

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΑΚΡΑΙΩΝ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΩΝ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑ ΠΛΑΤΟΣ ΑΥΞΗΣΗ ΤΗΣ ΧΑΛΕΠΙΟΥ ΠΕΥΚΗΣ (*PINUS HALEPENSIS* SSP. *HALEPENSIS*) ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ ΛΕΚΑΝΟΠΕΔΙΟΥ ΤΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

Παπαδόπουλος Α.¹, Τολικά Κ.², Παντέρα Α.¹, Μαχάρας Π.²

¹Τ.Ε.Ι. Λαμίας, Τμήμα Δασοπονίας και Διαχείρισης Φυσικού Περιβάλλοντος, 36100 Καρπενήσι

²Α.Π.Θ. Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας, 54124 Θεσσαλονίκη

Περίληψη

Η επίδραση των ακραίων βροχοπτώσεων και θερμοκρασιών στο πλάτος των δακτυλίων της χαλεπίου πεύκης του λεκανοπεδίου Αττικής, αναλύεται με τη χρήση δεικτών. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν οι μηνιαίοι κλιματικοί δείκτες των μετεωρολογικών σταθμών Αστροσκοπείο Αθηνών και Ελληνικό και οι δείκτες του πλάτους των δακτυλίων δυο πληθυσμών χαλεπίου πεύκης στο Λυκαβητό και την Ηλιούπολη για την περίοδο 1958-2000. Οι σχέσεις απόκρισης που υπολογίστηκαν δείχνουν ότι υπάρχει ισχυρή θετική συσχέτιση του δείκτη των ακραίων βροχοπτώσεων με το πλάτος των δακτυλίων για τους μήνες Οκτώβριο, Ιανουάριο και Φεβρουάριο της περιόδου πριν την έναρξη σχηματισμού του δακτυλίου και τις βροχοπτώσεις του Μαΐου του έτους σχηματισμού του δακτυλίου και αρνητική με τους δείκτες των ακραίων θερμοκρασιών του Οκτωβρίου και Απριλίου. Χαρακτηριστικά έτη με στενούς ή πλατείς δακτυλίους δεν συγχρονίζονται πάντα με τις μέγιστες και ελάχιστες τιμές των δεικτών των ακραίων βροχοπτώσεων και θερμοκρασιών για τους μήνες όπου υπάρχει συσχέτιση.

Abstract

The effect of extreme rainfalls and temperatures on Aleppo pine ring-width of the Attica basin, is analyzed based on indicators. Specifically, the indicators used were the monthly climatic ones derived from the meteorological stations National Observatory of Athens and Elliniko and the indicators of ring-widths of two populations of Aleppo pine located at Lykavittos and Heliopolis, for the time-period 1958-2000. The response functions calculated show a powerful positive correlation between the extreme rainfalls indicator with the ring-widths of October, January, and February before the commencement of ring formation as well as with May rainfalls of the ring-formation year, and a negative correlation with the October and April extreme temperatures indicators. Characteristic years of narrow or wide tree-rings, do not always synchronise with the highest and lowest indicators of extreme rainfalls and temperatures, for the months where a correlation was noted.

Λέξεις κλειδιά: δενδροκλιματολογία, χαλέπιος πεύκη, Αττική.

Key words: dendrochronology, Aleppo pine, Attica.

1. Εισαγωγή

Το πλάτος των ετησίων δακτυλίων ποικίλει ανάλογα με τις εκάστοτε ετήσιες κλιματικές συνθήκες και ανάλογα με τις εκάστοτε φυσικές ή ανθρωπογενείς επιδράσεις και γενικότερα τις μεταβολές του περιβάλλοντος (Fritts 1976, Schweingruber 1996). Η σχέση αυτή κλίματος – αύξησης οδήγησε στην ανάπτυξη της δενδροκλιματολογίας που χρησιμοποιεί τις πληροφορίες που περιέχονται μέσα στους χρονολογημένους ετησίους δακτυλίους των δένδρων με σκοπό τη μελέτη και ανακατασκευή της μεταβλητότητας του κλίματος στο παρελθόν και το παρόν (Kaennel and Schweingruber 1995).

Η χαλέπιος πεύκη, είδος χαρακτηριστικό της μεσογείου, αποτέλεσε συχνά το αντικείμενο

δενδροκλιματολογικών μελετών σε διάφορες χώρες της λεκάνης της Μεσογείου (Lev-Yadun et al. 1981, Serre-Bachet 1982, 1992, Rathgeber et al. 2003) αλλά και στη χώρα μας (Papadopoulos 1993, Παπαδόπουλος 2002, Papadopoulos et al. 2001, Παπαδόπουλος και συν. 2006). Στις παραπάνω εργασίες αναλύεται η ευαισθησία των δακτυλίων της χαλεπίου πεύκης στις κλιματικές μεταβολές και καθορίζονται οι σχέσεις κλίματος-αύξησης με βάση τις μηνιαίες βροχοπτώσεις και μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες.

Στην παρούσα εργασία εξετάζεται η επίδραση κλιματικών δεικτών που αφορούν στις ακραίες βροχοπτώσεις και θερμοκρασίες στην κατά πλάτος αύξηση της χαλεπίου πεύκης στην περιοχή του λεκανοπεδίου της Αττικής.

