



ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΔΑΣΟΛΟΓΙΑΣ & ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΦΥΣΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΟΙΚΟΛΟΓΙΑ & ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Σχέσεις – επιδράσεις του κλίματος και της κλιματικής αλλαγής στα δάση χαλεπίου
πεύκης της Πεντέλης: έρευνα νεκρώσεων δένδρων στην περιοχή

Ιωάννης Ε. Παπαδάκης

Επιβλέπων καθηγητής:

Παπαδόπουλος Ανδρέας, Καθηγητής ΓΠΑ

ΚΑΡΠΕΝΗΣΙ 2024

**ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΔΑΣΟΛΟΓΙΑΣ & ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΦΥΣΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Σχέσεις - επιδράσεις του κλίματος και της κλιματικής αλλαγής στα δάση χαλεπίου πεύκης της Πεντέλης: έρευνα νεκρώσεων δένδρων στην περιοχή

Relationships and effects of climate and climate change in the Aleppo pine forests of Penteli: a survey of tree mortality in the area

Ιωάννης Ε. Παπαδάκης

Εξεταστική Επιτροπή:

Παπαδόπουλος Ανδρέας, Καθηγητής ΓΠΑ (επιβλέπων)

Φωτιάδης Γεώργιος, Αναπληρωτής Καθηγητής ΓΠΑ

Ταμπέκης Στέργιος, Επίκουρος Καθηγητής ΓΠΑ

Σχέσεις - επιδράσεις του κλίματος και της κλιματικής αλλαγής στα δάση χαλεπίου πεύκης της Πεντέλης: έρευνα νεκρώσεων δένδρων στην περιοχή

ΠΜΣ Οικολογία & Διαχείριση Περιβάλλοντος
Τμήμα Δασολογίας & Διαχείρισης Φυσικού Περιβάλλοντος

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα δάση της χαλεπίου πεύκης (*Pinus halepensis*) ευδοκούν κυρίως στη Δυτική και Κεντρική Μεσόγειο. Η Αττική είναι μία από τις περιοχές της Ελλάδας που αναπτύσσονται εκτεταμένα δάση αυτού του είδους. Η Πεντέλη είναι το 2^ο υψηλότερο όρος της Αττικής και καλύπτεται σε όλη του σχεδόν την έκταση από δάση χαλεπίου πεύκης. Τις τελευταίες δεκαετίες επαναλαμβανόμενες καταστροφικές πυρκαγιές έπληξαν την Πεντέλη, με αποτέλεσμα σε αρκετές περιπτώσεις τα δάση χαλεπίου πεύκης να αντικατασταθούν από θαμνώνες *Quercus coccifera*. Σε αυτό συνετέλεσε η κλιματική αλλαγή, εξαιτίας της οποίας αυξήθηκαν τόσο σε συχνότητα όσο και σε ένταση οι ξηροθερμικές περιόδους, οι καύσωνες, οι πυρκαγιές και οι πλημμύρες. Στα εναπομείναντα δάση και στις περιπτώσεις που η χαλέπιος πεύκη κατάφερε να αναγεννηθεί, παρατηρήθηκαν τα τελευταία χρόνια αρκετές ξηράνσεις/νεκρώσεις ατόμων *Pinus halepensis*, απόρροια της ραγδαίας εξέλιξης της κλιματικής αλλαγής με ακόμα μεγαλύτερες σε συχνότητα και ένταση περιόδους ξηρασίας και δευτερογενώς της προσβολής από έντομα και παθογόνα.

Στην παρούσα έρευνα γίνεται μια δενδροοικολογική – δενδροκλιματολογική διερεύνηση των σχέσεων - επιδράσεων του κλίματος και της κλιματικής αλλαγής και ιδιαίτερα των ξηράνσεων (νεκρώσεων) δένδρων στα δάση χαλεπίου πεύκης της περιοχής Νέα Πεντέλη - λόφος Πατήματος, του Δήμου Πεντέλης, όπου κατά τη διάρκεια της τελευταίας πενταετίας εμφανίστηκαν τέτοια φαινόμενα στην περιοχή. Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να αναδειχθούν οι σχέσεις κλίματος – αύξησης, ο ρόλος της κλιματικής αλλαγής και τα αίτια νέκρωσης δένδρων στην περιοχή. Στα πλαίσια αυτά, από μια συστάδα που περιείχε ζωντανά και νεκρά δένδρα, επιλέχθηκαν 11 δένδρα από κάθε κατηγορία. Από αυτά ελήφθησαν 2 δείγματα (τρυπανίδια) από κάθε δένδρο και συνολικά 22 από ζωντανά και 22 από νεκρά δένδρα. Μετά από την προετοιμασία των δειγμάτων, τη μέτρηση των ετησίων δακτυλίων και τη στατιστική τους επεξεργασία με τη χρήση δενδροχρονολογικών τεχνικών κατασκευάστηκαν χρονοσειρές των αρχικών δεδομένων και δεικτών των πλατών των ετησίων δακτυλίων οι οποίες αναλύθηκαν και συσχετίστηκαν με κλιματικές παραμέτρους.

Η έρευνα έδειξε ότι τα νεκρά δένδρα παρουσιάζουν μια υστέρηση στην κατά πλάτος αύξηση καθώς και μια μεγαλύτερη ευαισθησία στο κλίμα σε σχέση με τα ζωντανά δένδρα. Η μείωση αυτή του πλάτους των δακτυλίων είναι ιδιαίτερα σημαντική την τελευταία δεκαετία, στα δένδρα

που νεκρώθηκαν, με το πλάτος να γίνεται μικρότερο από 1mm. Σε κάποιο μικρότερο βαθμό το ίδιο συμβαίνει και στα ζωντανά δένδρα, γεγονός που σε κάποιες περιπτώσεις τα καθιστά εξασθενημένα και υποψήφια για μελλοντική νέκρωση. Οι σχέσεις απόκρισης κλίματος – αύξησης δείχνουν ότι η κατά πλάτος αύξηση εξαρτάται από τις βροχοπτώσεις της εαρινής και θερινής περιόδου. Η σχέση αυτή είναι πιο ισχυρή για τα δένδρα τα οποία νεκρώθηκαν. Η εξασθένηση και νέκρωση των δένδρων φαίνεται ότι συνδέεται με τις επαναλαμβανόμενες έντονες και παρατεταμένες περιόδους ξηρασίας, όπως συνέβη κατά τη διάρκεια της τελευταίας πενταετίας και ιδίως κατά τη θερινή περίοδο του 2022 όπου νεκρώθηκαν τα περισσότερα από τα εξεταζόμενα δένδρα. Τα εξασθενημένα δένδρα προσβάλλονται δευτερογενώς από φλοιοφάγα και ξυλοφάγα έντομα και άλλα παθογόνα και νεκρώνονται.

Επιστημονική περιοχή: Δενδροκλιματολογία

Λέξεις κλειδιά: Δενδροχρονολογία, Δενδροοικολογία - Δενδροκλιματολογία, Ετήσιοι δακτύλιοι, Κλιματική αλλαγή, Νέκρωση δένδρων

Relationships and effects of climate and climate change in the Aleppo pine forests of Penteli: a survey of tree mortality in the area

MSc Ecology & Environmental Management

Department of Forestry & Natural Environment Management

ABSTRACT

The forests of the Aleppo pine (*Pinus halepensis*) thrive mainly in the Western and Central Mediterranean basin. Attica is one of the areas in Greece where extensive forests of this species grow. Penteli is the second highest mountain in Attica and is almost entirely covered by pine forests. In the past decades, repeated devastating fires have ravaged Penteli, resulting in several cases in the replacement of the pine forests by *Quercus coccifera* shrubs. Climate change has contributed to this, which has increased both the frequency and intensity of dry periods, heat waves, fires and floods. In the remaining forests and in those cases where Aleppo pine has managed to regenerate, several droughts/decays of Aleppo pine have been observed in recent years, as a result of the rapid development of climate change, with even greater frequency and intensity of dry periods and, secondarily, of insect and pathogen infestations.

The aim of this thesis is to highlight climate-growth relationships, the role of climate change and the causes of tree mortality in the region. In this context, 11 trees from each category were selected from a stand containing both living and dead trees. From these, 2 samples (cores) were taken from each tree and a total of 22 respectively from live and dead trees. After sample preparation, measurement of annual rings and statistical processing using dendrochronological techniques, time series of the original data and indices of annual ring widths were constructed and analysed and correlated with climatic parameters. The research showed that dead trees show a lag in tree growth as well as a greater sensitivity to climate than living trees.

This reduction in tree-ring width is particularly significant in the last decade in dead trees, with the tree-ring width becoming less than 1mm. To a lesser extent the same occurs in living trees, which in some cases making them declined and candidates for future necrosis. The climate-growth relationships show that the tree-ring growth depends on spring and summer rainfall. This relationship is strongest for the trees that are dead. The decline and necrosis of the trees seems to be associated with repeated intense and prolonged periods of drought, as has occurred over the last five years and especially during the summer season of 2022 when most of the trees examined died. The weakened trees are secondarily attacked by insects and other pathogens and die.

Scientific area: *Dendroclimatology*

Key words: *Dendrochronology, Dendroecology - Dendroclimatology, Tree-rings, Climate change, Tree decline*

ΔΗΛΩΣΗ ΑΥΘΕΝΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Ο μεταπτυχιακός φοιτητής 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.

Ο συγγραφέας

Ιωάννης Παπαδάκης

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εγκρίθηκε ομόφωνα από την τριμελή εξεταστική επιτροπή η οποία ορίστηκε από την Σ.Ε. του Π.Μ.Σ. του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, σύμφωνα με το νόμο και τον εγκεκριμένο οδηγό Σπουδών του Π.Μ.Σ. «Οικολογία και Διαχείριση Περιβάλλοντος». Τα μέλη της Εξεταστικής Επιτροπής είναι:

1. Παπαδόπουλος Ανδρέας, Καθηγητής ΓΠΑ (Επιβλέπων)
2. Φωτιάδης Γεώργιος, Αναπληρωτής Καθηγητής ΓΠΑ (Μέλος)
3. Ταμπέκης Στέργιος, Επίκουρος Καθηγητής ΓΠΑ (Μέλος)

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέως.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η εργασία αυτή υλοποιήθηκε στα πλαίσια του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Οικολογία & Διαχείριση Περιβάλλοντος» του Τμήματος Δασολογίας & Διαχείρισης Φυσικού Περιβάλλοντος, της Σχολής Επιστημών των Φυτών, του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών και μου ανατέθηκε από τον Καθηγητή κ. Παπαδόπουλο Ανδρέα ύστερα από δικό μου ενδιαφέρον. Θα ήθελα να τον ευχαριστήσω θερμά για την άψογη συνεργασία και την πολυτιμότερη βοήθειά του, χωρίς την οποία η μεταπτυχιακή διατριβή μου δε θα είχε ολοκληρωθεί. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τα μέλη της τριμελούς εξεταστικής επιτροπής κ. Φωτιάδη Γεώργιο και κ. Ταμπέκη Στέργιο για τις εύστοχες υποδείξεις τους, την εποικοδομητική κριτική τους και το ενδιαφέρον τους, καθώς και όλους τους Καθηγητές και Καθηγήτριές μου κατά τη διάρκεια των δύο πρώτων εξαμήνων του εν λόγω Π.Μ.Σ. για τις γνώσεις που μου μετέδωσαν. Ακόμη θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Διευθυντή Ερευνών του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών κ. Λαγουβάρδο Κώστα, καθώς και τον Ερευνητή του Ινστιτούτου Ερευνών Περιβάλλοντος & Βιώσιμης Ανάπτυξης κ. Ψυλόγλου Βασίλειο για τα κλιματικά δεδομένα που μου παρείχαν από τον Μετεωρολογικό Σταθμό Πεντέλης και τον Ακτινομετρικό Σταθμό Πεντέλης αντίστοιχα. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω για τη βοήθεια και τη στήριξη, την οικογένειά μου και τους φίλους μου.

Με την άδειά μου, η παρούσα εργασία ελέγχθηκε από την Εξεταστική Επιτροπή μέσα από λογισμικό ανίχνευσης λογοκλοπής που διαθέτει το ΓΠΑ και διασταυρώθηκε η εγκυρότητα και η πρωτοτυπία της.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΔΗΛΩΣΗ ΑΥΘΕΝΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	i
ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ	ii
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	iii
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	iv
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	vi
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	ix
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
2. ΕΞΑΠΛΩΣΗ ΚΑΙ ΟΙΚΟΛΟΓΙΑ ΧΑΛΕΠΙΟΥ ΠΕΥΚΗΣ	1
2.1 Εξάπλωση και οικολογία Χαλεπίου πεύκης με έμφαση στην Ελλάδα	1
2.2 Δάση χαλεπίου πεύκης στην περιοχή της Πεντέλης	5
3. ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ ΚΑΙ ΔΑΣΙΚΑ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	12
4. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	22
4.1 Θέση	22
4.2 Κλίμα	23
4.2.1 Γενικά	23
4.2.2 Βροχή	24
4.2.3 Θερμοκρασία αέρα	25
4.2.4 Βιοκλιματικοί παράγοντες	28
4.2.4.1 Ομβροθερμικό διάγραμμα των Bagnouls – Gausson	28
4.2.4.2 Βροχοθερμικό ηηλίκο και κλιματικό διάγραμμα του Emberger	30
4.3 Έδαφος – πέτρωμα	32
4.4 Περιγραφή της βλάστησης	34
5. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	36
5.1 Λήψη δειγμάτων	36
5.2 Προετοιμασία δειγμάτων	38
5.3 Διασταυρούμενη χρονολόγηση	39
5.4 Μέτρηση πλάτους δακτυλίων	41
5.5 Στατιστικές μέθοδοι ανάλυσης	43
6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ	45
6.1 Δενδροχρονολογικά στατιστικά	45
6.2 Διερεύνηση της κατά πλάτος αύξησης	48

6.3 Σχέσεις κλίματος – αύξησης	50
7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	53
8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	55
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1	62
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2	68
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3	70
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 4	71
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 5	79
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 6	84

