

Το θεωρητικό μοντέλο που προσαρμόστηκε στο πειραματικό ημιβαριόγραμμα της μεταβλητής που εκφράζει το σύνολο των πεύκων ήταν το εκθετικό, ενώ η ίδια μορφή μοντέλου προσαρμόστηκε και για τη μέση τιμή των πεύκων. Τα χαρακτηριστικά των μοντέλων φαίνονται στον Πίνακα 5.

Πίνακας 5. Χαρακτηριστικά ημιβαριογραμμάτων.

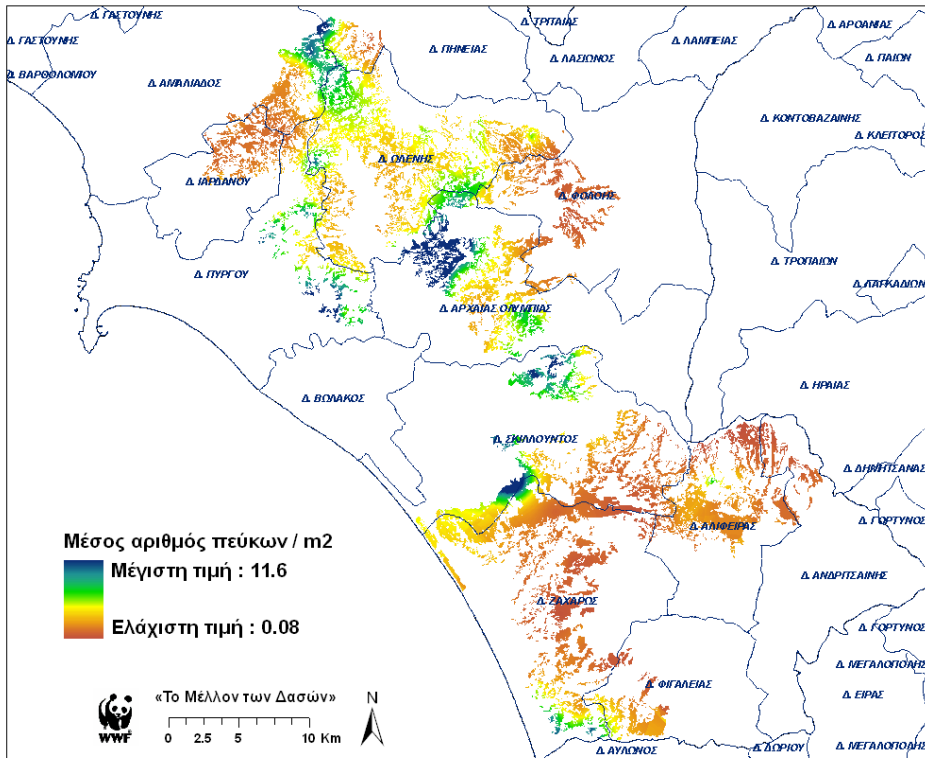
Μεταβλητή	Μοντέλο	Διακύμανση επί την αρχή (nugget)	Εύρος (range)	Lag size	Όριο (sill)
Σύνολο πεύκων	exponential	0.17594	9000	800	0.39323
Μέση τιμή πεύκων	exponential	0.14339	9000	1000	0.3937

Τα παραγόμενα μοντέλα χωρικής παρεμβολής (geostatistic) προσδιόρισαν με απόλυτη ακρίβεια την κατανομή των τιμών της αναγέννησης στην μελετώμενη περιοχή (Χάρτης 5). Αυτό φάνηκε από τις τιμές των στατιστικών μεγεθών εκτίμησης των αποτελεσμάτων της Kriging παρεμβολής. Το μέσο σφάλμα ήταν για την πρόβλεψη του σύνολο των πεύκων ME= 0.003219 και για τη μέση τιμή των πεύκων ME=0.006467, τιμές πολύ κοντά στο μηδέν που δείχνουν πολύ καλή πρόβλεψη. Το μέσο τυπικό σφάλμα (ASE) ήταν παρόμοιο με την τετραγωνική ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (RMSE) που μας δείχνει ότι οι τιμές των προβλέψεων δεν έχουν υπο- ή υπερεκτιμηθεί (Πίνακας 6 και Χάρτης 5, Χάρτης 6).

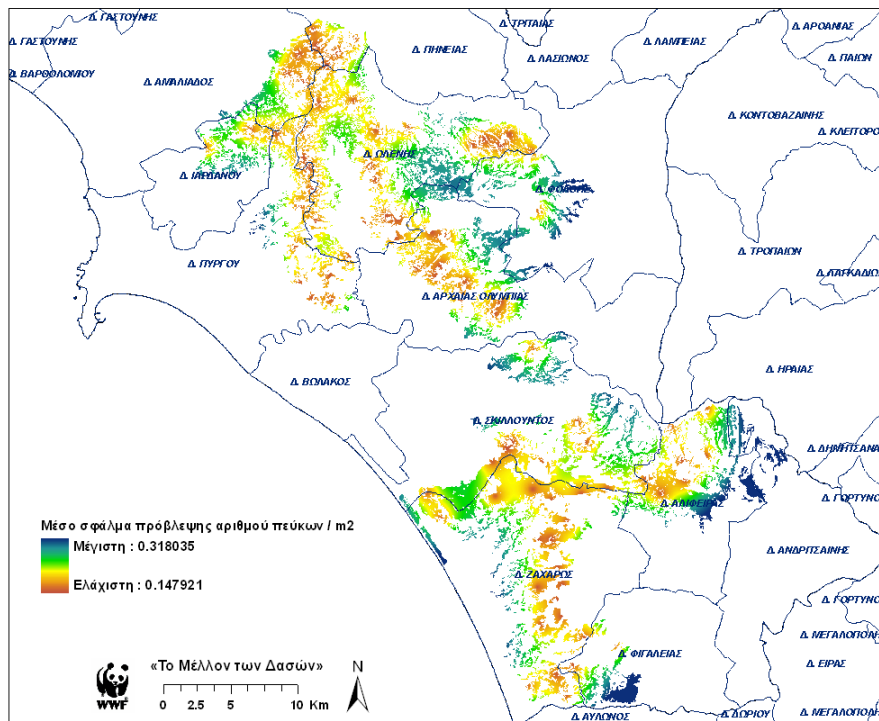
Πίνακας 6. Τιμές σφάλματος πρόβλεψης των μοντέλων αναγέννησης.

Μεταβλητές	ME	RMSE	ASE	SME	SRMSE
Σύνολο πεύκων	0.003219	0.698	0.6617	-0.00128	1.062
Μέση τιμή πεύκων	0.006467	0.6747	0.6318	0.003214	1.08

ME= μέσο σφάλμα (Mean Error), RMSE = τετραγωνική ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (Root Mean Square Error), ASE = μέσο τυπικό σφάλμα (Average Standar Error), SME= τυποποιημένο μέσο σφάλμα (Standardized Mean Error), SRMSE = τυποποιημένη τετραγωνική ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (Standardized Root Mean Square Error).



Χάρτης 5. Γεωστατιστικό μοντέλο πρόβλεψης της αναγέννησης με βάση τη μέση τιμή των πεύκων στις 84 επιφάνειες.



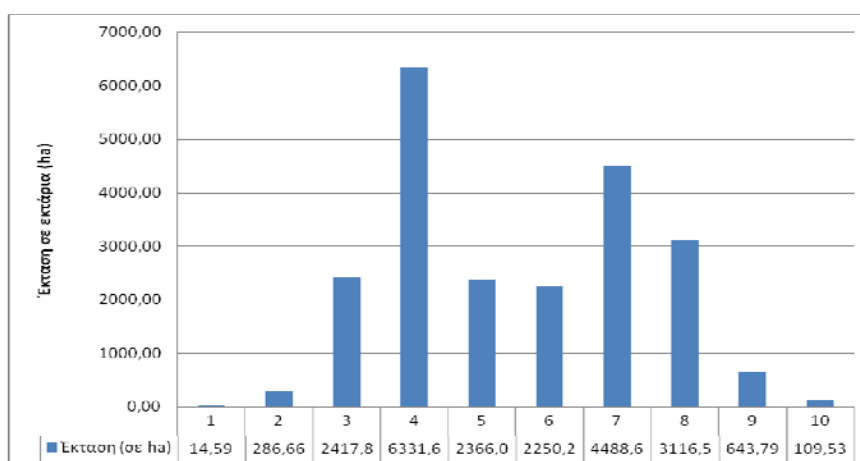
Χάρτης 6. Κατανομή του μέσου σφάλματος πρόβλεψης του μέσου αριθμού των πεύκων / m² από τη χωρική παρεμβολή των 84 σημείων δειγματοληψίας.

Ο παραγόμενος χάρτης πρόβλεψης του μέσου αριθμού των αρτιβλάστων πεύκης, ταξινομήθηκε σε 10 κατηγορίες πυκνότητας αρτιβλάστων με μια προοδευτική κλίμακα αύξησης των αρτιβλάστων (Πίνακας 7). Η ταξινόμηση σε κατηγορίες και ομαδοποίηση της πυκνότητας της αναγέννησης είναι μια χρήσιμη διαδικασία για την ένταξη τους σε αντίστοιχες διαχειριστικές δράσεις παρέμβασης (Cabezas & Masia 2008).

Πίνακας 7. Ταξινόμηση του αριθμού των αρτιβλάστων της χαλεπίου πεύκης σε 10 κατηγορίες πυκνότητας.

Κατηγορίες	Αριθμός πεύκων / ha	Αριθμός πεύκων / στρέμμα	Αριθμός πεύκων / m ²
1	1.000	100	0,1
2	1.500	150	0,15
3	3.000	300	0,3
4	6.000	600	0,6
5	8.000	800	0,8
6	10.000	1.000	1
7	15.000	1.500	1,5
8	30.000	3.000	3
9	60.000	6.000	6
10	120.000	12.000	12

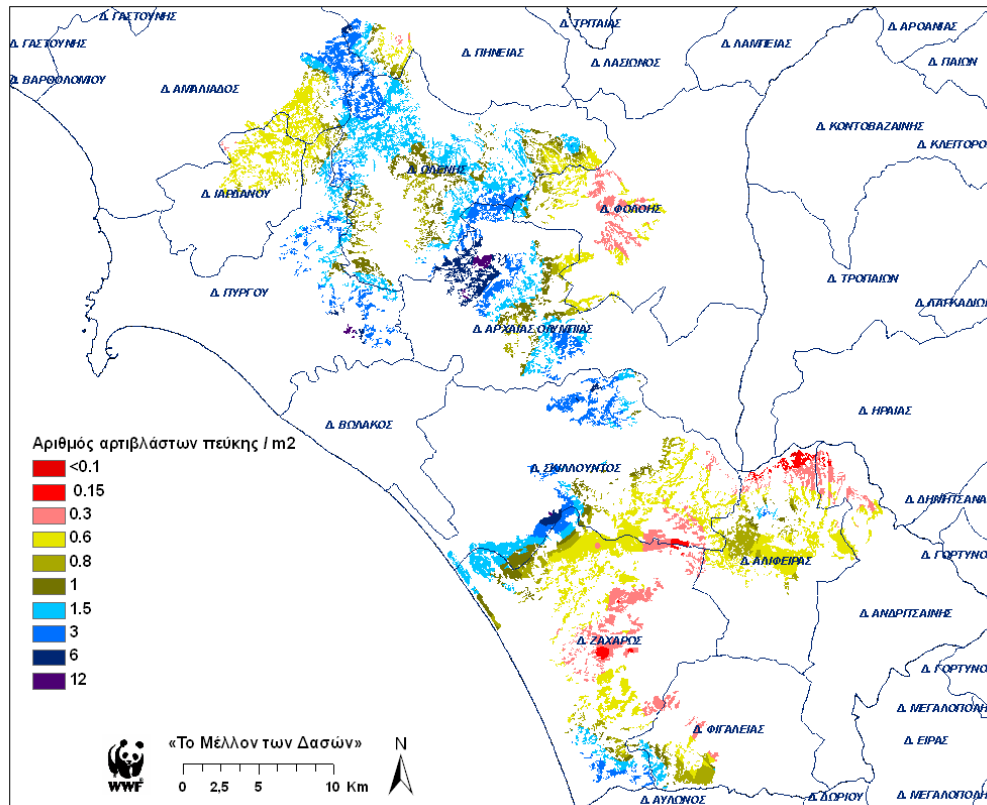
Σύμφωνα με αυτή την κατηγοριοποίηση και με βάση το γεωστατιστικό μοντέλο, η μισή περίπου καμένη έκταση (49,71%) ανήκει στις μεσαίες κατηγορίες (4,5,6) με πυκνότητα πεύκων από 0.6 έως 1 άτομο / m², σε ένα ποσοστό 37,95% η πυκνότητα των πεύκων είναι μεγαλύτερη από 1,5 άτομα / m², ενώ ιδιαίτερο πρόβλημα αποκατάστασης εμφανίζεται στο 12,35% της καμένης έκτασης (κατηγορίες 1,2,3) (Διάγραμμα 13)



Διάγραμμα 13. Κατανομή της έκτασης (σε ha) των 10 κατηγοριών ταξινόμησης της πρόβλεψης από το γεωστατιστικό μοντέλο.