2. Δεδομένα – Μεθοδολογία

2.1. Δενδροχρονολογικά δεδομένα

Τα δενδροχρονολογικά δεδομένα είναι μέσες χρονοσειρές δεικτών του πλάτους των δακτυλίων των δένδρων, της περιόδου 1958-2000, από δυο τοποθεσίες αστικών δασών χαλεπίου πεύκης του λεκανοπεδίου της Αττικής, που αναφέρονται ως πληθυσμοί χαλεπίου πεύκης (Σχ. 1). Τα δεδομένα προέκυψαν από την ανάλυση και μέτρηση τους πλάτους των ετησίων δακτυλίων (mm/100) κυλινδρικών δειγμάτων ξύλου (τρυπανίδια) που λαμβάνονται σε ύψος 1,30 μ. από τη βάση του κορμού. Ο πληθυσμός T1 βρίσκεται στο άλσος Λυκαβηττού και περιλαμβάνει 12 δένδρα από τα οποία ελήφθησαν 21 τρυπανίδια, ενώ ο πληθυσμός T2 βρίσκεται στο άλσος Ηλιοπούλης και περιλαμβάνει 10 δένδρα από τα οποία ελήφθησαν 15 τρυπανίδια, σε κάθε περίπτωση 1 ή 2 τρυπανίδια ανά δένδρο. Η μετατροπή των αρχικών δεδομένων σε δείκτες έγινε για κάθε στοιχειώδη χρονοσειρά (είναι η χρονοσειρά που αντιστοιχεί στις μετρήσεις των δακτυλίων ενός τρυπανιδίου) με τη βοήθεια αυτοσυσχετιζόμενων και κινητού μέσου όρου μοντέλα (ARMA) ειδικά προσαρμοσμένα για δενδροχρονολογικές αναλύσεις (Guiot 1990). Η διαδικασία αυτή είναι απαραίτητη για την απαλοιφή του φαινομένου μείωσης του πλάτους των δακτυλίων με την αύξηση της ηλικίας των δένδρων, καθώς και για την ανάδειξη του κλιματικού σήματος που περικλείουν οι δακτύλιοι (Fritts 1976, Cook et al. 1989).



Σχήμα 1. Χάρτης της Αττικής με τη θέση των 2 πληθυσμών χαλεπίου πεύκης: T1. Λυκαβηττός και T2. Ηλιοπούλη, καθώς και των θέσεων των 2 μετεωρολογικών σταθμών: ΑΣΤΕΡ. Αστεροσκοπείο Αθηνών, ΕΛΛΗΝ. Ελληνικό.

2.2. Κλιματικά δεδομένα – Ακραίοι δείκτες

Τα κλιματικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη αποτελούν ημερήσιες χρονοσειρές υψών βροχής, μεγίστων και ελαχίστων θερμοκρασιών για δύο χαρακτηριστικούς σταθμούς της περιοχής μελέτης: α) του Αστεροσκοπείου Αθηνών (Αθήνα) και β) του Ελληνικού. Καλύπτουν τη χρονική περίοδο από το 1958 ως το 2000, δεν περιέχουν κενά και έχουν ελεγχθεί ως προς τα θέματα ομοιογένειας. Εφαρμόζοντας σε μηνιαία βάση το τεστ ομοιογένειας Alexandersson (Alexandersson, 1986) κρίθηκαν και οι δύο σταθμοί ομοιογενείς.

Με σκοπό την ανάλυση και μελέτη της επίδρασης των ακραίων βροχοπτώσεων και θερμοκρασιών επιλέχτηκαν τέσσερις δείκτες (2 για τη βροχόπτωση και 2 για τη θερμοκρασία). Η περιγραφή των δεικτών, καθώς και ο τρόπος υπολογισμού τους γίνεται στον πίνακα 1. Στο σημείο αυτό πρέπει να τονιστεί ότι οι επιλεγμένοι δείκτες αποτελούν ποσοστιαία σημεία ή αριθμό ακραίων επεισοδίων και όχι κατανομών. Οι ακραίες βροχοπτώσεις και θερμοκρασίες υπολογίζονται με τη βοήθεια κατωφλίων και ποσοστών, έτσι ώστε να είναι εφαρμόσιμοι και συγκρίσιμοι σε διάφορες περιοχές και με διαφορετικά κλιματικά χαρακτηριστικά. Οι χρονοσειρές των δεικτών που προέκυψαν είναι σε μηνιαία βάση για όλη την περίοδο μελέτης (1958-2000).

Πίνακας 1. Περιγραφή και υπολογισμός των ακραίων δεικτών βροχόπτωσης και θερμοκρασίας

	Δείκτης	Περιγραφή	Υπολογισμός
Βροχόπτωση	Pq90	9 ^ο δεκατημόριο της βροχόπτωσης (mm/ημέρα)	Έστω R_{wv90} το ένατο δεκατημόριο της βροχόπτωσης των ημερών βροχής για το έτος, την εποχή ή το μήνα. Ο δείκτης δίνεται από τη σχέση $Pq90 = R_{wv90}$
	Pxcdd	Μέγιστη ακολουθία ξηρών ημερών	Έστω R_{ij} το ημερήσιο ποσό βροχής της ημέρας i για την περίοδο j . Υπολογίζεται η μεγαλύτερη ακολουθία συνεχόμενων ημερών όπου: $R_{ij} <$ κατώφλι (1mm)
Θερμοκρασία	Txq90	9 ^ο δεκατημόριο της μέγιστης θερμοκρασίας (°C)	Έστω $T90th$ το ένατο δεκατημόριο των μεγίστων θερμοκρασιών για το έτος, την εποχή ή το μήνα. Ο δείκτης δίνεται από τη σχέση $Txq90 = T90th$
	Tnq10	1 ^ο δεκατημόριο της ελάχιστης θερμοκρασίας (°C)	Έστω $T10th$ το πρώτο δεκατημόριο των ελαχίστων θερμοκρασιών για το έτος, την εποχή ή το μήνα. Ο δείκτης δίνεται από τη σχέση $Tnq10 = T10th$