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Σχήμα 2.1. Χάρτης βλάστησης Πεντελικού όρους (Μπαλιούσης 2011)	6
Σχήμα 2.2. Χωρολογικό φάσμα της χλωρίδας του Πεντελικού όρους (Μπαλιούσης 2011)	8
Σχήμα 2.3. Φυτογεωγραφική σχέση του Πεντελικού όρους με τις φυτογεωγραφικές περιοχές της Ελλάδας με βάση τα ελληνικά ενδημικά taxa (Μπαλιούσης 2011, Strid & Tan 1997)	9
Σχήμα 3.1. Διακύμανση θερμοκρασίας και διοξειδίου του άνθρακα της ατμόσφαιρας κατά τη διάρκεια της τελευταίας χιλιετίας (Etheridge et al. 1998)	12
Σχήμα 3.2. Ρυθμός αύξησης μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας (1880-2020) Πηγή: Goddard Institute for Space Studies (NASA) https://www.giss.nasa.gov/	13
Σχήμα 3.3. Αύξηση της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας την τελευταία πενταετία (2019-2023) σε σχέση με την περίοδο 1951-1980 Πηγή: GISS, NASA https://www.giss.nasa.gov/	14
Σχήμα 3.4. Το πιο θερμό έτος που έχει καταγραφεί ποτέ: 2023 Πηγή: (NASA) https://data.giss.nasa.gov/gistemp/graphs_v4/	15
Σχήμα 3.5. Χάρτης κινδύνου ερημοποίησης της Ελλάδας	16
Σχήμα 3.6. Μεταβολή της συγκέντρωσης των κυριότερων αερίων του θερμοκηπίου (NOAA 2024)	18
Σχήμα 3.7. Μεταβολή & σύγκριση της συγκέντρωσης των κυριότερων αερίων του θερμοκηπίου (NOAA 2024)	18
Σχήμα 4.1. Χάρτης τοποθεσίας δειγματοληψίας	23
Σχήμα 4.2. Μέση μηνιαία βροχόπτωση στον ακτινομετρικό σταθμό Πεντέλης ΙΕΠΒΑ/ΕΑΑ (2000-2015)	25
Σχήμα 4.3. Μέση μηνιαία βροχόπτωση στον Μ/Σ Πεντέλης ΕΑΑ (2013-2023)	25
Σχήμα 4.4. Μέσες μηνιαίες (Tm), μέσες μηνιαίες ελάχιστες (Tmin) και μέσες μηνιαίες μέγιστες (Tmax) θερμοκρασίες στον ακτινομετρικό σταθμό Πεντέλης ΙΕΠΒΑ/ΕΑΑ (2000-2015)	26
Σχήμα 4.5. Μέσες μηνιαίες (Tm), μέσες μηνιαίες ελάχιστες (Tmin) και μέσες μηνιαίες μέγιστες (Tmax) θερμοκρασίες στον Μ/Σ Πεντέλης ΕΑΑ (2013-2023)	27
Σχήμα 4.6. Ομβροθερμικό διάγραμμα του ακτινομετρικού σταθμού Πεντέλης ΙΕΠΒΑ/ΕΑΑ (2000-2015)	28
Σχήμα 4.7. Ομβροθερμικό διάγραμμα του Μ/Σ Πεντέλης ΕΑΑ (2013-2023)	29
Σχήμα 4.8. Ομβροθερμικό διάγραμμα του Μ/Σ Νέας Φιλαδέλφειας (1955-2010)	29
Σχήμα 4.9. Ομβροθερμικό διάγραμμα του Μ/Σ Πεντέλης για τα έτη 2020, 2021 και 2022	30

Σχήμα 4.10. Θέση του Μ/Σ και Α/Σ Πεντέλης στο βιοκλιματικό διάγραμμα του Emberger για την περιοχή μελέτης για δύο περιόδους αναφοράς: α) με άσπρο κύκλο η περίοδος (2000-2015), με μαύρο κύκλο η περίοδος (2013-2023)	31
Σχήμα 4.11. Γεωλογικός χάρτης (IGME 2001)	33
Φωτογραφία 4.1. Η βλάστηση στη θέση δειγματοληψίας	36
Φωτογραφία 5.1. Λήψη δειγμάτων (τρυπανιδίων) με τη δενδροτρυπάνη τύπου Pressler	37
Φωτογραφία 5.2. Ξύλινα πηγάκια στα οποία έχουν κολληθεί τα τρυπανίδια	39
Φωτογραφία 5.3. Λείανση των τρυπανιδίων	39
Φωτογραφία 5.4. Διασταυρούμενη χρονολόγηση δακτυλίων	40
Φωτογραφία 5.5. Έντυπο καταγραφής χαρακτηριστικών δακτυλίων κατά τη διασταυρούμενη χρονολόγηση	41
Φωτογραφία 5.6. Σάρωση των δειγμάτων με το σύστημα WinDendro	42
Φωτογραφία 5.7. Εντοπισμός και μέτρηση του πλάτους δακτυλίων με το σύστημα WinDendro	43
Φωτογραφία 6.1. Συστάδα χαλεπίου πεύκης της περιοχής μελέτης με πυκνό υπόροφο	45
Φωτογραφία 6.2. Νεκρό δένδρο χαλεπίου πεύκης στην περιοχή μελέτης. Στο βάθος διακρίνεται ο λόφος Αστεροσκοπείου όπως φαίνεται από τη θέση δειγματοληψίας. Στην κορυφή του διακρίνονται ο θόλος του Αστεροσκοπείου και δεξιά του οι εγκαταστάσεις του ΙΕΠΒΑ/ΕΑΑ	46
Σχήμα 6.1. Διάγραμμα του βάρους των ετών στον 1 ^ο άξονα (PC1) της ανάλυσης σε κύριες συνιστώσες των 22 στοιχειωδών χρονοσειρών των ζωντανών δένδρων (θετική τιμή πλατύς δακτύλιος, αρνητική στενός δακτύλιος)	48
Σχήμα 6.2. Διαγράμματα των μέσων χρονοσειρών των πλατών των δακτυλίων των ζωντανών και νεκρών δένδρων	49
Σχήμα 6.3. Μέση χρονοσειρά πλατών δακτυλίων και δεικτών των ζωντανών δένδρων	50
Σχήμα 6.4. Μέση χρονοσειρά πλατών δακτυλίων και δεικτών των νεκρών δένδρων	51
Σχήμα 6.5. Προφίλ της σχέσης απόκρισης του πλάτους των δακτυλίων των ζωντανών δένδρων με 24 κλιματικές παραμέτρους (μηνιαία βροχόπτωση και μέση μηνιαία θερμοκρασία). Η διακεκομμένη γραμμή δείχνει το επίπεδο σημαντικότητας στο 95 %, $R=r/s$, r = μέσος συντελεστής συσχέτισης, s = μέση τυπική απόκλιση (για 50 επαναλήψεις)	51
Σχήμα 6.6. Προφίλ της σχέσης απόκρισης του πλάτους των δακτυλίων των δένδρων που νεκρώθηκαν με 24 κλιματικές παραμέτρους (μηνιαία βροχόπτωση και μέση μηνιαία θερμοκρασία). Η διακεκομμένη γραμμή δείχνει το επίπεδο σημαντικότητας στο 95 %,	

$R=r/s$, r = μέσος συντελεστής συσχέτισης, s = μέση τυπική απόκλιση

(για 50 επαναλήψεις) 52

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 4.1. Χλωριδική σύνθεση της βλάστησης στην περιοχή μελέτης	34
Πίνακας 6.1. Στατιστικά χρονοσειρών πλατών δακτυλίων ζωντανών και νεκρών δένδρων. Τα στατιστικά με αστεράκι αφορούν δείκτες πλατών δακτυλίων	47

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι δασικοί σχηματισμοί της χαλεπίου πεύκης ανήκουν στα Μεσογειακά δασικά οικοσυστήματα και αναπτύσσονται κυρίως στη δυτική και κεντρική Μεσόγειο. Εξαιτίας της αλλαγής του κλίματος (υπερθέρμανση του πλανήτη) η λεκάνη της Μεσογείου είναι μία από τις περιοχές του πλανήτη που πλήττονται ολοένα και περισσότερο από μεγάλες σε διάρκεια και ένταση ξηροθερμικές περιόδους, καύσωνες, πυρκαγιές και πλημμύρες, με αποτέλεσμα όλο και περισσότερα άτομα *Pinus halepensis* να νεκρώνονται. Το ενδιαφέρον για την πραγματοποίηση της παρούσας εργασίας οφείλεται στο γεγονός της έντονης εμφάνισης νεκρών δένδρων χαλεπίου πεύκης στις παρυφές του Πεντελικού όρους κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών. Στη θέαση αυτών των δένδρων γεννήθηκαν πολλά ερωτήματα για το αν οι νεκρώσεις (ξηράνσεις) σχετίζονται με την κλιματική αλλαγή. Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η διερεύνηση του φαινομένου και η συσχέτισή του με την κλιματική αλλαγή χρησιμοποιώντας μεθόδους και τεχνικές της δενδροχρονολογίας – δενδροοικολογίας.

Η δομή που ακολουθείται στην παρούσα διατριβή περιλαμβάνει αρχικά μια επισκόπηση της εξάπλωσης και οικολογίας της χαλεπίου πεύκης με έμφαση στην Ελλάδα, και πιο ειδικά το Πεντελικό όρος, κατόπιν γίνεται μια σύντομη περιγραφή και ανάλυση θεμάτων που άπτονται της κλιματικής αλλαγής και τις επιπτώσεις που έχουν στα δασικά οικοσυστήματα και στη συνέχεια το ειδικό μέρος της διατριβής όπου εξετάζεται το φαινόμενο της νέκρωσης δένδρων χαλεπίου πεύκης στην περιοχή και ο ρόλος του κλίματος και της κλιματικής αλλαγής. Πιο συγκεκριμένα γίνεται περιγραφή της περιοχής μελέτης όσον αφορά στη θέση, το κλίμα, το έδαφος – πέτρωμα και τη βλάστηση, περιγράφονται τα υλικά και οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν για την δενδροοικολογική – δενδροκλιματολογική μελέτη, καθώς και τα αποτελέσματα με την συζήτηση για την αυξητική συμπεριφορά των δένδρων χαλεπίου πεύκης και τις σχέσεις κλίματος – αύξησης. Στο τέλος διατυπώνονται τα συμπεράσματα.

2. ΕΞΑΠΛΩΣΗ ΚΑΙ ΟΙΚΟΛΟΓΙΑ ΧΑΛΕΠΙΟΥ ΠΕΥΚΗΣ

2.1 Εξάπλωση και οικολογία Χαλεπίου πεύκης με έμφαση στην Ελλάδα

Η χαλέπιος Πεύκη (*Pinus halepensis*) είναι είδος του γένους Πεύκη (*Pinus*) που ανήκει στην οικογένεια των Πευκοειδών (*Pinaceae*), την τάξη των Πευκωδών (*Pinales*), την ομοταξία των Πευκόψιδων (*Pinopsida*), την συνομοταξία των Κωνοφόρων - Πευκόφυτων (*Pinophyta*), την κλάση

Pinatae και το βασίλειο των Φυτών (*Plantae*). Ευδοκimei στην περιοχή της Μεσογείου και κυρίως στην Ισπανία, τη Γαλλία, την Ιταλία, την Κροατία, τη Βοσνία, το Μαυροβούνιο, την Αλβανία, την Ελλάδα, το Μαρόκο, την Αλγερία, την Τυνησία, τη Λιβύη, αλλά και στο Ισραήλ, την Παλαιστίνη, την περιοχή του Κουρδιστάν στη νοτιοανατολική Τουρκία και τη Συρία, από όπου παίρνει την ονομασία του. Στο Χαλέπι, τη μεγαλύτερη πόλη της Συρίας και μία από τις αρχαιότερες πόλεις του κόσμου, περιγράφηκε αρχικά το είδος χαλέπιος Πεύκη (*Pinus halepensis*). Η αξία και η σημασία των πευκοδασών είναι πολλαπλή και αναφέρεται στην αισθητική, την υδρολογική αξία, την αξία για αναψυχή, το ρυθμιστικό τους ρόλο στο μικροκλίμα, τους ρύπους και στην προστασία του εδάφους (Ντάφης κ.α. 2001). Οι κύριοι κίνδυνοι για τα δάση χαλεπίου πεύκης προέρχονται από την επέκταση των γεωργικών καλλιεργειών, τις καταπατήσεις και την οικοπεδοποίησή τους, την υποβόσκηση ή υπερβόσκηση (ιδίως σε περιπτώσεις φυσικής αναγέννησης του δάσους), την αλόγιστη κατασκευή δρόμων, την ύπαρξη ή κατασκευή κοινοφελών δικτύων (π.χ. ηλεκτρισμού), τη ρύπανση του εδάφους, την εισβολή ξενικών χωροκατακτητικών ειδών, τις ζημιές από παράσιτα και τέλος από τις πυρκαγιές (Πουλής κ.α. 2021). Σύμφωνα με την Κόκκινη Λίστα Απειλούμενων Ειδών της Διεθνούς Ένωσης Προστασίας της Φύσης / IUCN η κατάσταση διατήρησής του είναι (LC) Ελαχίστης Ανησυχίας (IUCN 2006).