Οι περιοχές με την μεγαλύτερη πυκνότητα αναγέννησης εμφανίζονται κυρίως στο βόρειο και κεντρικό τμήμα της καμένης περιοχής, ενώ οι φτωχές και μεσαίες κατηγορίες εμφανίζονται κυρίως στο νότιο, νοτιοανατολικό και βορειοδυτικό τμήμα (Χάρτης 7).

Χάρτης 7. Απεικόνιση 10 κατηγοριών πρόβλεψης της αναγέννησης χαλεπίου πεύκης με βάση το γεωστατιστικό μοντέλο.



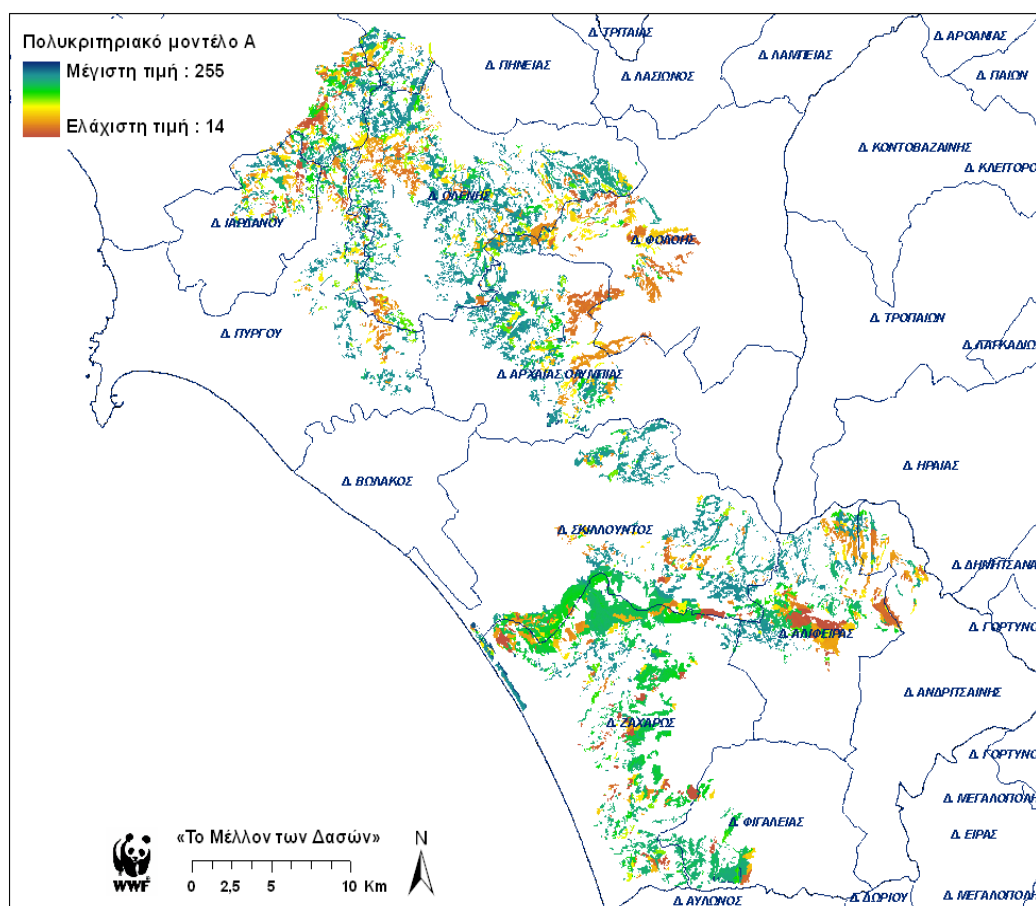
5.3. Αποτελέσματα Πολυκριτηριακής Μοντελοποίησης

Όπως έχει αναφερθεί στη μεθοδολογία, το πολυκριτηριακό μοντέλο διαμορφώθηκε σε τρία στάδια. Αρχικά με τη δημιουργία δύο διακριτών μοντέλων, του μοντέλου Α το οποίο περιλαμβάνει τους παράγοντες που επηρεάζουν πρωτογενώς την παραγωγή και διασπορά των σπερμάτων της πεύκης και του μοντέλου Β που περιλαμβάνονται παράγοντες που επιδρούν δευτερογενώς στην επιτυχία φύτευσης των σπερμάτων και επιβίωσης των παραγομένων αρτιβλάστων. Στη συνέχεια στη δεύτερη φάση, τα δύο αυτά μοντέλα συνδυάστηκαν με ισοβαρή αναλογία και στο τέλος το τελικό μοντέλο δημιουργήθηκε με τη διόρθωση του συνδυαστικού με το αντίστοιχο που είχε προέλθει από τη χωρική παρεμβολή των 84 σημείων. Με στόχο την αξιολόγηση των παραγόμενων αποτελεσμάτων σε όλα τα στάδια, η παρουσίαση κάθε σταδίου θα γίνει ξεχωριστά.

5.3.1. Διακριτά πολυκριτηριακά μοντέλα Α και Β

Ομάδα Α

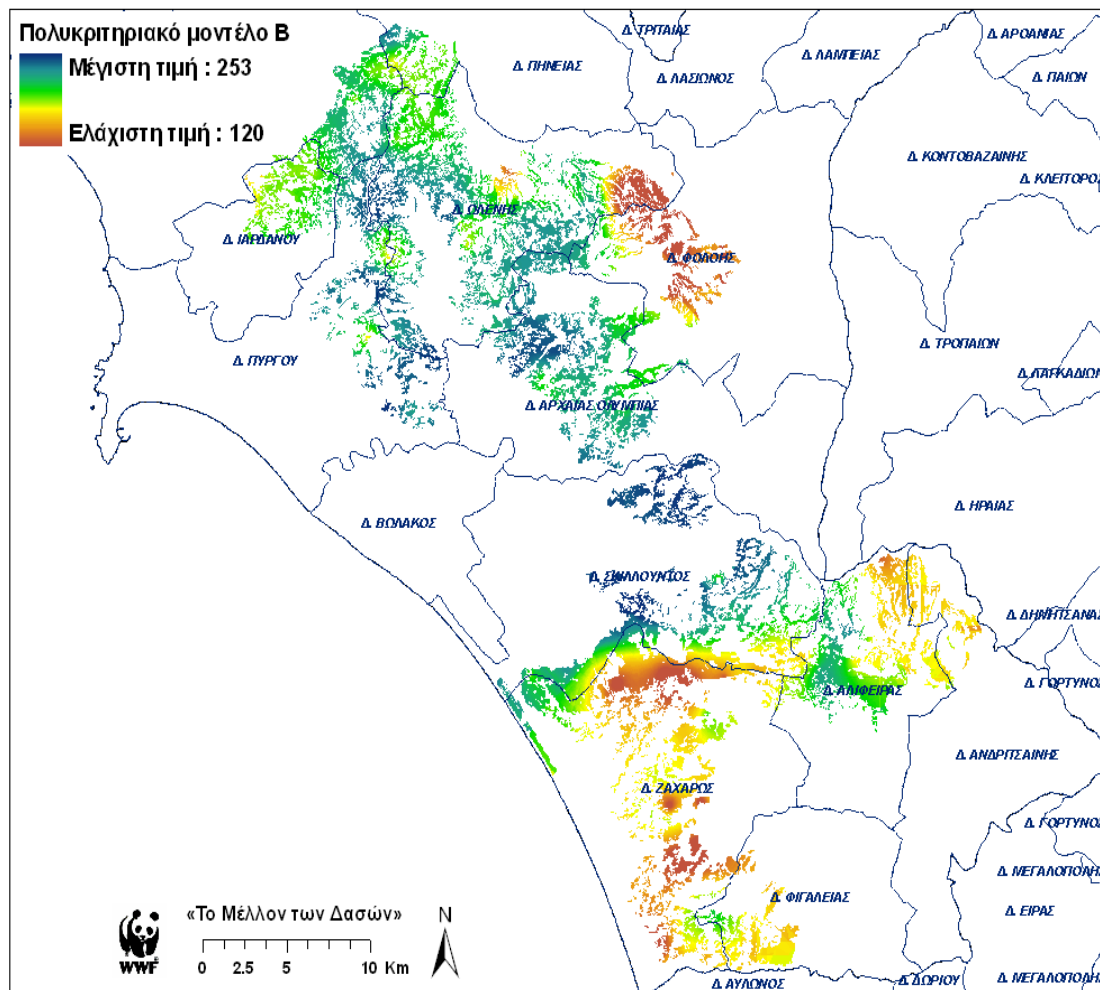
Για το μοντέλο αυτό χρησιμοποιήθηκαν μόνο 4 παράγοντες, η βλάστηση πριν τη φωτιά, το μητρικό πέτρωμα, η κλίση και το υψόμετρο. Τα σχετικά βάρη καθορίστηκαν ως εξής: Βλάστηση - 60%, Γεωλογία - 20%, Κλίση - 10% και Υψόμετρο - 10%. Το τελικό αποτέλεσμα ήταν η δημιουργία ενός χάρτη καταλληλότητας για φυσική αναγέννηση (Χάρτης 8). Η συσχέτιση αυτού του μοντέλου με τη μέση τιμή των πεύκων ήταν πολύ σημαντική (*Spearman* $r=0.438$).