2.3. Σχέσεις κλιματικών και δενδροχρονολογικών δεδομένων

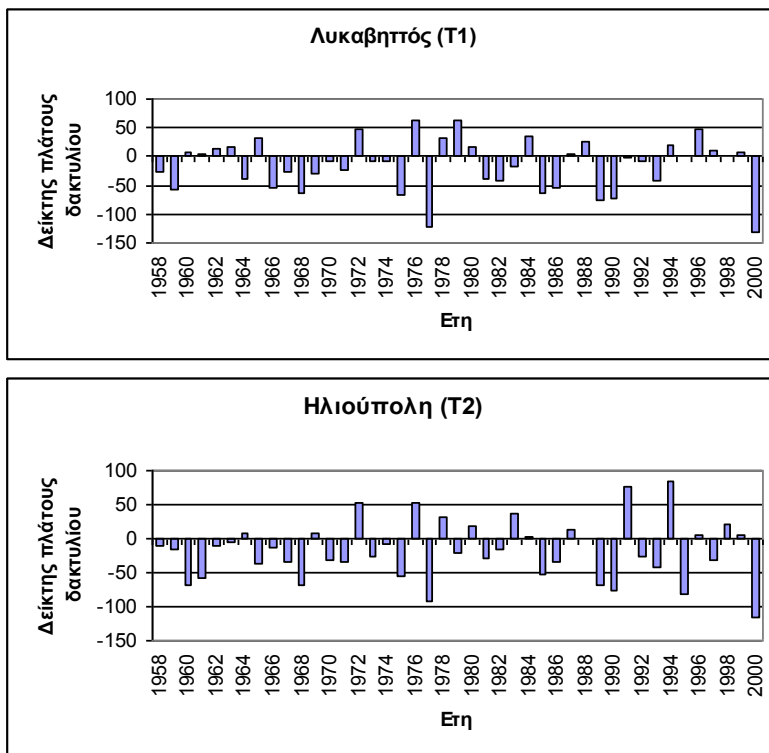
Ο υπολογισμός των σχέσεων μεταξύ των κλιματικών δεικτών και των δεικτών του πλάτους των δακτυλίων έγινε με τη βοήθεια των σχέσεων απόκρισης (response function) και τη χρήση της μεθόδου της ορθογωνικής παλινδρόμησης σε συνδυασμό με τη διαδικασία Bootstrap (Guiot, 1990). Κάθε μέση χρονοσειρά δεικτών πλάτους δακτυλίων (εξαρτημένη μεταβλητή) συσχετίστηκε με 24 μηνιαίες κλιματικές παραμέτρους (ανεξάρτητες μεταβλητές) που περιλαμβάνουν τους συνδυασμούς των δεικτών ($Pq90 - Txq90$) και ($Pq90 - Tnq10$). Ο υπολογισμός των σχέσεων έγινε για την περίοδο των υδρολογικών ετών από 1958-59 έως 1999-2000 (Οκτώβριος έτους $n-1$ έως Σεπτέμβριος έτους n).

3. Αποτελέσματα

3.1. δενδροχρονολογική μελέτη

Από την παρουσίαση σε ιστόγραμμα των τιμών των μέσων χρονοσειρών των δεικτών του

πλάτους των δακτυλίων των δυο πληθυσμών χαλεπίου πεύκης για την εξεταζόμενη περίοδο 1958-2000 μπορούμε να διακρίνουμε τους στενούς (αρνητικές τιμές) και πλατείς (θετικές τιμές) δακτύλιους (Σχ. 2). Οι κυριότεροι χαρακτηριστικοί δακτύλιοι είναι: πληθυσμός T1 (Λυκαβηττός): στενοί δακτύλιοι: 1977, 1989 1990 και 2000, πλατείς δακτύλιοι: 1976 και 1979, πληθυσμός T2 (Ηλιούπολη) : στενοί δακτύλιοι:, 1977, 1990, 1995, και 2000, πλατείς δακτύλιοι: 1991 και 1994.



Σχήμα 2. Μέσες χρονοσειρές δεικτών πλάτους δακτυλίων των 2 πληθυσμών χαλεπίου πεύκης.

3.2. Κλιματική μελέτη των ακραίων δεικτών βροχόπτωσης και θερμοκρασίας

Με σκοπό τη λεπτομερή μελέτη των ακραίων βροχοπτώσεων και θερμοκρασιών, ώστε να βρεθεί η σχέση που μπορεί να παρουσιάζουν με την ανάπτυξη των δακτυλίων της χαλεπίου πεύκης στην περιοχή, υπολογίστηκαν σε μηνιαία βάση, οι μέγιστες και οι ελάχιστες τιμές των δεικτών, καθώς και της βροχόπτωσης, της μέγιστης και της ελάχιστης θερμοκρασίας. Προσδιορίστηκαν επίσης και τα έτη όπου εμφανίστηκαν οι τιμές αυτές, ώστε να βρεθεί αν υπάρχει κάποια σύμπτωση και επίδραση των ακραίων τιμών των δεικτών με τις αντίστοιχες ακραίες τιμές των κλιματικών παραμέτρων. Η ανάλυση αυτή έγινε, διότι, με εξαίρεση τις μέγιστες ξηρές ακολουθίες, όλοι οι υπόλοιποι δείκτες εκφράζουν ημερήσιες τιμές οπότε είναι πολύ δύσκολο να ερευνηθεί και να εντοπιστεί αν μια τέτοια τιμή μπορεί να έχει επίδραση στην ανάπτυξη των δακτυλίων ενός δέντρου. Στον ακόλουθο πίνακα, παρατίθενται τα αποτελέσματα που αφορούν στη βροχόπτωση και τους ακραίους δείκτες της (Πίνακας 2). Τα σκιασμένα κελιά στην περίπτωση των δεικτών δείχνουν που υπάρχει συμφωνία στο έτος εμφάνισης της μέγιστης ή της ελάχιστης τιμής του δείκτη με τις αντίστοιχες τιμές των μηνιαίων

υψών βροχής. Τα αντίστοιχα σκιασμένα κελιά στα ύψη βροχής δείχνουν για ποιους μήνες υπάρχει συμφωνία μεταξύ και των τριών παραμέτρων (Rq90, Pxcdd και μηνιαία ύψη βροχής), και οι περιπτώσεις αυτές θα πρέπει να μελετηθούν περαιτέρω σε σχέση με την επίδραση που μπορεί να επιφέρουν στο πλάτος των δακτυλίων της χαλεπίου πεύκης. Φανερό είναι ότι η μέγιστη τιμή του δείκτη Rq90 συσχετίζεται με την ελάχιστη τιμή του Pxcdd και με το μέγιστο ύψος βροχής του αντίστοιχου μήνα.

