



ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
AGRICULTURAL UNIVERSITY OF ATHENS

ΓΕΝΙΚΟ ΤΜΗΜΑ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΟΙΚΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Μεταπτυχιακή Διατριβή

Διερεύνηση της νέκρωσης δένδρων ελάτης
στην περιοχή Γοριανάδων - Καρπενησίου

Χρυσούλα Σ. Σωτηρίου

Επιβλέπων Καθηγητής:

Παπαδόπουλος Ανδρέας, Καθηγητής ΓΠΑ

ΚΑΡΠΕΝΗΣΙ
2020

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΓΕΝΙΚΟ ΤΜΗΜΑ

Μεταπτυχιακή Διατριβή

Διερεύνηση της νέκρωσης δένδρων ελάτης
στην περιοχή Γοριανάδων – Καρπενησίου

“Examination of the fir trees necrosis
in the area of Gorianades – Karpenisi”

Χρυσούλα Σ. Σωτηρίου

Εξεταστική επιτροπή:

Παπαδόπουλος Ανδρέας, Καθηγητής ΓΠΑ (επιβλέπων)

Αναστασία Παντέρα, Καθηγήτρια ΓΠΑ

Γεώργιος Φωτιάδης, Επίκουρος Καθηγητής ΓΠΑ

Διερεύνηση της νέκρωσης δένδρων ελάτης στην περιοχή Γοριανάδων – Καρπενησίου

Γενικό Τμήμα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η Κεντρική Ελλάδα αποτελεί μια από τις περιοχές εξάπλωσης της κεφαλληνιακής Ελάτης (*Abies cerhallonica*), η οποία είναι ενδημική της χώρας. Ιδιαίτερα η Ευρυτανία αποτελεί μια περιοχή μετάβασης από την κεφαλληνιακή στην υβριδογενή ελάτη (*Abies borisii-regis*), που εξαπλώνεται βορειότερα. Στην Ελλάδα τις τελευταίες δεκαετίες έχει παρατηρηθεί το φαινόμενο της εξασθένησης και νέκρωσης της ελάτης. Οι λόγοι που οδηγούν σε αυτήν την κατάσταση αποδίδονται στην ξηρασία, τις υψηλές θερμοκρασίες λόγω της κλιματικής αλλαγής, στη ρύπανση, σε προσβολές από έντομα και μύκητες και άλλες αιτίες.

Στην παρούσα εργασία μελετώνται δενδροοικολογικά δεδομένα της περιοχής Γοριανάδων Ευρυτανίας του Δήμου Καρπενησίου, όπου τα τελευταία δύο έτη εμφανίσθηκαν νεκρώσεις ατόμων ελάτης στη χαμηλότερη υψομετρικά ζώνη εξάπλωσης της ελάτης στην περιοχή αυτή. Σκοπό της έρευνας είναι να διερευνηθεί η αιτία νέκρωσης των δένδρων μέσα από μια δενδροοικολογική μελέτη. Συγκεκριμένα από μια επιφάνεια που περιείχε ζωντανά και νεκρά δένδρα επιλέχθηκαν 10 δένδρα κεφαλληνιακής ελάτης (*Abies cerhallonica*) από κάθε κατηγορία από τα οποία ελήφθησαν τρυπανίδια και τομές αντίστοιχα. Μετά από την κατάλληλη προετοιμασία των δειγμάτων, τη μέτρηση δακτυλίων και τη στατιστική τους επεξεργασία με τη χρήση δενδροχρονολογικών τεχνικών κατασκευάσθηκαν χρονοσειρές των αρχικών δεδομένων και δεικτών των πλατών των δακτυλίων.

Από τη διερεύνηση της αυξητικής συμπεριφοράς των ζωντανών και νεκρών δένδρων προκύπτει μια μικρή υστέρηση συνολικά της αύξησης στα νεκρά δένδρα, καθώς και μια απότομη αλλαγή της αύξησης με λεπτούς δακτυλίους τα τελευταία 1-2 έτη. Η απότομη αυτή μείωση της αύξησης και η νέκρωση των δένδρων ελάτης αποδόθηκε στην επίδραση της ξηρής και θερμής θερινής περιόδου που

ακολούθησε μετά την αρνητική επίδραση της δασικής πυρκαγιάς που υπήρξε σε παρακείμενη δασική περιοχή και η οποία με το θερμικό κύμα που δημιουργήσε επέδρασε αρνητικά στα πιο ασθενή δένδρα (μικρότερη αύξηση). Οι σχέσεις απόκρισης κλίματος-αύξησης δείχνουν μια στατιστικά σημαντική θετική συσχέτιση των πλατών των δακτυλίων με τις βροχοπτώσεις του Μαΐου και Ιουλίου για τα ζωντανά δένδρα. Η τάση αυτή παραμένει και για τα νεκρά δένδρα χωρίς όμως να είναι στατιστικά σημαντική, γεγονός που δείχνει ότι η θετική αυτή επίδραση των βροχοπτώσεων του τέλους της εαρινής και θερινής περιόδου ωφελεί ελάχιστα ή καθόλου τα εξασθενημένα δένδρα ελάτης. Φαίνεται λοιπόν ότι η επίδραση της δασικής πυρκαγιάς επιτάχυνε τη νέκρωση στα υπολειπόμενα σε αύξηση δένδρα επηρεάζοντας ανεπανόρθωτα την υδραυλική τους συμπεριφορά. Η καταπόνηση και εξασθένηση των δένδρων από άλλους παράγοντες αθροιστικά με τις δυσμενείς κλιματικές συνθήκες μπορεί να δημιουργήσει μια απότομη μείωση της κατά πλάτους αύξησης, η οποία μπορεί να οδηγήσει άμεσα στη νέκρωση του δένδρου τα επόμενα 1-2 έτη. Τα αποτελέσματα της έρευνας δείχνουν το ρόλο των διαταραχών αύξησης της ελατής στην εμφάνιση του φαινομένου της νέκρωσης και τη σημασία που έχει η αξιοποίηση τους ως εργαλείο στη διαχείριση των ελατοδασών στα πλαίσια της προσαρμογής τους στην κλιματική αλλαγή.

Επιστημονική περιοχή: Νέκρωση ελατοδασών

Λέξεις Κλειδιά: δενδροχρονολογία, δενδροκλιματολογία, *Abies cephalonica*, ετήσιοι δακτύλιοι, εξασθένηση ελατοδασών, Ελλάδα.

Investigation of the necrosis of fir trees in the area of Gorianades - Karpenisi

General Department

ABSTRACT

Central Greece represents one of the distribution areas of Cephalonian fir (*Abies cephalonica*), an endemic species of the country. Evritania in particular, is the transition area from the Cephalonian to the hybrid fir (*Abies borisii-regis*), which spreads further north. The phenomenon of fir-trees weakening and necrosis has been observed in the past decades. This phenomenon has been attributed, among others, to drought, high temperatures due to climate change, pollution, insect and fungal infestations. The present work presents the study of the dendroecological data from the Gorianades area in Evrytania, Municipality of Karpenisi, where, in the last two years, necrosis of fir individuals appeared in the lowest altitude zone of the species distribution in this area. The aim of the research is to investigate the cause of the trees necrosis through a dendroecological study. Specifically, from a surface containing alive and dead trees, 10 Cephalonian fir trees (*Abies cephalonica*) were selected from each category from which tree-cores and cross-sections were obtained, respectively. After the proper preparation of the samples, the measurement of the tree-ring widths and their statistical processing using dendrochronological techniques, time series of the initial data and indices of the widths of the tree-rings were constructed. The investigation of the growth behavior of living and dead trees shows a small lag in overall growth in dead trees, as well an abrupt growth change over the last 1-2 years with very narrow tree-rings. This abrupt growth change and necrosis of fir trees was attributed to the effect of the dry and hot summer period that followed the negative effect of the forest fire that existed in an adjacent forest area and which with the heat wave it created negatively affected the most vulnerable trees (smaller growth). Climate-growth response functions show a statistically significant positive correlation of tree-ring width with May and July precipitation for living trees. This trend remains for dead trees but is not statistically significant, which shows that this positive effect of late spring and

summer rainfall has little or no benefit to weakened fir trees. It therefore seems that the effect of the forest fire accelerated the necrosis of the remaining growing trees, irreversibly affecting their hydraulic behavior. The stress and weakening of trees by other factors cumulatively with adverse climates can create a sharp decrease in tree-ring width, which can lead to immediate tree necrosis in the next 1-2 years. The results of the research show the role of fir growth disorders in the occurrence of necrosis and the importance of their use as a tool in the management of fir forests in the context of their adaptation to climate change.

Scientific area: Necrosis of spruce forests

Keywords: dendrochronology, dendroclimatology, *Abies cephalonica*, tree rings, fir decline, Greece

ΔΗΛΩΣΗ ΑΥΘΕΝΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Η μεταπτυχιακή φοιτήτρια που εκπόνησε την παρούσα διπλωματική εργασία φέρει ολόκληρη την ευθύνη προσδιορισμού της δίκαιης χρήσης του υλικού, η οποία ορίζεται στη βάση των εξής παραγόντων: του σκοπού και χαρακτήρα της χρήσης (μη-εμπορικός, μη-κερδοσκοπικός, αλλά εκπαιδευτικός-ερευνητικός), της φύσης του υλικού που χρησιμοποιεί (τμήμα του κειμένου, πίνακες, σχήματα, εικόνες κλπ.), του ποσοστού και της σημαντικότητας του τμήματος που χρησιμοποιεί σε σχέση με το όλο κείμενο υπό copyright, και των πιθανών συνεπειών της χρήσης αυτής στην αγορά ή την γενικότερη αξία του υπό copyright κειμένου.

Η συγγραφέας

Χρυσούλα Σωτηρίου

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εγκρίθηκε ομόφωνα από την τριμελή εξεταστική επιτροπή η οποία ορίστηκε από την Σ.Ε. του Τμήματος ΔΑΣΟΠΟΝΙΑΣ & Δ.Φ.Π. του πρώην Τ.Ε.Ι. Στερεάς Ελλάδας, σύμφωνα με το νόμο και τον εγκεκριμένο Οδηγό Σπουδών του Π.Μ.Σ. «Οικολογία και Διαχείριση Περιβάλλοντος». Τα μέλη της Επιτροπής είναι:

1. Ανδρέας Παπαδόπουλος (Επιβλέπων)
2. Αναστασία Παντέρα (Μέλος)
3. Γεώργιος Φωτιάδης (Μέλος)

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Γενικό Τμήμα του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η εργασία αυτή, υλοποιήθηκε στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών του Γενικού Τμήματος, του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών και μου ανατέθηκε από τον Καθηγητή κ. Ανδρέα Παπαδόπουλο ύστερα από δικό μου ενδιαφέρον για το αντικείμενο της δενδροχρονολογίας.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή μου και εισηγητή του θέματος της πτυχιακής διατριβής μου Καθηγητή κ. Ανδρέα Παπαδόπουλο για την πολύτιμη βοήθεια και τις συμβουλές του, που με βοήθησαν να την ολοκληρώσω. Την καθηγήτρια Αναστασία Παντέρα και τον Επίκουρο καθηγητή Γεώργιο Φωτιάδη, μέλη της τριμελούς εξεταστικής επιτροπής, ευχαριστώ για το ενδιαφέρον τους, την εποικοδομητική κριτική τους και τις εύστοχες υποδείξεις τους. Επίσης θέλω να ευχαριστήσω τον σύζυγο μου Θανασούλα Χρήστο ο οποίος με βοήθησε στη συλλογή και την ασφαλή μεταφορά των δειγμάτων.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	III
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	IV
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	V
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	VI
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
2. ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ.....	4
2.1 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	4
2.2 ΚΛΙΜΑ.....	4
2.3 ΓΕΩΛΟΓΙΑ.....	8
2.4 ΒΛΑΣΤΗΣΗ.....	9
3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΡΕΥΝΑΣ	14
3.1 ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΚΑΙ ΘΕΣΗΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ.....	14
3.2 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΚΑΙ ΛΗΨΗ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ	17
3.3 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ	19
3.4 ΔΙΑΣΤΑΥΡΟΥΜΕΝΗ ΧΡΟΝΟΛΟΓΗΣΗ	21
3.5 ΜΕΤΡΗΣΗ ΠΛΑΤΟΥΣ ΔΑΚΤΥΛΙΩΝ ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ WINDENDRO.....	22
3.6 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΩΝ ΠΛΑΤΩΝ ΔΑΚΤΥΛΙΩΝ.....	23
3.7 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	23
3.8 ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ.....	24
4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ	26
4.1 ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΕΣ ΠΛΑΤΩΝ ΔΑΚΤΥΛΙΩΝ.....	26
4.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΔΕΝΔΡΟΧΡΟΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ	26
4.3 ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΑΥΞΗΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ.....	28
4.4 ΣΧΕΣΕΙΣ ΚΛΙΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΠΛΑΤΟΥΣ ΔΑΚΤΥΛΙΩΝ	33
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	39
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	42
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1	45
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2	46

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

ΕΙΚΟΝΑ 2.1 ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ.	4
ΕΙΚΟΝΑ 2.2 ΟΜΒΡΟΘΕΡΜΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΟΥ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ ΚΑΡΠΕΝΗΣΙΟΥ.	6
ΕΙΚΟΝΑ 2.3 ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΟΥ ΕΜΒΕΡΓΕΡ ΜΕ ΟΜΑΛΟΠΟΙΗΜΕΝΑ ΤΑ ΟΡΙΑ ΤΩΝ ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ ΟΡΟΦΩΝ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΥΣ ΓΟΥΝΟΤ ΚΑΙ.	7
ΕΙΚΟΝΑ 2.4 ΧΑΡΤΗΣ ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ ΟΡΟΦΩΝ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ ΟΠΟΥ ΕΜΦΑΝΙΖΕΤΑΙ ΤΟ ΚΑΡΠΕΝΗΣΙ ΚΑΙ Ο ΝΟΜΟΣ ΕΥΡΥΤΑΝΙΑΣ (ΜΑΥΡΟΜΑΤΗΣ, 1978).	8
ΕΙΚΟΝΑ 2.5 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΕΞΑΠΛΩΣΗ ΤΗΣ ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΚΗΣ ΕΛΑΤΗΣ (<i>ABIES CERHALONICA</i>) (ΠΗΓΗ: FLORA HELLENICA 1, 1997)	10
ΕΙΚΟΝΑ 2.6 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΕΞΑΠΛΩΣΗ ΤΗΣ ΥΒΡΙΔΟΓΕΝΟΥΣ ΕΛΑΤΗΣ (<i>ABIES BORISII-REGIS</i>) (ΠΗΓΗ: FLORA HELLENICA 1, 1997)	10
ΕΙΚΟΝΑ 2.7 ΧΑΡΤΗΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ (ΔΑΣΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ).	11
ΕΙΚΟΝΑ 3.1 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ (GOOGLE EARTH).	15
ΕΙΚΟΝΑ 3.2 ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ.	16
ΕΙΚΟΝΑ 3.3 ΛΗΨΗ ΤΡΥΠΑΝΙΔΙΟΥ ΑΠΟ ΔΕΝΔΡΟ ΕΛΑΤΗΣ.	18
ΕΙΚΟΝΑ 3.4 ΚΟΛΛΗΣΗ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ.	20
ΕΙΚΟΝΑ 4.1 ΕΓΚΑΡΣΙΑ ΤΟΜΗ Α) ΤΟΥ ΝΕΚΡΟΥ ΔΕΝΔΡΟΥ Νο 2 ΜΕ ΤΟΝ ΣΧΕΔΟΝ ΜΗΔΕΝΙΚΟ, ΗΜΙΤΕΛΗ ΔΑΚΤΥΛΙΟ ΤΟΥ ΕΤΟΥΣ 2018 ΚΑΙ Β) ΤΟΥ ΝΕΚΡΟΥ ΔΕΝΔΡΟΥ Νο 7 ΜΕ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΕΝΟ ΤΟ ΠΡΩΙΜΟ ΞΥΛΟ ΣΤΟΝ ΗΜΙΤΕΛΗ ΔΑΚΤΥΛΙΟ ΤΟΥ ΕΤΟΥΣ 2019.	29
ΕΙΚΟΝΑ 4.2 ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΜΕΣΩΝ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΩΝ ΠΛΑΤΩΝ ΔΑΚΤΥΛΙΩΝ ΓΙΑ ΤΑ ΖΩΝΤΑΝΑ ΚΑΙ ΝΕΚΡΑ ΔΕΝΔΡΑ.	30
ΕΙΚΟΝΑ 4.3 ΟΜΒΡΟΘΕΡΜΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΩΝ ΕΤΩΝ 2017, 2018 ΚΑΙ 2019 ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ.	32
ΕΙΚΟΝΑ 4.4 ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΜΕΣΩΝ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ ΠΛΑΤΩΝ ΔΑΚΤΥΛΙΩΝ ΓΙΑ ΤΑ ΖΩΝΤΑΝΑ ΚΑΙ ΝΕΚΡΑ ΔΕΝΔΡΑ.	33
ΕΙΚΟΝΑ 4.5 ΠΡΟΦΙΛ ΤΗΣ ΣΧΕΣΗΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΤΟΥ ΠΛΑΤΟΥΣ ΤΩΝ ΔΑΚΤΥΛΙΩΝ ΜΕ ΤΙΣ ΜΗΝΙΑΙΕΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΜΕΣΕΣ ΜΗΝΙΑΙΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ ΓΙΑ ΤΑ ΖΩΝΤΑΝΑ ΔΕΝΔΡΑ.	34
ΕΙΚΟΝΑ 4.6 ΠΡΟΦΙΛ ΤΗΣ ΣΧΕΣΗΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΤΟΥ ΠΛΑΤΟΥΣ ΤΩΝ ΔΑΚΤΥΛΙΩΝ ΜΕ ΤΙΣ ΜΗΝΙΑΙΕΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΜΕΣΕΣ ΜΗΝΙΑΙΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ ΓΙΑ ΤΑ ΝΕΚΡΑ ΔΕΝΔΡΑ.	34
ΕΙΚΟΝΑ 4.7 ΜΗΝΙΑΙΑ ΥΨΗ ΒΡΟΧΗΣ ΤΩΝ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΤΩΝ 2017-18 ΚΑΙ 2018-19 ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ (ΜΕΣΟΙ ΟΡΟΙ ΑΠΟ ΤΟΥΣ ΣΤΑΘΜΟΥΣ ΚΑΡΠΕΝΗΣΙ ΚΑΙ ΚΑΡΠΕΝΗΣΙ ΠΟΛΗ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΤΟΥ ΑΣΤΕΡΟΣΚΟΠΕΙΟΥ ΑΘΗΝΩΝ).	36
ΕΙΚΟΝΑ 4.8 ΜΕΣΕΣ ΜΗΝΙΑΙΕΣ, ΜΕΣΕΣ ΜΗΝΙΑΙΕΣ ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΚΑΙ ΜΕΣΕΣ ΜΗΝΙΑΙΕΣ ΕΛΑΧΙΣΤΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ ΤΩΝ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΤΩΝ 2017-18 ΚΑΙ 2018-19 ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ (ΜΕΣΟΙ ΟΡΟΙ ΑΠΟ ΤΟΥΣ ΣΤΑΘΜΟΥΣ ΚΑΡΠΕΝΗΣΙ ΚΑΙ ΚΑΡΠΕΝΗΣΙ ΠΟΛΗ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΤΟΥ ΑΣΤΕΡΟΣΚΟΠΕΙΟΥ ΑΘΗΝΩΝ).	37