Στην Ελλάδα είναι ένα πολύ διαδεδομένο είδος πεύκου που ευδοκimei κυρίως στη Στερεά Ελλάδα, την Πελοπόννησο, την Εύβοια, τα Επτάνησα, τις Σποράδες, τη Θεσσαλία, την Ήπειρο και τη Μακεδονία (κυρίως τη Χαλκιδική), σχηματίζοντας δάση. Μαζί με την τραχεία πεύκη (*Pinus brutia*) (Χάρτης εξάπλωσης και εύρους εξάπλωσης τύπου οικοτόπου 9540, http://www.biodiversityinfo.gr/images/DOCUM/3rd_Art17_Report/Habitat_types/terrestrial/map_s/9540_map.pdf) που ευδοκimei κυρίως στα νησιά του ανατολικού Αιγαίου, τη Θράκη, τη Θάσο, τα Δωδεκάνησα και την Κρήτη είναι τα δύο κυρίαρχα είδη πεύκου της χώρας (Caudullo et al. 2017). Στην Ελλάδα τα δάση της χαλεπίου πεύκης αποτελούν περίπου το 11% των συνολικών δασών, καταλαμβάνοντας έκταση περίπου 370 χιλιάδων εκταρίων (Θάνος 2000). Η έκταση αυτή δεν παραμένει σταθερή εξαιτίας των δασικών πυρκαγιών και της φυσικής αναγέννησης των πευκοδασών (Daskalaku & Thanos 2004). Σύμφωνα με τους Goubitz et al. (2004) η χαλέπιος πεύκη έχει ιδιαίτερα υψηλά ποσοστά αναγέννησης τόσο σε καμένες όσο και σε άκαυτες εκτάσεις που χαρακτηρίζονται από έντονες περιόδους ξηρασίας και χαμηλή γονιμότητα των εδαφών. Σύμφωνα με τους Enright et al. (1998) η διατήρηση ώριμων σπερμάτων σε μια τράπεζα σπέρματος που βρίσκεται σε κώνους στην κόμη των δέντρων, σε συνδυασμό με τη συγχρονισμένη καθυστερημένη διασπορά, δηλαδή το άνοιγμα των κώνων και την απελευθέρωση των σπερμάτων, σε περιόδους είτε φωτιάς είτε εξαιρετικά ξηρών καιρικών συνθηκών, είναι ένα χαρακτηριστικό προσαρμογής της

χαλεπίου πεύκης σε θερμά και ξηρά κλίματα. Σύμφωνα με τον Ντάφη (2010) τα δάση της χαλεπίου πεύκης εμφανίζονται συνήθως με τη μορφή αμιγών πυκνών συστάδων. Ανάλογα με τις ενδοσυσταδικές συνθήκες φωτός, την ποιότητα τόπου και την παρουσία ή μη της βόσκησης, μπορεί να υπάρχει ένας ιδιαίτερα πυκνός υπόροφος με σκληρόφυλλους θάμνους ή να απουσιάζει σχεδόν ολοκληρωτικά η υποβλάστηση.

Τα πευκοδάση του είδους *Pinus halepensis* έχουν κωδικό 3.1.2 (Δάση Κωνοφόρων) σύμφωνα με την ονοματολογία CORINE Land Cover και ανήκουν στον τύπο οικοτόπου 9540 (Κωδικός Natura 2000) – Μεσογειακά δάση πεύκης με ενδημικά Μεσογειακά είδη πεύκης. Ειδικότερα τα δάση χαλεπίου πεύκης στην Ελλάδα ορίζονται με τον κωδικό 42.848 σύμφωνα με την ταξινόμηση των ενδιαιτημάτων τύπων οικοτόπων CORINE Biotopes 1991 (Devillers & Devillers-Terschuren 1996). Αναπτύσσονται κυρίως σε αβαθή εδάφη, συχνά μέσης σύστασης εδάφη αμμοπηλώδη, πηλώδη και σε κλίσεις από μικρές έως πολύ ισχυρές. Εμφανίζονται σε ένα μεγάλο υψομετρικό εύρος, από την επιφάνεια της θάλασσας μέχρι τα 1000m περίπου. Συνήθως ο υπόροφος είναι πυκνός και αποτελείται από αείφυλλα πλατύφυλλα της ευ-μεσογειακής ζώνης. Ο υπόροφος μπορεί να αποτελείται μόνο από φρυγανικά είδη σε περιπτώσεις υποβαθμισμένων, υπερβοσκομένων συστάδων ή να είναι ανύπαρκτος στην περίπτωση δασών που έχουν προέλθει από αναδάσωση (Ντάφης 1973). Είναι είδος φωτόφιλο και αναγεννάται πολύ δύσκολα σε ενδοδασικό περιβάλλον. Η αναγέννηση γίνεται συνήθως μετά από πυρκαγιά, η οποία προκαλεί μαζική φύτρωση των σπερμάτων της υπέργειας τράπεζας, που είναι προστατευμένα σε κλειστούς κώνους (San-Miguel-Ayanz et al. 2016). Ο Naveh (1991) έχει ορίσει τις περιοχές με ξηροθερμικό δείκτη (Gausson) $100 < X < 200$, όπου X είναι ο αριθμός των βιολογικών ξηρών ημερών κατά τη θερμή και ξηρή περίοδο, ως περιοχές που υπόκεινται συχνά σε πυρκαγιές. Ο Καϊλίδης (1981) θεωρεί ως πολύ εύφλεκτες τις συνενώσεις Oleo-Ceratonion και Quercion ilicis ενώ ως εύφλεκτη τη συνένωση Ostryo-Carpinion. Μεταξύ άλλων περιοχών στην Ελλάδα, οι παραπάνω πολύ εύφλεκτες φυτοκοινωνίες εξαπλώνονται σε ολόκληρη την έκταση του Πεντελικού όρους, από τους πρόποδες μέχρι την κορυφή του (προσωπική παρατήρηση 2024). Οι Moreno & Oechel (2012) διαπιστώνουν ότι η φωτιά στη μεσογειακή Ευρώπη δεν αλλάζει τη δομή των φυτοκοινοτήτων. Σύμφωνα με τον Μπαλιούση (2011) η χαλέπιος πεύκη, και γενικότερα τα μεσογειακά οικοσυστήματα είναι πυροεπαγόμενα ή πυροπροσαρμοσμένα, αφού είναι πλέον αποδεκτό ότι η φωτιά είναι ένας περιβαλλοντικός παράγοντας που δρα με συνέχεια και περιοδικότητα σε αυτά. Είναι είδος πολύ απαιτητικό σε φως, με αποτέλεσμα μετά από πυρκαγιά να δημιουργούνται ιδανικές συνθήκες για την αναγέννηση, αφού δεν υπάρχει πλέον καμία σκιά να εμποδίζει την ανάπτυξή του. Η χαλέπιος πεύκη όταν σκιαστεί έντονα και για μεγάλο χρονικό διάστημα είτε πεθαίνει είτε χάνει την ικανότητα

μιας κανονικής ανάπτυξης ύστερα από την αποκάλυψή της (Ντάφης 1986).

Το είδος *Pinus halepensis* είναι δέντρο που φτάνει σε ύψος τα 30 μέτρα, ενώ έχει διάμετρο κορμού που μπορεί να φτάσει το 1 μέτρο. Οι βελόνες είναι πολύ λεπτές χρώματος ανοιχτού πράσινου και αναπτύσσονται ανά δύο σε βραχυκλάδια, ενώ το μήκος τους φτάνει τα 15 εκατοστά (Βοτανική 2018). Οι κώνοι είναι στενοί και αρχικά πράσινοι, ενώ όταν ωριμάσουν ύστερα από περίπου 2 χρόνια γίνονται καφέ-κόκκινοι. Τα επόμενα χρόνια ανοίγουν αργά και οι σπόροι που βρίσκονται μέσα στους κώνους παρασύρονται από τον αέρα. Η διάνοιξη των κώνων γίνεται πολύ πιο γρήγορα με την έκθεση τους στη θερμότητα που εκπέμπει μια δασική πυρκαγιά (Nahal 1962). Σε αντίθεση με την τραχεία πεύκη που οι κώνοι της φύονται ορθά και συμμετρικά, οι κώνοι της χαλεπίου έχουν κοτσάνι και στρέφονται προς το έδαφος (Βοτανική 2018). Η χαλέπιος πεύκη είναι υποχρεωτικά σπερματοαναγεννητικό φυτό, δηλαδή δεν διαθέτει την ικανότητα της αναβλάστησης, κάτι που παρατηρήθηκε για πρώτη φορά από τον Θεόφραστο (Θάνος 2000).

Σύμφωνα με τους Ντάφη κ.α. (2001) στα δάση του είδους *Pinus halepensis*, συχνού εποικιστή των θερμο – ασβεστολιθικών – μεσο – μεσογειακών θαμνώνων, συμμετέχουν συχνά με μεγάλη πληθοκάλυψη είδη της Oleo-Ceratonion και OleoLentiscetum aegaeicum (*Pistacia lentiscus*, *Olea europea* subsp. *oleaster*) αλλά και της Quercetea, Quercetalia ilicis (*Arbutus unedo*, *Quercus ilex*, *Myrtus communis*, *Smilax aspera*). Άλλα είδη που συμμετέχουν είναι τα: *Phillyrea latifolia*, *Lonicera implexa*, *Rhamnus alaternus*, *Rhamnus lycioides* κ.α. Στον υπόροφο των δασών χαλεπίου πεύκης συνήθως συναντάμε είδη όπως: *Pistacia lentiscus*, *Quercus coccifera*, *Genista acanthoclada*, *Cistus creticus*, *Asparagus acutifolius*, *Erica manipuliflora*, *Hypericum empetrifolium*, *Thymra capitata*, *Prasium majus*, *Teucrium flavum*, *Teucrium polium* και ποικιλία ποωδών ειδών όπως π.χ. *Carex flacca*, *Brachypodium retusum*, *Piptatherum miliaceum*, *Cyclamen hederifolium*, *Cyclamen graecum* κ.ά. Σε περιπτώσεις με μικρές συστάδες από άτομα χαμηλού ύψους της *Pinus halepensis*, έχουμε συνυπάρχοντα είδη τα: *Juniperus phoenicea*, *Helichrysum siculum*, *Anthyllis hermanniae* κ.α.. Η σύνθεση των φυτοκοινωνιών είναι διαφορετική όταν πρόκειται για αναγέννηση. Εκεί τα νεαρά πεύκα με πολύ μεγάλη πληθοκάλυψη συνοδεύονται από τα φρύγανα *Genista acanthoclada*, *Cistus creticus*, *Cistus monspeliensis*, *Anthyllis hermanniae* κ.α. Στα ώριμα πευκοδάση η ανάπτυξη πώδους βλάστησης είναι μεγαλύτερη από ότι στα πευκοδάση που αποτελούνται από νεαρά άτομα *Pinus halepensis* λόγω της μεγάλης εδαφοκάλυψης των νεαρών πεύκων.

Τα δάση της χαλεπίου πεύκης είναι ένα παράδειγμα πολυλειτουργικής αξίας του δάσους, προσφέροντας μια μεγάλη ποικιλία προϊόντων και υπηρεσιών, αφού είναι πολύ σημαντικά για την εγχώρια μελισσοκομική παραγωγή (Ντάφης 2010), ενώ χρησιμοποιούνται επίσης για την παραγωγή ρητίνης (Paradopoulos 2013). Ιδιαίτερα υψηλή είναι η αισθητική και προστατευτική

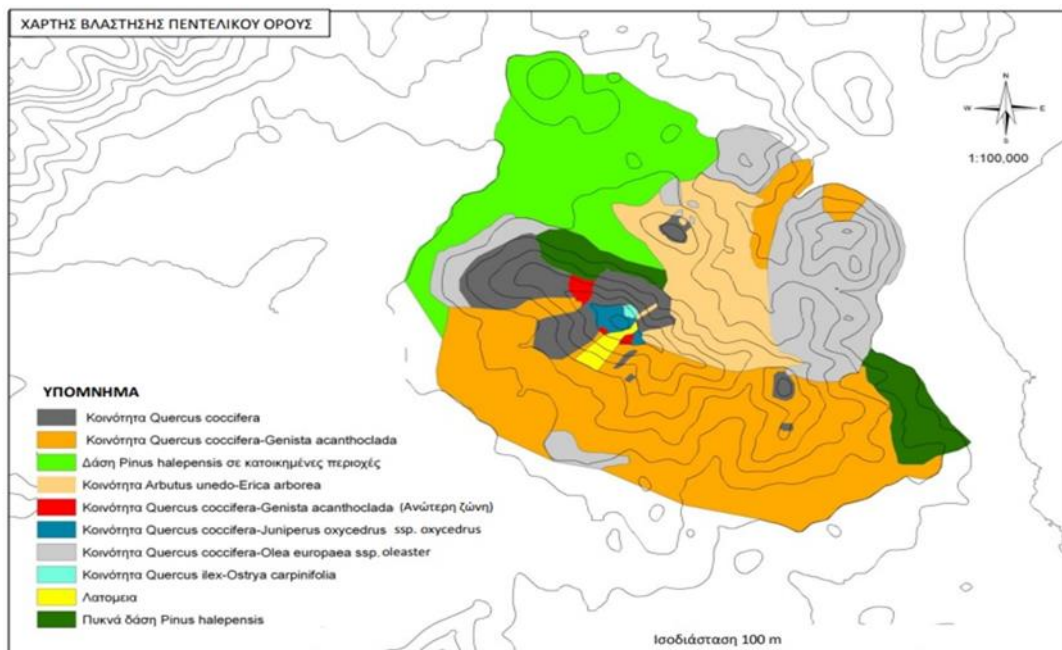
αξία των συγκεκριμένων δασών, καθώς λόγω της γεωγραφικής τους θέσης, γειτνιάζουν πολύ συχνά με αστικά κέντρα και δημοφιλείς τουριστικούς προορισμούς (Ντάφης 2010). Λόγω της υψηλής προστατευτικής και αισθητικής αξίας των δασών, αλλά και της ευπάθειάς τους σε πυρκαγιές και ανθρωπογενείς διαταραχές, η διαχείριση εστιάζει κυρίως στην ανάδειξη, προστασία, αναγέννηση και ανόρθωσή τους (Moreira et al. 2012). Η βόσκηση αποτελεί μέρος των μεσογειακών οικοσυστημάτων και μέσω της ορθολογικής χρήσης της μπορεί να απομακρύνει τον κίνδυνο πυρκαγιών στα δάση χαλεπίου πεύκης. Μετά από πυρκαγιές, η βόσκηση θα πρέπει να απαγορεύεται καθώς δημιουργεί πρόβλημα στο ρυθμό εγκατάστασης της αναγεννημένης βλάστησης (Ντάφης 2010).