Έτσι, στην περίπτωση του σταθμού του Αστεροσκοπείου των Αθηνών (Αθήνα) σε τέσσερις μήνες εμφανίστηκε αυτή η αντιστοιχία. Το Φεβρουάριο, το έτος 1965, ο δείκτης Rq90 παρουσιάζει τη μέγιστη τιμή του (34.1mm), ο δείκτης Pxcdd τη μικρότερη τιμή του, μόλις 3 μέρες αλλά και το ύψος βροχής του μήνα αυτού ήταν μέγιστο κατά το έτος αυτό με τιμή 137.0 mm. Αντίστοιχα αποτελέσματα βρέθηκαν και για τον Ιούνιο του 1968 όπου ο δείκτης Rq90 εμφάνισε μέγιστο (39.2mm), ο Pxcdd ελάχιστη τιμή (8 μέρες) και η βροχόπτωση του μήνα ήταν μέγιστη με 60.0 mm. Αντίθετα τους μήνες Μάρτιο και Οκτώβριο για τα έτη 1990 και 1993 αντίστοιχα εντοπίστηκε η αντίστροφη συμφωνία. Δεν μετρήθηκε καθόλου βροχόπτωση, οπότε ο δείκτης Rq90 και το μηνιαίο ύψος ήταν μηδενικό, ενώ ο δείκτης των ξηρών ακολουθιών παρουσίασε μέγιστο 31 ημερών. Στο σταθμό του Ελληνικού εντοπίστηκαν τρεις περιπτώσεις με έντονη ξηρασία (τον Μάρτιο και τον Μάιο του 1990 καθώς και τον Οκτώβριο (1963, 1990) καθώς και μια περίπτωση ακραίων βροχοπτώσεων το Σεπτέμβριο του 1978 όπου ο δείκτης Rq90 εμφάνιζε το μέγιστο με 30.5mm, η μέγιστη ξηρή ακολουθία είχε τη μικρότερη διάρκεια (8 ημέρες) και το μηνιαίο ύψος βροχής του μήνα ήταν το μεγαλύτερο όλων των Σεπτεμβρίων της περιόδου μελέτης, φτάνοντας τα 69.4 χιλιοστά.

Τα αντίστοιχα αποτελέσματα που προέκυψαν για την περίπτωση των μεγίστων και ελαχίστων θερμοκρασιών φαίνονται στον Πίνακα 3 (α,β). Εδώ, οι αντιστοιχίες προέκυψαν από τη σύγκριση του δείκτη Tq90 και των μέσων μηνιαίων μεγίστων θερμοκρασιών, καθώς και ανάμεσα στο δείκτη Tq10 και στις μέσες μηνιαίες ελάχιστες θερμοκρασίες, για όλους τους μήνες για τους δύο εξεταζόμενους σταθμούς. Στόχος ήταν σε αυτή την περίπτωση να βρεθεί αν κατά κάποιο τρόπο οι ακραίες τιμές των δεικτών (μέγιστες ή ελάχιστες) αντικατοπτρίζουν ή επιδρούν στη διαμόρφωση των ακραίων τιμών των μεγίστων και ελαχίστων θερμοκρασιών. Στην Αθήνα, ταύτιση μεταξύ της μέγιστης τιμής του Tq90 και των T_{max} εμφανίζεται για τους μήνες Σεπτέμβριο, Οκτώβριο και Νοέμβριο για τα έτη αντίστοιχα 1994, 1984 και 2000. Η συμφωνία των ακραίων ελαχίστων τιμών του δείκτη και των αντίστοιχων ελαχίστων τιμών των T_{max} είναι μεγαλύτερη, και παρατηρήθηκε για έξι μήνες (Μάρτιο, Μάιο, Αύγουστο, Σεπτέμβριο, Οκτώβριο και Δεκέμβριο). Αντίστοιχα, φαίνονται και τα αποτελέσματα για το Ελληνικό. Χαρακτηριστικό είναι ότι για τις ακραίες μέγιστες τιμές του δείκτη Tq90 και των μέσων μεγίστων θερμοκρασιών βρέθηκε μόνο μια αντιστοιχία για το μήνα Μάιο του 1968 (Πίνακας 3α).

Οι ακραίες μέγιστες τιμές του δείκτη των ελαχίστων θερμοκρασιών (Tq10) πιθανόν να επιδρούν περισσότερο στις αντίστοιχες μέγιστες τιμές των μέσων ελαχίστων μηνιαίων θερμοκρασιών αφού οι αντιστοιχίες που προέκυψαν είναι περισσότερες σε σχέση με αυτές που αφορούν στις ελάχιστες τιμές τους. Για παράδειγμα, για το σταθμό της Αθήνας προέκυψε ότι ο δείκτης Tq10 και οι T_{min} παρουσίασαν τις μέγιστες τιμές τους συγχρόνως, τους μήνες Μάιο (1968), Ιούνιο (1999), Αύγουστο (1998), Σεπτέμβριο (1994), Οκτώβριο (1966) και Δεκέμβριο (1960). Για τις αντίστοιχες ελάχιστες ακραίες τιμές τους, ο δείκτης και οι T_{min} παρουσίασαν για λιγότερες περιπτώσεις συμφωνία. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι υπάρχει μεγαλύτερη συμφωνία για τα έτη και τους μήνες εμφάνισης των ακραίων τιμών ανάμεσα και στους δύο σταθμούς μελέτης, γεγονός το οποίο δεν είχε παρατηρηθεί στην αντιστοιχία ανάλυση των βροχοπτώσεων.