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.1 ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ ΚΑΡΠΕΝΗΣΙΟΥ	5
---	---

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΩΝ ΤΩΝ ΖΩΝΤΑΝΑ ΚΑΙ ΝΕΚΡΩΝ ΔΕΝΔΡΩΝ, Α) ΑΡΧΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΠΛΑΤΩΝ	
--	--

ΔΑΚΤΥΛΙΩΝ: X = ΜΕΣΟ ΠΛΑΤΟΣ ΔΑΚΤΥΛΙΟΥ (ΜΜ), STD = ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ (ΜΜ), $R1$ =ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ

ΑΥΤΟΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ 1ΗΣ ΤΑΞΗΣ, MS = ΜΕΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑ, ΚΑΙ Β) ΔΕΙΚΤΩΝ MCR = ΜΕΣΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΟΛΩΝ ΤΩΝ

ΤΡΥΠΑΝΙΔΙΩΝ, MCM = ΜΕΣΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΜΕ ΤΗ ΜΕΣΗ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑ, EPS = ΕΚΦΡΑΣΜΕΝΟ ΣΗΜΑ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ, SNR =

ΛΟΓΟΣ ΤΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ ΠΡΟΣ ΤΟΝ ΘΟΡΥΒΟ..... 27

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η έρευνα αυτή αναφέρεται στα αντικείμενα της δενδροχρονολογίας και δενδροοικολογίας και ειδικότερα της δενδροκλιματολογίας. Η δενδροχρονολογία (dendrochronology) είναι η επιστήμη που περιλαμβάνει το σύνολο των μεθόδων και τεχνικών που επιτρέπουν τη χρονολόγηση και μελέτη των ετησίων δακτυλίων που εμφανίζονται σε δείγματα ξύλου από ζωντανά δένδρα, πρέμνα και ξύλα ιστορικών και αρχαιολογικών ευρημάτων. Η δενδροκλιματολογία (dendroclimatology) είναι κλάδος της δενδροοικολογίας 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 (Παπαδόπουλος 2018). Η δενδροχρονολογία γενικώς αποτελεί ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για ένα σημαντικό φάσμα άλλων επιστημών, από την μετεωρολογία έως την υδρολογία, τη γεωμορφολογία, την οικολογία μέχρι την αρχαιολογία.

Η δενδροχρονολόγηση είναι μια μέθοδος απόλυτης χρονολόγησης των ετησίων δακτυλίων που δίνει αποτέλεσμα με ακρίβεια έτους ή καμιά φορά και μηνών. Είναι ευρέως γνωστό ότι η ηλικία των δέντρων μπορεί να βρεθεί μετρώντας τους αυξητικούς δακτυλίους αυτών στο κάτω μέρος του κορμού. Επίσης πολύτιμες πληροφορίες για τις κλιματικές συνθήκες, τις εκρήξεις ηφαιστειών, τις δασικές πυρκαγιές και πολλών άλλων σταθμολογικών και συσταδικών παραγόντων, μπορούν να αντληθούν μέσα από τους δακτυλίους των κορμών των δέντρων. Κάθε χρόνο, μεταξύ της άνοιξης και του φθινοπώρου η διχοτόμηση των κυττάρων του καμβίου κάτω από το φλοιό των δένδρων, δημιουργεί ένα νέο δακτύλιο. Κανένας δακτύλιος δεν είναι όμοιος με τον προηγούμενο με αποτέλεσμα να λαμβάνονται πολύτιμες πληροφορίες από τους ερευνητές.

Τα δέντρα σε μια συγκεκριμένη κλιματική περιοχή επηρεάζονται ανάλογα από τις ετήσιες κλιματικές αλλαγές, οπότε τα πάχη των δακτυλίων τους αναμένεται να κυμαίνονται αντίστοιχα. Μπορούμε δηλαδή να ταιριάξουμε αυτές τις διαδοχές δακτυλίων ανάμεσα σε δύο δένδρα και να αντιστοιχίσουμε σε αυτές συγκεκριμένη ακολουθία ημερολογιακών ετών. Η όλη διαδικασία στηρίζεται στη διασταυρωμένη χρονολόγηση που είναι θεμελιώδης αρχή της δενδροχρονολογίας. Ο δενδροχρονολόγος

πρέπει να επιβεβαιώσει ότι οι δακτύλιοι από δύο ή περισσότερα δείγματα σχηματίστηκαν τον ίδιο χρόνο. Η απλή απαρίθμηση δακτυλίων δεν επαρκεί, ούτε και μια απλή καταγραφή της αλλαγής του εύρους των δακτυλίων. Γι αυτό το λόγο προκειμένου να αποφευχθεί η πιθανότητα τυχαίου ταιριάσματος, ο δενδροχρονολόγος συγκρίνει πολλά δείγματα μεταξύ τους.

Η δενδροχρονολογία και ειδικότερα ο κλάδος της δενδροοικολογίας χρησιμοποιείται τα τελευταία χρόνια όλο και περισσότερο για τη διερεύνηση της επίδρασης διαφόρων βιοτικών και αβιοτικών παραγόντων μέσα από τους ετησίους δακτυλίους των δένδρων. Σύμφωνα με τον Schweingruber (1996), μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη μελέτη του ιστορικού των δασικών πυρκαγιών, στη μελέτη της εξέλιξης και δυναμικής μιας συστάδας, τη χρονολογική εξέλιξη των νεκρώσεων δένδρων και διαφόρων άλλων στοιχείων που σχετίζονται τη δομή και εξέλιξη των δασικών συστάδων. Στην παρούσα έρευνα η δενδοοικολογική μελέτη χρησιμοποιείται για τη διερεύνηση της νέκρωσης δένδρων μιας συστάδας ελάτης.

Το φαινόμενο της νέκρωσης των ελατοδασών είναι ένα πρόβλημα που εμφανίζεται στην Ελλάδα τις τελευταίες δεκαετίες, κάποιες χρονιές με ιδιαίτερη ένταση, και αποδίδεται στο συνδυασμό βιοτικών και αβιοτικών παραγόντων (Καϊλίδης 1964, Markalas 1992, Tsopelas et al. 2001, 2004, Papadopoulos et al. 2007, 2011, Raftoyannis et al. 2008). Με βάση τους παραπάνω συγγραφείς είναι κυρίως η ξηρασία, αλλά και η συνεπίδραση του ανταγωνισμού μεταξύ των δένδρων ή παρασίτων που δρουν πρωτογενώς μειώνοντας την αντοχή των δένδρων, τα οποία στη συνέχεια προσβάλλονται δευτερογενώς από μύκητες και έντομα οδηγούμενα έτσι στη νέκρωση.

Το ερέθισμα γι' αυτή την έρευνα ήταν η έντονη εμφάνιση νεκρών δένδρων ελάτης σε συστάδα που βρίσκεται στις παρυφές της πόλης του Καρπενησίου τα έτη 2018 και 2019. Η θέα των ξερών αυτών δένδρων από τον παρακείμενο οδικό άξονα Καρπενησίου – Προυσού Ευρυτανίας προκάλεσε πολλά ερωτήματα σε τοπικούς φορείς, κατοίκους και τουρίστες. Σκοπός της έρευνας είναι τη διερεύνηση του φαινομένου χρησιμοποιώντας μεθόδους και τεχνικές από την δενδροχρονολογία - δενδροοικολογία.

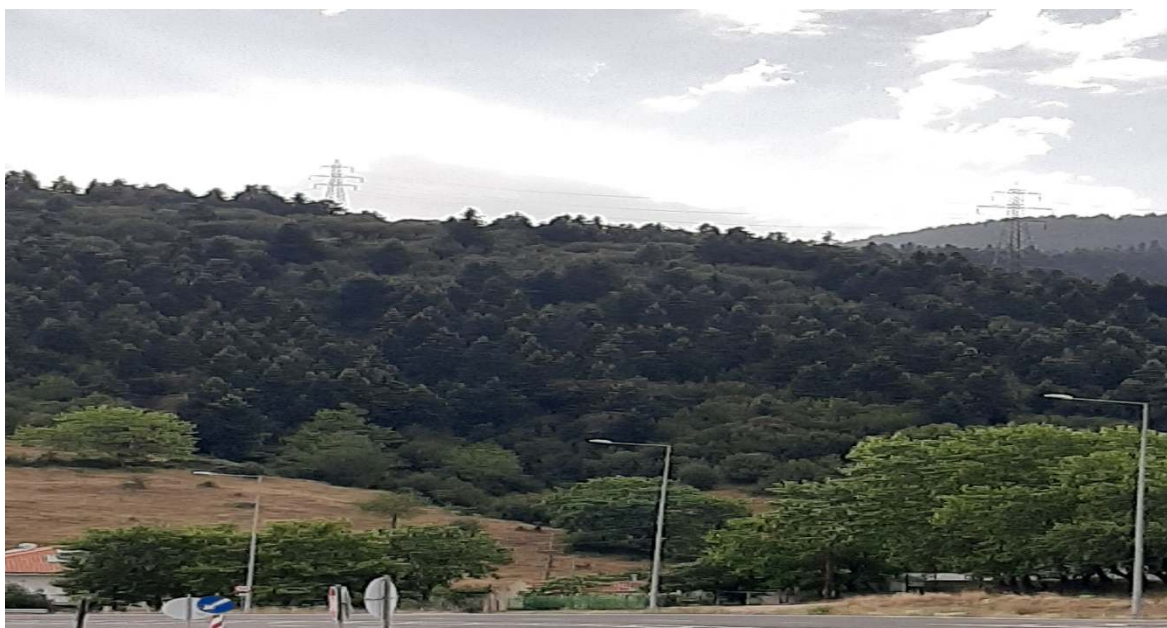
Η εργασία δομείται ως ακολούθως: Στο κεφάλαιο 2 γίνεται μια γενική περιγραφή της ευρύτερης περιοχής έρευνας. Στο κεφάλαιο 3 περιγράφεται η μεθοδολογία της εργασίας, ξεκινώντας από την επιλογή της περιοχής και της θέσης της δειγματοληψίας, μέχρι την επεξεργασία των δειγμάτων και την στατιστική επεξεργασία των δεδομένων. Στο κεφάλαιο 4 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα και η συζήτηση τους. Στο τελευταίο κεφάλαιο περιλαμβάνονται τα συμπεράσματα και γίνονται προτάσεις για τη διαχείριση των ελατοδασών.

2. ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

2.1 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η ευρύτερη περιοχή έρευνας εντοπίζεται στο χωριό Γοριανάδες (Δημοτική Κοινότητα Καρπενησίου - Δημοτική Ενότητα Καρπενησίου - δήμος Καρπενησίου) της Περιφερειακής Ενότητας Ευρυτανίας της Περιφέρειας Στερεάς Ελλάδας. Η περιοχή βρίσκεται σε απόσταση 4 km από την πόλη του Καρπενησίου. Απέχει 78 χλμ από τη Λαμία και 111 χλμ από το Αγρίνιο, μέσω της Γέφυρας Επισκοπής.

Το γεωμορφολογικό ανάγλυφο της περιοχής χαρακτηρίζεται ως ορεινό, καθώς σχεδόν ολόκληρη η περιοχή καταλαμβάνεται από τους ορεινούς όγκους της Νότιας Πίνδου. Η ευρύτερη έκταση περιλαμβάνει περιοχές με έντονες επικλινείς ή απόκρημνες κλίσεις προσδίδοντας ιδιαίτερα φυσικά χαρακτηριστικά στη γεωμορφολογία του (Εικόνα 2.1).



Εικόνα 2.1 Φωτογραφία από την ευρύτερη περιοχή μελέτης.

2.2 ΚΛΙΜΑ

Για την γενική περιγραφή του κλίματος της ευρύτερης περιοχής χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα του μετεωρολογικού σταθμού Καρπενησίου (38° 54' Β., 21° 47' Α., υψομ.

1001 m) για την περίοδο 1981-1990 που είναι τα μόνα διαθέσιμα για μια σημαντική περίοδο ετών για την περιοχή (Ε.Μ.Υ. 1999). Τα στοιχεία αυτά παρόλο που είναι παλαιά δίνουν τη γενική εικόνα για το κλίμα της ευρύτερης περιοχής. Για την περιοχή έρευνας και σε ότι αφορά τη μελέτη της νέκρωσης της ελάτης και των σχέσεων κλίματος-αύξησης, που γίνεται σε επόμενα κεφάλαια, χρησιμοποιούνται πιο αναλυτικά δεδομένα από μακρινότερους μετεωρολογικούς σταθμούς καθώς και τα δεδομένα αυτόματων μετεωρολογικών σταθμών κοντινών στην περιοχή μελέτης που δίνουν το τοπικό για τη θέση κλίμα, όμως με λίγα έτη δεδομένων.

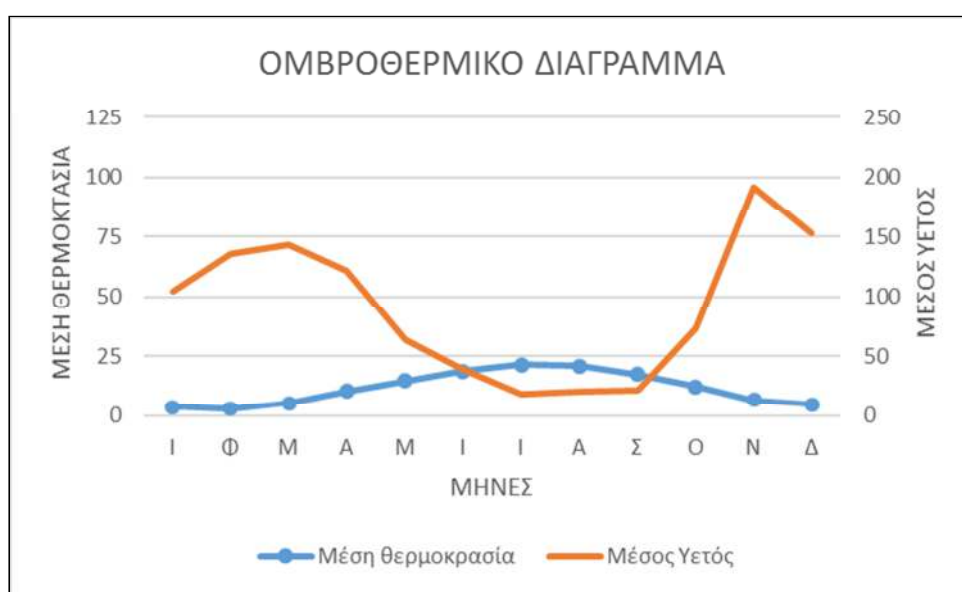
Με βάση τα διαθέσιμα στοιχεία το μέσο ετήσιο ύψος βροχής είναι 1087 mm, η μέση ετήσια θερμοκρασία 11,7 °C, η μέση μέγιστη ετήσια θερμοκρασία 16,3 °C, η μέση ελάχιστη ετήσια θερμοκρασία 6,9 °C, η μέση μέγιστη θερμοκρασία του θερμότερου μήνα (Μ) 26,4 °C, η μέση ελάχιστη θερμοκρασία του ψυχροτέρου μήνα (m) -0,2 °C, η απόλυτη μέγιστη θερμοκρασία είναι 39 °C και η απόλυτα ελάχιστη θερμοκρασία -10,8 °C. Η μέση ετήσια σχετική υγρασία είναι 64.1 % και η επικρατούσα διεύθυνση ανέμου είναι Βόρεια. Τα στοιχεία παρατίθενται στον πίνακα 2.1.

Πίνακας 2.1 Κλιματικά στοιχεία του Μετεωρολογικού σταθμού Καρπενησίου

Κλιματικά στοιχεία του ΜΣ Καρπενησίου (1981-1990)	
Μέση Ετήσια Θερμοκρασία (°C)	11,7
Μέση μέγιστη θερμοκρασία (°C)	16,3
Μέση ελάχιστη θερμοκρασία (°C)	6,9
Απόλυτη μέγιστη θερμοκρασία (°C)	39,0
Απόλυτη ελάχιστη θερμοκρασία (°C)	-10,8
Μέση μέγιστη θερμοκρασία του θερμότερου μήνα	26,4
Μέση ελάχιστη θερμοκρασία του ψυχροτέρου μήνα	-0,2
Βροχόπτωση (mm)	1087
Μέση σχετική υγρασία (%)	64,1
Επικρατούσα διεύθυνση ανέμου	Β

Το ομβροθερμικό διάγραμμα (Εικόνα 2.2) που καταρτίστηκε από τις μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες αέρα σε °C και τα μέσα μηνιαία ύψη βροχής σε mm, με κλίμακα

θερμοκρασιών διπλάσιας της βροχόπτωσης ($P=2T$) απεικονίζει γραφικά τη διάρκεια και την ένταση της ξηρασίας. Η ξηρή περίοδος, όπως φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα της εικόνας 2.2 διαρκεί περίπου 2,5 μήνες από Ιούλιο έως αρχές Σεπτεμβρίου και είναι μικρής έντασης. Τα σημεία όπου τέμνονται οι καμπύλες της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης παριστάνουν μια συνθήκη όπου η ποσότητα του νερού που χάνεται είναι περίπου ίση με τη ποσότητα του νερού που κερδίζεται μέσω της βροχόπτωσης. Το διάγραμμα αυτό επιβεβαιώνει τον ορεινό μεσογειακό χαρακτήρα του κλίματος της περιοχής.