2.2 Δάση χαλεπίου πεύκης στην περιοχή της Πεντέλης

Η Πεντέλη είναι το δεύτερο υψηλότερο βουνό της Αττικής με κορυφή το Πυργάρι (1108m). Βρίσκεται βορειοανατολικά της πόλης των Αθηνών, ανατολικά της Πάρνηθας, βόρεια του Υμηττού και δυτικά του κόλπου των Πεταλιών, που είναι το νοτιότερο τμήμα του Νότιου Ευβοϊκού κόλπου (Σταματελάτος & Βάμβα-Σταματελάτου 2006). Η Αττική μαζί με τη ΒΔ και ΒΑ Πελοπόννησο, την Εύβοια, τη Χαλκιδική και τις Σποράδες θεωρούνται οι κύριες περιοχές εξάπλωσης του είδους *Pinus halepensis* (Γεωργιάδης 2004). Ο κύριος ορεινός όγκος της Πεντέλης είναι συμπαγής, με τον κύριο κατά μήκος άξονά του προσανατολισμένο σε διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ. Τα πετρώματα της Πεντέλης είναι κατά κανόνα μάρμαρα (υδροπερατά) και σχιστόλιθοι (υδατοστεγή). Η διάταξή τους είναι τέτοια που έχει διαμορφωθεί ένας ιδιαίτερα πλούσιος υδροφόρος ορίζοντας. Εξαιτίας όμως της έντονης οικοπεδοποίησης των γύρω περιοχών, υπάρχει υπερεκμετάλλευση του υδατικού δυναμικού με αποτέλεσμα η στάθμη του να έχει κατέβει σημαντικά (Μπαλιούσης 2011). Η εκμετάλλευση των λατομείων μαρμάρων στη νοτιοδυτική πλευρά του Πεντελικού όρους ξεκινάει από την αρχαιότητα (Μερτζάνης κ.α. 2004) και σταματάει το 1976 με τη διάταξη του άρθρου 14 του Ν.386/76, οπότε εντάσσονται στη Ζώνη Ζ', η οποία καθορίστηκε με το Π.Δ. 755/88 περί προστασίας του Πεντελικού όρους (ΟΡΣΑ 1999). Η αποκατάσταση τμημάτων των ανενεργών λατομείων στη νοτιοδυτική πλευρά του Πεντελικού, πραγματοποιήθηκε με την απόθεση πλεονάζοντος υλικού εκσκαφών, που προέκυψε από την κατασκευή μεγάλων έργων στην Αττική, όπως αυτό της Αττικής οδού (ΟΡΣΑ 2001). Παρόλα αυτά η αλλοίωση του τοπίου εξαιτίας των λατομείων μαρμάρου είναι τεράστια (προσωπική παρατήρηση 2024).

Η βλάστηση στο όρος Πεντέλη κυριαρχείται κυρίως από δάση χαλεπίου πεύκης και αείφυλλα πλατύφυλλα (Σχήμα 2.1). Με βάση το βιοκλιματικό χάρτη της Ελλάδας (Μαυρομμάτης

1978) στους πρόποδες μέχρι τα 500 m υψόμετρο εκτείνεται ο ασθενής θερμο – μεσογειακός όροφος, ενώ από εκεί και πάνω μέχρι την κορυφή Πυργάρι ο έντονος μεσο – μεσογειακός όροφος. Σύμφωνα με τον Γεωργιάδη (2004) το συντριπτικό ποσοστό των πυρκαγιών στην περιοχή της Μεσογείου συμβαίνει στο θερμομεσογειακό και μεσομεσογειακό όροφο βλάστησης που συναντώνται και στην περιοχή της Πεντέλης (στους πρόποδες και στα ανώτερα τμήματα του όρους αντίστοιχα). Τα παραπάνω σε συνδυασμό με τις έντονες πιέσεις που ασκούνται για οικοπεδοποίηση δασικών εκτάσεων «δικαιολογούν» τη συχνότητα με την οποία ξεσπούν πυρκαγιές στην ευρύτερη περιοχή της Πεντέλης, η οποία θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως η πλέον πυρόπληκτη σε όλη την Ελλάδα.



Σχήμα 2.1. Χάρτης βλάστησης Πεντελικού όρους (Μπαλιούσης 2011)

Η επίδραση της πυρκαγιάς μπορεί να είναι ευνοϊκή ή δυσμενής, ανάλογα με τη μορφή και την έντασή της, το πόσο συχνά επαναλαμβάνεται, τη σύνθεση του δασικού οικοσυστήματος στο οποίο εμφανίζεται και από τη συνεπίδραση οικολογικών παραγόντων, όπως της βόσκησης (Ντάφης 1986). Στην περίπτωση των δασών χαλεπίου πεύκης στην Πεντέλη οι 3 σημαντικότεροι λόγοι που οδήγησαν σε μείωση των πληθυσμών της κυρίως στη νοτιοανατολική και ανατολική πλευρά του όρους είναι η μεγάλη συχνότητα προσβολών των συγκεκριμένων εκτάσεων από πυρκαγιές πριν προλάβουν τα δέντρα να βγάλουν τους κώνους με τα σπέρματα. Το πρόβλημα έγκειται στο γεγονός ότι έχουμε πολλές επαναλαμβανόμενες πυρκαγιές σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα με αποτέλεσμα να μην προλαβαίνει η χαλέπιος πεύκη να σχηματίσει τους κώνους και άρα να μην υπάρχει πάντα η απαραίτητη τράπεζα σπερμάτων ώστε να αναγεννηθεί (προσωπική παρατήρηση

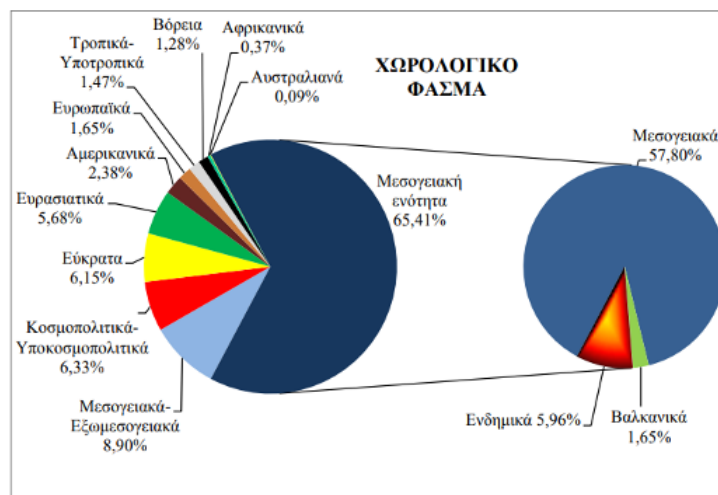
2024). Σύμφωνα με τον Θάνο (2000) η *Pinus halepensis* χρειάζεται τουλάχιστον 15 χρόνια από τη στιγμή που θα αναγεννηθεί, ώστε να σχηματίσει κώνους με σπέρματα. Δυστυχώς τις τελευταίες δεκαετίες επαναλαμβανόμενες πυρκαγιές πέρασαν από τα ίδια σημεία προτού παρέλθει το χρονικό διάστημα των 15 ετών. Ο δεύτερος σημαντικός λόγος είναι η βόσκηση κυρίως από αίγες κατά την περίοδο αναγέννησης του δάσους μετά από πυρκαγιά. Ο τρίτος, αλλά εξίσου σημαντικός λόγος, όσον αφορά τις ανθρωπογενείς επιδράσεις/επεμβάσεις είναι οι τεχνητές αναδασώσεις. Η διαχείριση που ακολουθείται μετά την πυρκαγιά είναι συχνά υπεύθυνη για την υποβάθμιση των οικοσυστημάτων, εξαιτίας της καταστροφής που προκαλεί στην αναγεννημένη βλάστηση και της ζημιάς που προκαλούν στο έδαφος τα βαριά μηχανήματα που χρησιμοποιούνται (Αριανούτσου 1995). Οι περισσότερες από αυτές τις αναδασώσεις δεν εκπληρώνουν ούτε το βασικό σκοπό για τον οποίο πραγματοποιούνται αφού ελάχιστα από τα δενδρύλλια που φυτεύονται επιβιώνουν. Αυτό που μένει είναι η αλλοίωση του τοπίου από τη διάνοιξη των λάκκων από σκαπτικά μηχανήματα, η ζημιά στη δομή του εδάφους και η επακόλουθη καταστροφή της φυσικής αναγέννησης πλήθους ιθαγενών φυτικών ειδών. Επιπλέον με αυτές τις αναδασώσεις έγινε εισαγωγή πολλών ξενικών ειδών όπως *Eucalyptus camaldulensis*, *Cupressus arizonica* κ.α. (Μπαλιούσης 2011).

Με βάση το βιοκλιματικό διάγραμμα των Emberger – Sauvage (Μαυρομμάτης 1980) στα χαμηλότερα υψόμετρα του όρους Πεντέλη το βιοκλίμα είναι ημίξηρο με ήπιους χειμώνες, ενώ στα ανώτερα τμήματα του Πεντελικού όρους το βιοκλίμα είναι ύφυγρο με ψυχρούς χειμώνες (Σεπετζή 2014).

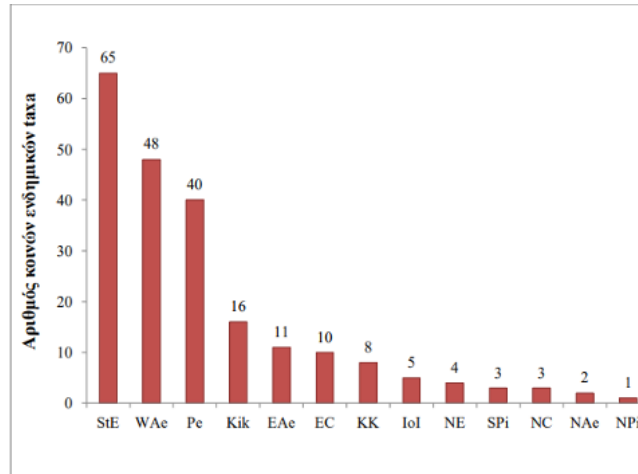
Σύμφωνα με την ταξινόμηση της δασικής βλάστησης της Ελλάδας (Ντάφης 1973), η Πεντέλη ανήκει στην Ευμεσογειακή Ζώνη Βλάστησης (*Quercetalia ilicis*) με υποζώνες τις *Oleo-ceratonion* και *Quercion ilicis*. Ο αυξητικός χώρος του *Oleo-lentiscetum* της υποζώνης *Oleo-ceratonion* εμφανίζεται μεταξύ άλλων περιοχών στην Ελλάδα και στους πρόποδες του Πεντελικού όρους μέχρι τα 500m περίπου. Στο χώρο αυτό η χαλέπιος πεύκη σχηματίζει εύρωστα δάση. Εκτός από τις καλλιέργειες ελιάς, εσπεριδοειδών και φυσιτιάς, στον αυξητικό χώρο *Oleo-lentiscetum* εμφανίζονται θαμνώνες με *Quercus coccifera*, *Olea europaea* subsp. *sylvestris*, *Pistacia lentiscus*, *Erica manipuliflora*, *Lonicera etrusca* και σε πιο υγρές θέσεις *Myrtus communis* και *Nerium oleander*. Όσον αφορά την υποζώνη *Quercion ilicis*, η οποία καλύπτει το μεγαλύτερο μέρος του ορεινού όγκου του Πεντελικού από τα 500m υψόμετρο και πάνω, στις ξηρότερες θέσεις της υποζώνης εμφανίζονται ενώσεις από *Erica arborea* και *Erica manipuliflora*, στις μεσαίες υγρασίας εμφανίζονται τα *Arbutus unedo*, *Calicotome villosa*, *Spartium junceum* και άλλα, ενώ στις πιο υγρές θέσεις τα *Quercus ilex*, *Phillyrea latifolia* και άλλα (Βοτανική 2018). Στην υποζώνη *Quercion ilicis* αναπτύσσονται άριστα τόσο η

χαλέπιος πεύκη όσο και η τραχεία πεύκη, ενώ η καλλιέργεια της ελιάς βρίσκεται στα ψυχροόρια της (Αθανασιάδης 1986). Βόρεια και βορειοανατολικά της κορυφής Πυργάρι (περιοχή με τις πιο υγρές και πιο ψυχρές συνθήκες του όρους, που δέχεται τα περισσότερα κατακρημνίσματα από τους κυρίαρχους ΒΑ ανέμους) υπάρχει μια πολύ μικρή έκταση με κυρίαρχα είδη τα *Quercus ilex* και *Ostrya carpinifolia* (Γκουβάς & Σακελλαρίου 2011). Αποτελεί το μοναδικό μικτό σχηματισμό αείφυλλων σκληρόφυλλων – φυλλοβόλων που συναντάμε στο Πεντελικό όρος. Ανήκει στη συνένωση της *Quercion ilicis* έχοντας όμως έντονα στοιχεία μετάβασης προς την παραμεσογειακή ζώνη βλάστησης (*Quercetalia rubescentis*) και πιο ειδικά την υποζώνη *Ostryo – Carpinion* (Μπαλιούσης 2011).

Η χλωρίδα του Πεντελικού όρους αποτελείται από 1090 taxa (ταξινομικές μονάδες του είδους και του υποείδους). Τα καλλιεργούμενα είδη δεν έχουν συμπεριληφθεί στα 1090 taxa (Μπαλιούσης 2011). Αντίθετα, έχουν συμπεριληφθεί τα επιγενή είδη, σύμφωνα με την ορολογία που καθιέρωσε για αυτά τα είδη ο Γιαννίτσaros (1982). Από τα 1090 taxa της Πεντέλης, 65 είναι ελληνικά ενδημικά, όπως τα *Centaurea attica* subsp. *pentelica*, *Silene pentelica*, *Viola pentelica*, *Verbascum pentelicum* και άλλα. Το *Verbascum pentelicum* είναι το μοναδικό τοπικό ενδημικό του Πεντελικού όρους (Μπαλιούσης 2011). Το *Viola pentelica* θεωρείται συνώνυμο με το *Viola alba* subsp. *dehnhardtii* (Λιβανίου-Τηνιακού 1991). Σύμφωνα με τον Μπαλιούση (2011) τα βαλκανικά ενδημικά του Πεντελικού είναι 18 και τα μεσογειακά 630. Προσθέτοντας και τα ελληνικά ενδημικά μαζί $65+18+630=713$ έχουμε 713 taxa που ανήκουν στη Μεσογειακή ενότητα στο χωρολογικό φάσμα της χλωρίδας της Πεντέλης (Σχήμα 2.2). Από τα 65 ενδημικά taxa του όρους (Σχήμα 2.3) τα 30 διατρέχουν κάποιο κίνδυνο και είτε εντάσσονται σε κάποια από τις κατηγορίες κινδύνου της IUCN είτε προστατεύονται από την ελληνική νομοθεσία (Π.Δ. 67/1981) και από ευρωπαϊκές - διεθνείς συμβάσεις.