Χάρτης 8. Πολυκριτηριακό μοντέλο καταλληλότητας για φυσική αναγέννηση χαλεπίου πεύκης με βάση τους παράγοντες της ομάδας Α

Ομάδα Β

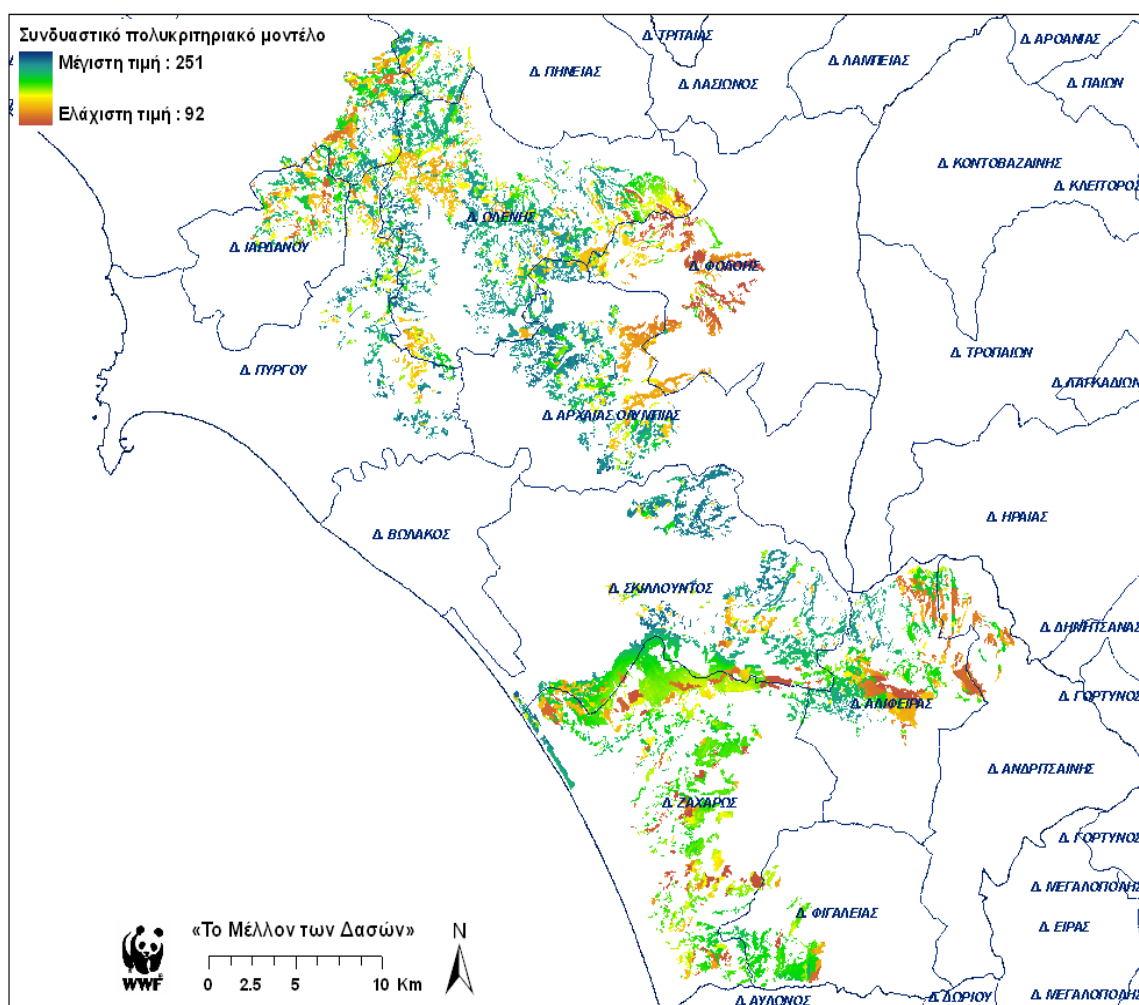
Για την ομάδα Β τα σχετικά βάρη καθορίστηκαν ως εξής: Κάλυψη από Πουρνάρι και Κουμαριά - 45%, Κάλυψη από Αγροστώδη - 25%, Κάλυψη από πέτρες - 15% και Κάλυψη από κλαριά - 15%. Το τελικό αποτέλεσμα ήταν η δημιουργία ενός χάρτη καταλληλότητας για φυσική αναγέννηση (Χάρτης 9). Σε σχέση με την ομάδα Α, σε αυτή την ομάδα η ελάχιστη τιμή της καταλληλότητας υπολογίστηκε σε αρκετά υψηλή τιμή (τιμή = 120), που δείχνει και τη δυνητική ικανότητα της περιοχής σε σχέση με τους παράγοντες που επιδρούν στην επιτυχία φύτευσης των σπερμάτων και επιβίωσης των παραγομένων αρτιβλάστων. Η συσχέτιση αυτού του μοντέλου με τη μέση τιμή των πεύκων ήταν πολύ σημαντική (*Spearman* $r=0.513$).



Χάρτης 9. Πολυκριτηριακό μοντέλο καταλληλότητας για φυσική αναγέννηση χαλεπίου πεύκης με βάση τους παράγοντες της ομάδας Β.

5.3.2. Συνδυαστικό πολυκριτηριακό μοντέλο (A και B)

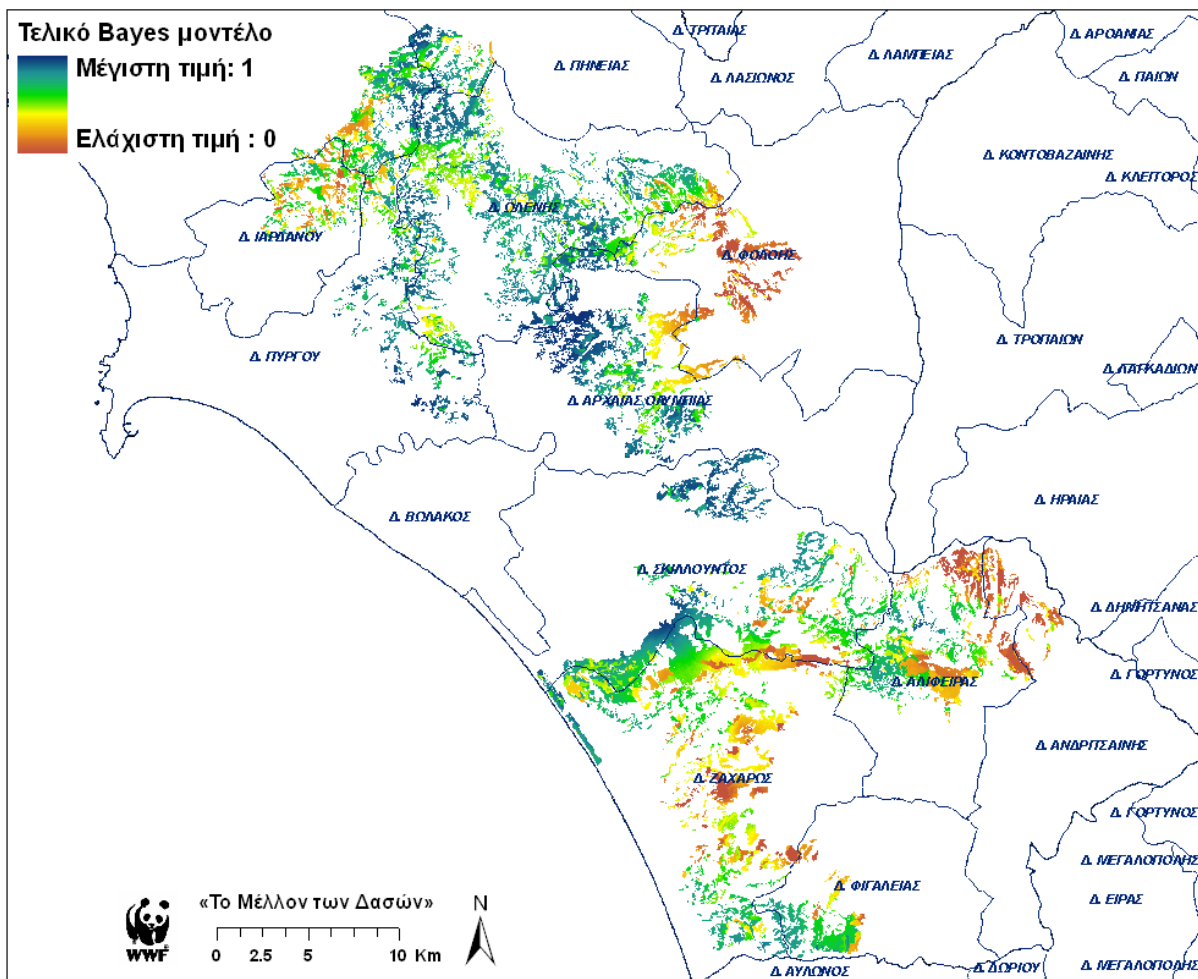
Τα δύο παραπάνω ατομικά μοντέλα, συνδυάστηκαν σε ένα ενιαίο μοντέλο καταλληλότητας, χρησιμοποιώντας ισοβαρείς συντελεστές (A=50% και B=50%) στη διαμόρφωση του. Η συσχέτιση του συνδυαστικού μοντέλου με τη μέση τιμή των πεύκων στα 84 σημεία και με το γεωστατιστικό μοντέλο πρόβλεψης της αναγέννησης ανήλθε σε $r=0.544$ $r=0.878$ αντίστοιχα (Spearman test).



Χάρτης 10. Συνδυαστικό πολυκριτηριακό μοντέλο καταλληλότητας για φυσική αναγέννηση χαλεπίου πεύκης με βάση τους παράγοντες της ομάδας A και B.

5.3.3. Τελικό Bayes μοντέλο

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 Μπεϋζιανής 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 ήταν πολύ σημαντική και έφτασε το $r=0.834$.



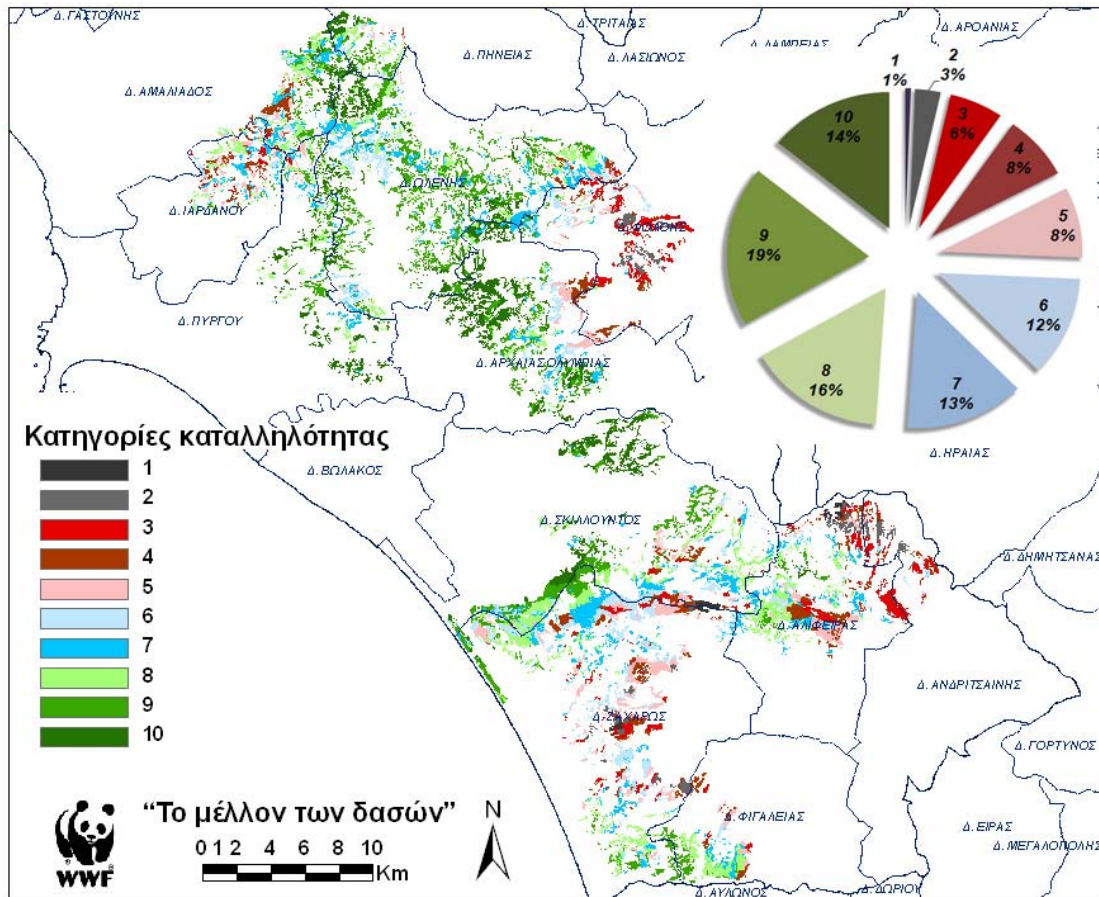
Χάρτης 11. Τελικό μοντέλο καταλληλότητας για φυσική αναγέννηση χαλεπίου πεύκης με συνδυασμό του πολυκριτηριακού και γεωστατιστικού μοντέλου μέσα από Bayes στατιστική.