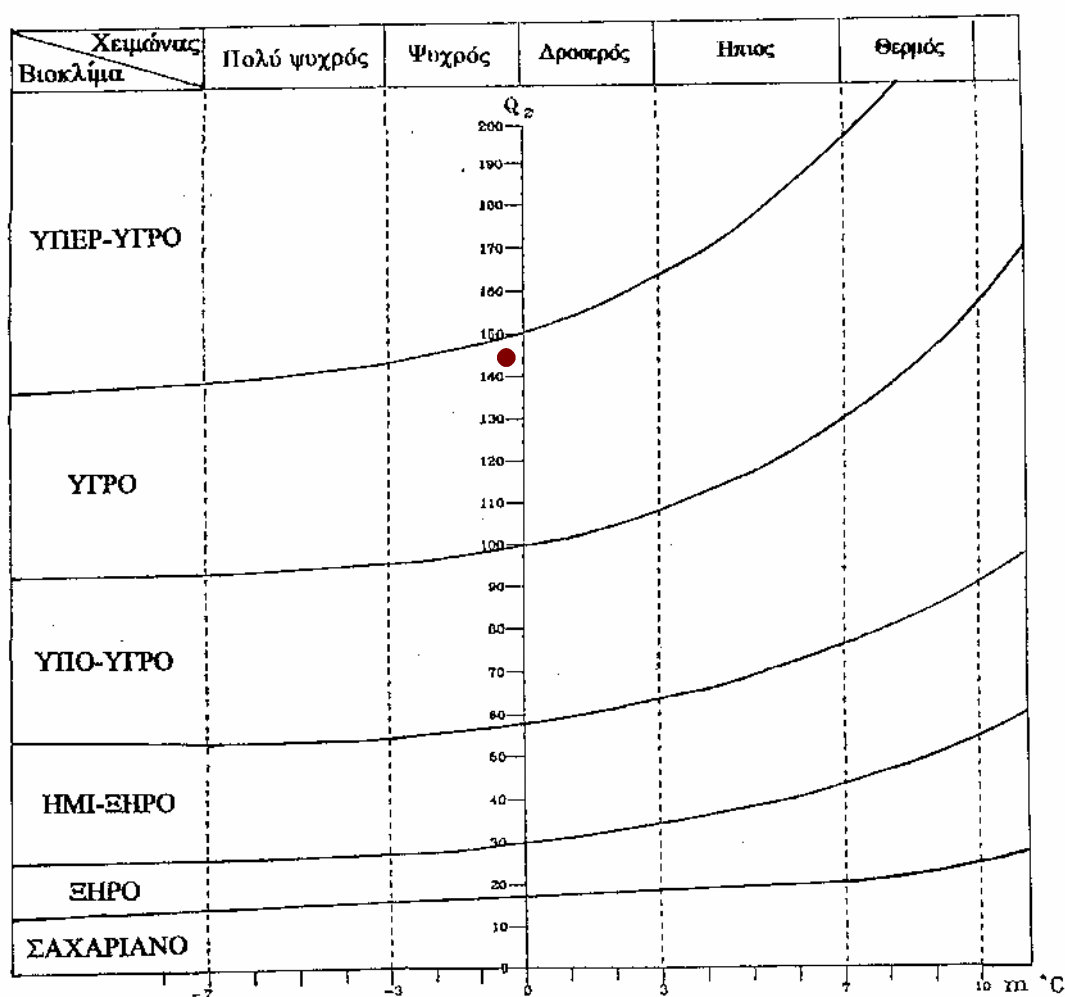
Εικόνα 2.2 Ομβροθερμικό διάγραμμα του μετεωρολογικού σταθμού Καρπενησίου.

Από τα στοιχεία του σταθμού υπολογίσθηκε ο βροχοθερμικός δείκτης (Q_2) του Emberger, (Emberger 1945) και κατασκευάσθηκε το βιοκλιματικό διάγραμμα του Emberger όπως παρακάτω:

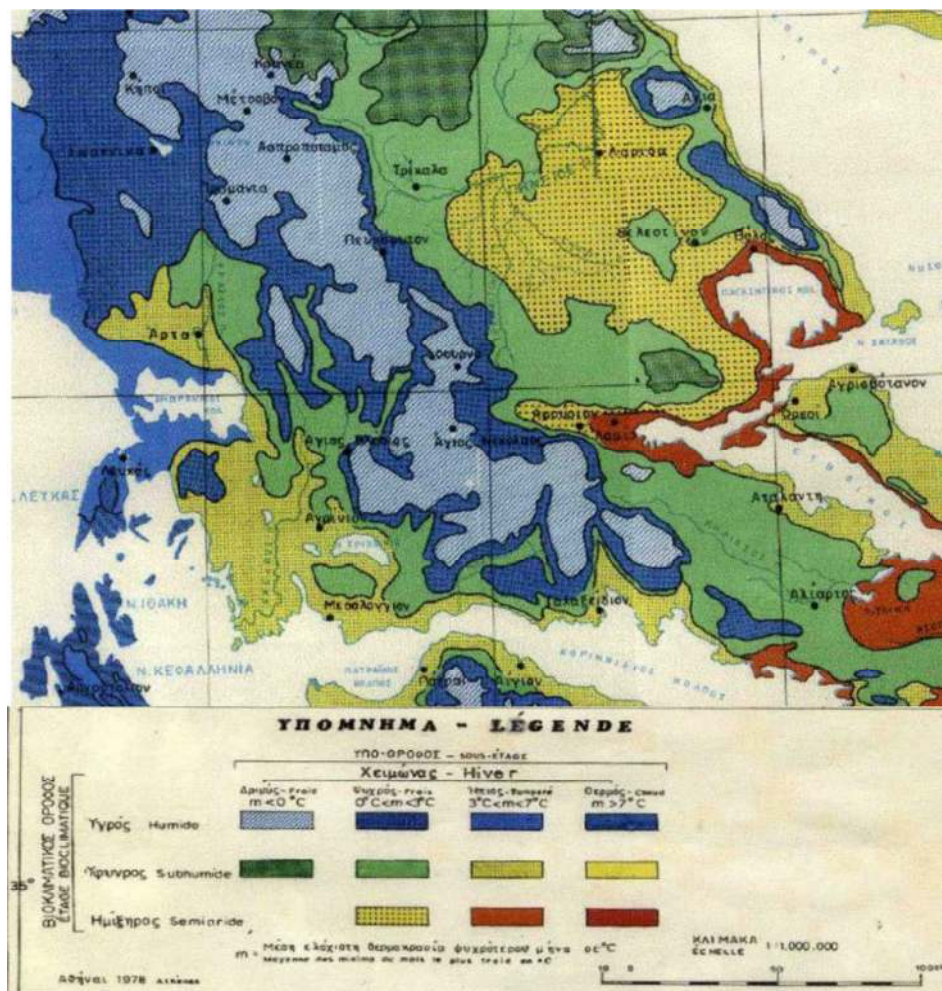
$$Q_2 = \frac{2000 \cdot P}{M^2 - m^2}$$

όπου: P = η ετήσια βροχόπτωση ίση με 1087mm, M = ο μέση μέγιστη θερμοκρασία του θερμότερου μήνα σε απόλυτους βαθμούς ($T = t + 273,2 = 26,4 + 273,2 = 299,6$ K), m = η μέση ελάχιστη θερμοκρασία του ψυχρότερου μήνα σε απόλυτους βαθμούς ($T = t + 273,2 = -0,2 + 273,2 = 273$ K)

Έτσι, αφού υπολογίστηκε το Q_2 ίσο με 144,81 τοποθετήθηκε σε σχέση με το m πάνω στο βιοκλιματικό διάγραμμα της εικόνας 2.3 από το οποίο και σε συνδυασμό με τον βιοκλιματικό χάρτη της Ελλάδας (Εικόνα 2.4) (Μαυρομάτης, 1978) προκύπτει ότι η ευρύτερη περιοχή μελέτης εντάσσεται στο υγρό βιοκλιματικό όροφο με χειμώνα ψυχρό, ενώ σε ένα μεγάλο τμήμα της περιοχής του Δήμου Καρπενησίου το βιοκλίμα είναι επίσης υγρό με χειμώνα όμως πολύ ψυχρό (Εικόνα 2.3).



Εικόνα 2.3 Βιοκλιματικό διάγραμμα του Emberger με ομαλοποιημένα τα όρια των βιοκλιματικών ορόφων σύμφωνα με τους Gounot και Le Houerou (Παπαδόπουλος, 2015).



Εικόνα 2.4 Χάρτης βιοκλιματικών ορόφων της Ελλάδας όπου εμφανίζεται το Καρπενήσι και ο νομός Ευρυτανίας (Μαυρομάτης, 1978).

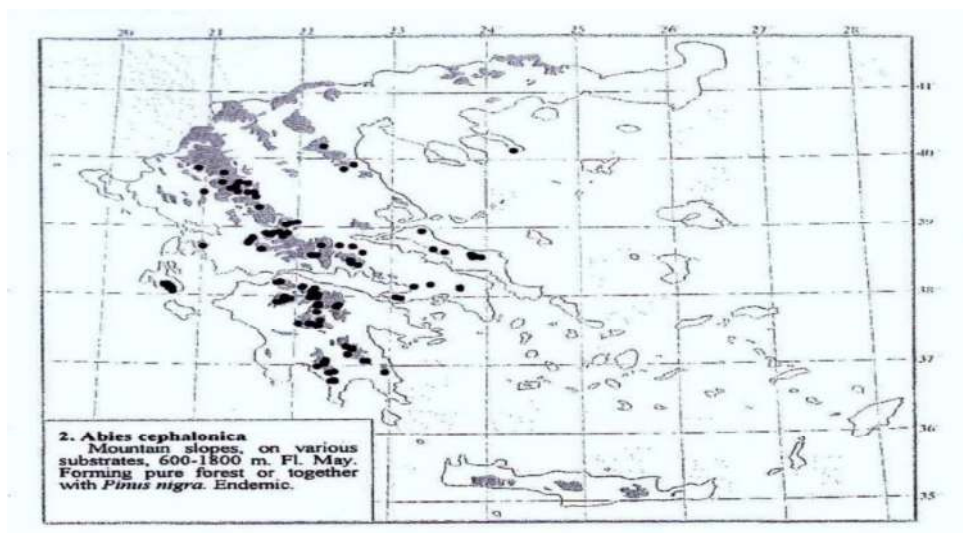
2.3 ΓΕΩΛΟΓΙΑ

Γεωλογικά, ολόκληρη η περιοχή όπως και στο σύνολο της περιοχής της Ευρυτανίας ανήκει στην ζώνη του Ωλενού - Πίνδου, στην οποία επικρατούν κυρίως δύο πετρώματα, ο ασβεστόλιθος (που αναδύεται στις ψηλότερες θέσεις των βουνών) και ο φλύσχος, που συγκροτείται από ψαμμιτικά πετρώματα, πυριτικούς αργιλικούς σχιστόλιθους που σχηματίζονται στο μεγαλύτερο μέρος των εκτάσεων και εμφανίζονται με διάφορες στρώσεις, οριζόντιες, πλάγιες και κατακόρυφες. Λόγω της συγκρότησης των πετρωμάτων και ιδιαίτερα της κυριαρχίας του φλύσχη, της εκτεταμένης υλοτόμησης, της φυσικής χαράδρωσης των πλαγιών των βουνών και της φυσικής εκβάθυνσης των ρεμάτων από τη συνεχή απορροή υδάτων, παρατηρούνται συχνά εκτεταμένες κατολισθήσεις εδαφών.

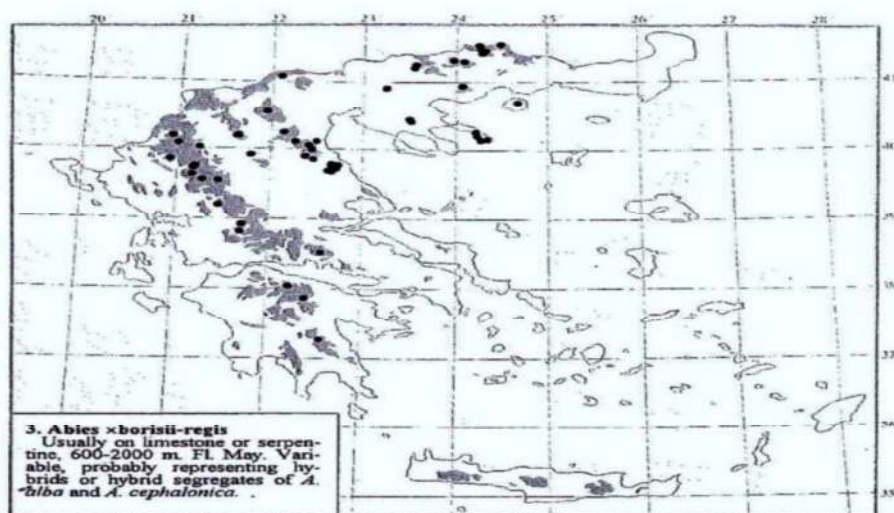
Αναφορικά με την υδρολογική συμπεριφορά των σχηματισμών που δομούν την περιοχή, αυτή καθορίζεται σε σημαντικό βαθμό από τη λιθοστρωματογραφία και την τεκτονική του καταπόνηση, που είναι κύρια υπεύθυνη για τη δημιουργία, τοπικά, του μεγάλου πάχους μανδύα αποσάθρωσης στα υλικά του φλύσχη. Ο φλύσχος στο σύνολο του χαρακτηρίζεται ως σχηματισμός χαμηλής περατότητας έως πρακτικά στεγανός, χωρίς όμως να αποκλείεται η παρουσία μικρής δυναμικότητας επικρεμάμενων υδροφόρων στρωμάτων. Οι ανωτέρω παρατηρήσεις, σε συνδυασμό με την τεκτονική δομή στην περιοχή, έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία πηγών, οι οποίες τροφοδοτούνται κυρίως, είτε από το μανδύα αποσάθρωσης, είτε από υδροφόρους ορίζοντες που αναπτύσσονται μέσα στο φλύσχη. Οι πηγές αυτές τροφοδοτούνται είτε άμεσα από τα νερά των βροχοπτώσεων και χιονοπτώσεων είτε ενισχύονται έμμεσα από τα νερά των μεγαλύτερων πηγών που ρέουν επιφανειακά. Τα νερά όλων αυτών των πηγών, μικροπηγών και εκροών σε πολλές περιπτώσεις, ρέουν ανεξέλεγκτα εμποτίζοντας τους εδαφικούς σχηματισμούς μέχρι βαθμού πλήρους κορεσμού με αποτέλεσμα τη δραστική υποβάθμιση της όλης γαιομηχανικής τους συμπεριφοράς. (Ντελής, 2013)

2.4 ΒΛΑΣΤΗΣΗ

Τα δάση ελάτης στην ευρύτερη περιοχή έρευνας και γενικότερα στο Καρπενήσι και την Ευρυτανία καταλαμβάνουν τη μεγαλύτερη έκταση των δασών, καθώς διαδέχονται στην περιοχή λόγω του υψομέτρου τα δάση των αειφύλλων σκληρόφυλλων και φυλλοβολών πλατύφυλλων ειδών. Στην περιοχή αυτή και την Ευρυτανία γενικότερα εμφανίζονται και τα δύο είδη ελάτης, η κεφαλληνιακή (*Abies cephalonica*) και η υβριδογενής (*Abies borisii-regis*),) μάλιστα είναι η περιοχή από την οποία αρχίζει ο διαχωρισμός των δυο ειδών (Εικόνα 2.7). Η κεφαλληνιακή ελάτη είναι ενδημικό είδος το οποίο εξαπλώνεται κυρίως στη Νότια και Κεντρική Ελλάδα, (Εικόνα 2.5) ενώ η υβριδογενής ελάτης, είναι ενδημικό της Νότιας βαλκανικής χερσονήσου, (Εικόνα 2.6) κυρίως στο Βόρειο και κεντρικό μέρος της χώρας (Αθανασιάδης 1986). Η ελάτη συγκροτεί στην περιοχή πυκνές συστάδες σε υψόμετρο από 800 έως 1700 m περίπου.



Εικόνα 2.5 Γεωγραφική εξάπλωση της κεφαλληνιακής ελάτης (*Abies cephalonica*) (πηγή: Flora Hellenica 1, 1997)



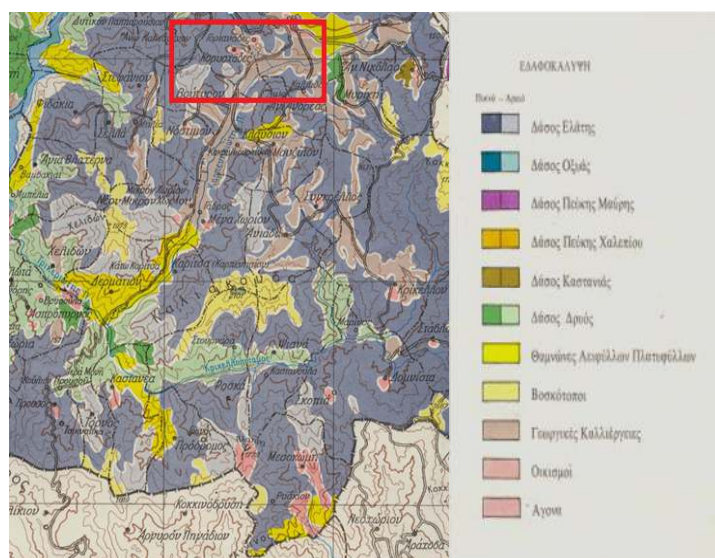
Εικόνα 2.6 Γεωγραφική εξάπλωση της υβριδογενούς ελάτης (*Abies borisii-regis*) (πηγή: Flora Hellenica 1, 1997)

Ο διαχωρισμός των ζωνών βλάστησης με βάση τα υψόμετρα για την περιοχή περιλαμβάνει:

- Ζώνη αιειφύλλων πλατυφύλλων: 300 - 600 m
- Ζώνη φυλλοβόλων δρυών: 600 - 1000 m
- Ζώνη ελάτης: 1000 - 1600 m

- Ψευδαλπική ζώνη: 1600 - 2300 m

Από τα κύρια δασοπονικά είδη, παραπάνω από το μισό της δασοσκεπούς έκτασης καλύπτεται από την κεφαλληνιακή και υβριδογενή ελάτη, ένα μέρος από φυλλοβόλες δρυς και ένα άλλο από αναδασώσεις μαύρης πεύκης. Σημαντική έκταση στη χαμηλότερη υψομετρικά ζώνη καταλαμβάνουν και τα αείφυλλα πλατύφυλλα (Εικόνα 2.7). Στα πυκνά δάση της περιοχής ενδημεί πλούσια χλωρίδα, με μεγάλη ποικιλία φυτών, ανάμεσα στα οποία υπάρχουν σπάνια φαρμακευτικά και αρωματικά φυτά.



Εικόνα 2.7 Χάρτης βλάστησης της ευρύτερης περιοχής μελέτης (Δασική Υπηρεσία).

Στη συνέχεια παρουσιάζεται ένας συνοπτικός κατάλογος ειδών, από τη βλάστηση της ευρύτερης περιοχής.