Σχήμα 2.2. Χωρολογικό φάσμα της χλωρίδας του Πεντελικού όρους (Μπαλιούσης 2011)



Σχήμα 2.3. Φυτογεωγραφική σχέση του Πεντελικού όρους με τις φυτογεωγραφικές περιοχές της Ελλάδας με βάση τα ελληνικά ενδημικά taxa (Μπαλιούσης 2011, Strid & Tan 1997)

Η χαλέπιος πεύκη σχηματίζει πυκνά ή αραιά δάση σε όλη την έκταση του Πεντελικού όρους με εξαίρεση τα ανώτερα τμήματα γύρω από την κορυφή Πυργάρι, μέχρι τα 800m περίπου, με τα εντυπωσιακότερα σε εμφάνιση και έκταση (πυκνά δάση) να βρίσκονται κυρίως στα βορειοδυτικά και σε μικρότερο βαθμό στα ανατολικά τμήματα του όρους λόγω των πυρκαγιών που έπληξαν την περιοχή το 2018 (Νταού-Μάτι) και 2022 (Πεντέλη-Γέρακας-Παλλήνη). Σε αυτά τα δάση, τα οποία εκτείνονται και στις 2 βιοκλιματικές ζώνες της Πεντέλης, εντάσσονται και οι πυκνά αναγεννημένες και πρακτικά αδιαπέραστες συστάδες της *Pinus halepensis* με πληθοκάλυψη που φτάνει το 100%. Στα ανατολικά τμήματα του όρους κοντά στη Μονή Οσίου Εφραίμ σε μια υψομετρική ζώνη από 100m έως 300m συναντάμε πυκνά δάση *Pinus halepensis*. Το ύψος των συστάδων υπερβαίνει τα 5m (προσωπική παρατήρηση 2024). Στον υπόροφο συμμετέχουν τα είδη *Quercus coccifera*, *Pistacia lentiscus* & *Olea europaea* subsp. *oleaster*. Από τα πιο συχνά φρύγανα που συναντάμε είναι τα *Cistus creticus* & *Genista acanthoclada*. Μερικά χαρακτηριστικά είδη του ποώδη ορόφου είναι τα *Cyclamen graecum*, *Muscari commutatum* κ.α.

Στις μέρες μας (προσωπική παρατήρηση 2024) μετά από αλλεπάλληλες καταστροφικές πυρκαγιές που έχουν πλήξει την Πεντέλη όλα τα προηγούμενα χρόνια, τα πιο εκτεταμένα και πυκνά δάση χαλεπίου πεύκης βρίσκονται στα βορειοδυτικά τμήματα του Πεντελικού όρους κοντά στον Διόνυσο και τον οικισμό της Ρέας. Σύμφωνα με τον Μπαλιούση (2011) αποτελούν τους πιο υγιείς πληθυσμούς χαλεπίου πεύκης της ευρύτερης περιοχής και εκτείνονται υψομετρικά από τα 450m έως τα 750m περίπου (ανήκουν στη βιοκλιματική ζώνη της *Quercion ilicis*). Εμφανίζονται σε μεγάλη ποικιλία υποστρωμάτων, όπως σε πλευρικά κορήματα, κώνους κορημάτων, σχιστόλιθους και μάρμαρα. Οι εντυπωσιακότεροι δασικοί σχηματισμοί αναπτύσσονται στις περιοχές με πλευρικά

κορήματα, λόγω του βάθους και της καλής ποιότητας των εδαφών. Πρόκειται για μία από τις πιο παρθένες περιοχές του όρους χωρίς να έχουν διανοιχθεί δρόμοι στο μεγαλύτερο τμήμα της. Επίσης εξαιτίας της βόρειας έκθεσης της περιοχής, η διάρκεια της ξηροθερμικής περιόδου είναι μειωμένη σε σχέση με τις νότιες περιοχές του όρους. Η έλλειψη υγρασίας που παρατηρείται στις περιοχές του όρους με βόρεια έκθεση είναι μικρότερη από την έλλειψη υγρασίας που παρατηρείται σε αυτές με νότια έκθεση ιδιαίτερα κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τα φυτά να καταπονούνται λιγότερο. Κοντά στον Προφήτη Ηλία το ύψος των δέντρων ξεπερνάει τα 12m. Ο θαμνώδης υπόροφος αποτελείται από τα είδη *Quercus coccifera*, *Phillyrea latifolia* & *Olea europaea* subsp. *Oleaster*, ενώ με μικρότερη πληθοκάλυψη συμμετέχουν τα είδη *Arbutus unedo*, *Arbutus andrachne* και *Erica arborea*.

Εκτεταμένα και ώριμα δάση χαλεπίου πεύκης παρατηρούνται σε περιοχές με τριτογενείς αποθέσεις (Μιχόπουλος & Οικονόμου 2012) του Αγίου Στεφάνου, της Άνοιξης, της Ροδόπολης, της Σταμάτας και της Δροσιάς, τα οποία εντοπίζονται σε μια υψομετρική ζώνη από 300m έως 400m, ενώ φτάνουν έως τη Νέα Ερυθραία και τα χαμηλότερα υψομετρικά τμήματα του Διονύσου. Σύμφωνα με τον Μπαλιούση (2011) πρόκειται για δάση *Pinus halepensis* που αναπτύσσονται σε κατοικημένες περιοχές και τα οποία ανήκουν στη βιοκλιματική ζώνη της Oleo – ceratopion. Το ύψος του δενδρώδους ορόφου φτάνει τα 16m (είναι τα ψηλότερα δένδρα του Πεντελικού όρους).

Σύμφωνα με τον Μπαλιούση (2011) στα δυτικά και βορειοανατολικά τμήματα της Πεντέλης, στην κοινότητα *Quercus coccifera-Olea europaea* subsp. *oleaster* έχουμε την εμφάνιση κι ενός χαμηλού δενδρώδους ορόφου που αποτελείται αποκλειστικά από άτομα της *Pinus halepensis* με βαθμό εδαφοκάλυψης που κυμαίνεται από 25% έως 50%. Αν αυτά τα τμήματα σταματήσουν να καίγονται με τη μεγάλη συχνότητα που καίγονται τις τελευταίες δεκαετίες η δυναμική της χαλεπίου πεύκης προδιαγράφει την σταδιακή εξέλιξη των σχηματισμών αυτών σε δάση *Pinus halepensis* (Goudelis et al. 2004). Στη βορειοανατολική Πεντέλη σχηματίζονται αραιά δάση χαλεπίου πεύκης με βαθμό εδαφοκάλυψης που κυμαίνεται από 20% έως 60%. Η συντριπτική πλειοψηφία των ατόμων αυτών ξεπερνά σε ύψος τα 10m. Σε λίγες περιπτώσεις η *Pinus halepensis* αναμειγνύεται με το είδος *Juniperus phoenicea* συγκροτώντας δασικούς σχηματισμούς, περισσότερο στα ανατολικά τμήματα του όρους κοντά στη Νέα Μάκρη και λιγότερο στα νότια τμήματα του όρους, στο λόφο του Αστεροσκοπείου. Σε αυτές τις περιπτώσεις ο βαθμός εδαφοκάλυψης της χαλεπίου πεύκης δεν υπερβαίνει το 25%, ενώ το ύψος της δεν ξεπερνά τα 10m (προσωπική παρατήρηση 2024).

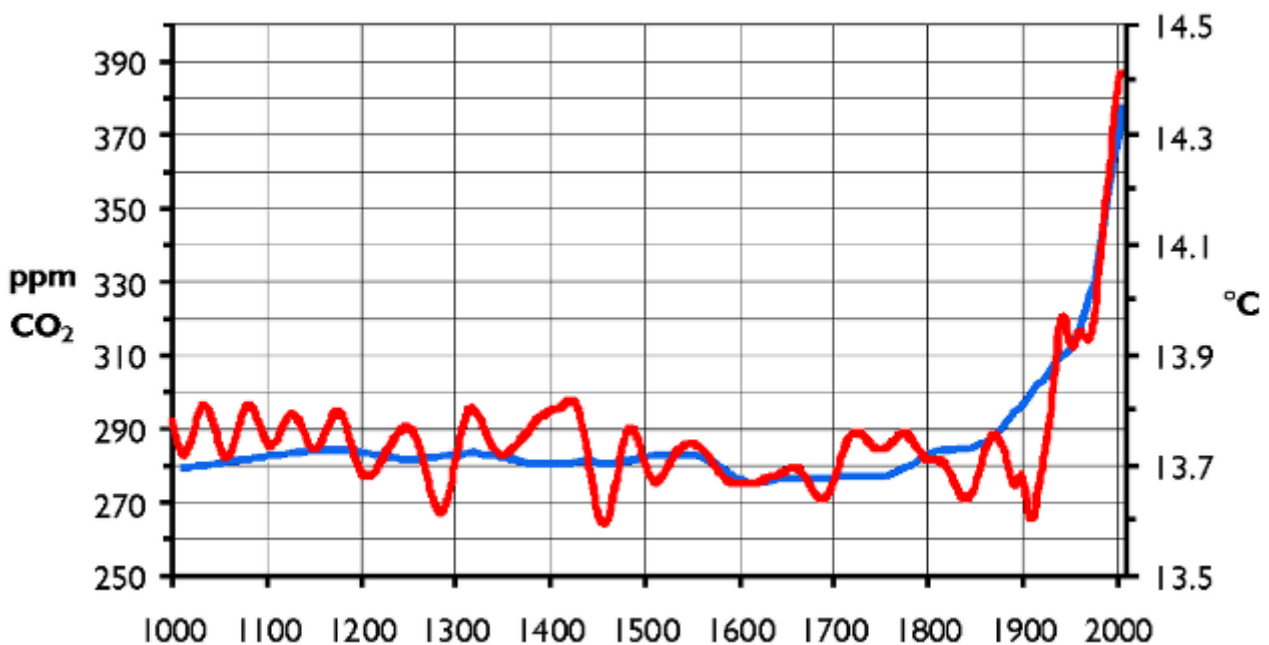
Στα βόρεια τμήματα της Πεντέλης, στην κοινότητα *Arbutus unedo-Erica arborea* σε μια υψομετρική ζώνη από 350m έως 900m η χαλέπιος πεύκη εμφανίζεται με βαθμό εδαφοκάλυψης έως 10%, ενώ το ύψος της ξεπερνάει τα 5m (προσωπική παρατήρηση 2024). Στην κοινότητα

Quercus coccifera – *Genista acanthoclada* που εκτείνεται σχεδόν σε όλα τα νότια τμήματα του Πεντελικού έως το υψόμετρο των 800m περίπου, ο συνολικός βαθμός βλάστησης κυμαίνεται από 60% έως 90% (Μπαλιούσης 2011). Εξαιτίας όμως της μεγάλης συχνότητας των πυρκαγιών, εμφανίζονται σποραδικά μόνο λίγα άτομα *Pinus halepensis* στο δενδρώδη όροφο. Ο θαμνώδης όροφος χαρακτηρίζεται από την παρουσία κυρίως της *Quercus coccifera*, αλλά και της *Pinus halepensis*, της οποίας η κατανομή στο χώρο είναι ανάλογη με τη συχνότητα των πυρκαγιών (Goudelis et al. 2008). Έτσι έχουμε περιπτώσεις όπως της νοτιοδυτικής Πεντέλης, όπου ο βαθμός εδαφοκάλυψης της χαλεπίου πεύκης αγγίζει το 80% και αυτές τις νοτιοανατολικής, όπου η συχνότητα των πυρκαγιών είναι τέτοια που δεν επιτρέπει στο βαθμό εδαφοκάλυψης να ξεπεράσει το 50%. Ιδιαίτερα μετά την πυρκαγιά του Ιουλίου 2022 σε νοτιοανατολικά τμήματα του όρους, νότια από την κορυφή Πύριζα, ο βαθμός εδαφοκάλυψης της χαλεπίου πεύκης δεν υπερβαίνει το 20% (προσωπική παρατήρηση 2024). Στην κοινότητα *Quercus coccifera* που εκτείνεται κυρίως βόρεια, δυτικά και νοτιοδυτικά της υψηλότερης κορυφής Πυργάρι, αλλά και στις κορυφές Μεγάλη και Μικρή Μαυρηνόρα (χάρτης Πεντελικού 2020) σε μια υψομετρική ζώνη που κυμαίνεται από τα 500m έως τα 800m περίπου, έχουμε αραιά δάση *Pinus halepensis* με πληθοκάλυψη έως 50% και θαμνώνες *Quercus coccifera*.