Ο τελικός χάρτης πρόβλεψης βαθμού αναγέννησης, ταξινομήθηκε σε 10 ισόβαρες κατηγορίες με στόχο να σχεδιαστούν αντίστοιχες διαχειριστικές δράσεις παρέμβασης (Χάρτης 12). 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. Τέτοιες ενέργειες είναι οι οργανωμένες δενδροφυτεύσεις και η σταθεροποίηση των εδαφών τους με χρήση κορμποπλεγμάτων ή και κλαδοπλεγμάτων προς αποφυγή μελλοντικής ερημοποίησης των εδαφών και αποτυχίας επαναφοράς του οικοσυστήματος.

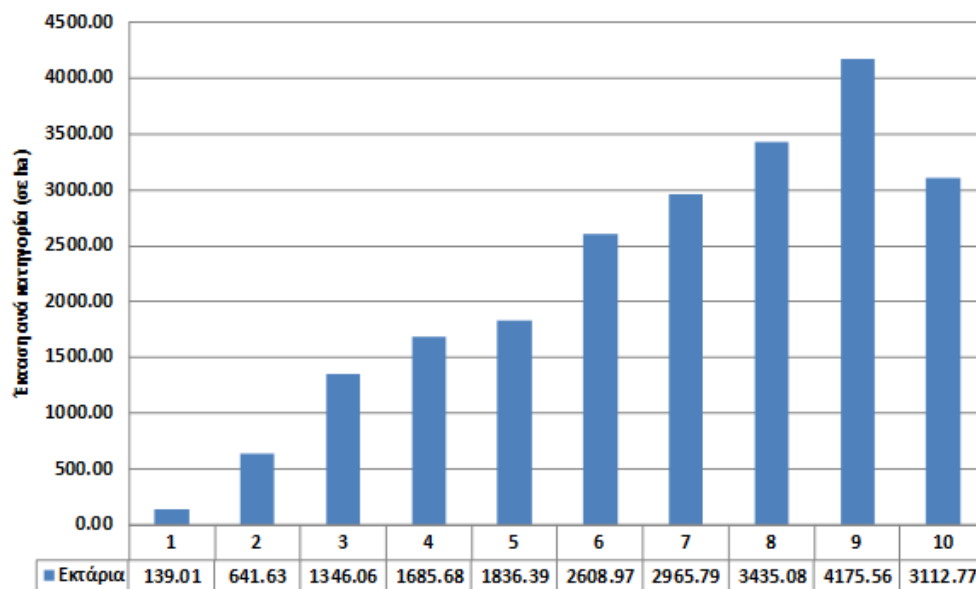
Από την άλλη πλευρά (μετά την κατηγορία 5), η καταλληλότητα για εγκατάσταση της φυσικής αναγέννησης σταδιακά αυξάνεται, με το 33% της έκτασης των καμένων δασών (73.000 στρέμματα – κατηγορίες 9 και 10) να χαρακτηρίζεται από εξαιρετικές συνθήκες για την φυσική αναγέννηση της πεύκης (Διάγραμμα 14). Περιοχές με μέτρια αναγέννηση (6-8) θα πρέπει να υποστηριχτούν, ώστε να διατηρηθεί η φέρουσα αναγέννησή τους. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει διαδικασίες παρακολούθησης της πορείας των αρτιβλάστων και ίσως τελικά επέμβασης με συμπληρωματικές δενδροφυτεύσεις ή και παροχή 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) χρήζουν εφαρμογής δασοκομικών διαδικασιών όπως επιλεκτική αραίωση των αρτιβλάστων, ευνόηση πλατυφύλλων δενδρωδών ειδών, προκειμένου να ευνοηθεί τόσο 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. Μετά από μια πυρκαγιά, το δάσος αδυνατεί να αντιμετωπίσει επιτυχώς πιθανές εισβολές παρασιτικών οργανισμών, όπως ξυλοφάγα ή φυλλοφάγα αρθρόποδα (Martínez-Sánchez *et al.* 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.



Χάρτης 12. Απεικόνιση 10 κατηγοριών πρόβλεψης της αναγέννησης χαλεπίου πεύκης με βάση το τελικό μοντέλο.



Διάγραμμα 14. Κατανομή των εκτάσεων των καμένων δασών χαλεπίου πεύκης στην Ηλεία σε κατηγορίες καταλληλότητας για φυσική αναγέννηση.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 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. Margaris NS. 1981. Fire induced nutrient losses in a phryganic ecosystem. International Journal of Biometeorology 25: 341-347.
- Arianoutsou M. 1998. Fire's effects on the ecosystem: the PROMETHEUS Project approach. In: Viegas DX (ed) Proceedings of the Third International Conference on Forest Fire Research, Associacao para o Desenvolvimento da Aerodinamica Industrial pp 1827–1841.
- Arianoutsou M. 1999. Effects of fire on vegetation demography. In: Proceedings of the International Symposium 'Forest Fires: Needs and Innovations', Athens, 18–19 November 1999. DELFI Concerted Action, CINAR-EC, DGXII, pp 265–273.
- Arianoutsou M. 2001. Landscape changes in Mediterranean Ecosystems of Greece: implications for Fire and Biodiversity issues. Journal of Mediterranean Ecology 2: 165-178.
- Arianoutsou M. Kazanis D. Kokkoris Y. and Skourou P. 2002. Land-use interactions with fire in Mediterranean *Pinus halepensis* landscapes of Greece: patterns of biodiversity. In: Viegas D.X. (eds) Proceedings of the 4th International Conference of Forest Fire Research. Luso, Portugal. Millpress, The Netherlands, electronic edition.
- 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. 2007. Resilience of Mediterranean vegetation to fire: issues under the global change scenarios. MEDECOS XI, The International Mediterranean Ecosystems Conference, Perth, Australia.
- Arianoutsou M. Kazanis D. and Varela V. 2007. Mapping the post-fire resilience of mediterranean pine forests: the case of Sounion National Park, Greece. Options Mediterraneennes 75: 25-33.
- Bailey R.G. 1983. Delineation of ecosystem regions. Environmental Management 7: 365-373.

- Broncano M.J. Retana J. 2004. Topography and forest composition affecting the variability in fire severity and post-fire regeneration occurring after a large fire in the Mediterranean Basin. *International Journal of Wildland Fire* 13: 209–216.
- 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: 4756.
- Brunchorst D.J. Rollings M. 2000. Linking ecological and social functions of landscapes. *Natural Areas Journal* 19: 57-64.
- Cabezas J.D. Masia R. 2008. Program for Postfire Monitoring and Control in the Forest Ecosystems of Moratalla (Murcia, Spain) pp 71-80. In: González-Cabán, Armando, tech. coord. Proceedings of the second international symposium on fire economics, planning, and policy: a global view, Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-208, Albany, CA: Pacific Southwest Research Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture.
- Canadell J. and López Soria L. 1998. Lignotuber reserves support regrowth following clipping of two Mediterranean shrubs. *Functional Ecology* 12: 31–38.
- Caravello G.U. and Giacomini F. 1993. Landscape ecology aspects in a territory centuriated in Roman times. *Landscape and Urban Planning* 24: 77–85.
- Carrión J.S. Sanchez-Gomez P. Mota J.F. Yll R. Chain C. 2003. Holocene vegetation dynamics, fire and grazing in the Sierra de Gador, southern Spain. *The Holocene* 13: 839–849.
- 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.
- Daskalidou E.N. and Thanos C.A. 1996. Aleppo Pine (*Pinus halepensis*) Postfire Regeneration: The Role of Canopy and Soil Seed Banks. *International Journal of Wildland Fire* 6: 59-66.
- Geneletti D. van Duren I.C. 2008. Protected area zoning for conservation and use: a combination of spatial multicriteria and multiobjective evaluation. *Landscape and urban planning* 85: 97-110.
- Gindell I. 1964. Transpiration of the Aleppo pine (*Pinus halepensis*) as a function of environment. *Ecology* 45: 868-871.

- Henig-Severa N. Eshelb A. and Ne'emana G. 2000. Regulation of the germination of Aleppo pine (*Pinus halepensis*) by nitrate, ammonium, and gibberellin, and its role in post-fire forest regeneration. *Physiologia Plantarum* 108: 390–397.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2001. Impacts, Adaptations and Vulnerability. Working Group II, Third Assessment Report. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 1032 pages.
- Jiménez M.N. Fernandez-Ondon E. Ripio M.A. Navarro F.B. Gallego E. De Simón E. Lallena A.M. 2007. Influence of different post-planting treatments on the development in holm oak afforestation. *Trees* 21: 443–455.
- Joerin F. Theriault M. Musy A. 2001. Using GIS and outranking multicriteria analysis for land-use suitability assessment. *International Journal of Geographical Information Science* 15: 153-174.
- Kazanis D. and Arianoutsou M. 1996. Vegetation composition in a post-fire successional gradient of *Pinus halepensis* Forests of Attica. *International Journal of Wildland Fire* 6: 83-91.
- Kazanis D. and Arianoutsou M. 2004. Factors determining low Mediterranean ecosystems resilience to fire: The case of *Pinus halepensis* forests. In: Arianoutsou M. and Papanastasis V.P. (eds) *Ecology, Conservation and Management of Mediterranean Climate Ecosystems*. Millpress (electronic edition).
- Kazanis D. 2005. Post-fire succession in *Pinus halepensis* forests of Greece. Patterns of vegetation dynamics. PhD Thesis, University of Athens (in Greek with an English summary).
- Kazanis D. Gimeno T. Pausas J. Vallejo R. and Arianoutsou M. 2007. Characterization of fire vulnerable *Pinus halepensis* ecosystems in Spain and Greece. *Options Mediterranennes* 75: 131-143.
- Konstantinidis P. Tsiourlis G. Galatsidas S. 2005. Effects of wildfire season on the resprouting of kermes oak (*Quercus coccifera* L.) *Forest Ecology and Management* 208: 15–27.
- Krawchuk M.A. Moritz M.A. Parisien M.A. Van Dorn J. Hayhoe K. 2009. Global pyrogeography: The current and future distribution of wildfire. *PLoS ONE* 4 Article number e5102. DOI: 10.1371/journal.pone.0005102.

- Kushla J.D. and Ripple W.R. 1997. The role of terrain in a fire mosaic of a temperate coniferous forest. *Forest Ecology and Management* 95: 97-107.
- Lamont B.B. Le Maitre D.C. Cowling R.M. Enright N.J. 1991. Canopy seed storage in woody plants. *The Botanical Review* 57: 277–317.
- Le Houerou H.N. 1981. Impact of man and his animals on Mediterranean vegetation. In: F. Di Castri D.W. Goodall and R.L. Specht (eds) *Ecosystems of the world*, n. 11, pp 479-521. Mediterranean-type shrublands, Elsevier, Amsterdam.
- Lloret F. Calvo E. Pons X. and Díaz-Delgado R. 2002. Wildfires and landscape patterns in the Eastern Iberian Peninsula. *Landscape Ecology* 17: 745–759.
- Lloret F. Pausas J.G. Vilà M. 2003. Response of Mediterranean plant species to different fire regimes in Garraf Natural Park (Catalonia, Spain): field observations and modeling predictions. *Plant Ecology* 167: 223–235.
- 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.
- Mclver D.K. and Friedl M.A. 2002. Using prior probabilities in decision-tree classification of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment* 81: 253– 261.
- Moreno J.M. Vázquez A. and Vélez R. 1998. “Recent History of Forest Fires in Spain”, in Moreno, J. M. (eds), *Large Fires*, Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands, pp 159–185.
- Moya D. Saracino A. Salvatore R. Lovreglio R. Heras J.L. Leone V. 2008. Anatomic basis and insulation of serotinous cones in *Pinus halepensis* Mill. *Trees* 22: 511–519.
- Nahal I. 1962. Le pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.). Etude taxonomique, phytogéographique, écologique et sylvicole. *Ann. Ecole Natlle. Eaux et Forêts* 19: 485-685.
- Naveh Z. & Dan J. 1973. The human degradation of Mediterranean landscape in Israel. In: F.di Castri and H.A.Mooney (eds) *Mediterranean type ecosystems, origin and structures*. Vol.7, pp 373-390, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York.