Πίνακας 2. Μέγιστες και ελάχιστες τιμές των επιλεγμένων δεικτών βροχής καθώς και των μηνιαίων βροχοπτώσεων για τους δύο σταθμούς. Στις παρενθέσεις παρατίθενται τα έτη εμφάνισης των μεγίστων και ελαχίστων τιμών των παραμέτρων. Τα σκιασμένα κελιά των δεικτών δείχνουν τους μήνες όπου υπάρχει συμφωνία στα έτη εμφάνισης των ακραίων τιμών σε σχέση με τη βροχόπτωση. Τα σκιασμένα κελιά των μηνιαίων βροχοπτώσεων δείχνουν τη συμφωνία και με τους δύο δείκτες ταυτόχρονα.

Δείκτες βροχόπτωσης- Μηνιαία βροχόπτωση

Αθήνα								Ελληνικό						
Δείκτης Ρq90			Δείκτης Ρxcdd			Μην. Βροχόπτωση		Δείκτης Ρq90			Δείκτης Ρxcdd			Μην. Βροχόπτωση
Μέση Τιμή	Μέγ. Τιμή	Ελάχ. Τιμή	Μέση Τιμή	Μέγ. Τιμή	Ελάχ. Τιμή	Μέγ. Τιμή	Ελάχ. Τιμή	Μέση Τιμή	Μέγ. Τιμή	Ελάχ. Τιμή	Μέση Τιμή	Μέγ. Τιμή	Ελάχ. Τιμή	Μέγ. Τιμή
12.1	38.2 (1997)	1.4 (1992)	10	20 (1983/92)	3 (1996)	102.0 (1994)	1.9 (1983)	12.3	28.7 (1997)	1.5 (1992)	11	22 (1989)	4 (1966/70/96)	126.0 (1994)
12.1	34.1 (1965)	0.4 (1959)	9	22 (1998)	3 (1965)	137.0 (1965)	0.9 (1959)	12.1	32.9 (1988)	0.4 (1959)	9	19 (1958)	3 (1965)	129.3 (1988)
12.5	41.3 (1999)	0.0 (1990)	11	31 (1990)	5 (1996/97)	172.2 (1999)	0.0 (1990)	12.0	37.3 (1961)	0.7 (1990)	11	30 (1990)	5 (1958)	205.3 (1998)
9.3	36.8 (1987)	0.6 (1979)	12	24 (1998)	5 (1958/78/84)	116.3 (1984)	0.7 (1979)	10.2	50.1 (1987)	0.5 (1970)	12	24 (1998)	4 (1978)	112.7 (1984)
6.7	23.0 (1994)	0.5 (1990)	15	30 (1997)	6 (1991/93)	86.3 (1963)	0.8 (1990)	6.5	25.5 (1994)	0.0 (1990)	17	31 (1990)	8 (1960/91/93)	71.0 (1963)
5.4	39.2 (1968)	0.0	21	30	8 (1968)	60.0 (1968)	0.0	4.0	18.0 (1986)	0.0	21	30	11 (1964/65)	37.1 (1986)
3.8	29.1 (1999)	0.0	26	31	11 (1972)	41.7 (1999)	0.0	4.9	45.9 (1983)	0.0	27	31	9 (1959)	60.7 (1999)
3.5	17.2 (1976)	0.0	24	31	9 (1996)	29.6 (1975)	0.0	5.2	63.5 (1972)	0.0	25	31	10 (1975)	73.0 (1972)
5.3	35.1 (1962)	0.0	21	30	7 (1996)	78.7 (1962)	0.0	4.7	30.5 (1978)	0.0	22	30	8 (1978)	69.4 (1978)
14.4	43.4 (1994)	0.0 (1969/93)	14	31 (1993)	5 (1963)	147.2 (1972)	0.0 (1993)	15.2	48.6 (1978)	0.0 (1969/93)	15	31 (1969/93)	5 (1963)	151.8 (1972)
16.3	66.3 (1977)	2.3 (1961/86)	11	29 (1972)	4 (1962)	184.7 (1998)	2.7 (1972)	17.3	45.0 (1998)	4.1 (1989)	11	26 (1969/78)	4 (1979/93)	203.2 (1993)
15.8	46.8 (1978)	1.4 (1958)	8	20 (1972)	3 (1969/75)	144.2 (1975)	5.4 (1958)	14.9	31.6 (1994)	1.2 (1958)	9	21 (1986)	4 (1975)	148.1 (1975)

Πίνακας 3. Μέγιστες και ελάχιστες τιμές των δεικτών και των μεγίστων και ελαχίστων θερμοκρασιών για τους δύο σταθμούς μελέτης, για όλους τους μήνες. Στις παρενθέσεις παρατίθενται τα έτη εμφάνισης των μεγίστων και ελαχίστων τιμών των παραμέτρων. Τα κελιά που είναι γραμμοσκιασμένα δείχνουν για ποιος μήνας υπάρχει συμφωνία ανάμεσα στην εμφάνιση των ακραίων τιμών του δείκτη και των ακραίων τιμών των μεγίστων και ελαχίστων θερμοκρασιών αντίστοιχα.