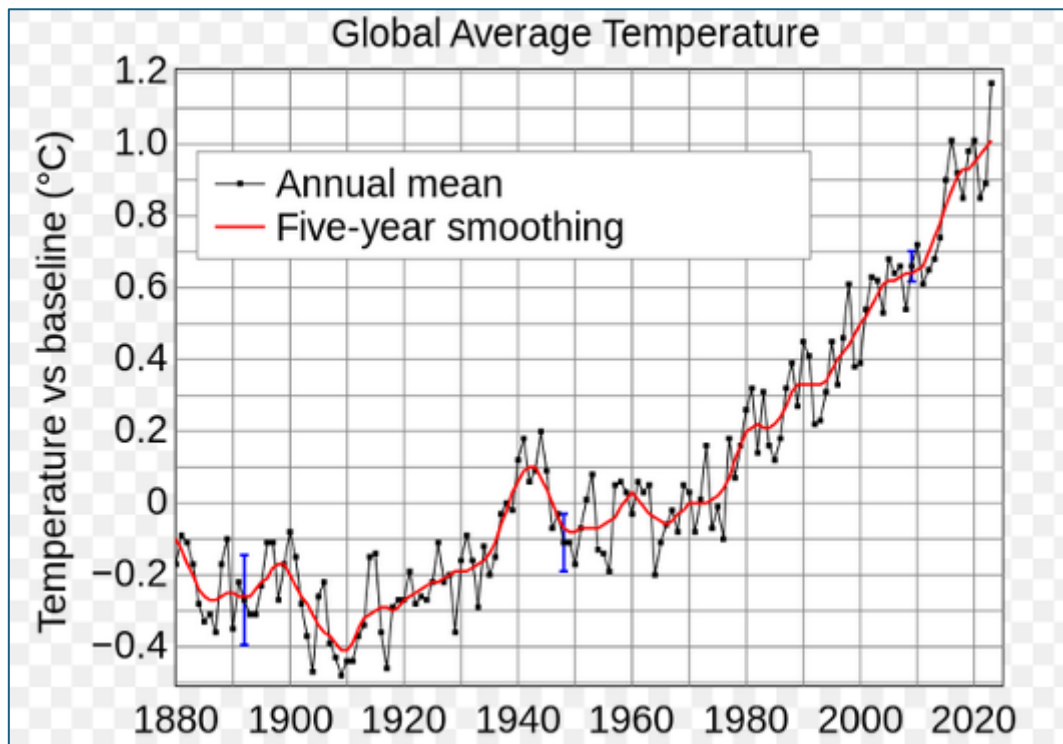
Στην ίδια κοινότητα εκτός από τα αραιά δάση της χαλεπίου πεύκης, παρατηρούνται αραιοί-χαμηλοί θαμνώνες *Quercus coccifera* στην κορυφή της Μεγάλης Μαυρηνόρας στη νοτιοανατολική Πεντέλη καθώς και στις Β και Ν κλιτύες της κορυφής Πυργάρι, οι οποίοι είναι έντονα υποβαθμισμένοι θαμνώνες κυρίως εξαιτίας της έντασης της ανθρωπογενούς υποβάθμισης (πυρκαγιές, βόσκηση, κεραίες τηλεπικοινωνιών, διάνοιξη πάρα πολλών δασικών δρόμων, λατομεία, πυλώνες υψηλής τάσης ηλεκτρικού ρεύματος κ.α.). Μέσης πυκνότητας θαμνώνες *Quercus coccifera* σε μίξη με άτομα *Pinus halepensis* ύψους 5m με πληθοκάλυψη έως 20%, βρίσκονται ΔΒΔ της κορυφής Πυργάρι. Στα ανώτερα τμήματα του όρους παρατηρούνται δάση χαλεπίου πεύκης με υπόροφο *Quercus coccifera* και *Juniperus oxycedrus* subsp. *oxycedrus*. Σε αυτήν την υψομετρική ζώνη από 750m έως 800m τα άτομα *Pinus halepensis* έχουν πληθοκάλυψη έως 75%. Το ύψος των ατόμων της εξαρτάται από τη μεταπυρική τους ηλικία. Σε υψόμετρα μεγαλύτερα των 800m η κάλυψη της χαλεπίου πεύκης υποχωρεί πάρα πολύ ενώ πλησιάζοντας την κορυφογραμμή του Πεντελικού παρατηρούνται έντονα φαινόμενα ανεμόρφωσης, εξαιτίας της έκθεσης της περιοχής σε σφοδρούς ΒΑ ανέμους. Σε υψόμετρα μεγαλύτερα των 1000m η *Pinus halepensis* απουσιάζει πλήρως εξαιτίας των πολύ χαμηλών θερμοκρασιών (Μπαλιούσης 2011). Η χαλέπιος πεύκη φτάνει, έστω με τη μορφή διάσπαρτων μεμονωμένων ατόμων, ως το ανώτερο γνωστό υψομετρικό όριο που απαντάται στην Ελλάδα (Christensen 1997).

3. ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ ΚΑΙ ΔΑΣΙΚΑ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα της ανθρωπότητας είναι η κλιματική αλλαγή. Ο ρυθμός της σημερινής θέρμανσης είναι ενδεχομένως ο μεγαλύτερος που σημειώνεται κατά τη διάρκεια της Τεταρτογενούς Περιόδου (εδώ και 2 εκατομμύρια χρόνια) (Κορακάκη 2010). Σύμφωνα με την Τέταρτη Έκθεση Αξιολόγησης (Fourth Assessment Report) της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Κλιματική Αλλαγή (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) η παγκόσμια θέρμανση μετά το 1750 οφείλεται στις ανθρώπινες δραστηριότητες (Regato 2008). Κατά τη διάρκεια της βιομηχανικής εποχής ο ρυθμός αύξησης της θερμοκρασίας είναι ο μεγαλύτερος κατά τη διάρκεια των τελευταίων 10 χιλιάδων χρόνων. Επίσης ο ετήσιος ρυθμός αύξησης της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) στην ατμόσφαιρα εντείνεται ακόμα περισσότερο τις τελευταίες δεκαετίες (Σχήμα 3.1 & Σχήμα 3.2) (Lenssen et al. 2019), ενώ οι συγκεντρώσεις τόσο του CO₂ όσο και του μεθανίου (CH₄) στην ατμόσφαιρα υπερβαίνουν κατά πολύ τα φυσικά όρια διακύμανσης των τελευταίων 650.000 ετών, όπως προκύπτουν από πυρήνες πάγου (Regato 2010). Το 2023 ήταν το θερμότερο έτος που έχει καταγραφεί ποτέ με μέση παγκόσμια αύξηση θερμοκρασίας 1,4°C σε σχέση με τα τέλη του 19ου αιώνα (χρονική περίοδος που ξεκινούν οι σύγχρονες καταμετρήσεις). Στη Μεσόγειο και ειδικότερα στην Ελλάδα η αύξηση ξεπερνάει τους 2°C (NASA 2024).



Σχήμα 3.1. Διακύμανση θερμοκρασίας και διοξειδίου του άνθρακα της ατμόσφαιρας κατά τη διάρκεια της τελευταίας χιλιετίας (κόκκινη γραμμή: μέση θερμοκρασία, μπλε γραμμή: συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα) (Etheridge et al. 1998)



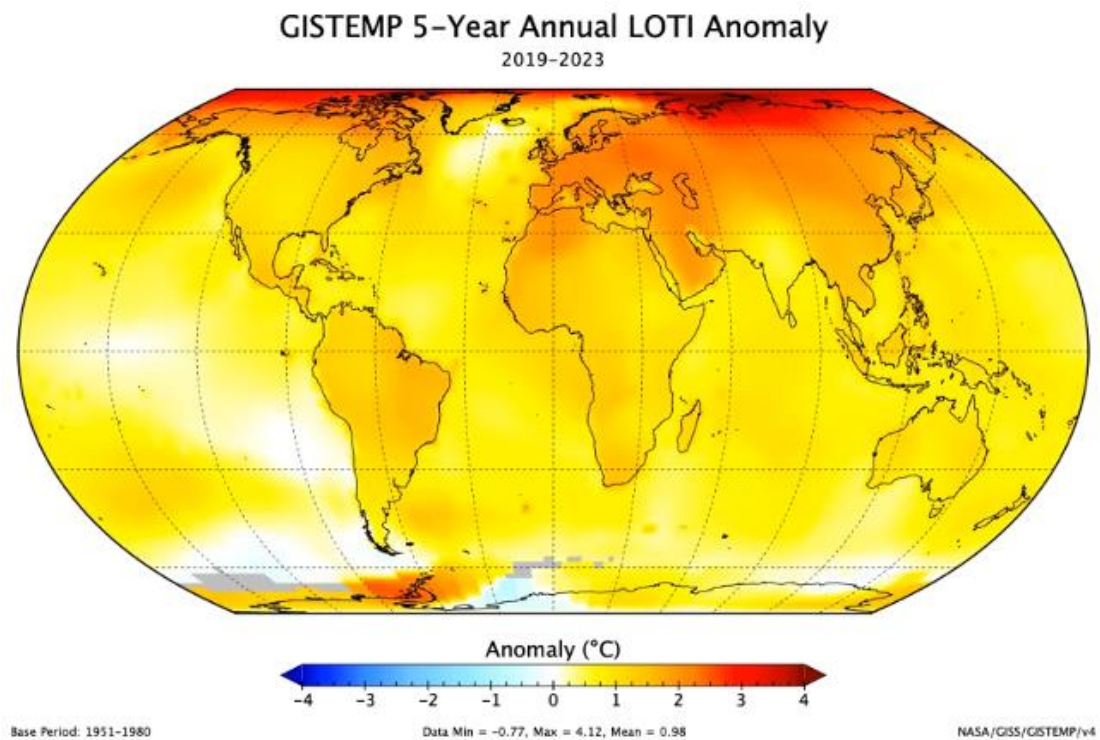
Σχήμα 3.2. Ρυθμός αύξησης μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας (1880-2020)

Πηγή: Goddard Institute for Space Studies (NASA)

<https://www.giss.nasa.gov/>

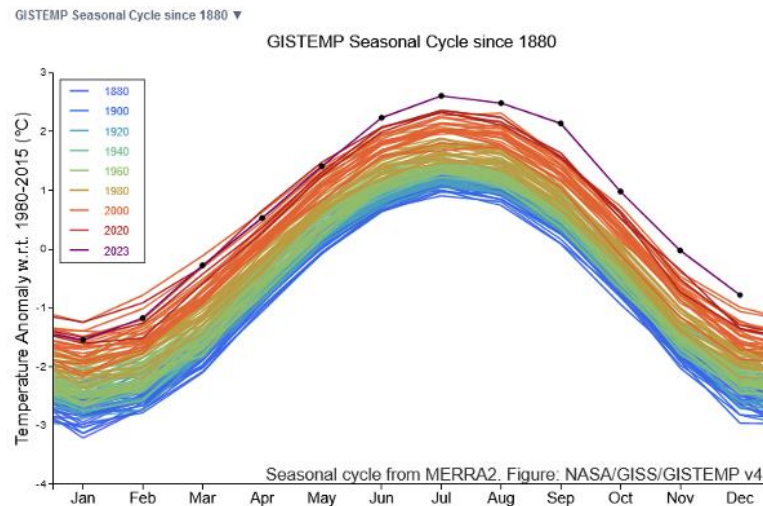
Η κλιματική αλλαγή, δηλαδή η αύξηση της θερμοκρασίας, η συχνότερη εμφάνιση και με μεγαλύτερη ένταση ξηροθερμικών περιόδων και οι υψηλότερες συγκεντρώσεις αερίων που προκαλούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου, όπως διοξείδιο του άνθρακα, μεθάνιο, οξείδια του αζώτου κτλ., που προκαλούνται κυρίως από την ανθρώπινη δραστηριότητα (καύση ορυκτών καυσίμων, γεωργία-κτηνοτροφία, αποψίλωση δασών όπως του Αμαζονίου κ.α.) αποτελούν έναν φαύλο κύκλο. Όσο υψηλότερες οι συγκεντρώσεις των αερίων ρυπαντών της γήινης ατμόσφαιρας, τόσο εντονότερο φαινόμενο του θερμοκηπίου και άρα τόσο υψηλότερες θερμοκρασίες και συχνότερες και εντονότερες περιόδους ανομβρίας (NASA 2024). Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα της Ελλάδας, εξετάζοντας τα συμπεράσματα για τους Εθνικούς Δρυμούς (WWF Ελλάς 2009) που δείχνουν ότι η ξηροθερμική περίοδος θα αυξηθεί σε όλους τους δρυμούς κατά μία με δύο βδομάδες ανά έτος και άρα θα αυξηθεί και η περίοδος κινδύνου εμφάνισης πυρκαγιάς αντίστοιχα, θα μειωθεί κατά 10% - 15% η χειμερινή βροχόπτωση σε 8 από τους 10 δρυμούς και θα αυξηθεί η φθινοπωρινή βροχόπτωση κατά 15% περίπου σε 7 από τους 10 δρυμούς της χώρας. Άξιο αναφοράς είναι το γεγονός ότι οι πλημμύρες των δύο τελευταίων ετών στην Ελλάδα συνέβησαν το φθινόπωρο (στην Κρήτη τον Οκτώβριο του 2022 και στη Θεσσαλία το Σεπτέμβριο του 2023). Εκτός

από την αύξηση της θερμοκρασίας αέρα στην επιφάνεια της γης, έχει αυξηθεί αντίστοιχα και η θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας (Σχήμα 3.3 & Σχήμα 3.4) (NASA 2023). Το φθινόπωρο δημιουργούνται οι κατάλληλες συνθήκες για την εξάτμιση μεγάλων ποσοτήτων υδρατμών από την πολύ ζεστή θάλασσα, αφού αυτή αργεί να κρυώσει μετά το πέρας του καλοκαιριού. Αν και χρήζει περισσότερης διερεύνησης μπορούμε να πούμε ότι αυτό έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση πλημμυρικών φαινομένων.



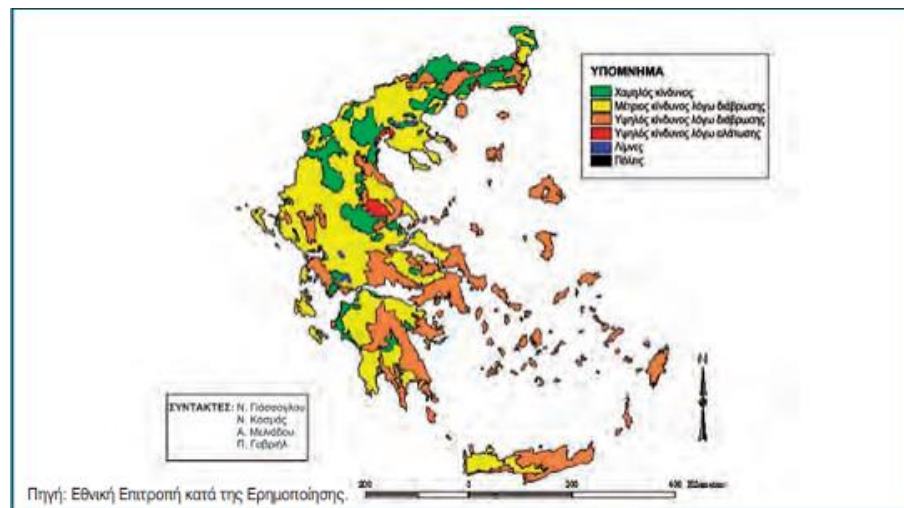
Σχήμα 3.3. Αύξηση της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας την τελευταία πενταετία (2019-2023) σε σχέση με την περίοδο 1951-1980

Πηγή: GISS, NASA <https://www.giss.nasa.gov/>



Σχήμα 3.4. Το πιο θερμό έτος που έχει καταγραφεί ποτέ: 2023
 Πηγή: (NASA) https://data.giss.nasa.gov/gistemp/graphs_v4/

Η υγεία των δασικών οικοσυστημάτων αναφέρεται ως μια ισορροπία μεταξύ οικοσυστημικής διατήρησης και παραγωγής αγαθών και υπηρεσιών στον άνθρωπο. Σε περιόδους ξηρασίας ή μετά από πυρκαγιές, τα κωνοφόρα δέντρα προσβάλλονται από φλοιοφάγα έντομα, με αποτέλεσμα να προξενούνται εκτεταμένες καταστροφές στα δάση. Με την ένταση της κλιματικής αλλαγής να αυξάνεται όλο και πιο πολύ, οι επιδημίες που προκαλούν τα φλοιοφάγα έντομα αναμένεται να αυξηθούν, λόγω της αύξησης της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας και της συχνότερης εμφάνισης και με μεγαλύτερη διάρκεια ξηροθερμικών περιόδων (Τσόπελας & Καρανικόλα 2012). Διανύουμε ήδη την περίοδο (2021-2050) κατά την οποία σύμφωνα με έρευνα του WWF Ελλάς και του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (ΕΑΑ) τα δασικά οικοσυστήματα στην Ελλάδα θα γίνουν πιο ευπαθή εξαιτίας της αύξησης της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας και της διάρκειας περιόδων ανομβρίας (WWF Ελλάς 2009). Οι πιο άμεσες και ραγδαίες επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στα μεσογειακά δάση είναι η αύξηση της συχνότητας, της έντασης και της έκτασης των δασικών πυρκαγιών, αλλά και οι επιδημίες στα δασικά δένδρα. Το Ινστιτούτο Μεσογειακών Δασικών Οικοσυστημάτων μελέτησε τις νεκρώσεις ελάτης στον Εθνικό Δρυμό της Πάρνηθας και τις μαζικές ξηράνσεις πεύκων στην ευρύτερη περιοχή της Ηλείας και κατέληξε και στις 2 περιπτώσεις ότι οι νεκρώσεις (ξηράνσεις) των δασικών δένδρων σχετίζονται άμεσα με περιόδους ξηρασίας (Κορακάκη 2010).