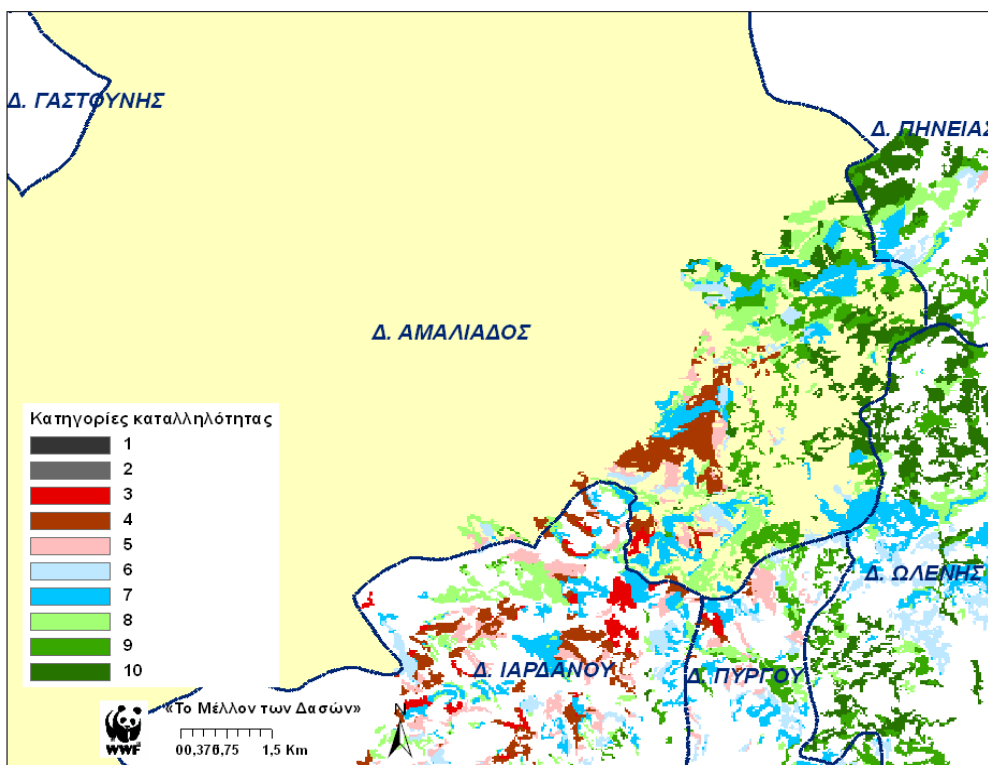
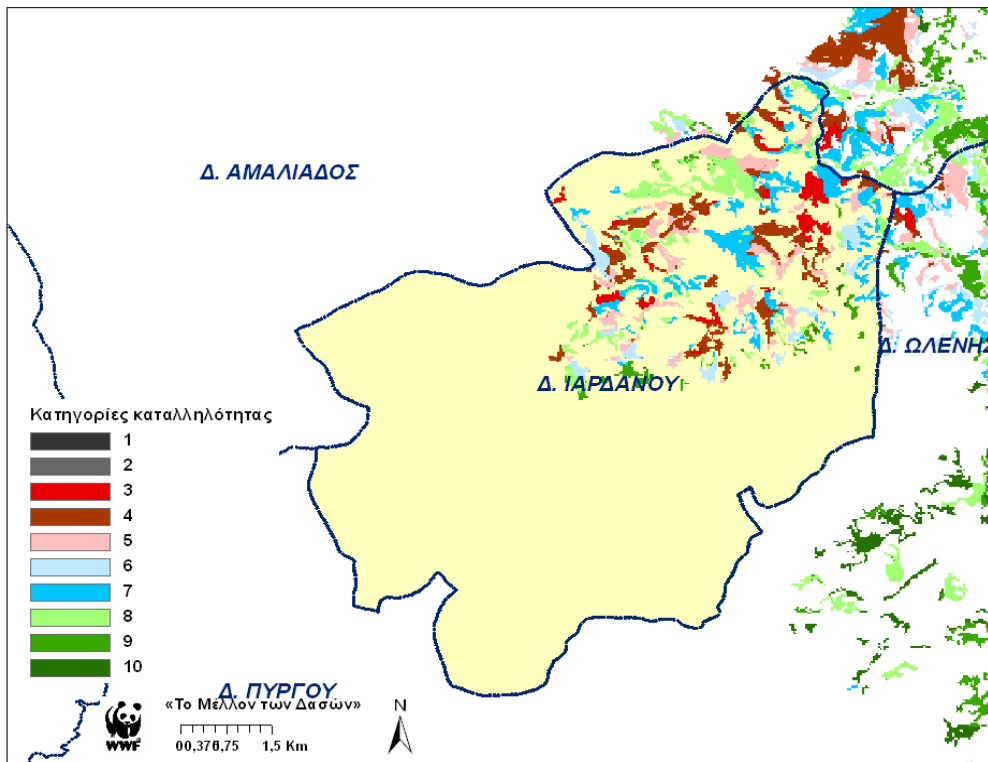
- Naveh Z. 1998. From Biodiversity to Ecodiversity – Holistic Conservation of the Biological and Cultural Diversity of Mediterranean Landscapes. In: Rundel PW, Montenegro G, Jaksic F (eds) Landscape Degradation in Mediterranean type-ecosystems, Ecological Studies 136. Springer- Verlag, pp 23-54.
- Néeman G. Lahav, H. Izhaki I. 1995. Recovery of vegetation in a natural east Mediterranean pine forest on Mount Carmel, Israel as affected by management strategies. Forest Ecology and Management 75: 15–26.
- Néeman 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.
- Néeman G. Goubitz S. Nathan R. 2004. Reproductive traits of *Pinus halepensis* in the light of fire – a critical review. Plant Ecology 171: 69–79.
- 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.
- 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 Balabanis P. Eftichidis G. and Fantechi R. (eds), EUR 16719, pp 411-417.
- Pausas J. G. and Vallejo R. 1999. The Role of Fire in European Mediterranean Ecosystems', in Chuvieco E. (eds), Remote Sensing of Large Wildfires in the European Mediterranean Basin, Springer, Berlin, pp 3–16.
- Pausas J. G. 1999. The Response of Plant Functional Types to Changes in the Fire Regime in Mediterranean Ecosystems. A Simulation approach. Journal of Vegetable Science 10: 717–722.
- Pausas J.G. Carbó E. Caturla R.N. Gil J.M. & Vallejo V.R. 1999. Post-fire regeneration patterns in the Eastern Iberian Peninsula. Acta Oecologica 20: 499-508.
- Pausas J.G. 2003. The effect of landscape pattern on Mediterranean vegetation dynamics: A modeling approach using functional types. Journal of Vegetable Science 14: 365-374.
- Pausas J. 2004. Changes in fire and climate in the eastern Iberian peninsula (Mediterranean basin). Climatic change 63: 337-350.