α) Δείκτες Μεγίστων Θερμοκρασιών – Μέγιστες Θερμοκρασίες								
	Αθήνα				Ελληνικό			
	Μέγ. Τχq90	Ελάχ. Τχq90	Μεγ. Τmax	Ελαχ. Τmax	Μέγ. Τχq90	Ελάχ. Τχq90	Μεγ. Τmax	Ελαχ. Τmax
Ιαν	19.0 (1979)	13.4 (1974)	15.1 (1986)	10.1 (1964)	19.6 (1963)	13.4 (1974)	15.2 (1962)	10.9 (2000)
Φεβ	20.7 (1990)	14.6 (1982)	17.6 (1977)	11.0 (1993)	20.0 (1960)	14.6 (1982)	18.0 (1966)	11.3 (1993)
Μαρ	24.4 (1977)	16.6 (1996)	19.8 (1990)	11.9 (1996)	21.7 (1977)	15.6 (1996)	18.4 (1990)	11.8 (1987)
Απρ	27.2 (1985)	20.3 (1984)	23.5 (1989)	17.4 (1997)	24.8 (1970)	19.8 (1997)	21.6 (1961)	16.7 (1997)
Μαιος	35.2 (1994)	25.6 (1991)	28.1 (1998)	23.4 (1991)	31.2 (1968)	24.0 (1991)	27.1 (1968)	21.7 (1987)
Ιουν	37.7 (1997)	30.7 (1983)	33.7 (1998)	27.9 (1967)	35.2 (2000)	29.0 (1983)	31.7 (1999)	26.7 (1983)
Ιουλ	42.5 (2000)	32.4 (1976)	36.4 (1999)	30.0 (1969)	38.6 (2000)	31.6 (1976)	34.3 (1998)	29.8 (1976)
Αυγ	40.2 (1999)	31.8 (1976)	35.6 (1998)	29.5 (1976)	37.4 (1999)	30.6 (1976)	34.3 (1998)	28.7 (1976)
Σεπτ	35.2 (1994)	29.6 (1978)	33.2 (1994)	26.5 (1978)	33.7 (1969)	28.5 (1978)	32.0 (1994)	25.7 (1978)
Οκτ	32.0 (1984)	23.5 (1959)	26.8 (1984)	20.1 (1959)	30.0 (1965)	24.0 (1977)	27.2 (1967)	20.9 (1959)
Νοεμ	25.9 (2000)	18.0 (1978)	21.7 (2000)	14.8 (1988)	24.8 (1990)	17.6 (1978)	21.9 (1960)	15.3 (1988)
Δεκ	20.7 (1963)	14.6 (1991)	17.5 (1960)	9.9 (1991)	21.4 (1964)	14.6 (1991)	18.5 (1960)	10.5 (1991)

β) Δείκτες Ελαχίστων Θερμοκρασιών – Ελάχιστες Θερμοκρασίες								
	Αθήνα				Ελληνικό			
	Μέγ. Τηq10	Ελάχ. Τηq10	Μεγ. Tmin	Ελαχ. Tmin	Μέγ. Τηq10	Ελάχ. Τηq10	Μεγ. Tmin	Ελαχ. Tmin
Ιαν	6.0 (1971)	-0.6 (1963)	8.8 (1970)	4.0 (1964)	6.5 (1971)	0.2 (1968)	9.4 (1970)	4.6 (1964)
Φεβ	7.8 (1966)	-1.4 (1983)	10.0 (1977)	4.1 (1983)	7.5 (1977)	-1.8 (1983)	10.1 (1977)	4.0 (1983)
Μαρ	7.5 (1978)	-1.4 (1987)	10.4 (1979)	4.3 (1987)	7.8 (1975)	-0.2 (1997)	10.6 (1962)	4.8 (1987)
Απρ	12.0 (1989)	5.5 (1997)	14.0 (2000)	9.0 (1997)	11.4 (1968)	5.3 (1990)	13.7 (1961)	9.0 (1994)
Μαιος	16.2 (1968)	10.4 (1988)	18.8 (1968)	13.9 (1987)	16.0 (1968)	10.0 (1984)	18.2 (1968)	13.7 (1982)
Ιουν	20.8 (1999)	15.2 (1980)	23.0 (1999)	18.7 (1983)	20.0 (1999)	15.2 (1984)	21.7 (1999)	17.9 (1984)
Ιουλ	23.0 (1999)	17.8 (1984)	25.4 (2000)	21.0 (1985)	22.6 (1988)	17.4 (1984)	25.1 (1988)	20.2 (1984)
Αυγ	23.4 (1998)	18.0 (1984)	25.4 (1998)	19.9 (1976)	23.0 (1966)	17.6 (1984)	24.7 (1962)	20.1 (1984)
Σεπτ	20.8 (1994)	14.0 (1977)	22.3 (1994)	17.6 (1978)	19.8 (1975)	14.5 (1970)	21.6 (1994)	18.1 (1978)
Οκτ	16.6 (1966)	7.8 (1971)	18.2 (1966)	12.2 (1985)	17.4 (1966)	8.8 (1971)	19.3 (1966)	12.7 (1959)
Νοεμ	12.2 (1960)	3.6 (1976)	14.3 (2000)	8.3 (1988)	12.0 (1966)	3.9 (1976)	14.7 (1966)	9.3 (1988)
Δεκ	8.8 (1960)	1.1 (1991)	11.5 (1960)	4.7 (1991)	9.0 (1960)	1.6 (1991)	11.7 (1960)	5.0 (1991)

4. Μελέτη των σχέσεων κλίματος – αύξησης

Ο υπολογισμός των σχέσεων κλίματος - αύξησης (πίνακας 4) δείχνει ότι υπάρχουν πάντα θετικές συσχετίσεις με το δείκτη των ακραίων βροχοπτώσεων και αρνητικές με τους δείκτες των ακραίων θερμοκρασιών. Ισχυρές θετικές συσχετίσεις με το δείκτη των ακραίων βροχοπτώσεων παρατηρούνται τους μήνες της χειμερινής περιόδου (Οκτώβριο, Ιανουάριο, Φεβρουάριο), πριν την έναρξη της αύξησης του δακτυλίου και κατά τη διάρκεια του Μαΐου του έτους σχηματισμού του δακτυλίου. Αντίθετα ισχυρές αρνητικές συσχετίσεις με τους δείκτες των ακραίων θερμοκρασιών παρατηρούνται το μήνα Απρίλιο, κυρίως με το δείκτη των μεγίστων θερμοκρασιών.

Πίνακας 4. Σχέσεις απόκρισης με τις 24 κλιματικές παραμέτρους (Pq90 – Tχq90) και (Pq90 – Tηq10) για επίπεδο σημαντικότητας >0.05, (+) θετική συσχέτιση, (-) αρνητική συσχέτιση.