Pinaceae

Abies borisii-regis (Υβριδογενής Ελάτη)

Abies cephalonica (Κεφαλληνιακή ελάτη)

Pinus nigra (Μαύρη πεύκη)

Cupressaceae

Juniperus communis (Άρκευθος η κοινή)

Juniperus oxycedrus (Άρκευθος η οξύκεδρος)

Juniperus foetidissima (Άρκευθος η δυσοσμωτάτη)

Juniperus communis subsp. nana (Άρκευθος η νανοειδής)

Aceraceae

Acer platanoides (Σφενδάμι το πλατανοΐδες)

Acer pseudoplatanus (ψευδοπλάτανος)

Acer campestre (Σφενδάμι πεδινό)

Corylaceae

Carpinus orientalis (Γαύρος ο ανατολικός)

Corylus avellana (Φουντουκιά η ήρεμη)

Corylus colurna (Φουντουκιά η άγρια)

Ostrya carpinifolia (Οστριά)

Platanaceae

Platanus orientalis (Πλάτανος ο ανατολικός)

Cornaceae

Cornus mas (Κρασιά)

Fagaceae

Castanea sativa (Καστανιά)

Quercus ithaburensis subsp. macrolepis (Βελανιδιά)

Quercus coccifera (Πουρνάρι)

Quercus cerris (Δρύς η ευθύφλοιος)

Quercus frainetto (Δρύς η πλατύφυλλος)

Quercus pubescens (Δρύς η χνοώδης)

Quercus trojana (Δρύς η τρωική)

Juglanaceae

Juglans regia (Καρυδιά)

Leguminosae

Cercis siliquastrum (Κουτσουπιά)

3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΡΕΥΝΑΣ

3.1 ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΚΑΙ ΘΕΣΗΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ.

Η επιλογή της θέσης δειγματοληψίας είναι πολύ σημαντική εργασία και εξαρτάται από το σκοπό της έρευνας και τις πληροφορίες που επιθυμούμε αντλήσουμε μέσα από τους δακτυλίους των δένδρων. Σύμφωνα με τον Παπαδόπουλο (2018) η επιλογή της θέσης δεν γίνεται με τυχαία ή άλλη συστηματική δειγματοληψία αλλά με επιλογή, ώστε τα δένδρα να επηρεάζονται ομοιόμορφα από τη δεδομένη ομάδα των περιοριστικών παραγόντων ή τον παράγοντα επίδρασης που θέλουμε να μελετήσουμε. Εάν η θέση δεν επιλεγεί σωστά μπορεί να παρουσιαστούν αρκετά προβλήματα μετέπειτα στην ανάλυση και επεξεργασία των δεδομένων.

Κατά την επιλογή της θέσης δειγματοληψίας θα πρέπει να έχουμε υπόψη μας τη βασική αρχή της δενδροχρονολογίας, που αφορά τους περιοριστικούς παράγοντες, καθώς και αυτή του οικολογικού εύρος. Η πρώτη αποτελεί βασική αρχή γενικότερα της οικολογίας, σύμφωνα με την οποία μια βιολογική διεργασία όπως η δευτερογενής κατά πάχος αύξηση των δένδρων δεν μπορεί να προχωρήσει γρηγορότερα από ότι επιτρέπεται από τον παράγοντα που βρίσκεται σε ανεπάρκεια, ακόμη και στην περίπτωση που οι άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την αύξηση είναι στο άριστο επίπεδο, ενώ στη δεύτερη σημειώνεται η ιδιαιτερότητα του εύρος του οικοτόπου που αναπτύσσεται ένας πληθυσμός δένδρων (Παπαδόπουλος 2018).

Στη συγκεκριμένη έρευνα η περιοχή που επιλέχθηκε είναι μια έκταση στη χαμηλότερη υψομετρικά ζώνη όπου εμφανίζεται η κεφαλληνιακή ελάτη στο εσωτερικό πρινώνα και η οποία τα έτη 2018 και 2019 παρουσίασε εκτεταμένες νεκρώσεις δένδρων τις οποίες θέλαμε να διερευνήσουμε. Η περιοχή βρίσκεται στα νοτιοδυτικά της πόλης του Καρπενησίου και μπορεί να προσεγγισθεί από τον περιφερειακό δρόμο Λαμίας – Προυσού στην έξοδο προς Κεφαλόβρυσο Καρπενησίου (Εικόνα 3.1). Στην περιοχή αυτή επιλέχθηκε μια θέση που περιείχε μια αδιατάρακτη από ανθρωπογενείς παρεμβάσεις συστάδα κεφαλληνιακής ελάτης, έκτασης 1 ha περίπου, με ομοιόμορφα κατανομημένα στην επιφάνεια της υγιή κυρίαρχα δένδρα καθώς και πρόσφατα νεκρωθέντα δένδρα

ελάτης, περίπου ίδιας ηλικίας και η οποία βρίσκεται στη μέση μιας πλαγιάς, μακριά από ρέματα ή υπόγεια νερά που επιδρούν στην αύξηση των δένδρων, καθότι ο σκοπός μας είναι να μελετήσουμε τις σχέσεις κλίματος-αύξησης.



Εικόνα 3.1 Περιοχή μελέτης (Google Earth)

Η περιοχή έρευνας, σύμφωνα με τη διαχειριστική μελέτη του συμπλέγματος δημοσίων δασών του Δήμου Καρπενησίου Νομού Ευρυτανίας που πραγματοποιήθηκε το έτος 2009-2018 ανήκει στη συστάδα 70α, με υποθαλάσσιο ύψος από 780 έως 1080 m, έκθεση προς τον ορίζοντα Α-ΝΑ και κλίση εδάφους από 51 έως 75%. Το βασικό πέτρωμα είναι ψαμμιτικός φλύσχης, το έδαφος αμμοαργιλοπηλώδες - αμμοαργιλώδες, βαθύ μέχρι μέτρια βαθύ στην μεγαλύτερη έκταση της συστάδας και αβαθές κατά θέσεις, με μεταβαλλόμενη γονιμότητα και παραγωγικότητα (σχετικά μέτρια).



Εικόνα 3.2 Φωτογραφία από την περιοχή μελέτης

Η παρεδαφιαία βλάστηση περιλαμβάνει κυρίως τα είδη: *Helleborus cyclophyllus*, *Cynosurus echinatus*, *Festuca ovina*, *Brachypodium silvaticum* και *Bromus sterilis*. Ο χλωροτάπητας είναι αραιός και ο ξηροτάπητα μέτριος. Τα δασοπονικά είδη που συναντάμε στην συστάδα είναι η κεφαλληνιακή (*Abies cephalonica*) και η υβριδογενής ελάτη (*Abies borisii-regis*) αμιγής και κυρίαρχη. Στον υπόροφο κυριαρχούν το πουρνάρι (*Quercus coccifera*), ο κέδρος (*Juniperus oxicedrus*) και το σπάρτο (*Spartium junceum*), ενώ σε ρεματική θέση εμφανίζεται ο πλάτανος (*Platanus orientalis*) και σε διάφορες θέσεις άλλα μεμονωμένα δασοπονικά είδη.

Η διαχειριστική μορφή της συστάδας είναι σπερμοφυής ανομήλικη με δασοπονική μορφή ακανόνιστη υποκηπευτή που αποτελείται από σχεδόν ομήλικες ομάδες της μέσης και κατώτερης κλάσης διαμέτρου. Η ανώτατη κλάση υπεισέρχεται υπολειπόμενη κατά θέσεις. Η μέση κλάση διαμέτρου παρουσιάζει συγκέντρωση ξυλαποθέματος μεγαλύτερη του κανονικού. Γενικότερα, πρόκειται για ένα νεαρό σχετικά δάσος και η γενική του κατάσταση θεωρείται κρίσιμη προς ασταθής. Η κατάσταση ξυλώδους κεφαλαίου μέτρια μέχρι καλή. Ακόμη παρατηρούνται, σε μικρό κυρίως ποσοστό, άτομα κλαδοβριθή καχεκτικά και στρεβλά.

Σε ότι αφορά τη θέση δειγματοληψίας, οι γεωγραφικές συντεταγμένες είναι 38°54'23,63'' βόρειο γεωγραφικό πλάτος, 21°47'10,38'' ανατολικό γεωγραφικό μήκος και 842 m υπερθαλάσσιο υψόμετρο, η έκθεση Α-ΝΑ και η μέση κλίση του εδάφους 55-65

% . Η βλάστηση της θέσης περιλαμβάνει στον ανώροφο αραιά δένδρα κεφαλληνιακής (*Abies cephalonica*) και υβριδογενούς ελάτης (*Abies borisii-regis*) και στον ισχυρό υπόροφο, πουρνάρι (*Quercus coccifera*) κέδρο (*Juniperus oxycedrus*) και άλλα αείφυλλα πλατύφυλλα. Στον ανώροφο η ελάτη παρουσιάζει κάλυψη περίπου 50 %, ενώ στον υπόροφο η κάλυψη είναι περίπου 80 % από την οποία 70 % είναι το πουρνάρι 5 % κέδρος και 5 % άλλα αείφυλλα πλατύφυλλα. (Εικόνα 3.2)

3.2 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΚΑΙ ΛΗΨΗ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ

Στην παραπάνω θέση επιλέχθηκαν 10 υγιή δένδρα ελάτης από τα οποία ελήφθησαν με τη βοήθεια της τρυπάνης τύπου Pressler (με διάμετρος πυρήνα 4 mm και διπλό σπείρωμα) 2 δείγματα (τρυπανίδια) ανά δένδρο στο σθηθιαίο ύψος, το πρώτο στα ανάντη, το δεύτερο στα κατόντη και συνολικά 20 τρυπανίδια (Εικόνα 3.3). Ελήφθησαν επίσης με τη χρήση αλυσοπρίονου 10 εγκάρσιες τομές στο σθηθιαίο ύψος, πάχους 5 cm, από τα ξερά δένδρα που υπήρχαν στην περιοχή. Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε στις 15 και 28 Σεπτεμβρίου του 2019, αντίστοιχα για τα ζωντανά και νεκρά δένδρα. Κατά την δειγματοληψία, εκτός από τα δείγματα (τρυπανίδια ή τομές) ελήφθησαν και τα δενδρομετρικά στοιχεία κάθε δέντρου που επιλεγόταν, όπως η σθηθιαία διάμετρος το ύψος, το ύψος έναρξης της κόμης και η κατάσταση υγείας των δένδρων.



Εικόνα 3.3 Λήψη τρυπανιδίου από δένδρο ελάτης

Για τη λήψη του τρυπανιδίου, η τρυπάνη τοποθετείται στο στήθιαίο ύψος, κάθετα στον άξονα της εντεριώνης και φροντίζοντας πάντα να βρίσκεται με κατεύθυνση στο μέσο του κορμού, την εντεριώνη (Εικόνα 3.3). Αυτό είναι πολύ σημαντικό, γιατί μόνο έτσι εξασφαλίζεται ότι στο τρυπανίδιο θα υπήρχε τμήμα της εντεριώνης, καθιστώντας έτσι δυνατή τη σωστή χρονολόγησή του αργότερα. Στη συνέχεια, περιστρέφοντάς την κατά τη φορά των δεικτών του ρολογιού αρχίζει να εισέρχεται η δενδροτρυπάνη προς το μέσο του κορμού του δένδρου. Όταν εισχωρήσει στο κέντρο του κορμού τοποθετείται η λαβίδα στην τρυπάνη, μετά περιστρέφεται η τρυπάνη 1-2 φορές αντίθετα από τη φορά των δεικτών του ωρολογίου για να αποκοπεί το δείγμα από το υπόλοιπο δέντρο και μετά τραβώντας το με τη βοήθεια λαβίδας, λαμβάνουμε το δείγμα (τρυπανίδιο). Μετά την εξαγωγή του δείγματος από τον κορμό, κλείνουμε με προσοχή την οπή τοποθετώντας ένα χλωρό αποφλοιωμένο κομμάτι κλαδιού του ίδιου δένδρου με πάχος όση είναι η διάμετρος της τρύπας, ώστε να μην αποτελέσει η οπή πηγή μόλυνσης του δένδρου από έντομα αλλά και οπτική όχληση από την εμφάνιση της οπής.

Το κάθε τρυπανίδιο προσδιορίζεται με έναν κωδικό αριθμό, ο οποίος αποτελείται από δύο νούμερα με μία τελεία να τα χωρίζει. Το πρώτο νούμερο αναφέρεται στον

αριθμό του δέντρου από το οποίο πάρθηκε το τρυπανίδιο ενώ το δεύτερο, μετά την τελεία, τον αριθμό του τρυπανιδίου ανά δέντρο. Έτσι το τρυπανίδιο με κωδικό 1.1 είναι το πρώτο τρυπανίδιο από το πρώτο δέντρο και το 1.2. το δεύτερο από το ίδιο δένδρο κ.ο.κ.

Ένα πρόβλημα που έπρεπε να λάβουμε υπόψη ήταν η ασφαλής τοποθέτηση και μεταφορά των δειγμάτων που πήραμε τόσο στο βουνό, όσο και η μεταφορά τους στο εργαστήριο. Εδώ αντί για ειδικές θήκες που χρησιμοποιούνται, χρησιμοποιήσαμε χονδρό γκοφρέ χαρτόνι με αυλάκια, πάνω στο οποίο τοποθετήσαμε τα τρυπανίδια και τα σταθεροποιήσαμε με αυτοκόλλητη ταινία. Τα τρυπανίδια του ίδιου δένδρου τοποθετήθηκαν σε γειτονικά αυλάκια ενώ υπήρχε κενό ανάμεσα στα δείγματα που προέρχονταν από άλλα δένδρα.

3.3 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ

Αφού συλλέξουμε τα δείγματα, αυτά μεταφέρονται στο εργαστήριο σε θερμοκρασία δωματίου, όπου και αφήνονται για 3-7 ημέρες, για να ξηρανθούν φυσικά. Κατά τη διάρκεια της φυσικής ξήρανσης, τα τρυπανίδια παραμένουν στα κυματοειδή χαρτόνια και πάνω σε αυτά τοποθετείται βάρος για να διατηρηθούν ευθυτενή. Οι εγκάρσιες τομές των ξηρών δένδρων παρόλο που δεν ήταν αναγκαίο αφέθηκαν επίσης ανάλογο χρόνο για φυσική ξήρανση

Όταν ολοκληρώθηκε η διαδικασία της ξήρανσης, το επόμενο βήμα είναι να κολληθούν σε ξύλινα πηχάκια με αυλακωειδή οδηγό ανάλογης διαμέτρου με την τρυπάνη, ώστε να γίνουν σταθερά δείγματα (Εικόνα 3.4). Αρχικά, μετράμε το μήκος του τρυπανιδίου και κόβουμε το ξύλινο πηχάκι κατά 1 cm περίπου μεγαλύτερο από το μήκος του τρυπανιδίου. Καταγράφουμε πάνω στο πηχάκι το όνομα του δένδρου, την περιοχή, τον αριθμό του τρυπανιδίου και οπωσδήποτε την ημερομηνία δειγματοληψίας. Αυτό είναι πολύ σημαντικό για να μπορούμε να προσδιορίσουμε τον τελευταίο ολοκληρωμένο δακτύλιο ή σε ποια φάση σχηματισμού του ξύλου βρίσκεται αυτός όταν δεν είναι ολοκληρωμένος. Έχοντας υπόψη το έτος σχηματισμού του τελευταίου δακτυλίου μπορούμε στη συνέχεια να χρονολογήσουμε με απόλυτο τρόπο τους άλλους δακτυλίου της σειράς. Έπειτα αλείφουμε το βαθούλωμα του οδηγού με διαφανή ξυλόκολλα, με

προσοχή ώστε να μην είναι ούτε λίγη ούτε πολλή που να λερώνει το δείγμα και τοποθετούμε το τρυπανίδιο στον οδηγό, προσέχοντας οι ίνες του ξύλου να είναι κατακόρυφες και με λίγη πίεση σε όλο το μήκος του το στερεώνουμε με κολλητική ταινία μέχρι να κολλήσει. Τέλος, τοποθετούμε μια μικρή ποσότητα κόλλας στα δύο άκρα του δείγματος ώστε αυτό να σταθεροποιηθεί πάνω στον πήχη χωρίς να κινδυνεύει να αποκολληθεί τμήμα του κατά τη λείανση και αφήνεται για να στεγνώσει προκειμένου να προκύψει το σταθερό δείγμα (πηχάκι και τρυπανίδιο).



Εικόνα 3.4 κόλληση δειγμάτων

Μετά την κόλληση ακολουθεί η διαδικασία της λείανσης. Αυτή έγινε με τη στερέωση του δείγματος σε μέγγενη και τη χρήση παλμικού τριβείου με υαλόχαρτα στην αρχή πιο χονδρόκκοκα (No 50 έως 100) και στη συνέχεια πιο λεπτόκκοκα (No 200, έως 500). Λείανση έγινε και στις τομές με ανάλογο με τα τρυπανίδια τρόπο μόνο που σε κάποιες περιπτώσεις τομών χρησιμοποιήθηκε χονδρότερο γυαλόχαρτο (No 20-50). Η καλή λείανση των δειγμάτων είναι απαραίτητη για τη διευκόλυνση της διασταυρούμενης χρονολόγησης και μέτρησης των πλατών των δακτυλίων των δειγμάτων.

3.4 ΔΙΑΣΤΑΥΡΟΥΜΕΝΗ ΧΡΟΝΟΛΟΓΗΣΗ

Η διασταυρούμενη χρονολόγηση έγινε οπτικά με τη βοήθεια μεγεθυντικού φακού και στερεοσκοπίου το οποίο διευκολύνει την παρατήρηση των δακτυλίων των τρυπανιδίων και έχει σαν σκοπό να χρονολογηθεί κάθε δακτύλιος με την ακριβή (απόλυτη) χρονιά σχηματισμού του. Η διασταυρούμενη χρονολόγηση (cross-dating) είναι σύμφωνα με τον Παπαδόπουλο (2018) μια τεχνική με την οποία σε κάθε δακτύλιο δίνεται η ακριβής χρονιά σχηματισμού του. Αυτό επιτυγχάνεται με την αντιστοίχιση μεταβολών στο πλάτος των δακτυλίων ή άλλων χαρακτηριστικών τους, μεταξύ δειγμάτων ξύλου του ιδίου δένδρου, μεταξύ δένδρων της ίδιας περιοχής και δένδρων διαφορετικών περιοχών. Η διασταυρούμενη χρονολόγηση επιτυγχάνεται επειδή ανάλογες περιβαλλοντικές συνθήκες προκαλούν ανάλογες διακυμάνσεις στα πλάτη και την εμφάνιση των δακτυλίων σε ένα μεγάλο αριθμό δένδρων μιας περιοχής. Με τη διαδικασία αυτή εντοπίζονται ορισμένοι δακτύλιοι που ξεχωρίζουν σε σχέση με τους υπόλοιπους. Για παράδειγμα, μπορεί κάποιος ή κάποιοι δακτύλιοι να έχουν πολύ μεγαλύτερο ή πολύ μικρότερο πλάτος, σε τέτοιο βαθμό ώστε να διαφέρουν από τους υπόλοιπους, ή να έχουν πολύ πρώιμο ή όψιμο ξύλο.