Σχήμα 3.5. Χάρτης κινδύνου ερημοποίησης της Ελλάδας

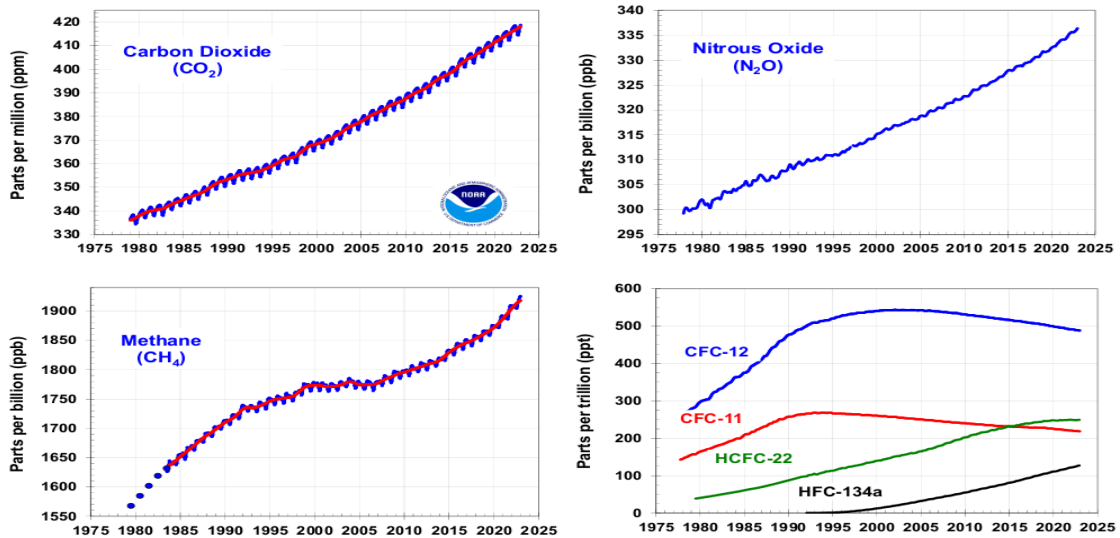
Οι υψομετρικές ζώνες βλάστησης φαίνεται να έχουν μετακινηθεί πιο ψηλά σε κάποιες περιπτώσεις, όπως σε αυτήν της Νοτίου Γαλλίας, όπου η *Pinus halepensis* μετατοπίστηκε 200m ψηλότερα στις πλαγιές του ορεινού όγκου Sainte-Baume καταλαμβάνοντας το χαμηλότερο υψομετρικό εύρος κατανομής των δασών της *Pinus sylvestris* (Vennetier et al. 2005). Αυτό συνέβη επειδή ξηρότερες και θερμότερες συνθήκες χαρακτηρίζουν τώρα περιοχές που παλαιότερα χαρακτηρίζονταν από ψυχρότερα και πιο υγρά κλίματα (Regato 2008). Σύμφωνα με τους Τσόπελα & Καρανικόλα (2012) τα τελευταία χρόνια παρατηρούνται όλο και περισσότερες νεκρώσεις δασικών δένδρων στον ελλαδικό χώρο που προκαλούνται από έντομα και παθογόνα. Σε περιόδους ξηρασίας φλοιοφάγα έντομα προσβάλλουν κυρίως κωνοφόρα δένδρα, στα οποία εξαιτίας της έντασης της ξηρασίας έχει επηρεαστεί η ανάπτυξη και ζωτικότητα τους (Paradopoulos 2016) με αποτέλεσμα να ασθενούν εξαιτίας του πεσμένου ανοσοποιητικού συστήματός τους και να νεκρώνονται. Όσο η κλιματική αλλαγή εντείνεται τόσο οι επιδημίες φλοιοφάγων εντόμων αναμένεται να αυξάνονται, λόγω της αύξησης της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας και της συχνότερης εμφάνισης ξηροθερμικών περιόδων. Εκτεταμένες ζημιές προκαλούνται σε δασικά δένδρα και από αυτόχθονα φυλλοφάγα έντομα, όπως το *Thaumetoroa pityocampa* (σε πεύκα) και το *Lymantria dispar* (σε πλατύφυλλα). Επίσης το κόκκινο σκαθάρι των φοινικοειδών *Rhynchophorus ferrugineus* και το λεπιδόπτερο *Paysandisia archon* είναι αλλόχθονα έντομα που απειλούν με εξαφάνιση τους φοίνικες της χώρας. Αν και κύριος ξενιστής του κόκκινου σκαθαριού είναι ο *Phoenix canariensis*, έχουν αναφερθεί και λίγες προσβολές του φοίνικα του Θεόφραστου (*Phoenix theophrasti*) στην Κρήτη, ένα από τα ελάχιστα δενδρώδη ενδημικά είδη που είναι στο Κόκκινο Βιβλίο των απειλούμενων ειδών (Αγγελακόπουλος κ.α. 2010). Τεράστιες οικολογικές καταστροφές στην Ελλάδα έχουν προκαλέσει ασθένειες όπως το έλκος της καστανιάς, το έλκος του φλοιού του

κυπαρισσιού, η ολλανδική ασθένεια της φτελιάς, ενώ ανυπολόγιστη καταστροφή συντελείται στα φυσικά οικοσυστήματα πλατάνου της χώρας από την ασθένεια του μεταχρωματικού έλκους (Τσόπελας & Καρανικόλα 2012).

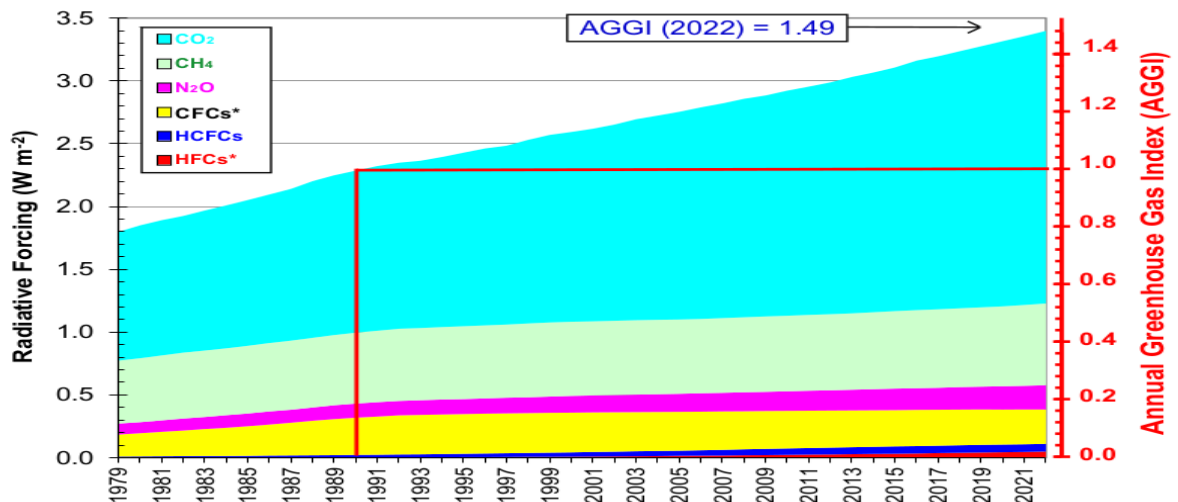
Η αύξηση της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα (Σχήμα 3.6 & Σχήμα 3.7) προκαλεί αύξηση στο λόγο C/N στους ιστούς των φυτών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα χαμηλότερη ποιότητα τροφής για πολλά φυλλοφάγα έντομα, το οποίο έχει ως συνέπεια τα έντομα να αυξάνουν την κατανάλωση φύλλων και άρα τη ζημιά στο δέντρο. Επιπλέον η αύξηση της θερμοκρασίας κάνει τα έντομα να αναπτύσσονται γρηγορότερα έχοντας μεγαλύτερο διατροφικό ρυθμό (Battisti 2008). Κατά τη διάρκεια ξηροθερμικών περιόδων ανομβρίας, τα φυτά χρησιμοποιούν τους υδρογονάνθρακες που έχουν αποθηκευμένους για να μην ξεραθούν. Όταν αυτοί εξαντληθούν, αρχίζουν να γίνονται ορατά συμπτώματα μαρασμού των δασών. Αρκετές μελέτες έχουν μοντελοποιήσει τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής, κυρίως μέσω των αυξανόμενων περιστατικών καύσωνα, ξηρασίας και γενικότερα της ανόδου της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας στα Μεσογειακά δασικά οικοσυστήματα. Έχουν συμπεράνει ότι έχουν αρνητικό αντίκτυπο όσον αφορά στην ανθεκτικότητα των Μεσογειακών δασών και την ικανότητά τους να προσαρμόζονται αυτόνομα στην κλιματική αλλαγή. Επίσης είναι πιθανό να αυξήσουν την ένταση και τη συχνότητα μεγάλης κλίμακας διαταραχών, όπως επιδημιών, περιστατικών μαρασμού, ανεξέλεγκτων πυρκαγιών κ.α. (Regato 2008). Επιπρόσθετα η κακή διαχείριση μπορεί να επιβαρύνει ακόμα περισσότερο την προαναφερθείσα κατάσταση, όπως η περίπτωση του εντόμου *Marchalina hellenica* που χρησιμοποιείται για την παραγωγή πευκόμελου από τις μέλισσες. Αυτό το φλοιομυζητικό έντομο ζούσε πάντα αρμονικά με τα πεύκα στα Μεσογειακά δάση κυρίως της Ελλάδας και της Τουρκίας. Ωστόσο από το 2000 ξεκίνησε ένας ανεξέλεγκτος εμβολιασμός της *Pinus halepensis* με το έντομο *Marchalina hellenica* προκειμένου να αυξηθεί η εγχώρια παραγωγή μελιού. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα τις νεκρώσεις αρκετών ατόμων χαλεπίου πεύκης στην Αττική (Gallis 2007).

Τα οξείδια του αζώτου και του θείου στην ατμόσφαιρα σχηματίζουν οξέα που καταλήγουν στην επιφάνεια της γης ως “όξινη βροχή”, η οποία έχει δυσμενείς επιπτώσεις στα δάση, με αποτέλεσμα τα δασικά δένδρα να καταπονούνται αρκετά μετά από παρατεταμένες «όξινες βροχές» και να καθίστανται ευάλωτα σε προσβολές από παθογόνα και έντομα. Η υγεία των δασικών δένδρων επηρεάζεται επίσης και από άλλον έναν ατμοσφαιρικό ρύπο, το τροποσφαιρικό όζον. Η οξειδωτική δράση του όζοντος στους ιστούς των φύλλων διαταράσσει τη φωτοσύνθεση και μια σειρά από ζωτικές λειτουργίες στη φυσιολογία των φυτικών ειδών, προκαλώντας τους πρόωρη γήρανση (Sandermann et al. 1997). Στην Αττική έχουν μετρηθεί υψηλές συγκεντρώσεις όζοντος, οι οποίες βλάπτουν τα δάση χαλεπίου πεύκης (Velissariou et al. 1992). Γενικότερα οι συγκεντρώσεις

όζοντος είναι υψηλές σε όλη τη νότια Ευρώπη (Fumagalli et al. 2001). Το όζον μειώνει τη ζωτικότητα των φυτών και τα καθιστά ευάλωτα σε προσβολές από παθογόνα (μύκητες, βακτήρια, ιοί, νηματώδεις κ.α.) και έντομα (Chappelka & Samuelson 1998).