Πληθυσμός /Μ.Σ	ΒΡΟΧΗ												ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ											
	Ο	Ν	Δ	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ
(Pq90 – Tχq90)																								
T1/ ΑΣΤΕΡ		+		+	+																			-
T2/ ΕΛΛΗΝ		+				+																		-
(Pq90 - Tηq10)																								
T1/ ΑΣΤΕΡ					+	+					+													-
T2/ ΕΛΛΗΝ		+			+	+					+													

5. Συζήτηση - Συμπεράσματα

Με βάση τη συχνότητα εμφάνισης σημαντικών σχέσεων απόκρισης φαίνεται ότι οι ακραίες βροχοπτώσεις της χειμερινής περιόδου έχουν σημαντικότερο ρόλο στη διαμόρφωση του πλάτους των ετησίων δακτυλίων από ότι οι ακραίες βροχοπτώσεις της Άνοιξης. Ο ρόλος των ακραίων βροχοπτώσεων της Άνοιξης είναι εμφανής μόνο στο συνδυασμό με τις ακραίες ελάχιστες θερμοκρασίες. Η σπουδαιότητα των ακραίων βροχοπτώσεων της χειμερινής περιόδου πριν από την έναρξη του σχηματισμού των ετησίων δακτυλίων μπορεί να ερμηνευθεί από την ανάγκη πλήρωσης του εδάφους με αποθέματα νερού χρήσιμα για την έναρξη της αυξητικής δραστηριότητας τη διάρκεια της άνοιξης. Η θετική επίδραση των βροχοπτώσεων της εαρινής περιόδου μπορεί να αποδοθεί στην άμεση χρήση του νερού στις διάφορες φυσιολογικές διεργασίες. Σε ότι αφορά τις ακραίες θερμοκρασίες, οι αρνητικές σχέσεις με τις θερμοκρασίες του Απριλίου μπορεί να ερμηνευθούν με την επίδραση του παράγοντα αυτού στις φυσιολογικές λειτουργίες των δένδρων (αναπνοή, διαπνοή), αλλά και στην επίδραση του στις υδρολογικές διαδικασίες (εξάτμιση, υγρασία εδάφους και αέρα). Από τις σχέσεις που υπολογίστηκαν φαίνεται ο κυρίαρχος ρόλος των ακραίων κατακρημνισμάτων σε σχέση με τις ακραίες θερμοκρασίες στην κατά πλάτος αύξηση της χαλεπίου πεύκης. Αυτό έχει παρατηρηθεί και για άλλα είδη που αναπτύσσονται σε μικρά υψόμετρα (Serre 1976, Fritts 1976, Schweingruber, 1988). Οι σχέσεις του πλάτους των δακτυλίων και των δεικτών των ακραίων βροχοπτώσεων και θερμοκρασιών είναι σε σημαντικό βαθμό ανάλογες με αυτές που υπολογίστηκαν για το ίδιο είδος, με βάση τις μηνιαίες βροχοπτώσεις και τις μέσες μέγιστες και ελάχιστες θερμοκρασίες στο λεκανοπέδιο της Αττικής (Paradopoulos et al. 2007) και στην Ελλάδα γενικότερα (Paradopoulos et al., 2001).

Με βάση τις σχέσεις πλάτους δακτυλίων και ακραίων βροχοπτώσεων και θερμοκρασιών και την ανάλυση των μεγίστων και ελαχίστων τιμών των επιλεγμένων δεικτών (πίνακες 2 και 3) φαίνεται ότι, μόνο για κάποιες χρονιές, υπάρχει μια ανάλογη απόκριση των μηνιαίων ακραίων τιμών στο πλάτος του δακτυλίου των αντιστοίχων ετών. Για παράδειγμα ο στενός δακτύλιος του έτους 1990 και για τους δυο πληθυσμούς χαλεπίου πεύκης φαίνεται ότι

συνδυάζεται με την ελάχιστη τιμή του δείκτη βροχόπτωσης (Pq90) που παρατηρήθηκε το μήνα Μάιο του έτους αυτού και στους δυο μετεωρολογικούς σταθμούς αλλά και με τη μέγιστη τιμή του δείκτη ακολουθίας ξηρών ημερών (Pxcdd) που παρατηρείται τον ίδιο μήνα στο σταθμό του Ελληνικού. Επίσης ο πλατύς δακτύλιος του 1994 για τον πληθυσμό T1 συνδυάζεται με τη μέγιστη τιμή του δείκτη (Pq90) το μήνα Μάιο του ίδιου έτους. Αντίθετα, σε άλλες περιπτώσεις, όπως για παράδειγμα οι στενοί δακτύλιοι των ετών 1997 και 2000, δεν υπάρχει ανάλογη αντιστοιχία. Βέβαια οι σχέσεις απόκρισης που υπολογίστηκαν αντανακλούν τη συνεπίδραση των ακραίων βροχοπτώσεων και ακραίων θερμοκρασιών στη διαμόρφωση του πλάτους των δακτυλίων και επομένως από μόνη της μια ακραία τιμή δεν μπορεί να εκφράζει απόλυτα τη μεταβολή του πλάτους του δακτυλίου. Επιπλέον στην κατά πλάτος αύξηση των δένδρων υπεισέρχονται και άλλοι ενδογενείς και εξωγενείς παράγοντες εκτός από το κλίμα (Fritts 1976), που ακόμη και η πιο εξελιγμένη στατιστική επεξεργασία των χρονοσειρών των δακτυλίων δεν μπορεί τελείως να απαλείψει.