Με τη διασταυρούμενη χρονολόγηση γίνεται ταυτόχρονα και καταγραφή των χαρακτηριστικών δακτυλίων που εμφανίζονται στα δείγματα, όπως είναι οι στενοί δακτύλιοι, οι πλατύς δακτύλιοι, οι δακτύλιοι με πλατύ όψιμο ξύλο, με μεταχρωματισμούς ή άλλα χαρακτηριστικά, ακολουθώντας ένα απλό πρότυπο του εργαστηρίου δενδροχρονολογίας του Τμήματος. Σύμφωνα με αυτό, σε ένα φύλλο excel, (πίνακας), στην αριστερή στήλη τοποθετούνται κάθετα όλες οι χρονολογίες, ενώ στην πρώτη οριζόντια σειρά ο αριθμός κάθε τρυπανιδίου. Στις χρονολογίες με χαρακτηριστικούς δακτυλίους σημειώνεται: Ε= ελλιπής δακτύλιος, Ψ= ψευδής δακτύλιος, Π= πλατύς δακτύλιος, Σ= στενός δακτύλιος ΠΟ= πλατύ όψιμο ξύλο, ΣΟ= στενό όψιμο ξύλο και Χ= μεταχρωματισμένος δακτύλιος.

Στις εγκάρσιες τομές η διασταυρούμενη χρονολόγηση έγινε αρχικά στις δύο αντιδιαμετρικές ακτινικές κατευθύνσεις κάθε τομής και στη συνέχεια μεταξύ διαφορετικών τομών κατ'αντιστοιχία με τον τρόπο που έγινε και στα τρυπανίδια. Στην

περίπτωση των τομών αναγνωρίστηκε ο τελευταίος μη ολοκληρωμένος δακτυλός με βάση το πάχος του πρώιμου ή όψιμου ξύλου που παρουσίαζε προκειμένου να ταυτοποιηθεί το ακριβές έτος και η εποχή νέκρωσης του δένδρου.

Η διασταυρούμενη χρονολόγηση επαναλήφθηκε ενιαία για το σύνολο των τρυπανιδίων των ζωντανών και τις ακτινικές κατευθύνσεις των εγκάρσιων τομών των νεκρών δένδρων και ταυτόχρονα συγκρίνονται οι δακτύλιοι των ιδίων ετών όλων των δειγμάτων προκειμένου να εντοπισθούν από τα έντυπα καταγραφής οι χαρακτηριστικοί δακτύλιοι. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται ώστε να διορθωθούν τυχόν λάθη της διασταυρούμενης χρονολόγησης των δακτυλίων ώστε τελικά σε κάθε δακτύλιο κάθε δείγματος να αντιστοιχεί το ακριβές έτος σχηματισμού του.

3.5 ΜΕΤΡΗΣΗ ΠΛΑΤΟΥΣ ΔΑΚΤΥΛΙΩΝ ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ WINDENDRO

Μετά από τη χρονολόγηση των δειγμάτων έγινε η μέτρηση των πλατών των δακτυλίων με το πρόγραμμα WinDendro (Regan 2007). Το πρόγραμμα λειτουργεί σε περιβάλλον windows και έχει τη δυνατότητα να μετράει και να καταγράφει τα χαρακτηριστικά των δακτυλίων (πρώιμο-όψιμο ξύλο) από τα δείγματα που έχει κάνει σάρωση και υπολογίζει τα πλάτη τους.

Το πρόγραμμα με την βοήθεια ενός σαρωτή (scanner) δημιουργεί μια ψηφιακή εικόνα του δείγματος μας μέσα από τον υπολογιστή όπου εντοπίζει τους δακτυλίους και τους μετράει. Ο χειριστής παρεμβαίνει στη συνέχεια για διορθώσεις. Για την αποφυγή λαθών στην ταυτοποίηση των ετών με το πρόγραμμα WinDendro χρησιμοποιήθηκαν οι σημειώσεις των δεκαετιών που υπήρχαν στα δείγματα από την οπτική χρονολόγηση των δειγμάτων που έγινε στη φάση της διασταυρούμενης χρονολόγησης.

Τα αποτελέσματα από το πρόγραμμα εξάγονται σε μορφή Tucson και το πλάτος των δακτυλίων δίνεται σε εκατοστά του χιλιοστού. Αυτή η μορφή είναι καθιερωμένη διεθνώς για δεδομένα δακτυλίων για δενδροχρονολογικές μελέτες. Το πρόγραμμα δίνει επίσης τη δυνατότητα στατιστικού ελέγχου της διασταυρούμενης χρονολόγησης, η οποία όμως δεν χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα μέτρηση, καθώς χρησιμοποιήθηκε άλλο στατιστικό πρόγραμμα.

3.6 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΩΝ ΠΛΑΤΩΝ ΔΑΚΤΥΛΙΩΝ

Από τη μέτρηση των πλατών των δακτυλίων σε κάθε τρυπανίδιο ή σε κάθε ακτινική κατεύθυνση των εγκάρσιων τομών προέκυψαν τόσες χρονοσειρές όσες και τα δείγματα. Οι χρονοσειρές αυτές ονομάζονται στοιχειώδεις χρονοσειρές (Παπαδόπουλος 2018). Από το μέσο όρο των δυο στοιχειωδών χρονοσειρών κάθε δένδρου κατασκευάστηκαν οι ατομικές χρονοσειρές των δένδρων (Παπαδόπουλος 2018). Από αυτές κατασκευάζονται οι καμπύλες του πλάτους των ετησίων δακτυλίων για κάθε δένδρο, για τα ζωντανά και νεκρά άτομα, προκειμένου να διερευνηθούν οι τάσεις αύξησης. Τέλος, από το μέσο όρο του συνόλου των στοιχειωδών χρονοσειρών, αντίστοιχα για τα ζωντανά και νεκρά δένδρα, κατασκευάζεται η μέση χρονολογία σταθμού ή χρονολογία περιοχής (site chronology) για κάθε ομάδα δένδρων. Αυτή ορίζεται ως η μέση χρονολογία των αρχικών μετρήσεων των δακτυλίων ή των σταθεροποιημένων τιμών (ενδείξεις) που προέρχονται από ένα ή περισσότερα τρυπανίδια ενός δένδρου και για έναν αριθμό δένδρων από όπου ελήφθησαν δείγματα σε ένα σταθμό (Παπαδόπουλος 2018). Η χρονοσειρά αυτή χρησιμοποιείται για τη διερεύνηση της μέσης αυξητικής πορείας των ζωντανών και νεκρών δένδρων.

3.7 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Για την στατιστική επεξεργασία των δεδομένων των δακτυλίων χρησιμοποιήθηκαν προγράμματα από τη βιβλιοθήκη των προγραμμάτων δενδροχρονολογίας «DPL-Dendro-Program-Library» του Πανεπιστημίου της Αριζόνας που είναι ελεύθερα διαθέσιμα, καθώς και το πρόγραμμα «Programs in Paleoclimatology: Prediction of the Hiatus and Analysis of the Linkages between the Observations and the Series (PPPHALOS)» (Guiot 1990) που είναι διαθέσιμο στο εργαστήριο του Τμήματος. Όλα τα παραπάνω προγράμματα είναι σε περιβάλλον DOS. Πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω προγράμματα

Το πρόγραμμα COFECHA από το πακέτο DPL-Dendro-Program-Library είναι ένα πρόγραμμα υπολογιστή και είναι γραμμένο σε ANSI standard Fortran – 77 από τον

Richard L. Holmes από το εργαστήριο tree-ring research του πανεπιστημίου της Αριζόνας. (Holmes, 1983). Το συγκεκριμένο πρόγραμμα προσφέρει πληθώρα λειτουργιών για την εφαρμογή της διασταυρούμενης χρονολόγησης (cross dating) όπως επίσης και ένα μεγάλο εύρος στατιστικών αναλύσεων, που αφορούν τη δημιουργία παλινδρόμησης και συσχετίσεων. Το COFECHA, χρησιμοποιεί, τεχνικές συσχέτισης με τμήματα των χρονοσειρών με σκοπό την εκτίμηση της ποιότητας του cross dating στις μετρήσεις των χρονοσειρών (Grissino-Mayer, 2001). Η εισαγωγή των δεδομένων στο πρόγραμμα γίνεται σε αρχείο μορφής κειμένου (txt). Στο πρόγραμμα δίνονται επιλογές για το φιλτράρισμα των δεδομένων των χρονοσειρών των δακτυλίων. Στα αποτελέσματα ελέγχεται η ποιότητα της διασταυρούμενης χρονολόγησης με βάση τα προβλήματα που εντοπίζονται στα διάφορα τμήματα των χρονοσειρών που εξετάζονται (flags) και το συντελεστή συσχέτισης της κάθε χρονοσειράς με τη μέση χρονοσειρά.

Το πρόγραμμα ARSTAN, επίσης από το πακέτο DPL-Dendro-Program-Library, χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των δενδροχρονολογικών στατιστικών παραμέτρων, καθώς και για την κατασκευή των δεικτών των δακτυλίων μέσα από μια διαδικασία φιλτραρίσματος των δεδομένων με προσαρμογή των καμπυλών και αυτοσυσχέτιση των δεδομένων με βάση διάφορα μοντέλα που μπορούν να επιλεγούν στο πρόγραμμα. Από το πρόγραμμα μπορούν να προκύψουν δείκτες με βάση την καμπύλη προσαρμογής των δεδομένων, καθώς και δείκτες υπό μορφή υπολειμματικών δεδομένων (residuals) μετά από μια διαδικασία αυτοσυσχέτισης.

Μια σειρά προγραμμάτων από το πακέτο PPPHALOS για την επεξεργασία των δεδομένων των χρονοσειρών των δακτυλίων, αλλά και πιο ειδικά προγράμματα, όπως το GALCPC για την ανάλυση σε κύριες συνιστώσες των χρονοσειρών και το CALROB για τον υπολογισμό των σχέσεων κλίματος – πλάτους ετησίων δακτυλίων.

3.8 ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Για τον υπολογισμό των σχέσεων απόκρισης χρησιμοποιήθηκαν τα διαθέσιμα μηνιαία κλιματολογικά δεδομένα της περιόδου 1973-2010 του μετεωρολογικού σταθμού Αγίου Νικολάου του Δ. Καρπενησίου (38°53'N, 21°52'E, 1120 m) που εποπτεύεται από το Ινστιτούτο Μεσογειακών Δασικών Οικοσυστημάτων της Αθήνας. Οι κλιματικές

παράμετροι που χρησιμοποιούνται είναι οι μηνιαίες βροχοπτώσεις και οι μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες.

Χρησιμοποιήθηκαν επίσης τα μηνιαία δεδομένα βροχής, μέσης θερμοκρασίας, μέσης μέγιστης και μέσης ελάχιστης θερμοκρασίας των ετών 2017, 2018 και 2019 των αυτόματων μετεωρολογικών σταθμών του δικτύου του Αστεροσκοπείου Αθηνών: α) Καρπενήσι-πόλη ($38^{\circ}54'59,23''$ Β., $21^{\circ}47'17,92''$ Α., 990 m) και β) Καρπενήσι (Βουτύρο) ($38^{\circ}52'08,49''$ Β., $21^{\circ}45'09,57''$ Α., 700 m). Από αυτούς υπολογίσθηκαν οι μέσες τιμές των παραπάνω παραμέτρων, που αντιπροσωπεύουν υψομετρικά την περιοχή μελέτης η οποία βρίσκεται ενδιάμεσα των δυο αυτών σταθμών. Οι κλιματικές αυτές παράμετροι χρησιμοποιούνται στη συνέχεια στην ερμηνεία του φαινομένου της νέκρωσης των δένδρων ελάτης, καθώς και στην ερμηνεία των σχέσεων απόκρισης μεταξύ κλίματος-πλάτους δακτυλίων.

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ

4.1 ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΕΣ ΠΛΑΤΩΝ ΔΑΚΤΥΛΙΩΝ

Από τη διασταυρούμενη χρονολόγηση των δακτυλίων των δειγμάτων και την ανάλυση σε κύριες συνιστώσες (PCA) των χρονοσειρών των ζωντανών, διακρίνονται οι παρακάτω χαρακτηριστικοί δακτύλιοι των 20 χρονοσειρών, κατά σειρά σπουδαιότητας για την κοινή περίοδο των 40 ετών (1980-2019):

- στενοί δακτύλιοι: 1997, 1988, 2015
- πλατύς δακτύλιος: 2005, 2004, 1983, 2009, 2014

Με βάση το στατιστικό έλεγχο της διασταυρούμενης χρονολόγησης των δειγμάτων με το πρόγραμμα COFECHA V6.06P (Holmes 1983, Grissino-Mayer 2001), επιλέχθηκε το σύνολο (20 από 20) χρονοσειρές των ζωντανών δένδρων και οι περισσότερες (13 από 20) χρονοσειρές των νεκρών δένδρων, αξιολογώντας τον αναφερόμενο αριθμό πιθανών σφαλμάτων (N° flags) και τον συντελεστή συσχέτισης της κάθε χρονοσειράς (Corr. with master) με τη αντίστοιχη μέση χρονοσειρά δακτυλίων της κάθε ομάδας δένδρων. Λόγω του περιορισμένου μεγέθους της δειγματοληψίας και προκειμένου να συγκρατηθεί ένας σημαντικός αριθμός δειγμάτων στη μέση χρονοσειρά των νεκρών δένδρων ελήφθη ως ελάχιστο όριο του παραπάνω συντελεστή συσχέτισης η τιμή 0,2 (Παράρτημα 1). Οι χρονοσειρές αυτές χρησιμοποιήθηκαν στη συνέχεια για το σύνολο των αναλύσεων.

4.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΔΕΝΔΡΟΧΡΟΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ

Οι δενδροχρονολογικές στατιστικές παράμετροι για τα ζωντανά και νεκρά δένδρα φαίνονται στον πίνακα 4.1.

Η περίοδος που καλύπτουν οι μέσες χρονοσειρές των ζωντανών και νεκρών δένδρων ανέρχεται σε 63 (1957-2019) και 61 (1958-2018) έτη αντίστοιχα. Με βάση τα αρχικά δεδομένα, το μέσο πλάτος δακτυλίων (X) των νεκρών δένδρων είναι 2,18 mm και είναι λίγο μικρότερο από αυτό των ζωντανών δένδρων (2,46). Η τυπική απόκλιση (Std) είναι περίπου στα ίδια επίπεδα (0,94 και 0,92 mm αντίστοιχα). Η μέση ευαισθησία (MS) είναι ίδια (0,31) για τα ζωντανά και νεκρά δένδρα και θεωρείται αρκετά υψηλή για την ελάτη

συγκρίνοντας με τα αποτελέσματα άλλων ερευνών (Paradopoulos 2016). Ο συντελεστής αυτοσυσχέτισης 1^{ης} τάξης (R_1) είναι ελαφρώς μεγαλύτερος στα νεκρά δένδρα (0,51) από ότι στα ζωντανά δένδρα (0,43). Με βάση τα δεδομένα από τα οποία έχει αφαιρεθεί η τάση (δείκτες) η μέση συσχέτιση μεταξύ όλων των τρυπανιδίων (MCR) είναι 0,32 για τα ζωντανά δένδρα και 0,16 για τα νεκρά, η μέση συσχέτιση με την μέση χρονοσειρά (MCM) είναι 0,59 για τα ζωντανά δένδρα και 0,46 για τα νεκρά δένδρα, το εκφρασμένο από τον πληθυσμό σήμα (EPS) είναι 0,91 για τα ζωντανά και 0,68 για τα νεκρά δένδρα και η αναλογία του σήματος προς τον θόρυβο (SNR) είναι 9,54 για τα ζωντανά και 2,31 για τα νεκρά δένδρα.

Πίνακας 4.1 Στατιστικά χρονοσειρών των ζωντανών και νεκρών δένδρων, α) αρχικών δεδομένων πλατών δακτυλίων: X = Μέσο πλάτος δακτυλίου (mm), Std = τυπική απόκλιση (mm), R_1 =Συντελεστής αυτοσυσχέτισης 1ης τάξης, MS = Μέση ευαισθησία, και β) δεικτών MCR = Μέση συσχέτιση μεταξύ όλων των τρυπανιδίων, MCM = Μέση συσχέτιση με τη μέση χρονοσειρά, EPS = εκφρασμένο σήμα πληθυσμού, SNR = λόγος του σήματος προς τον θόρυβο.

Κατηγορίες δένδρων	Περίοδος ετών	Έτη	Αρχικά δεδομένα				Δείκτες			
			X	Std	R_1	MS	MCR	MCM	EPS	SNR
Ζωντανά	1957-2019	63	2,46	0,94	0,43	0,31	0,32	0,59	0,91	9,54
Νεκρά	1958-2018	61	2,18	0,92	0,51	0,31	0,16	0,46	0,68	2,13

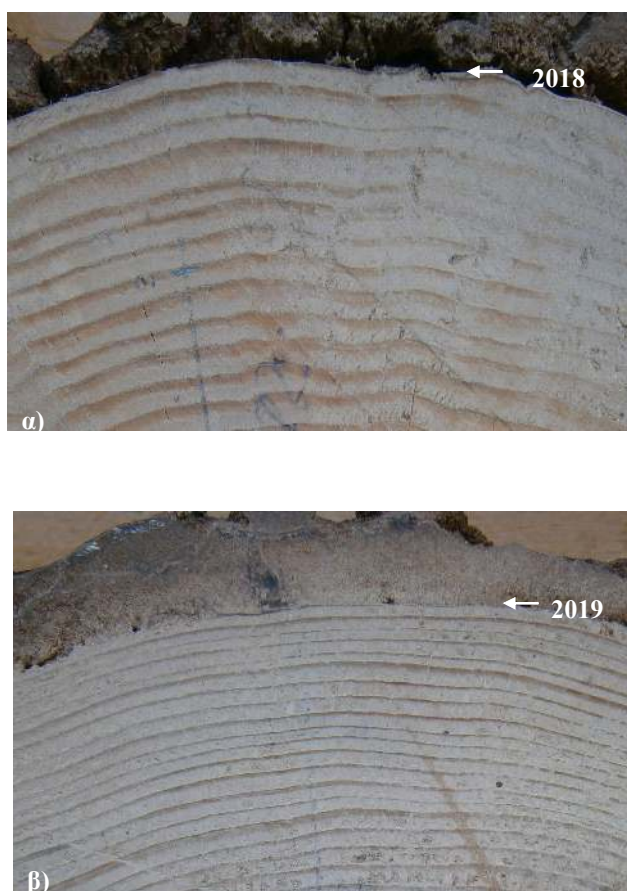
Από την κλασική και δενδροχρονολογική στατιστική γίνεται εμφανές ότι δεν υπάρχει ιδιαίτερα μεγάλη διαφοροποίηση μεταξύ των χρονοσειρών των ζωντανών και νεκρών δένδρων. Σημειώνεται η μεγαλύτερη τιμή του συντελεστή αυτοσυσχέτισης στα νεκρά από ότι στα ζωντανά δένδρα. Σύμφωνα με τους Cailleret et al. (2019), η αύξηση του συντελεστή αυτού με τον χρόνο αποτελεί χαρακτηριστικό γνώρισμα και ένα σημάδι της τάσης νέκρωσης των δένδρων. Σε ότι αφορά τους δύο συντελεστές συσχέτισης, δηλαδή, μεταξύ όλων των χρονοσειρών (MCR) της κάθε ομάδας δένδρων και με τη μέση χρονοσειρά (MCM), οι τιμές δείχνουν μια σημαντική συσχέτιση και ομοιογένεια στα ζωντανά δένδρα ενώ στα νεκρά δένδρα σημαντική μπορεί να θεωρηθεί η συσχέτιση μόνο στο επίπεδο της σύγκρισης με τη μέση χρονοσειρά. Το εκφρασμένο από τον πληθυσμό σήμα (EPS) ξεπερνά το όριο του 0,85 στα ζωντανά δένδρα, πράγμα που δεν συμβαίνει και στα νεκρά δένδρα. Η τιμή αυτή σύμφωνα με τους Wingley et al. (1984) θεωρείται ως μια κατώτερη οριακή τιμή ενός αποδεκτού σήματος των χρονοσειρών που

δίνει τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν σε δενδροκλιματολογικές και δενδροοικολογικές μελέτες. Τέλος η μικρότερη τιμή σε ότι αφορά την αναλογία του σήματος προς τον θόρυβο (SNR) στα νεκρά από ότι στα ζωντανά δένδρα δείχνει ότι ένα μεγάλο μέρος της μεταβλητότητας των δακτυλίων δεν ερμηνεύεται από κλιματικούς και γενικότερα σταθμολογικούς και συσταδικούς παράγοντες.