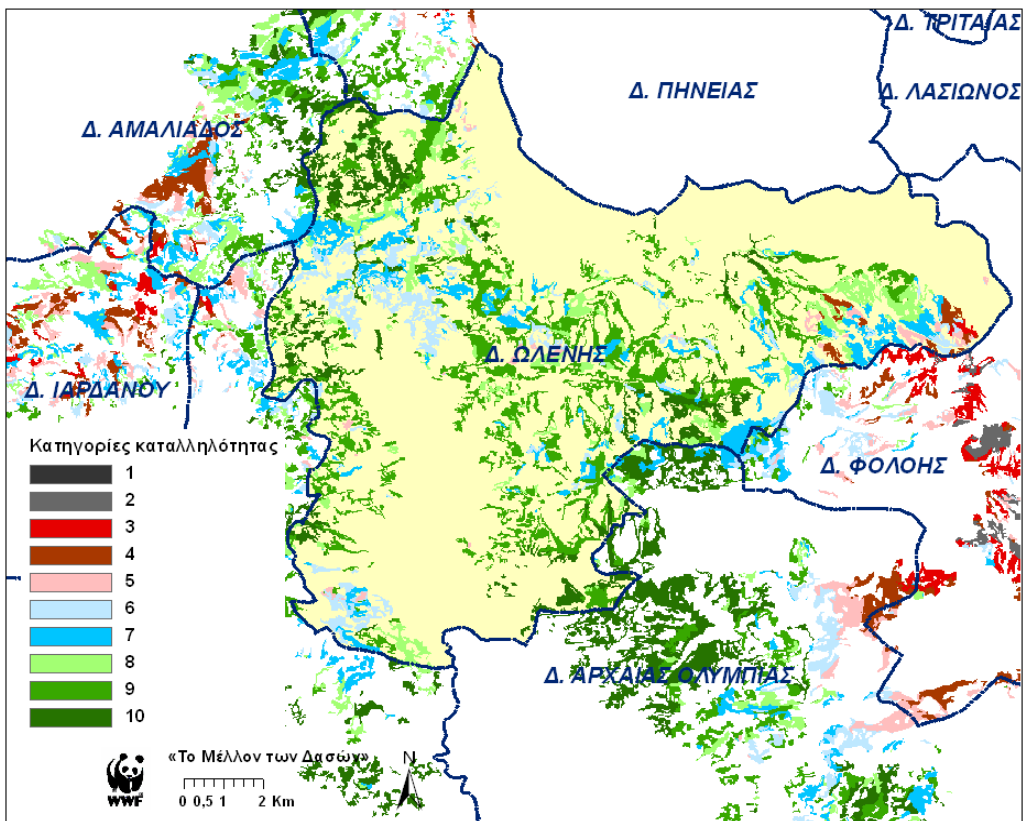
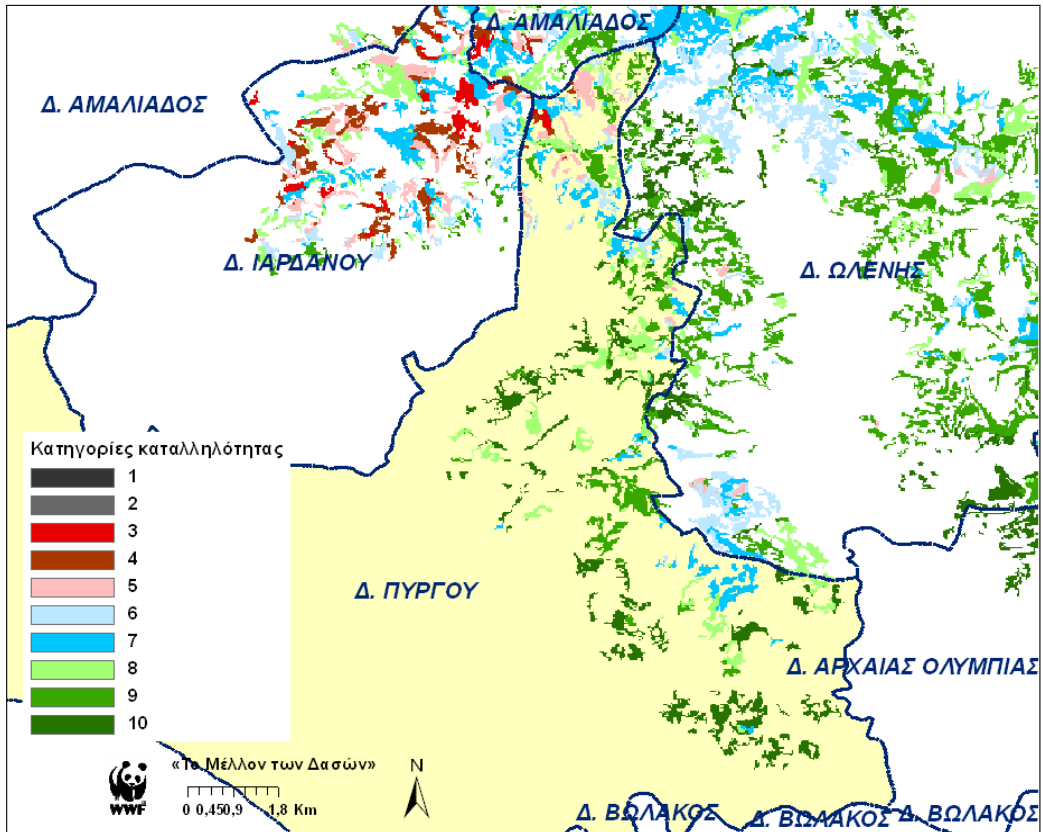
- Pausas J.G. Ribeiro E. & Vallejo R. 2004. Post-fire regeneration variability of *Pinus halepensis* in the eastern Iberian Peninsula. *Forest Ecology and Management* 203: 251-259.
- Pausas J.G. Ribeiro E. Vallejo R. 2004. Post-fire regeneration variability of *Pinus halepensis* in the eastern Iberian Peninsula. *Forest Ecology and Management* 203: 251–259.
- Pausas J.G. Ramos J.I. 2004. Landscape pattern, fire regime and vegetation dynamics – A modelling approach. In: Arianoutsou M, Papanastasis VP (eds) *Ecology, Conservation and Management of Mediterranean Climate Ecosystems of the World*. Proceedings of the MEDECOS 10th International Conference, Rhodes, Greece. Millpress, Rotterdam, Electronic Edition.
- Pausas J.G. 2006. Simulating Mediterranean landscape pattern and vegetation dynamics under different fire regimes. *Plant Ecology* 187: 249-259.
- Pausas J.G. & Lloret F. 2007. Spatial and temporal patterns of plant functional types under simulated fire regimes. *International Journal of Wildland Fire* 16: 484-492.
- Pausas J.G. Llovet J. Rodrigo A. Vallejo R. 2008. Are wildfires a disaster in the Mediterranean basin? - A review. *International Journal of Wildland Fires* 17: 713-723.
- Pausas J.G. Verdú M. 2008. Fire reduces morphospace occupation in plant communities. *Ecology* 89, 2181–2186.
- Pigott C.D. and Pigott S. 1993. Water as a determinant of the distribution of trees at the boundary of the Mediterranean zone. *Journal of Ecology* 81: 557–566.
- Piñol J. Terradas J. and Lloret F. 1998. Climate warming, wildfire hazard, and wildfire occurrence in coastal eastern Spain. *Climatic change* 38: 345-357.
- Prévosto B. Ripert C. 2008. Regeneration of *Pinus halepensis* stands after partial cutting in southern France: Impacts of different ground vegetation, soil and logging slash treatments. *Forest Ecology and Management* 256: 2058–2064.
- Rundel P.W. 1998. Landscape disturbance in Mediterranean type Ecosystems: an overview. In: Rundel PW, Montenegro G, Jaksic F (eds), *Landscape Degradation in Mediterranean - type Ecosystems*. Ecological Studies 136. Springer - Verlag, pp 3-18.
- Saracino A. Leone V. 1993. Natural regeneration 2 and 4 years after fire of *Pinus halepensis* Miller in dunal environment. In: Trabaud, L., Prodon, R. (eds), *Fire in Mediterranean*

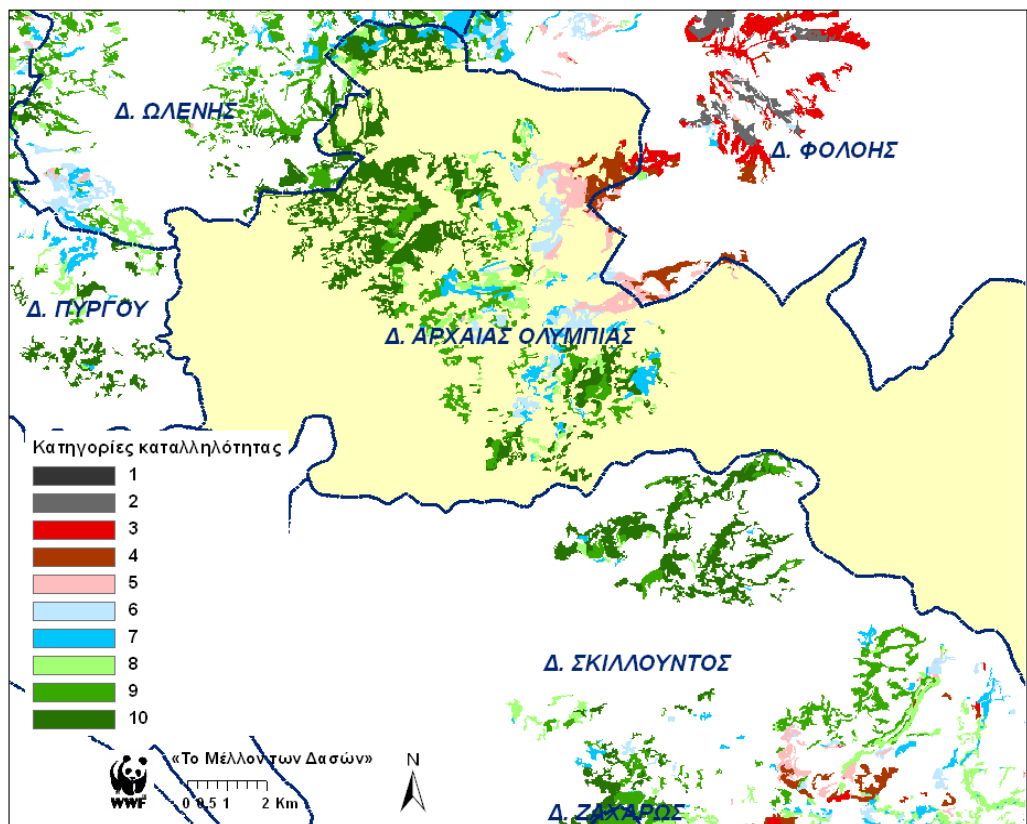
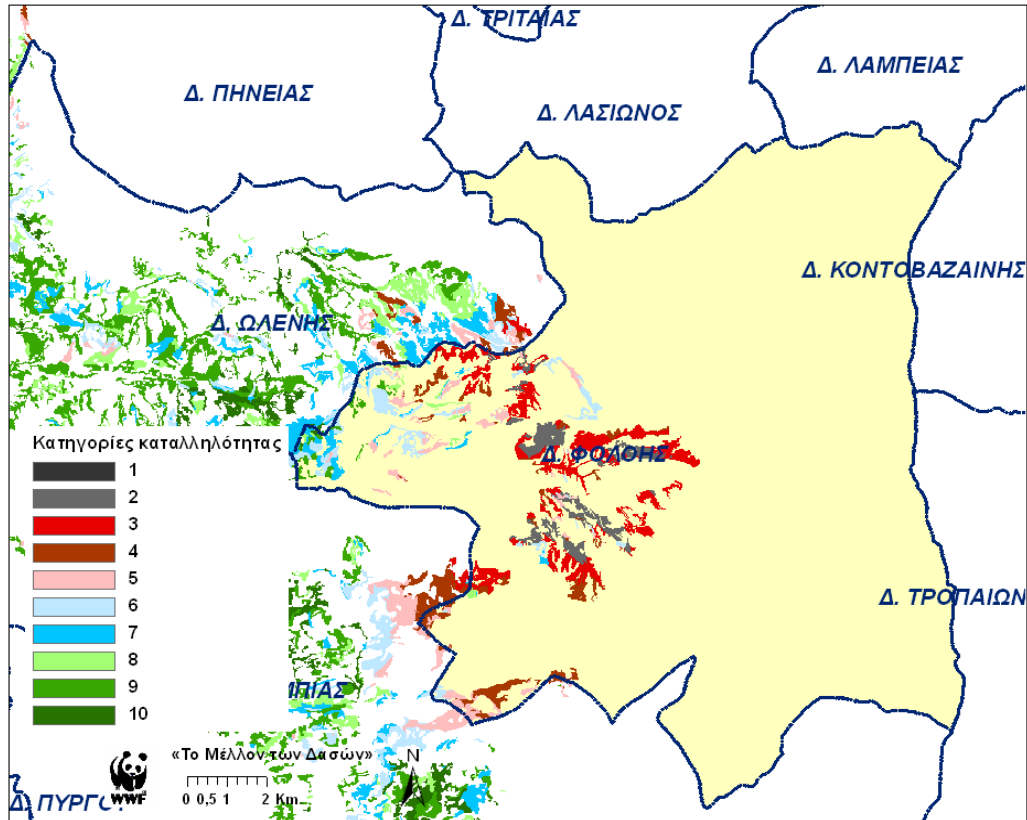
- Ecosystems. Commission of the European Communities, Brussels-Luxembourg, pp 141-150.
- Spanos I. Raftoyannis Y. Goudelis G. Xanthopoulou E. Samara T. & Tsiontsis A. 2007. Effects of postfire logging on soil and vegetation recovery in a *Pinus halepensis* Mill. forest of Greece. *Plant and Soil* 278: 171–179.
- Tapias R. Gil L. Fuentes-Utrilla P. Pardos J.A. 2001. Canopy seed bank in Mediterranean pines of south-eastern Spain: a comparison between *Pinus halepensis* Mill. *P. pinaster* Ait., *P. nigra* Arn. and *P. pinea* L. *Journal of Ecology* 89: 629–638.
- ter Braak CJF, 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. Daskalakou E.N. Nikolaidou S. 1996. Early postfire regeneration of a *Pinus halepensis* forest on Mountain Párnis, Greece. *Journal of Vegetable Science* 7: 273–280.
- Trabaud L. 1984. Changements structuraux apparaissant dans une garrigue de chêne kermès soumise à différents régimes de feux contrôlés. *Acta Oecologica* 5: 127–143.
- Trabaud L. 1991. Fire regimes and phytomass growth dynamics in a *Quercus coccifera* garrigue. *Journal of Vegetable Science* 2: 301–314.
- Trabaud L. 1994. Postfire plant community dynamics in the Mediterranean basin. In: Moreno J.M. Oechel W.C. (eds) *The Role of Fire in Mediterranean-type Ecosystems*, Ecological Studies 107, Springer -Verlag, New York, pp 1-15.
- 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.
- Verkaik I. Espelta J.M. 2006. Post-fire regeneration thinning, cone production, serotiny and regeneration age in *Pinus halepensis*. *Forest Ecology and Management* 231: 155–163.
- Vilà M. Lloret F. Ogheri E. and Terradas J. 2001. Positive Fire-Grass Feedback in Mediterranean Basin Shrublands. *Forest Ecology and Management* 147: 3–14.
- Zagas T. Ganatsas P. Tsitsoni T. & Tsakalimi T. 2004. Post-fire regeneration of *Pinus halepensis* Mill. stands in the Sithonia peninsula, northern Greece. *Plant Ecology* 171: 91–99.