Συμπερασματικά από τη διερεύνηση αυτή της επίδρασης των ακραίων βροχοπτώσεων και θερμοκρασιών στην κατά πλάτος αύξηση της χαλεπίου πεύκης φαίνεται ότι οι ακραίες τιμές βροχής και θερμοκρασίας επηρεάζουν κάποιους μήνες την κατά πλάτος αύξηση, σχεδόν με ανάλογο τρόπο με αυτό των μηνιαίων βροχοπτώσεων και μέσων μέγιστων και ελάχιστων θερμοκρασιών. Όμως η επίδραση αυτή, όπως τουλάχιστο φαίνεται μέσα από τις σχέσεις απόκρισης, δεν ταυτίζεται σε ικανοποιητικό βαθμό με τα αποτελέσματα της κλιματικής ανάλυσης. Μια επιπλέον διερεύνηση με αναπροσαρμογή των μηνιαίων κλιματικών δεικτών ή ακόμη μια διεύρυνση των δενδροχρονολογικών δεδομένων με μέσους όρους περισσότερων πληθυσμών της περιοχής μελέτης, ώστε να απαλειφθούν ιδιαιτερότητες των σταθμών, θα έδινε ίσως περισσότερες απαντήσεις. Τέλος η έρευνα αυτή αποτελεί μια πρώτη βάση για τη παραπέρα διερεύνηση του ρόλου των ακραίων κλιματικών συνθηκών στην κατά πλάτος αύξηση της χαλεπίου πεύκης στη Ελλάδα και τη Μεσόγειο.

Ευχαριστίες

Η παρούσα εργασία αποτελεί μέρος του ερευνητικού προγράμματος Περιβάλλον-Αρχιμήδης: Ε.Ε.Ο. ΤΕΙ Λαμίας που χρηματοδοτείται κατά 75% από την Ευρωπαϊκή Ένωση και το Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο και κατά 25 % από το ΥΠΕΠΘ.

Βιβλιογραφία

Alexandersson H., 1986. A homogeneity test applied to precipitation data. *J. Climatol.*, 6, 661-675.

Cook, E., Briffa K., Shiyatov S., Mazepa V., 1989. Tree-ring standardization and growth-trend estimation.

In: *Methods of dendrochronology. Applications in the environmental sciences.* Cook and Kairiukstis (eds), Kluwer Academic Pub., International Institute for Applied Systems Analysis, 104-123.

Fritts, H.C., 1976. *Tree-rings and climate.* Academic Press, London, 567 p.

Guiot, J., 1990. *Methods and programs of statistics for paleoclimatology and paleoecology. Quantification des changements climatiques: Méthodes et programmes,* Monographie No 1. INSU, PNEDC, 253 p.

Kaennel, M., Schweingruber, F. H., 1995. *Multilingual glossary of dendrochronology. Terms and definitions*

in English, German, French, Spanish, Italian, Portuguese, and Russian. WSL/ FNP, Haupt, pp. 467.

Lev-Yadun, S., Liphschitz N., Waisel, Y., 1981. Dendrochronological investigations in Israel: *Pinus halepensis* Mill. The oldest living pines in Israel. *La Yaaran*, 31 (1-4), 49-52 and 2-8.

Papadopoulos, A. 1993. Dendrochronologie du pin d'Alep en Grèce: contribution aux études climatologiques. Pub. de l'Association Internat. de Climatologie, Vol. 6, 254-262.

Παπαδόπουλος, Α., 2002. Εντοπισμός και παρουσίαση χαρακτηριστικών δακτυλίων σε δείγματα ξύλου χαλεπίου πεύκης με τη χρήση της μεθόδου «Skeleton plot». Πρακτικά 10ου Πανελληνίου Δασολογικού Συνεδρίου: Έρευνα προστασία και διαχείριση χερσαίων οικοσυστημάτων περιαστικών δασών και αστικού πρασίνου. Ελληνική Δασολογική Εταιρεία, 467-473.

Papadopoulos A.M., Serre-Bachet F., Tessier L., 2001 : Tree-ring to climate relationships of Aleppo pine (*Pinus halepensis* Mill.) in Greece. *Ecologia Mediterranea* 27 (1), 89-98.

Παπαδόπουλος Α., Παντέρα Α., Γουδέλης Γ., Ραυτογιάννης Ι., Σταματοπούλος Ε., Βέργος Σ. 2006. Ευαισθησία των αυξητικών δακτυλίων της χαλεπίου πεύκης (*pinus halepensis* Mill.) σε κλιματικά δεδομένα της περιόδου 1960-2003 στο λεκανοπέδιο της Αττικής. Πρακτικά 12ου Πανελληνίου Δασολογικού Συνεδρίου, «Δάσος και νερό - Προστασία φυσικού περιβάλλοντος». Ελληνική Δασολογική Εταιρεία, 379-386.

Papadopoulos A., Pantera A., Maheras P., 2007. Analyse du signal climatique de cerne du pin d'Alep d'une forêt périurbaine d'Athènes (Grèce) (Υπό δημοσίευση)

Rathgeber, C., Nicault, A., Kaplan J.O., Guiot, J., 2003. Using a biogeochemistry model in simulating forest productivity responses to climatic change and (CO₂) increase: example of *Pinus halepensis* in Provence (south-est France). *Ecological Modeling* 166, 239-255.

Schweingruber, F. H., 1988. Tree rings, Basics and applications of dendrochronology. Kluwer Academic Publishers, 276 p.

Schweingruber, F. H., 1996. Tree Rings and Environment. Dendroecology. Birmensdorf, Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research. Haupt. pp. 609.

Serre, F. 1976. Les rapport de la croissance et du climat chez le pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.). 1. -Méthodes utilisées. L'activité cambiale et le climat. *Oecol. Plant.*, 11 (2), 143-171.

Serre-Bachet, F., 1982. The mediterranean area. In: Climate from tree rings, Hughes et al. (eds), Cambridge Univ. press, Cambridge, 153-155.

Serre-Bachet, F., 1992. Les enseignements écologiques de la variation de l'épaisseur du cerne chez le pin d'Alep. *Forêt medit.*, XIII (3), 171-176.