4.3 ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΑΥΞΗΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ

Από τις καμπύλες της κατά πλάτος αύξησης για κάθε δένδρο από την ομάδα των ζωντανών και νεκρών δένδρων (Παράρτημα 2), φαίνεται η ατομική συμπεριφορά της κατά πλάτος αύξησης των δένδρων. Αυτές προσομοιάζουν σε δένδρα τα οποία αναπτύχθηκαν σε ανοικτό περιβάλλον. Πράγματι για την περιοχή έρευνας τα υπάρχοντα άτομα ελατής εγκαταστάθηκαν στη συνέχεια προηγούμενης καταστροφής του δάσους ή πιο πιθανά μετοίκησης της ελάτης στη χαμηλότερη υψομετρικά ζώνη των αείφυλλων πλατυφύλλων και συγκεκριμένα για την περιοχή, στη ζώνη των πυκνών πρινώνων. Να σημειωθεί ότι η φυσική αναγέννηση της ελάτης σε ανοικτό περιβάλλον, που δημιουργείται μετά από αποψίλωση ή πυρκαγιά, είναι δύσκολη (Arianoutsou et al. 2010). Σε αυτές τις περιπτώσεις η παρουσία ενός προστατευτικού υπορόφου (Ντάφης, 1975), όπως ο προαναφερθείς στην περίπτωση της περιοχής μελέτης με τον πρινώνα, είναι απαραίτητος για την εγκατάσταση και εξέλιξη της φυσικής αναγέννησης της ελάτης. Συγκρίνοντας τις καμπύλες των δένδρων μεταξύ τους, διακρίνουμε μόνο ατομικές αυξητικές τάσεις των δένδρων που αντανακλούν την κοινωνική τους θέση και την πορεία αύξησης τους μέσα στον προϋπάρχοντα ή συνυπάρχοντα πρινώνα.

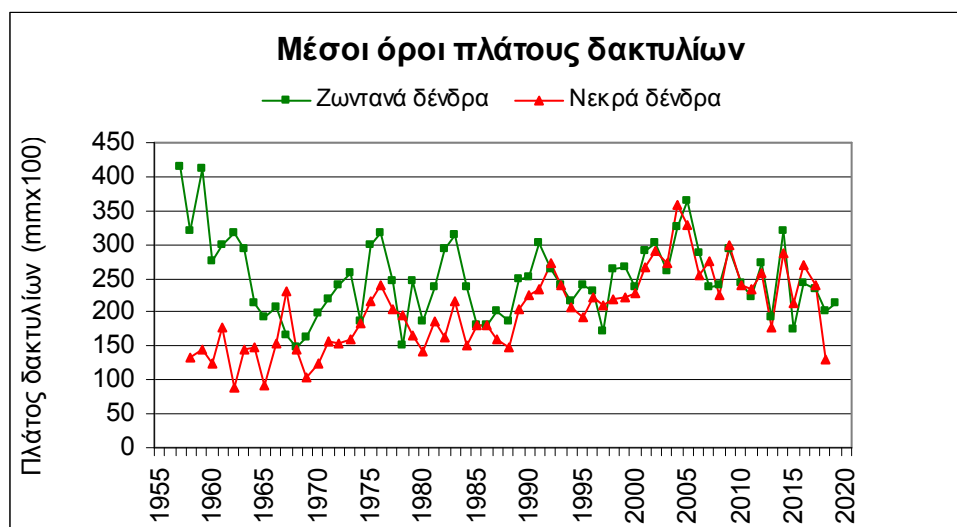
Από τη χρονολόγηση των νεκρών δένδρων από τα οποία ελήφθησαν τομές προκύπτει ότι, το έτος νέκρωσης για τα οκτώ από τα δέκα δένδρα σημειώθηκε την εαρινή περίοδο του έτους 2018 και για τα 2 τη θερινή περίοδο του 2019. Στην εικόνα 4.1α φαίνεται ο τελευταίος ημιτελής και σχεδόν μηδενικού πλάτους δακτύλιος του έτους 2018, όπου εμφανίζονται αμυδρά ίχνη πρωίμου ξύλου, ενώ σε άλλα δένδρα δεν εμφανίζεται καθόλου πρώιμο ξύλο. Στην εικόνα 4.1β φαίνεται ένα μέρος του πρώιμου ξύλου του τελευταίου ημιτελή δακτυλίου του έτους 2019 πριν επέλθει η νέκρωση.



Εικόνα 4.1 Εγκάρσια τομή α) του νεκρού δένδρου Νο 2 με τον σχεδόν μηδενικό, ημιτελή δακτύλιο του έτους 2018 και β) του νεκρού δένδρου Νο 7 με σχηματισμένο το πρώιμο ξύλο στον ημιτελή δακτύλιο του έτους 2019.

Από τη σύγκριση των καμπυλών του μέσου όρου των πλατών των δακτυλίων μεταξύ των ζωντανών και νεκρών δένδρων (Εικόνα 4.2) φαίνεται μια συγχρονισμένη ετήσια μεταβλητότητα, που είναι αναμενόμενη, καθώς αναπτύσσονται στην ίδια θέση. Το ίδιο παρατηρείται και στη γενική τάση της μέσης αύξησης, με εξαίρεση την πρώτη δεκαετία όπου εμφανίζεται μια μικρή υστέρηση στη μέση αύξηση των νεκρών δένδρων σε σχέση με τα ζωντανά, καθώς και το τελευταίο έτος πριν το έτος νέκρωσης όπου τα νεκρά δένδρα παρουσιάζουν μια απότομη μείωση του πλάτους του δακτυλίου. Η διαφορετική τάση που παρατηρείται μεταξύ των ζωντανών και νεκρών δένδρων την πρώτη δεκαετία μπορεί να ερμηνευθεί από τις συνθήκες ανταγωνισμού, τα πρώτα αυτά χρόνια, για φως και θρεπτικά στοιχεία. Γενικώς τα νεκρά δένδρα παρόλο που αντισταθμίζουν τη διαφορά

στην αύξηση σε σχέση με τα ζωντανά τις τελευταίες δεκαετίες φαίνεται να δείχνουν μια υστέρηση.



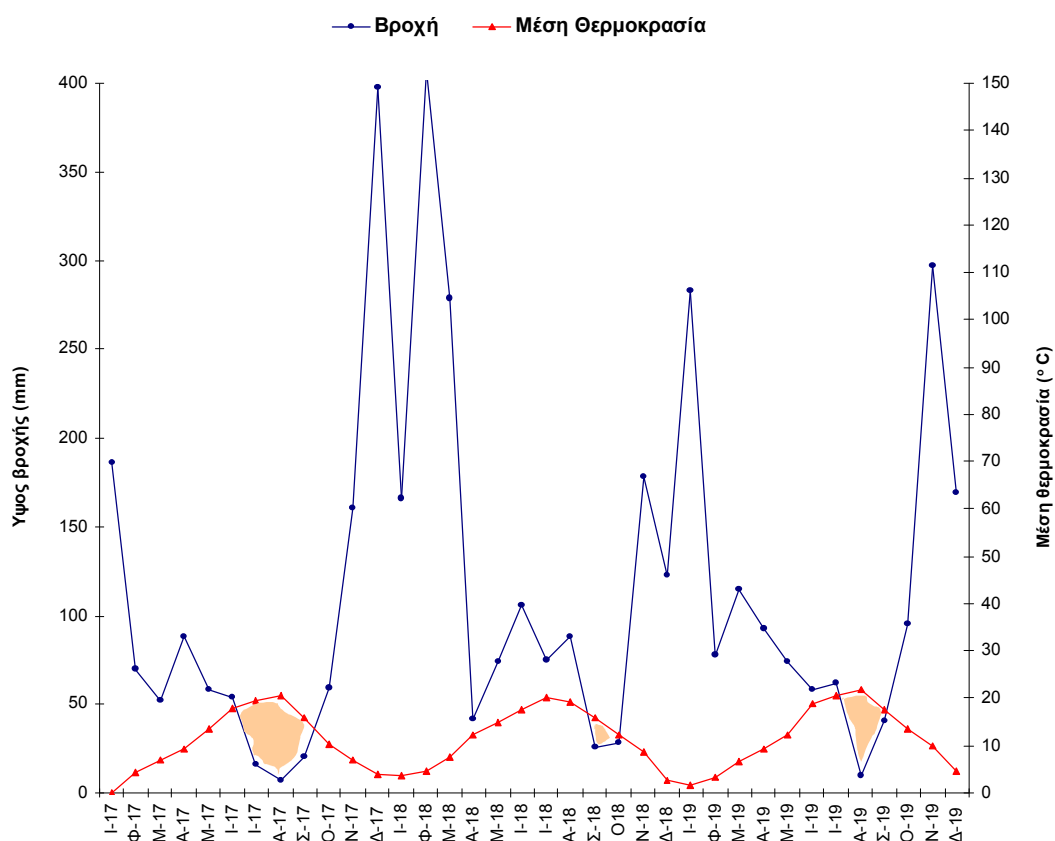
Εικόνα 4.2 Καμπύλες μέσων χρονοσειρών πλατών δακτυλίων για τα ζωντανά και νεκρά δένδρα.

Η υπολειπόμενη αυτή κατά πλάτος αύξηση των νεκρών δένδρων θα μπορούσε να ερμηνευθεί ως ένα σημάδι ευαισθησίας των νεαρών δένδρων ελάτης σε καταπονήσεις από δυσμενείς κλιματικούς και άλλους παράγοντες και μια αυξημένη ευπάθεια στη συνέχεια σε δευτερογενείς προσβολές από έντομα και μύκητες που οδηγούν στη νέκρωση των δένδρων (Paradourou et al. 2007). Σύμφωνα με τους Cailleret et al. (2017), πριν από τη νέκρωση των δένδρων, στο 96% των περιστατικών, παρατηρείται μια περίοδος ετών, που μπορεί να κυμαίνεται από 1-100 χρόνια, όπου μειώνεται η κατά πλάτος αύξηση, ή και μηδενίζεται (Bigler et al. 2004, Linares and Camarero 2011) ανάλογα με τη επίδραση των παραγόντων που λειτουργούν ως πηγή νέκρωσης. Αυτή η πτωτική πορεία αύξησης μπορεί να αποτελεί ένα πρόδρομο σημάδι νέκρωσης (Cailleret et al. 2019).

Στην περίπτωση της παρούσας έρευνας, αυτή η περίοδος της μικρής αύξησης δεν είναι παρά μόνο ένα έως δύο έτη πριν τη νέκρωση, γεγονός που προϋποθέτει και για άλλο αιφνίδιο παράγοντα έκτος από το κλίμα που αθροιστικά οδήγησε σε ένα μεγαλύτερο στρες και τελικά στη νέκρωση. Αυτός ο παράγοντας θα μπορούσε να ήταν η δασική πυρκαγιά δίπλα από την πόλη του Καρπενησίου που σημειώθηκε στις 16 Οκτωβρίου

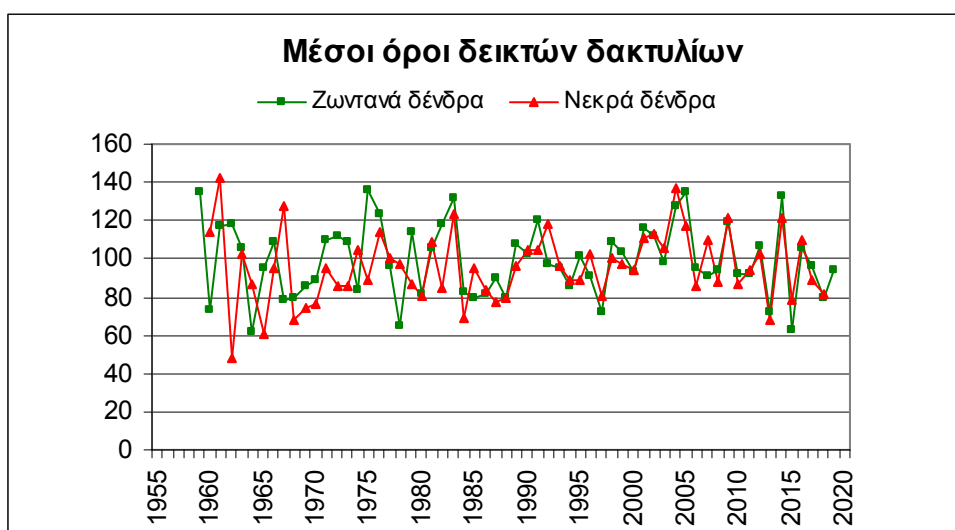
2017, σε παρακείμενη από την περιοχή έρευνας θέση, η οποία φαίνεται πως επηρέασε με το θερμικό κύμα που δημιουργήθηκε τα πιο ευαίσθητα αυτά δένδρα, οδηγώντας τα και σε συνδυασμό με τους κλιματικούς παράγοντες, τα επόμενα ένα ή δυο έτη μετά την πυρκαγιά, στη νέκρωση. Η απότομη αλλαγή της αύξησης το προηγούμενο από τη νέκρωση έτος, όπως αναφέρουν και οι Cailleret et al. (2019), μπορεί να σχετίζεται με ένα γενικευμένο πρόβλημα στην υδραυλική συμπεριφορά των δένδρων ή και στην προσβολή από φλοιοφάγα έντομα, που προκλήθηκαν μετά από το περιστατικό της φωτιάς του έτους 2017. Να σημειωθεί ότι τα τελευταία χρόνια, βασική αιτία στη νέκρωση των ελατοδασών, αποτελεί πρωτογενώς η κλιματική αλλαγή με την αρνητική επίδραση της ξηρασίας και των υψηλές θερμοκρασιών της θερινής περιόδου (Papadopoulos et al. 2007, Παπαδόπουλος και συν. 2011).

Από την εξέταση της ξηρασίας με βάση το ομβροθερικό διάγραμμα των ετών 2017 που σημειώθηκε η δασική πυρκαγιά και των ετών 2018 και 2019 που εμφανίσθηκαν τα προβλήματα νέκρωσης των δένδρων ελάτης στην περιοχή μελέτης, φαίνεται ότι καθοριστικό ρόλο στην εμφάνιση της πυρκαγιάς τον Οκτώβριο του 2017 έπαιξε η θερινή ξηρασία ή οποία εμφανίσθηκε με μεγαλύτερη διάρκεια και ένταση το έτος αυτό, ξεκίνησε από τα τέλη Ιουνίου και επεκτάθηκε έως και τις αρχές Οκτωβρίου. (Εικόνα 4.3). Τα επόμενα χρόνια αν και πιο ευνοϊκά από άποψη ξηρασίας δεν στάθηκαν ικανά να σταματήσουν τη μεγάλη σε έκταση νέκρωση δένδρων που παρατηρήθηκε τα έτη 2018 και 2019.



Εικόνα 4.3 Ομβροθερμικό διάγραμμα των ετών 2017, 2018 και 2019 για την περιοχή μελέτης.

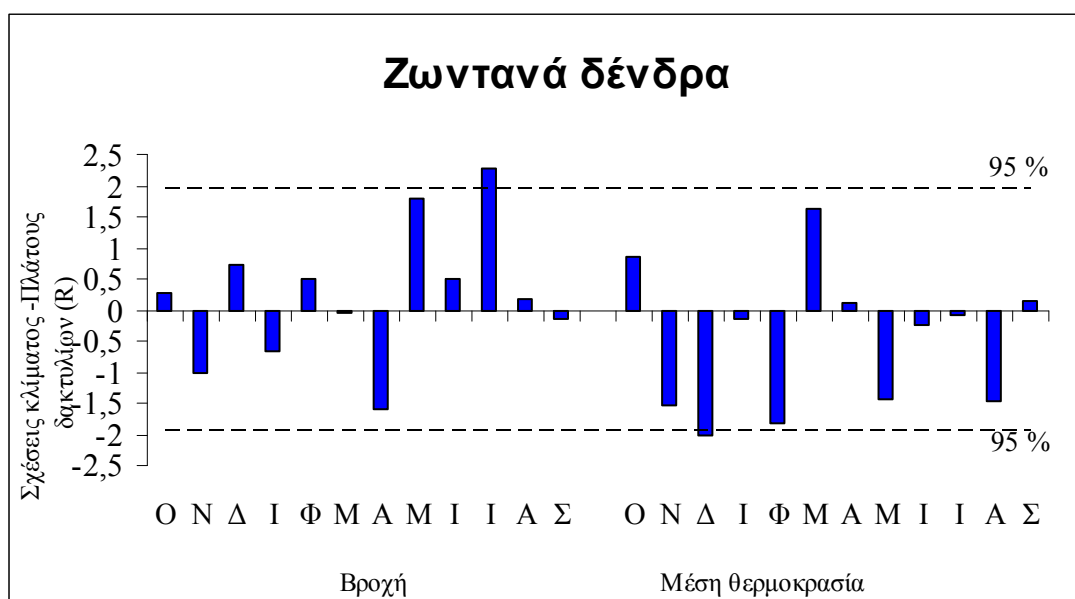
Από τη σύγκριση των καμπυλών των δεικτών των ζωντανών και των νεκρών δένδρων (Εικόνα 4.4) δεν φαίνεται κάποια διαφοροποίηση στην ετήσια μεταβλητότητα του πλάτους των δακτυλίων, ούτε στο συγχρονισμό της αύξησης, αν εξαιρέσουμε τα πρώτα έτη της ζωής του δένδρου όπου όμως κατά κανόνα επικρατούν ατομικές συμπεριφορές. Η αυξητική αυτή συμπεριφορά δεν υποδηλώνει ένα προστάδιο πριν τη νέκρωση των δένδρων. Σύμφωνα με τους Cailleret et al. (2019), η αύξηση της ετήσιας μεταβλητότητας του πλάτους των δακτυλίων και η μείωση του συγχρονισμού της κατά πλάτος αύξησης μπορεί να αποτελούν μια ισχυρή προένδειξη της θνησιμότητας των γυμνοσπέρμων ειδών. Σε ότι αφορά το μέσο πλάτος των δεικτών και για τις δυο ομάδες δένδρων κυμαίνεται γύρω από τη μονάδα όπως συνηθίζεται για αυτή τη μορφή δεδομένων.