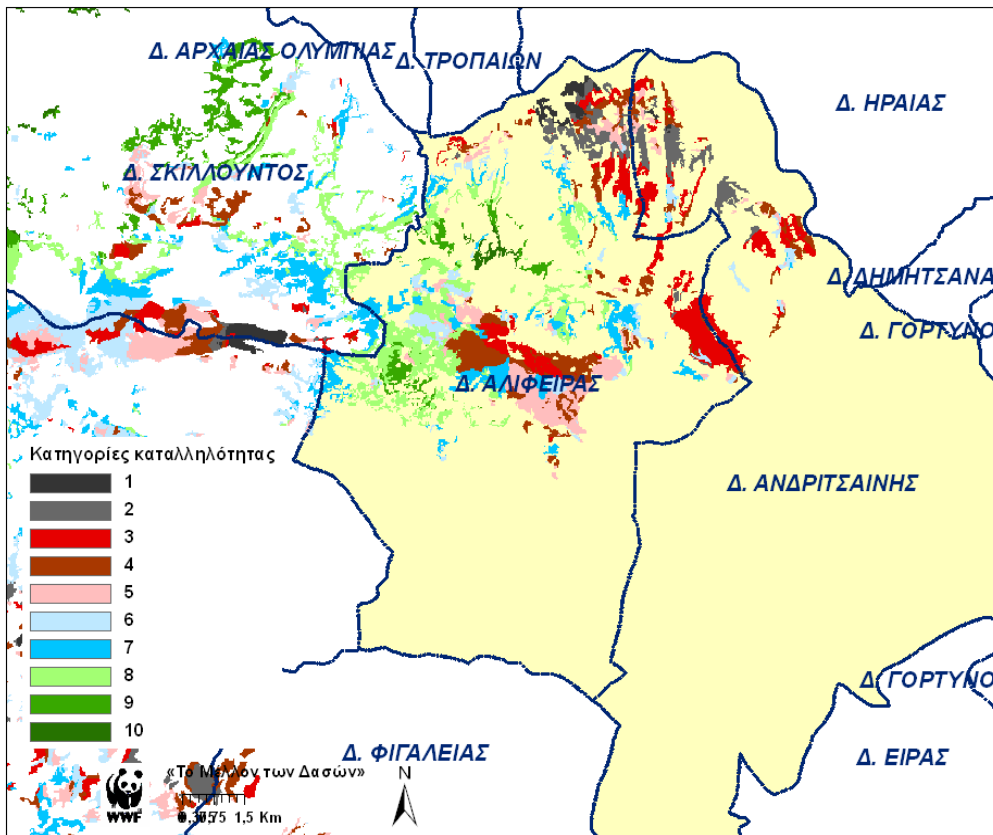
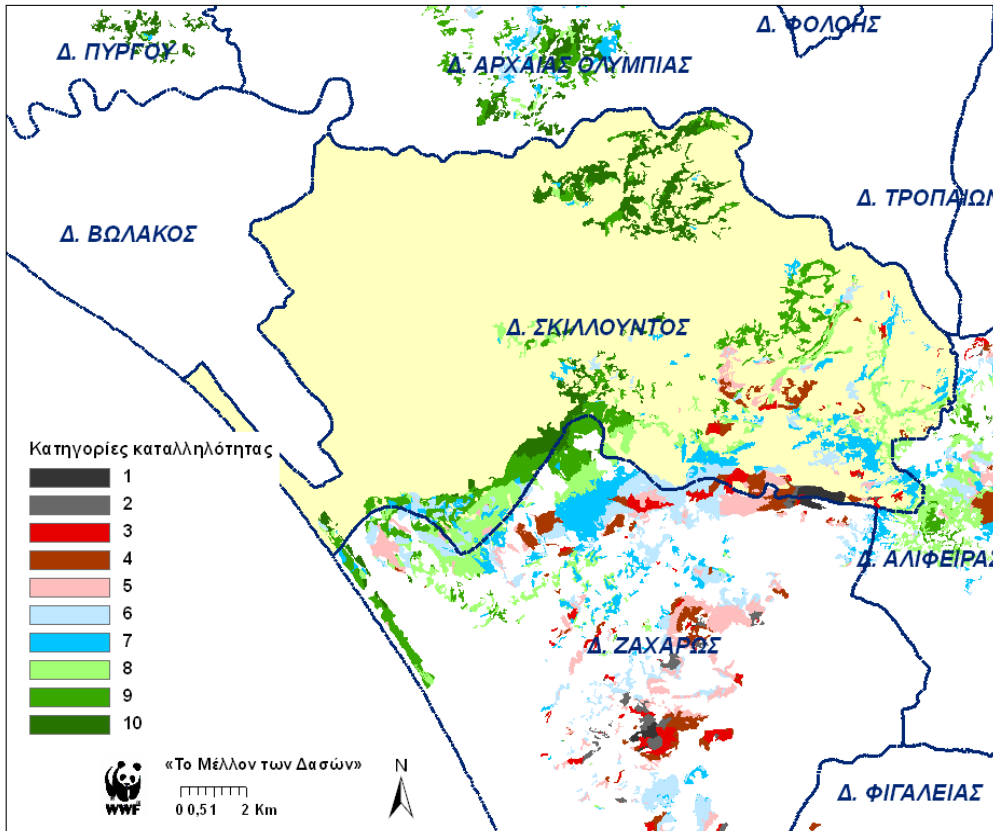
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

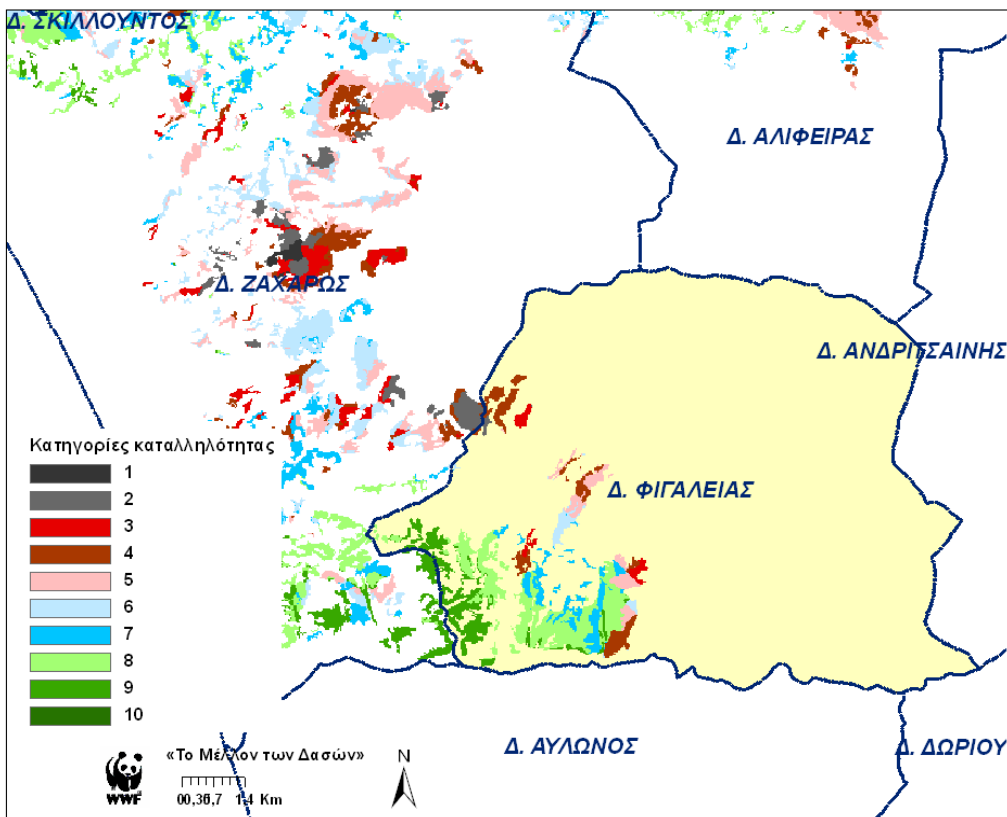
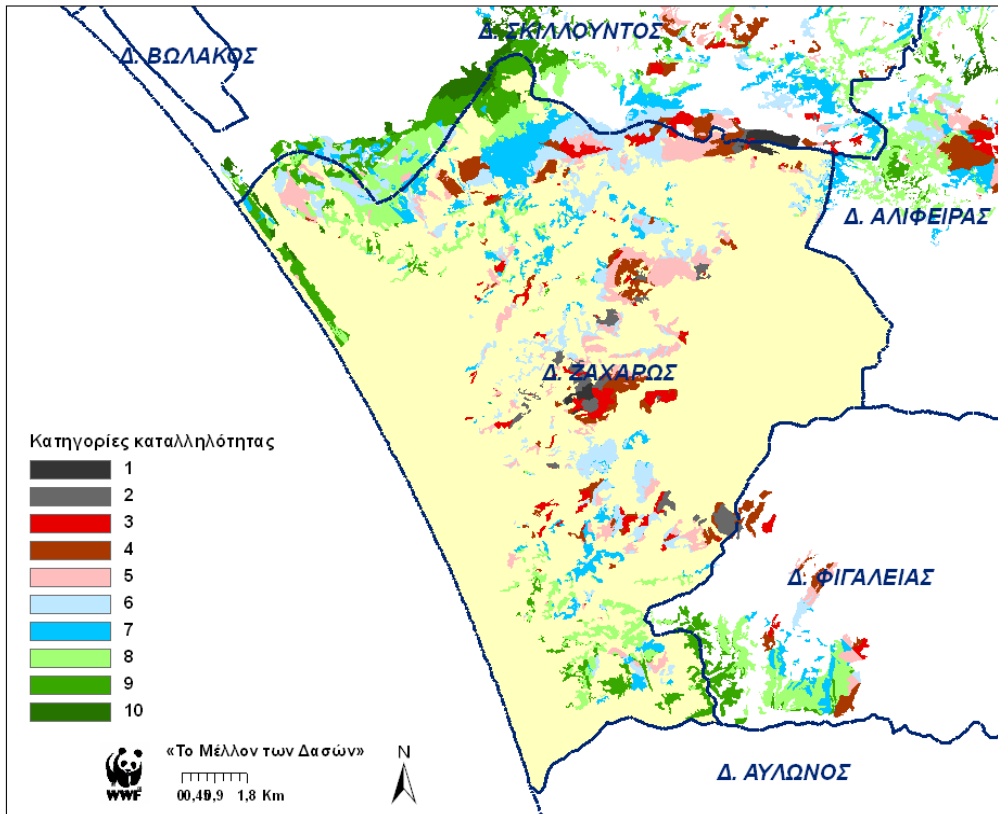
Παράρτημα 1. Χάρτες καταλληλότητας (πρόβλεψης του βαθμού αναγέννησης) ανά Δήμο