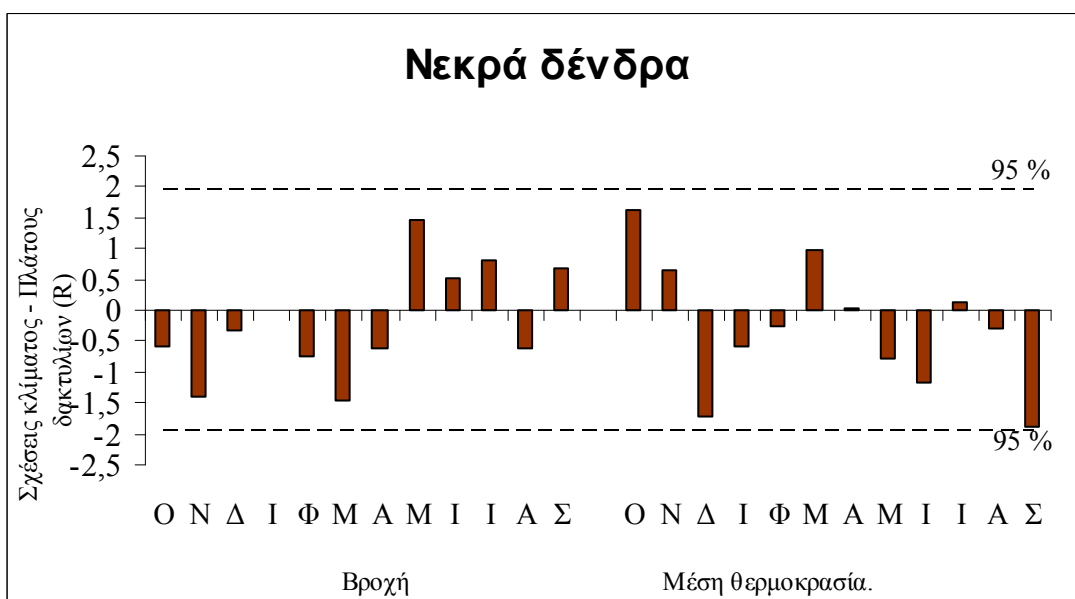
Εικόνα 4.4 Καμπύλες μέσων χρονοσειρών δεικτών πλατών δακτυλίων για τα ζωντανά και νεκρά δένδρα.

4.4 ΣΧΕΣΕΙΣ ΚΛΙΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΠΛΑΤΟΥΣ ΔΑΚΤΥΛΙΩΝ

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι, για την περίοδο βαθμονόμησης (Calibration), οι σχέσεις απόκρισης του πλάτους των δακτυλίων με τη βροχή και τη μέση θερμοκρασία είναι σημαντικές και για τα ζωντανά και για τα νεκρά δένδρα σε επίπεδο 99,9 %. Αντίθετα, για την περίοδο επαλήθευσης (Verification) οι σχέσεις απόκρισης δεν είναι στατιστικά σημαντικές σε επίπεδο πάνω από 90 % (όριο που τίθεται για την πιστότητα των συντελεστών συσχέτισης). Όμως η επιμέρους ανάλυση του προφίλ των σχέσεων απόκρισης δείχνει ότι υπάρχουν, για τα ζωντανά δένδρα (Εικόνα 4.5), θετικές συσχετίσεις των πλατών των δακτυλίων με τις βροχοπτώσεις του Μαΐου (επίπεδο σημαντικότητας 90 %) και του Ιουλίου (επίπεδο σημαντικότητας 95 %) και αρνητικές συσχετίσεις με τις μέσες θερμοκρασίες του Δεκεμβρίου πριν την έναρξη της βλαστητικής περιόδου (επίπεδο σημαντικότητας 95 %) και του Φεβρουαρίου πριν την έναρξη της βλαστητικής (επίπεδο σημαντικότητας 90 %). Αντίστοιχα, για τα ξερά δένδρα (Εικόνα 4.6) δεν υπάρχουν σημαντικές συσχετίσεις με τις βροχοπτώσεις ενώ με τις μέσες θερμοκρασίες παρατηρούνται αρνητικές συσχετίσεις τον Δεκέμβριο που προηγείται της έναρξης της βλαστητικής και το Σεπτέμβριο του έτους σχηματισμού του δακτυλίου (επίπεδο σημαντικότητας 90 %).



Εικόνα 4.5 Προφίλ της σχέσης απόκρισης του πλάτους των δακτυλίων με τις μηνιαίες βροχοπτώσεις και μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες για τα ζωντανά δένδρα.



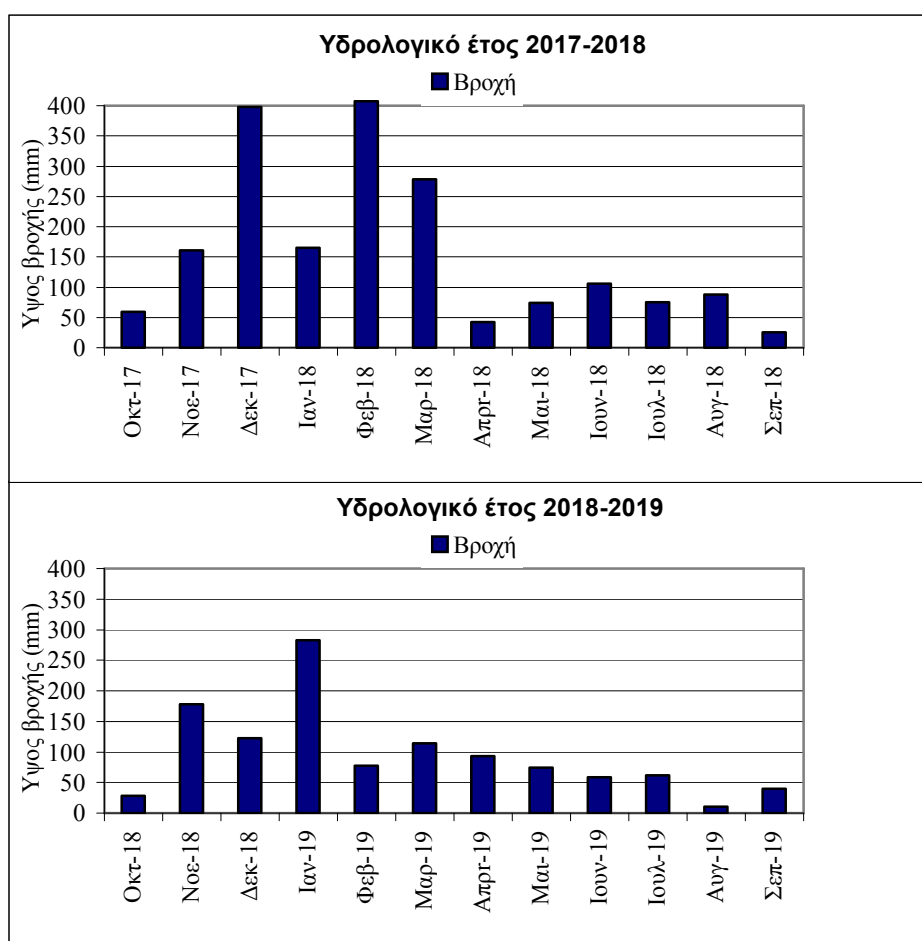
Εικόνα 4.6 Προφίλ της σχέσης απόκρισης του πλάτους των δακτυλίων με τις μηνιαίες βροχοπτώσεις και μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες για τα νεκρά δένδρα.

Από τη συγκριτική αδρομερή εξέταση του προφίλ των σχέσεων απόκρισης των ζωντανών και των νεκρών δένδρων (Εικόνα 4.5 και Εικόνα 4.6) φαίνεται ότι η τάση είναι ανάλογη όμως με μικρότερη σημαντικότητα στα νεκρά από ότι στα ζωντανά δένδρα.

Αυτό βέβαια εξηγείται και από τα στατιστικά της χρονοσειράς των νεκρών δένδρων που παρουσιάζει σημαντικά μικρότερες τιμές του EPS και SNR. Πιο αναλυτικά, η θετική τάση που παρατηρείται για τις βροχοπτώσεις, την περίοδο του τέλους της άνοιξης και του καλοκαιριού, καθώς και οι αρνητικές σχέσεις με τις θερμοκρασίες του καλοκαιριού στα νεκρά δένδρα είναι ανάλογες με αυτές των νεκρών δένδρων αλλά μη σημαντικές στατιστικά. Πιο αναλυτικά, τα προς νέκρωση δένδρα παρουσιάζουν κυρίως μικρότερη θετική αντίδραση στις βροχοπτώσεις της εαρινής και θερινής περιόδου, γεγονός που θα μπορούσε να ερμηνευθεί από έναν πιο σημαντικό επηρεασμό στην υδραυλική συμπεριφοράς τους από ότι τα ζωντανά δένδρα, λόγω και της κλιματικής αλλαγής με την αύξηση της ξηρασίας και της θερμοκρασίας. Σε αυτό συνηγορεί και η διαπίστωση του Freer-Smith (1996), ότι η μείωση του πλάτους των ετησίων δακτυλίων συνοδεύεται με μείωση η οποία ξεκινά σε έτη σοβαρής ξηρασίας.

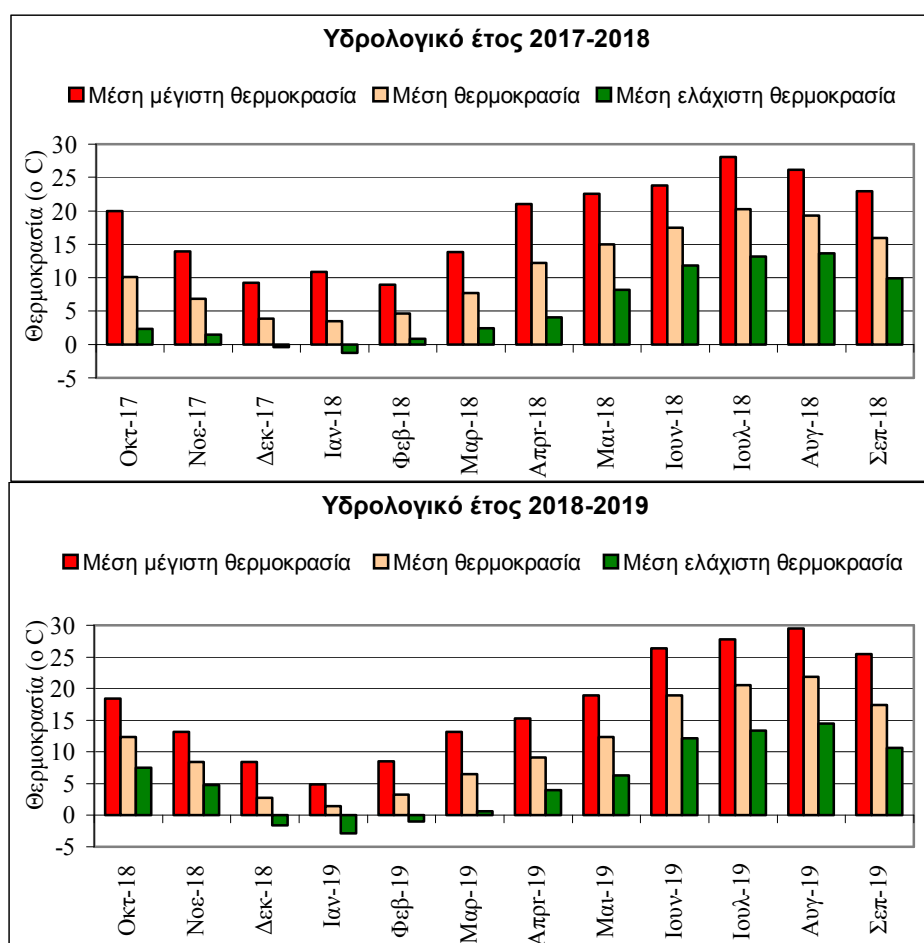
Η θετική επίδραση των βροχοπτώσεων της τέλους της εαρινής-θερινής περιόδου στην κατά πλάτος αύξηση της ελάτης μπορεί να ερμηνευθεί από τη ζήτηση νερού για τις πολύ έντονες αυξητικές διεργασίες που συμβαίνουν τη περίοδο αυτή. Ανάλογες θετικές σχέσεις του πλάτους των ετησίων δακτυλίων και των θερινών βροχοπτώσεων έχουν υπολογισθεί για την ελάτη και για άλλες περιοχές της Ευρώπης (Παπαδόπουλος και συν. 2011).

Από την εξέταση της βροχομετρικής δίαιτας των υδρολογικών ετών 2017-18 και 2018-19 (Εικόνα 4.7) που εμφανίσθηκαν τα προβλήματα νέκρωσης των δένδρων ελάτης στην περιοχή μελέτης παρατηρείται μια σημαντική μείωση των βροχοπτώσεων το υδρολογικό έτος 2018-19 σε σχέση με το υδρολογικό έτος 2017-18, η οποία όπως δείχνουν και οι σχέσεις απόκρισης επηρεάζει αρνητικά το πλάτος του δακτυλίου και κατά συνέπεια ευνοεί τη νέκρωση των ασθενέστερων δένδρων.



Εικόνα 4.7 Μηνιαία ύψη βροχής των υδρολογικών ετών 2017-18 και 2018-19 της περιοχής μελέτης (μέσοι όροι από τους σταθμούς Καρπενήσι και Καρπενήσι πόλη του δικτύου του Αστεροσκοπείου Αθηνών).

Από την εξέταση αντίστοιχα των μηνιαίων θερμοκρασιών (μέση, μέση μέγιστη και μέση ελάχιστη) μεταξύ των υδρολογικών ετών 2017-18 και 2018-19 (Εικόνα 4.8) παρατηρείται μια μικρή μείωση των θερμοκρασιών τη χειμερινή περίοδο και αντίθετα αύξηση την εαρινή και θερινή περίοδο η οποία, όπως δείχνουν και οι σχέσεις απόκρισης με τις θερμοκρασίες, δεν φαίνεται να επηρεάζει τη νέκρωση.



Εικόνα 4.8 Μέσες μηνιαίες, μέσες μηνιαίες μέγιστες και μέσες μηνιαίες ελάχιστες θερμοκρασίες των υδρολογικών ετών 2017-18 και 2018-19 της περιοχής μελέτης (μέσοι όροι από τους σταθμούς Καρπενήσι και Καρπενήσι πόλη του δικτύου του Αστεροσκοπείου Αθηνών).

Γενικότερα, φαίνεται ότι τα τελευταία χρόνια η αύξηση των θερμοκρασιών και η μείωση των βροχοπτώσεων που εμφανίζονται όλο και περισσότερο στην Ελλάδα και τη Μεσόγειο (IPCC 2007, Τράπεζα της Ελλάδος 2011) επηρεάζουν αρνητικά τα ελατοδάση, εξασθενώντας τα σημαντικά, βέβαια και σε συνδυασμό με άλλους βιοτικούς παράγοντες όπως είναι εκτεταμένες προσβολές από ιξό (Tsovelas et al. 2004, Raftoyannis et al. 2015), ή και προσβολές των οφθαλμών και των νέων βελονών από το έντομο *Choristoneura murinana* (Καϊλίδης 1977) ή ακόμη λόγω της κακής κατάστασης του ριζικού συστήματος των δένδρων λόγω διαφόρων προσβολών (Raftoyannis et al. 2008), αλλά και επιδράσεις από τη ρύπανση του αέρα ή τις δασικές πυρκαγιές όπως συμβαίνει στην παρούσα έρευνα. Οι παραπάνω παράγοντες ενεργούν πρωτογενώς επηρεάζοντας πολύ

περισσότερο να υπολειπόμενα σε αύξηση δένδρα, τα οποία στη συνέχεια νεκρώνονται άμεσα ή έμμεσα μετά από δευτερογενείς προσβολές από φλοιοφάγα και ξυλοφάγα έντομα.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η έρευνα αυτή έδειξε ότι η νέκρωση των νεαρών δένδρων ελάτης, μιας συστάδας στην περιοχή Γοριανάδων Καρπενησίου, ευρισκόμενης στα χαμηλότερα υψομετρικά όρια εξάπλωσης του είδους στην περιοχή ήταν αιφνίδια, χωρίς δηλαδή να παρατηρηθεί τα προηγούμενα έτη μια έντονη μείωση της κατά πλάτους αύξησης, με εξαίρεση το τελευταίο έτος. Πέρα από το ρόλο της κλιματικής αλλαγής, που γνωρίζουμε ότι επηρεάζει το φαινόμενο αυτό, βασικό ρόλο στη νέκρωση των δένδρων στην περιοχή μελέτης παίζει η προηγούμενη καταπόνηση των δένδρων από τη δασική πυρκαγιά που σημειώθηκε σε παρακείμενη δασική έκταση τον Οκτώβριο του 2017, τη γένεση της οποίας ενίσχυσε η μεγάλη και παρατεταμένη μέσα στο φθινόπωρο ξηρασία που σημειώθηκε το έτος αυτό. Επομένως, επαληθεύεται το συμπέρασμα ότι τα υπολειπόμενα σε αύξηση δένδρα παρουσιάζουν μεγαλύτερη ευπάθεια στην κλιματική αλλαγή και γενικότερα σε εξωτερικούς αβιοτικούς και βιοτικούς παράγοντες που τα εξασθενούν και στη συνέχεια προσβάλλονται δευτερογενώς από μύκητες και έντομα οδηγούμενα στη νέκρωση. Επαληθεύεται ακόμη το γεγονός ότι τα δένδρα που βρίσκονται στα χαμηλότερα όρια εξάπλωσης τους και σε προς νότιες εκθέσεις παρουσιάζουν μεγαλύτερη ευπάθεια σε σχέση με δένδρα που βρίσκονται στο μέσο του εύρους εξάπλωσης τους.