Παράρτημα 2. Πρωτόκολλο δειγματοληψίας της αναγέννησης

<p>% κλαδιών/κορμών.....</p> <p>% βράχων/πετρών.....</p> <p>% κάλυψ. βλάστ</p> <p>Αρ. ατ. πεύκης.....</p> <p>Αρ. ατ. αριάς.....</p> <p>Αρ. ατ. δρυός.....</p> <p style="text-align: center;">% κάλυψης</p> <p>κουμαριά.....</p> <p>πιξάρι.....</p> <p>σχίνος.....</p> <p>λαδανιά.....</p> <p>.....</p> <p>ρείκι.....</p> <p>πουρνάρι.....</p> <p>.....</p> <p>% Ποών.....</p> <p>Αγρωστώδη..... Ψυχανθή.....</p>	<p>% κλαδιών/κορμών.....</p> <p>% βράχων/πετρών.....</p> <p>% κάλυψ. βλάστ.....</p> <p>Αρ. ατ. πεύκης.....</p> <p>Αρ. ατ. αριάς.....</p> <p>Αρ. ατ. δρυός.....</p> <p style="text-align: center;">% κάλυψης</p> <p>κουμαριά.....</p> <p>πιξάρι.....</p> <p>σχίνος.....</p> <p>λαδανιά.....</p> <p>.....</p> <p>ρείκι.....</p> <p>πουρνάρι.....</p> <p>.....</p> <p>% Ποών.....</p> <p>Αγρωστώδη..... Ψυχανθή.....</p>
<p>% κλαδιών/κορμών.....</p> <p>% βράχων/πετρών.....</p> <p>% κάλυψ. βλάστ.....</p> <p>Αρ. ατ. πεύκης.....</p> <p>Αρ. ατ. αριάς.....</p> <p>Αρ. ατ. δρυός.....</p> <p style="text-align: center;">% κάλυψης</p> <p>κουμαριά.....</p> <p>πιξάρι.....</p> <p>σχίνος.....</p> <p>λαδανιά.....</p> <p>.....</p> <p>ρείκι.....</p> <p>πουρνάρι.....</p> <p>.....</p> <p>% Ποών.....</p> <p>Αγρωστώδη..... Ψυχανθή.....</p>	<p>% κλαδιών/κορμών.....</p> <p>% βράχων/πετρών.....</p> <p>% κάλυψ. βλάστ.....</p> <p>Αρ. ατ. πεύκης.....</p> <p>Αρ. ατ. αριάς.....</p> <p>Αρ. ατ. δρυός.....</p> <p style="text-align: center;">% κάλυψης</p> <p>κουμαριά.....</p> <p>πιξάρι.....</p> <p>σχίνος.....</p> <p>λαδανιά.....</p> <p>.....</p> <p>ρείκι.....</p> <p>πουρνάρι.....</p> <p>.....</p> <p>% Ποών.....</p> <p>Αγρωστώδη..... Ψυχανθή.....</p>

Παράρτημα 3. Περιβαλλοντικές παράμετροι που λήφθηκαν στο πεδίο για τα 84 δειγματοληπτικά σημεία

Περιβαλλοντικές παράμετροι που λήφθηκαν στο πεδίο για τα 84 δειγματοληπτικά σημεία															
Κωδ	Κυκ	Πευκ	Υψομ	Κλίση	Εκθ	Γεωλ	ΒρΠετ	Ηλικ	Συγκ	Καλβλ	Κλαδ	Αγρ	Ψυχ	Ασφ	Πόες
1	5	61	50	20	1	4	0	1	2	72	3	2	4	12	17
2	5	81	81	10	-7	4	0	1	2	99	5	13	12	0	42
3	5	21	255	50	0	4	0	1	2	89	5	10	19	0	13
4	5	70	217	40	-9	4	0	2	2	78	23	9	13	0	10
5	5	769	191	20	1	4	0	1	2	100	24	0	6	0	27
7	5	18	378	12	-8	4	0	2	1	65	3	25	4	0	15
9	5	73	205	16	1	4	0	1	2	61	1	8	17	0	20
10	5	190	197	35	-4	4	0	1	2	80	14	4	7	0	27
12	5	156	268	47	-8	4	0	1	2	58	19	4	1	0	19
13	5	583	257	32	-5	4	0	1	3	64	16	7	1	2	7
16	5	60	221	65	-9	4	3	1	3	97	1	22	3	0	12
17	5	87	225	30	1	4	2	1	2	49	10	14	10	17	9
18	5	18	716	20	0	4	9	1	2	70	3	2	0	0	15

Κωδ	Κυκ	Πευκ	Υψομ	Κλίση	Εκθ	Γεωλ	ΒρΠετ	Ηλικ	Συγκ	ΚαλΒλ	Κλαδ	Αγρ	Ψυχ	Ασφ	Πόες
19	5	11	175	50	1	4	0	1	2	96	4	13	12	18	19
21	5	337	283	35	0	4	0	1	3	67	3	6	1	0	4
22	5	132	157	55	1	4	2	1	3	95	9	30	8	0	6
23	5	29	419	16	-2	4	0	2	2	97	3	13	28	0	25
24	5	39	490	25	0	2	25	2	1	65	0	18	9	0	18
25	5	2	566	36	1	2	1	1	1	99	1	11	51	0	15
26	5	27	582	50	1	2	7	1	2	69	3	4	10	0	13
30	5	7	86	40	1	4	3	1	1	85	0	10	15	0	11
31	5	139	199	45	-3	4	0	1	3	74	1	1	6	0	8
34	4	5	353	24	-4	2	11	2	3	55	2	0	1	0	10
35	5	56	377	55	1	2	14	1	3	58	5	6	3	0	39
38	5	67	175	25	0	4	0	1	2	68	25	22	6	1	33
40	5	60	146	19	-9	4	7	1	3	44	5	8	5	1	6
41	5	138	230	20	1	4	5	2	2	48	1	3	2	0	5
42	5	551	299	37	1	4	0	2	1	73	5	6	2	0	12

Κωδ	Κυκ	Πευκ	Υψομ	Κλίση	Εκθ	Γεωλ	ΒρΠετ	Ηλικ	Συγκ	Καλβλ	Κλαδ	Αγρ	Ψυχ	Ασφ	Πόες
43	5	1961	260	2	-5	4	0	1	3	99	3	20	24	0	10
44	5	402	255	50	1	4	3	1	2	88	0	11	1	0	8
45	5	41	299	40	-10	2	29	1	3	65	0	3	0	0	7
46	5	78	266	34	-7	4	0	1	1	62	0	0	3	0	10
47	5	1378	108	30	-7	4	2	2	3	58	9	7	3	1	14
48	4	1056	114	25	1	4	1	1	3	39	1	0	1	2	12
49	5	25	230	55	-7	4	27	1	3	55	10	3	0	0	17
50	3	10	542	32	-4	4	18	1	2	58	4	0	0	0	12
52	4	30	655	33	0	4	13	1	2	46	1	0	0	20	11
55	5	204	290	16	1	4	0	1	2	92	3	27	25	11	5
58	5	47	190	36	-2	4	0	1	2	92	0	11	6	0	7
59	5	83	229	5	1	4	0	1	2	34	4	7	0	3	8
60	5	34	72	30	-6	4	0	1	3	75	4	5	8	41	7
61	5	0	126	20	1	4	0	1	2	99	1	24	23	0	13
62	5	812	186	69	-5	4	0	1	2	63	8	6	11	2	7

Κωδ	Κυκ	Πευκ	Υψομ	Κλίση	Εκθ	Γεωλ	ΒρΠετ	Ηλικ	Συγκ	Καλβλ	Κλαδ	Αγρ	Ψυχ	Ασφ	Πόες
64	5	97	220	80	1	2	7	2	2	68	2	6	14	0	31
66	3	2	257	60	-2	2	4	2	2	98	2	37	34	0	14
67	4	92	114	50	-8	2	17	1	2	62	7	18	4	0	7
68	5	89	516	34	-6	3	10	1	2	56	11	0	33	0	9
69	5	60	413	58	1	3	3	2	3	76	6	5	20	0	16
70	5	13	489	40	-9	3	16	1	1	55	1	11	3	0	19
80	5	33	558	60	1	4	5	1	2	96	3	22	17	0	13
81	5	427	348	20	0	4	0	1	2	55	35	12	1	0	5
82	5	24	277	50	1	4	8	1	1	51	1	12	3	0	25
83	5	714	173	30	0	4	0	1	2	55	19	4	10	0	9
85	5	34	328	36	-7	4	3	1	2	62	27	17	16	0	22
87	5	113	148	34	1	4	0	1	2	91	28	2	58	0	10
89	5	48	140	44	0	4	0	2	3	100	4	11	33	0	41
90	5	291	221	22	0	4	0	1	3	60	1	7	12	0	19
91	5	71	146	23	0	4	0	1	2	81	2	10	11	0	14

Κωδ	Κυκ	Πευκ	Υψομ	Κλίση	Εκθ	Γεωλ	ΒρΠετ	Ηλικ	Συγκ	Καλβλ	Κλαδ	Αγρ	Ψυχ	Ασφ	Πόες
93	5	32	351	30	0	4	0	1	1	99	15	9	16	0	9
96	5	477	197	55	-8	4	33	2	3	50	9	6	0	0	27
97	5	595	321	17	1	4	1	1	3	63	25	0	0	0	31
98	5	420	166	27	0	4	0	1	3	79	11	8	1	3	18
99	5	283	93	23	-6	4	1	2	3	35	6	6	5	0	7
101	5	27	475	54	-10	4	47	1	3	24	3	5	2	0	3
102	5	75	484	45	-9	2	31	1	2	64	2	15	5	11	31
103	4	97	196	30	-3	4	3	1	3	80	0	6	15	0	12
106	5	58	408	50	1	2	24	2	3	60	2	7	0	0	31
107	4	76	95	19	0	4	1	1	2	60	12	21	2	0	33
108	5	148	523	35	0	4	6	1	3	43	15	18	1	0	14
109	3	416	625	47	1	4	4	1	3	58	8	2	2	0	6
110	5	26	105	40	1	4	0	1	3	42	7	3	1	37	15
111	5	113	120	18	-8	4	0	2	3	76	9	25	0	4	20
112	5	34	263	25	1	4	2	1	2	41	9	2	1	0	4

Κωδ	Κυκ	Πευκ	Υψομ	Κλίση	Εκθ	Γεωλ	ΒρΠετ	Ηλικ	Συγκ	ΚαλΒλ	Κλαδ	Αγρ	Ψυχ	Ασφ	Πόες
113	3	322	234	37	-2	4	1	1	3	87	3	1	0	0	6
115	5	14	333	27	0	4	20	1	2	71	5	12	0	2	12
116	5	12	354	47	-9	2	24	2	2	65	5	14	1	0	23
117	5	22	480	42	-10	2	26	0	2	85	3	7	0	0	18
118	5	3	500	33	1	2	35	1	3	75	0	30	7	2	13
119	4	179	420	67	-2	2	32	2	3	49	4	4	4	0	14
120	3	133	216	53	-4	4	6	1	3	75	14	6	0	0	32
122	3	62	111	20	0	2	23	1	3	65	25	17	0	0	16
123	5	1163	286	37	1	4	7	2	3	66	15	0	0	0	8
124	5	2600	90	30	0	4	0	1	2	93	5	4	0	0	7
125	5	191	111	20	-6	4	0	2	3	75	23	5	0	0	16

Κωδ: κωδικός των δειγματοληπτικών περιοχών, Κυκ: αριθμός κύκλων που αντιστοιχούν σε κάθε τοποθεσία, Πευκ: αριθμός ατόμων πεύκης, Υψομ: υψόμετρο, Κλίση: κλίση σε ποσοτό (%) με χρήση κλισόμετρου, Εκθ: έκθεση σημείου, Γεωολ: γεωλογία (2=Ασβεστόλιθος, 3=Φλύσχης, 4=Τριτογενείς αποθέσεις), ΒρΠετ: ποσοστό % κάλυψης με βράχια και πέτρες, Ηλικ: ηλικία δάσους (1: νεαρό, 2: ώριμο), Συγκ: συγκόμωση δένδρων, κάθετη προβολή κόμης (1: αραιή, 2: μέτρια, 3: πυκνή), Βλαστ: ποσοστό (%) κάλυψης συνολικής βλάστησης, Κλαδ: ποσοστό κάλυψης κλαδιών, Ψυχ: ποσοστό (%) κάλυψης ψυχανθών, Αγρ: ποσοστό (%) κάλυψης αγρωστωδών, Ασφ: αριθμός ατόμων ασφοδέλου, Πόες: ποσοστό (%) πώδους βλάστησης



ISBN 978-960-7506-16-0



9 7 8 9 6 0 7 5 0 6 1 6 0 >