Η κατά πλάτος αύξηση της ελάτης επηρεάζεται θετικά από τις βροχοπτώσεις του τέλους της εαρινής και θερινής περιόδου όπως γενικότερα ισχύει για την ελάτη και άλλα είδη κωνοφόρων και πλατυφύλλων ειδών στη χαμηλότερη υψομετρικά ζώνη. Η θετική αυτή επίδραση των βροχοπτώσεων δεν είναι τόσο εμφανής στα νεκρά δένδρα, γεγονός που αποτελεί μια ένδειξη της διαταραχής της υδραυλικής τους συμπεριφοράς και της απορρόφησης νερού που τα οδηγεί στη συνέχεια σε νέκρωση.

Προκειμένου να διαφυλάξουμε τα πολύ σημαντικά οικοσυστήματα ελάτης της χώρας μας θα πρέπει να αναγνωρίσουμε την απειλή της κλιματικής αλλαγής που γίνεται ήδη αισθητή με την εμφάνιση παρατεταμένων περιόδων ξηρασίας, συχνών και έντονων καταιγίδων, πλημμύρες, αυξημένες ημέρες καύσωνα και μεγάλες και απρόβλεπτες δασικές πυρκαγιές. Με βάση τα αποτελέσματα της έρευνας αυτής, στοιχεία που θα

μπορούσαν να ληφθούν υπόψη στη διαχείριση για την προσαρμογή των συστάδων ελάτης στην κλιματική αλλαγή είναι:

- η άμεση απομάκρυνση των ξερών δένδρων ώστε να μειωθούν οι πληθυσμοί των φλοιοφάγων εντόμων που προσβάλουν δευτερογενώς τα δένδρα και τα οδηγούν τελικά στη νέκρωση,
- η αραίωση του δάσους και ο καθαρισμός του υπορόφου, ώστε να μειωθεί ο ανταγωνισμός των δένδρων για θρεπτικά στοιχεία, νερό και φως, χωρίς βέβαια να εκτίθεται το έδαφος σε διάβρωση,
- ο εξευγενισμός του δάσους και η βελτίωση της υγείας των συστάδων με τη διενέργεια αρνητικής επιλογής (απομάκρυνση των δένδρων που παρουσιάζουν μειωμένη ζωτικότητα και τάση εξέλιξη),
- η αναγέννηση του δάσους με χαλάρωση της κομοστέγης, κυρίως στις θέσεις όπου έχει ήδη εμφανιστεί η αναγέννηση, με μέριμνα στις κακές ποιότητες τόπου να μην είναι κάτω του 70% γιατί δυσκολεύει την επιβίωση των φυταρίων,
- η μείωση της επίδρασης άλλων βιοτικών παραγόντων που εξασθενούν τα δένδρα όπως για παράδειγμα η επίδραση του ιξού και προσβολών εντόμων σε οφθαλμούς και βελόνες,
- η συγκρότηση, στις οριακές αυτές ζώνες εξάπλωσης της ελάτης, πιο σταθερών και ανθεκτικών συστάδων απέναντι στην κλιματική αλλαγή, όπως για παράδειγμα με τη διατήρηση σε μίξη διαφόρων φυλλοβόλων αειθαλών δρυών που αναπτύσσονται στην αμέσως πριν την ελάτη χαμηλότερη υψομετρικά ζώνη βλάστησης,
- η αυστηρή προστασία των δασικών οικοσυστημάτων της ελάτης από ανθρώπινες δραστηριότητες που υποβαθμίζουν την οικολογική κατάσταση των οικοσυστημάτων (π.χ. υπερβοσκή, ανεξέλεγκτες ανθρώπινες επεμβάσεις

σε διάφορες περιοχές που σχετίζονται με διανοίξεις δρόμων, εκχερσώσεις, λαθρουλοτομίες, διάσπαση του δάσους κλπ.) και

- τέλος, η αντιπυρική προστασία των ελατοδασών, καθώς είναι μαθηματικά βέβαιο ότι η επανεγκατάσταση του ελατοδάσους είτε τεχνητά είτε φυσικά είναι σχεδόν αδύνατη (Ganatsas et al. 2012), έτσι θα πρέπει άμεσα να εκπονηθεί μελέτη αντιπυρικής προστασίας των δασών της περιοχής και να ληφθούν όλα τα απαραίτητα προληπτικά μέτρα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Αθανασιάδης Ν., 1986. Δασική Βοτανική Μέρος Ι. Δέντρα και Θάμνοι των Δασών της Ελλάδος. Θεσσαλονίκη. Εκδ. Γιαχούδη-Γιαπούλη.
2. Arianoutsou, M., Christopoulou, A., Kazanis, D., Tountas, Th., Ganou, E., Bazos, I., Kokkoris, Y., 2010. Effects of fire on high altitude coniferous forests of Greece. In: Viegas D.X. (Eds.), VI International Conference on forest fire research. ADAI/CEIF, University of Coimbra, Portugal (electronic edition).
3. Bigler, Ch., Cricar, J., Bugmann, H., Cufar, K., 2004. Growth patterns as indicators of impending tree death in silver fir. *Forest Ecology and Management* 199: 183-190.
4. Cailleret M., Jansen S., Robert E.M.R., Desoto L., Aakala T., Antos J.A., Beikircher B., Bigler Ch, Bugmann H., Caccianiga M., Cada V., Camarero J.J., Cherubini P., Cochard H., Coyea M.R., Čufar K., Das A., Davi H., Delson S., Dorman M., Gea-Izquierdo G., Gillner S., Haavik L.J., Hartmann H., Heres A.M., Hultine K.R., Janda P., Kane J., Kharuk V.I., Kitzberger T., Klein T., Kramer K., Lens F., Levanic T., Linares Calderon J.C., Lloret F., Lobo-Do-Vale R., Lombardi F., Lopez Rodriguez R., Makinen H., Mayr S., Meszaros I., Metsaranta J.M., Monunno F., Oberhuber W., Papadopoulos A., Pertoniemi M., Petritan A.M., Rohner B., Sanguesa-Barreda G., Sarris D., Smith J.M., Stan A.B., Sterck F., Stojanovic D., Suarez M.L., Svoboda M., Tognetti R., Torres-Ruiz J.M., Trotsiuk V., Vollalba R., Vodde F., Westwood A.R., Wyckoff P.H., Zafirov N., Martinez-Vilalta J., 2016. A synthesis of radial growth patterns preceding tree mortality. *Global Change Biology* (2016), doi: 10.1111/gcb.13535.
5. Cailleret M, Dakos V, Jansen S, Robert EMR, Aakala T, Mariano M. Amoroso MM, Antos JA, Bigler Ch, Bugmann H, Caccianaga M, Camarero JJ, Cherubini P, Coyea MR, Čufar K, Das AJ, Davi H, Gea-Izquierdo G, Gillner S, Haavik LJ, Hartmann H, Hereş AM, Hultine KR, Janda P, Kane JM, Kharuk VI, Kitzberger Th, Klein T, Levanic T, Linares JC, Lombardi F, Mäkinen H, Mészáros I, Metsaranta JM, Oberhuber W, Papadopoulos A, Petritan AM, Rohner B, Sangüesa-Barreda G, Smith JM, Stan AB, Stojanovic DB, Suarez ML, Svoboda M, Trotsiuk V, Villalba R, Westwood AR, Wyckoff PH, Martínez-Vilalta J, 2019. Early-warning signals of individual tree mortality based on annual radial growth. *Front. Plant Sci.*, Volume 9 Article 1964, 08 January 2019 <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01964>
6. Camarero, J., Martin, E., Gil-Pelegrin E. 2003. The impact of a needleminer (*Epinotia subsequana*) outbreak on radial growth of silver fir (*Abies alba*) in the Aragon Pyrenees: A dendrochronological assessment. *Dendrochronologia* 21/1: 3-12.
7. Cook, E., 1987. The decomposition of tree-ring series for environmental studies. *Tree-Ring Bulletin* Vol. 47: 37-59.
8. Freer-Smith, P.H., 1996. Forest growth and decline: What is the role of air pollutants. In: *Plant response to air pollution*. Yunus M. and Iqbal M. eds: 437-447.

9. Fritts, H.C., 1976. Tree-rings and climate. Academic Press, London, 567 pp.
10. Ganatsas P., Daskalakou E., Paitaridou D., 2012. First results on early post-fire succession in an *Abies cephalonica* forest (Parnitha National Park, Greece). *iFOREST* 5: 6-13.
11. Guiot, J., 1990. Methods and programs of statistics for paleoclimatology and paleoecology. Quantification des changements climatiques: Méthodes et programmes, Monographie N° 1. INSU, PNEDC, 253 pp.
12. Grissino-Mayer, H.D., 2001. Evaluating Crossdating Accuracy: A Manual and Tutorial for the Computer Program COFECHA. *Tree-Ring Research* 57(2), 205–221.
13. Holmes, R.I., 1983. Computer-assisted quality control in tree ring dating and measurement. *Tree-Ring Bull.* 43, 69-78.
14. IPCC, 2007. Climate change 2007: the physical science basis. In: Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M., Miller, H.L. (Eds.), Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment. Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom/New York, NY, USA, 996 pp.
15. Καϊλίδης, Δ.Σ., 1964. Προσβολή και ξήρανση ελάτης περιοχής Ανατολικού Μαινάλου Πελοποννήσου. *Δασικά Χρονικά* 6, 41-54.
16. Καϊλίδης Δ.Σ., 1977. Δασική εντομολογία, δεύτερη έκδοση, Α.Π.Θ., 690 σελ.
17. Ντελής, Γ. 2013. "Εκτίμηση πλημμυρικού & κατολισθητικού κινδύνου στο Νομό Ευρυτανίας" Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία. Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Πρόληψη & Διαχείριση Φυσικών Καταστροφών». Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
18. Markalas S., 1992. Site and stand factors related to mortality rate in a fir forest after a combined incidence of drought and insect attack. *Forest Ecology and Management*, 47, 367-374.
19. Ντάφης Σ., 1975. Δασοκομία. Μέρος δεύτερον., Α.Π.Θ. 389 σελ.
20. Παπαδόπουλος, Α., 2008. Δενδροκλιματολογική διερεύνηση της κεφαλληνιακής ελάτης στην περιοχή Καρπενησίου Ευρυτανίας. 9^ο COMECAP, Πρακτικά Συνεδρίου, 933-938.
21. Papadopoulos A., Raftoyannis Y., Pantera A., 2007. Fir decline in Greece : A dendroclimatological approach. Proceedings of the 10th International Conference on Environmental Science and Technology. Kos island, Greece, 5-7 September 2007, 571-578.
22. Παπαδόπουλος Α., Ραυτογιάννης Ι., Παντέρα Α., 2011. Διερεύνηση της αυξητικής συμπεριφοράς και των σχέσεων κλίματος-αύξης στη νέκρωση των ελατοδασών. Πρακτικά 15^{ου} Πανελληνίου Δασολογικού Συνεδρίου, Καρδίτσα 2011. Ελληνική Δασολογική Εταιρεία, 360-367.
23. Papadopoulos A., 2016. Tree-ring patterns and climate response of Mediterranean fir populations in Central Greece. *Dendrochronologia* 40, 17-25.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.dendro.2016.05.005>

24. Παπαδόπουλος Α., 2015. Μετεωρολογία – Βιοκλιματολογία. Διδακτικές Σημειώσεις. Τμήμα Δασοπονίας και Διαχείρισης Φυσικού Περιβάλλοντος, ΤΕΙ Στερεάς Ελλάδας, 152 σελ.
25. Παπαδόπουλος Α. 2018. Δενδροχρονολογία (σημειώσεις). Μεταπτυχιακό πρόγραμμα: Οικολογία και Διαχείριση Περιβάλλοντος. Γενικό Τμήμα, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, 34 σελ.
26. Raftoyannis Y., Spanos I., Radoglou K., 2008. The decline of Greek fir (*Abies cephalonica* Loudon): Relationships with root condition. Plant Biosystems, Vol. 142, No. 2, 386–390.
27. Raftoyannis Y., Radoglou K., Bredemeier M., 2015. Effect of mistletoe infection on the decline and mortality of *Abies cephalonica* in Greece. Annals of forest research, 58(1), 55-65.
28. Régant Inc, 2007. *Windendro 2008a. For Tree-Ring Analysis*. Régent Instruments Inc, Québec Canada, 132p.
29. Sánchez-Salguero R., Camarero J.J., Carrer M., Gutiérrez E., Alla A.Q., Andreu-Hayles L., Hevia A., Koutavas A., Martínez-Sancho E., Nola P., Papadopoulos A., Pasho E., Toromani E., Carreira J.A., Linares J.C., 2017. Climate extremes and predicted warming threaten Mediterranean Holocene firs forest refugia. PNAS vol. 114 no 47
30. Schweingruber, F. H., 1996. Tree Rings and Environment. Dendroecology. Birmensdorf, Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research. Haupt. pp. 609
31. Τράπεζα της Ελλάδος, 2011. Περιβαλλοντικές, οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην Ελλάδα, 470 σελ.
32. Tsoelas P., Angelopoulos A., Economou A., Voulala M., Xanthopoulou E., 2001. Monitoring crown defoliation and tree mortality in the fir forest of Mount Parnis, Greece. In: Radoglou, K. (Ed.), Proceedings of the International Conference on Forest Research, “A challenge for an integrated European approach”, Thessaloniki, Greece. August 27-1 September 2001. Nagref, Forest Research Institute, Thessaloniki, pp. 253-258.
33. Tsoelas P., Angelopoulos A., Economou A. and Soulioti N. (2004) Mistletoe (*Viscum album*) in the fir forest of Mount Parnis, Greece. *Forest Ecology and Management* 202, 59-65.
34. Wigley, T.M.L., Briffa, K.R., Jones, P.D., 1984. On the average value of correlated time-series, with applications in dendroclimatology and hydrometeorology. J. Clim Appl Meteorol 23, 201–213.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1

Αποτελέσματα προγράμματος COFECHA

ΖΩΝΤΑΝΑ ΔΕΝΔΡΑ

Seq	Series	Interval	No. Years	No. Segmt	No. Flags	Corr with Master	//----- Mean msmt	Max msmt	Unfiltered Std dev	Auto corr	-----\\ Mean sens	//----- Max value	Filtered Std dev	Auto corr	-----\\ AR ()
1	1.1	1974 2019	46	1	0	.511	3.04	5.07	1.025	.318	.319	2.43	.446	.024	1
2	1.2	1963 2019	57	2	0	.595	2.55	4.87	.785	.318	.293	2.78	.521	-.073	1
3	2.1	1972 2019	48	1	1	.342	2.77	4.00	.754	.248	.276	2.59	.548	.097	2
4	2.2	1965 2019	55	2	0	.603	1.78	3.10	.591	.590	.261	2.45	.463	-.039	1
5	3.1	1974 2019	46	1	0	.555	2.48	4.65	.917	.340	.336	2.56	.572	.100	1
6	3.2	1966 2019	54	2	0	.506	2.26	4.46	.745	.388	.289	2.68	.429	.083	1
7	4.1	1965 2019	55	2	0	.577	2.03	5.07	.706	.098	.337	2.77	.432	-.032	1
8	4.2	1966 2019	54	2	0	.407	1.64	3.89	.674	.299	.308	2.52	.481	.056	3
9	5.1	1976 2019	44	1	0	.609	3.11	5.84	1.080	.476	.271	2.56	.520	.003	1
10	5.2	1972 2019	48	1	0	.349	2.91	5.52	.969	.399	.306	2.78	.487	.102	1
11	6.1	1971 2019	49	1	0	.767	2.52	5.49	.965	.457	.325	2.67	.572	-.059	1
12	6.2	1976 2019	44	1	0	.723	2.69	5.90	1.034	.599	.271	2.63	.576	-.121	1
13	7.1	1971 2019	49	1	1	.262	1.98	3.37	.626	.546	.251	2.55	.518	.026	1
14	7.2	1980 2019	40	1	0	.612	2.41	4.28	.722	.384	.248	2.53	.488	-.099	1
15	8.1	1962 2019	58	2	1	.336	2.12	4.90	.994	.553	.324	2.65	.425	-.008	1
16	8.2	1962 2019	58	2	1	.350	2.33	5.12	.999	.629	.308	2.44	.491	-.056	1
17	9.1	1970 2019	50	1	0	.480	3.16	6.84	1.439	.549	.357	2.75	.547	.068	3
18	9.2	1957 2019	63	2	1	.468	2.31	5.91	1.142	.600	.364	2.76	.510	-.043	1
19	10.1	1971 2019	49	1	0	.618	2.71	4.89	1.150	.612	.307	2.57	.509	-.090	1
20	10.2	1979 2019	41	1	0	.420	2.42	7.34	1.456	.346	.380	2.88	.634	-.136	1
Total or mean:			1008	28	5	.501	2.44	7.34	.933	.441	.308	2.88	.505	-.009	--

ΝΕΚΡΑ ΔΕΝΔΡΑ

Seq	Series	Interval	No. Years	No. Segmt	No. Flags	Corr with Master	//----- Mean msmt	Max msmt	Unfiltered Std dev	Auto corr	-----\\ Mean sens	//----- Max value	Filtered Std dev	Auto corr	-----\\ AR ()
1	1.2	1967 2017	51	2	0	.414	1.73	3.95	.950	.785	.278	2.71	.539	.041	1
2	2.2	1960 2017	58	2	0	.492	1.92	4.78	1.073	.673	.400	2.74	.587	-.008	1
3	3.2	1966 2017	52	2	0	.614	2.19	5.29	.958	.333	.373	2.81	.725	-.065	1
4	4.1	1970 2017	48	1	0	.603	2.54	4.50	.842	.329	.294	2.55	.456	.000	1
5	4.2	1970 2017	48	1	0	.488	2.14	4.39	.774	.417	.303	2.72	.605	-.094	1
6	5.1	1966 2017	52	2	0	.362	2.06	4.28	1.044	.741	.295	2.77	.534	-.038	1
7	5.2	1966 2017	52	2	1	.351	2.08	5.38	1.160	.633	.340	2.74	.540	.074	1
8	6.1	1983 2017	35	1	0	.567	2.68	4.39	.720	.330	.232	2.80	.741	-.079	1
9	6.2	1983 2017	35	1	0	.545	2.69	4.74	.849	.461	.240	2.74	.686	-.177	1
10	7.1	1961 2018	58	2	2	.234	2.27	5.62	1.027	.432	.342	2.58	.375	-.021	5
11	8.1	1966 2018	53	2	2	.291	2.09	4.81	.856	.408	.339	2.90	.551	-.033	2
12	9.2	1972 2017	46	1	1	.226	1.67	3.10	.636	.571	.274	2.54	.480	-.078	2
13	10.1	1958 2017	60	2	2	.243	2.25	4.37	1.008	.721	.274	2.61	.525	-.027	1
Total or mean:			648	21	8	.408	2.15	5.62	.929	.536	.311	2.90	.556	-.033	--

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2

Καμπύλες πλατών ετησίων δακτυλίων ανά δένδρο