Σχήμα 3.6. Μεταβολή της συγκέντρωσης των κυριότερων αερίων του θερμοκηπίου (NOAA 2024)



Σχήμα 3.7. Μεταβολή & σύγκριση της συγκέντρωσης των κυριότερων αερίων του θερμοκηπίου (NOAA 2024)

Το έντομο *Thaumetopoea pityocampa* προσβάλλει τα περισσότερα είδη πεύκης στην Ελλάδα. Σε κάποιες περιπτώσεις οι προσβολές αυτές έχουν πάρει μορφή επιδημίας. Τα πεύκα που έχουν προσβληθεί μπορεί να χάσουν όλες τους τις βελόνες. Τα αυτόχθονα λεπιδόπτερα *Evetria buoliana* και *Evetria thurificana* προσβάλλουν και καταστρέφουν εκτός από τις βελόνες και

μονοετείς κώνους (Τσόπελας & Καρανικόλα 2012). Τους κώνους της *Pinus halepensis* στην Αττική προσβάλλουν και τα επίσης αυτόχθονα λεπιδόπτερα *Dioryctria pineae* και *Dioryctria mendacella* (Georgievits 1969). Το αυτόχθονο έντομο *Tomicus piniperda* προσβάλλει τους οφθαλμούς, αλλά σε περιόδους ξηρασίας ή μετά από πυρκαγιά προσβάλλει και το φλοιό διαφόρων ειδών πεύκων. Μαζί με άλλα αυτόχθονα φλοιοφάγα όπως κυρίως το *Ips sexdentatus*, αλλά και το *Ips acuminatus*, το *Pityogenes quadridens* και το *Xyleporus eurygraphus* προσβάλλουν δευτερογενώς μειωμένης ζωτικότητας δένδρα, τα οποία είναι καταπονημένα από άλλες αιτίες, όπως η ξηρασία, η ρύπανση της ατμόσφαιρας και οι επιδημίες φυλλοφάγων-βλαστοφάγων-οφθαλμοφάγων-κωνοφάγων-σποροφάγων εντόμων, που μειώνουν τη ζωτικότητα, την αύξηση και την αναγεννητική δραστηριότητα των πεύκων. Σπάνια και σε μικρής ηλικίας δένδρα μετά από επαναλαμβανόμενες προσβολές φυλλοφάγων-βλαστοφάγων εντόμων μπορεί να προκαλέσουν τη νέκρωσή τους. Τα φλοιοφάγα και ξυλοφάγα έντομα όμως αποδεικνύονται πολύ περισσότερο θανατηφόρα προκαλώντας συχνά πολλές νεκρώσεις, ιδίως όταν προσβάλλουν δένδρα που είναι ήδη ευάλωτα εξαιτίας των επιδημιών των φυλλοφάγων-βλαστοφάγων-οφθαλμοφάγων-κωνοφάγων-σποροφάγων, της έλλειψης υγρασίας του εδάφους και της ρύπανσης (Μαρκάλας 2011). Υπάρχουν περιπτώσεις κατά τη διάρκεια παρατεταμένων ξηροθερμικών περιόδων, όπου ο πληθυσμός των φλοιοφάγων-ξυλοφάγων αυξάνεται πάρα πολύ με αποτέλεσμα να γίνονται πρωτογενείς παράγοντες επιδημιών και να νεκρώνουν ακόμα και υγιή δέντρα. Κατά τη διάρκεια αυτών των ξηροθερμικών περιόδων έχουν παρατηρηθεί εκτεταμένες νεκρώσεις κωνοφόρων δένδρων σε πολλές περιοχές της Ευρώπης και της Βόρειας Αμερικής. Στην Ελλάδα εκτός από τις νεκρώσεις των διαφόρων ειδών πεύκης, έχουν παρατηρηθεί σε περιόδους παρατεταμένης ξηρασίας εκτεταμένες νεκρώσεις ελάτης κυρίως σε όλα τα δάση της Πελοποννήσου, αλλά κατά καιρούς και στα υπόλοιπα δάση ελάτης της Κεντρικής και Βόρειας Ελλάδας (Τσόπελας & Καρανικόλα 2012).

Αρκετοί αυτόχθονοι παθογόνοι μύκητες προσβάλλουν τις βελόνες κωνοφόρων ειδών, όπως ο *Mycosphaerella pini* που προσβάλλει κυρίως είδη πεύκης, προκαλώντας βελονόπτωση και σε κάποιες περιπτώσεις νεκρώσεις δένδρων (Καϊλίδης 1985, CABI 2021). Οι μύκητες που ανήκουν στα γένη *Heterobasidion* και *Armillaria* προσβάλλουν και καταστρέφουν το ριζικό σύστημα των δέντρων, προκαλώντας σηψιρριζίες που είναι από τις σημαντικότερες ενδημικές ασθένειες των δασών. Το *Heterobasidion annosum* προσβάλλει κυρίως τη δασική πεύκη και σε μικρότερο βαθμό τη μαύρη πεύκη. Το *Heterobasidion abietinum* προσβάλλει τα δάση ελάτης της χώρας, ενώ το *Heterobasidion parviporum* προσβάλλει τα δάση ερυθρελάτης στη Δυτική Ροδόπη (Tsopelas & Korhonen 1996). Στα δάση κωνοφόρων της Ελλάδας έχουν καταγραφεί πέντε είδη *Armillaria*, το *Armillaria mellea*, το *Armillaria ostoyae*, το *Armillaria gallica*, το *Armillaria tabescens* και το *Armillaria cepistipes*. Τα δύο

πρώτα είναι ισχυρά αυτόχθονα παθογόνα που μπορούν να νεκρώσουν υγιή και εύρωστα φυτά. Τα υπόλοιπα τρία είναι πιο ασθενή και η παρουσία τους στα δάση είναι σαπροφυτική, προσβάλλοντας νεαρά δέντρα, καταπιεσμένα στον υπόροφο των συστάδων ή καταπονημένα από άλλους παράγοντες, όπως έλλειψη υγρασίας εδάφους, ρύπανση της ατμόσφαιρας, επιδημίες φυλλοφάγων κτλ. (Tsopeias 1999). Δύο αυτόχθονοι μύκητες της τάξης *Uredinales*, ο *Peridermium pini* και ο *Cronartium flaccidum* (Diamandis & de Kam 1986) προκαλούν σκωριάσεις στον κορμό και τους κλάδους της δασικής πεύκης, δημιουργώντας επιμήκη έλκη με έντονη εκροή ρητίνης, με αποτέλεσμα τη νέκρωση του ακραίου τμήματος της κόμης όταν τα έλκη γίνουν περιφερειακά στον κορμό. Από τις προσβολές αυτές μπορεί να νεκρωθεί ολόκληρο το δένδρο (Τσόπελας & Καρανικόλα 2012).

Η ασθένεια του έλκους του φλοιού του κυπαρισσιού προκαλείται από τον αλλόχθονα μύκητα *Seiridium cardinale* και αποτελεί τεράστια απειλή για τα κυπαρίσσια και άλλα είδη της οικογένειας *Cupressaceae* στην περιοχή της Μεσογείου λόγω των επιδημιών που έχει προκαλέσει (Graniti 1998). Ο μύκητας αυτός προέρχεται από τη Βόρεια Αμερική και στην Ελλάδα παρατηρήθηκε για πρώτη φορά το 1961 στη Νότια Εύβοια. Έκτοτε διαδόθηκε σχεδόν σε όλη τη χώρα, με αποτέλεσμα χιλιάδες νεκρώσεις κυπαρισσιών (Χενοπούλος 1990). Ο νηματώδης της πεύκης *Bursaphelenchus xylophilus* είναι ένα πολύ επικίνδυνο παθογόνο που μεταδίδεται από σκαθάρια του γένους *Monochamus*. Ο νηματώδης αυτός που είναι αυτόχθονο είδος της Βόρειας Αμερικής χωρίς να προκαλεί ιδιαίτερο πρόβλημα στα δάση πεύκης εκεί, έχει εισαχθεί σε αρκετές χώρες της Ασίας, δημιουργώντας τεράστιο πρόβλημα στα δάση πεύκης όπως για παράδειγμα σε αυτά της Ιαπωνίας. Στην Ευρώπη έχει εισαχθεί στην Ισπανία και την Πορτογαλία, δημιουργώντας σημαντικά προβλήματα και εκεί. Στην Ελλάδα δεν έχει μέχρι στιγμής καταγραφεί, ανήκει όμως στις χώρες που κινδυνεύουν εξαιτίας των ευνοϊκών συνθηκών που έχει (παρουσία του ξενιστή *Monochamus galloprovincialis* και κατάλληλες κλιματολογικές συνθήκες) (Karmezi et al. 2022). Στους οργανισμούς καραντίνας εκτός από το αλλόχθονο παθογόνο *Bursaphelenchus xylophilus* ανήκουν και τα αλλόχθονα φλοιοφάγα ξυλοφάγα έντομα *Dendroctonus micans*, *Ips amitinus*, *Ips duplicatus* και *Ips cembrae* (*Coleoptera*, *Scolytidae*) που προσβάλλουν την πεύκη, την ελάτη, την ερυθρελάτη και την ψευδοτσούγκα. Μπορεί να μην έχουν ακόμα επίσημα καταγραφεί στην Ελλάδα, όμως ο κίνδυνος είναι μεγάλος (Τσόπελας & Καρανικόλα 2012). Αυτόχθονα είδη νηματωδών που έχουν καταγραφεί στον ελλαδικό χώρο είναι τα *Bursaphelenchus sexdentati*, *Bursaphelenchus leoni* & *Bursaphelenchus hellenicus* σε δάση χαλεπίου, τραχείας, μαύρης, δασικής πεύκης & κουκουναριάς, με το πλέον θανατηφόρο για τη χαλέπιο πεύκη να είναι το *Bursaphelenchus sexdentati* (Skarmoutsos & Michalopoulos-Skarmoutsos 2000). Έχουν επίσης καταγραφεί στην Ελλάδα τα

Bursaphelenchus mucronatus, *Bursaphelenchus teratospicularis* & *Bursaphelenchus eggersi* (Anagnou-Veroniki et al. 2008).

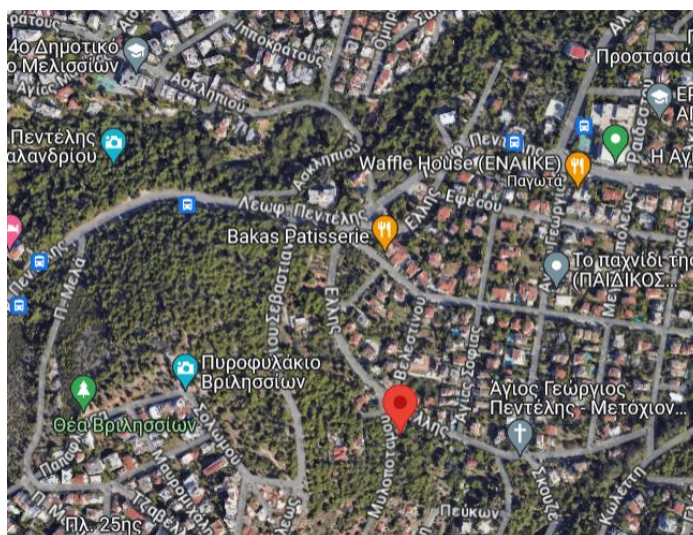
Τα παθογόνα και τα έντομα επηρεάζονται από την κλιματική αλλαγή και τη ζωτικότητα των ξενιστών τους. Τα δένδρα-ξενιστές επηρεάζονται επίσης από την αύξηση της θερμοκρασίας, τη συχνότερη εμφάνιση ξηροθερμικών περιόδων και τις υψηλές συγκεντρώσεις αερίων ρύπων (όπως διοξείδιο του άνθρακα, οξείδια του αζώτου, όζον κ.α.). Καταπονούνται με αποτέλεσμα τα παθογόνα και τα έντομα να βρίσκουν το πρόσφορο έδαφος για να προσβάλλουν τα δένδρα με μεγάλη ένταση. Οι επιδράσεις της κλιματικής αλλαγής αφορούν επίσης στην επιβίωση των ανταγωνιστικών οργανισμών και φυσικών εχθρών των επιβλαβών παθογόνων-εντόμων, αλλά και στην επιβίωση των συμβιωτικών με τα δένδρα οργανισμών (όπως τα μυκόρριζα) (Ayres & Lombardero 2000). Η άνοδος της θερμοκρασίας κατά τους θερινούς μήνες αναμένεται να επιταχύνει το ρυθμό ανάπτυξης ορισμένων εντόμων και να αυξήσει την αναπαραγωγική τους ικανότητα, ενώ η άνοδος της θερμοκρασίας κατά τους χειμερινούς μήνες αναμένεται να αυξήσει την ικανότητα επιβίωσής τους. Εκτιμάται ότι τα όρια εξάπλωσης αυτών των εντόμων θα μετατοπιστούν σε μεγαλύτερα υψόμετρα και μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη. Η αύξηση της συχνότητας και της έντασης των ξηροθερμικών περιόδων αναμένεται να έχει ως αποτέλεσμα τη συχνότερη εμφάνιση νεκρώσεων δένδρων χαλεπίου πεύκης και άλλων κωνοφόρων ειδών της χώρας. Όπως έχει ήδη παρατηρηθεί οι νεκρώσεις αυτές οφείλονται σε μεγάλο βαθμό στις προσβολές των δένδρων από φλοιοφάγα έντομα. Η έλλειψη υγρασίας είναι ο βασικότερος παράγοντας που καταπονεί τα δένδρα και τα καθιστά ευάλωτα στις προσβολές των εντόμων. Ο πληθυσμός αυτών των εντόμων κατά τη διάρκεια παρατεταμένων ξηροθερμικών περιόδων αυξάνεται πάρα πολύ, με αποτέλεσμα να εμφανίζονται επιδημίες που νεκρώνουν πάρα πολλά δένδρα (Τσόπελας & Καρανικόλα 2012).

4. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

4.1 Θέση

Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στους νότιους-νοτιοδυτικούς πρόποδες του Πεντελικού όρους, στο λόφο του Πατήματος σε υψόμετρο που κυμαίνεται από 340m έως 347m. Η κορυφή του λόφου έχει υψόμετρο 386m. Ο λόφος διοικητικά ανήκει στους Δήμους Πεντέλης και Βριλησίων. Οριοθετείται δυτικά από το ρέμα Πεντέλης – Χαλανδρίου και ανατολικά από το ρέμα Βριλησσού. Η δυτική πλευρά του λόφου κοιτάζει την Πάρνηθα. Η ανατολική πλευρά του λόφου κοιτάζει σε πολύ κοντινή απόσταση το λόφο του Αστεροσκοπείου Πεντέλης, στην κορυφή του οποίου σε υψόμετρο 512m βρίσκονται οι εγκαταστάσεις του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (ΕΑΑ). Το ρέμα του Βριλησσού είναι αυτό που χωρίζει τους δύο λόφους. Νοτιοδυτικά του λόφου Πατήματος εκτείνεται το λεκανοπέδιο της Αθήνας και στο βάθος φαίνονται το όρος Αιγάλεω και το Ποικίλο όρος. Η νότια πλευρά του λόφου Πατήματος κοιτάζει τον Υμηττό και η νοτιοανατολική την πεδιάδα των Μεσογείων και το Πάνειο όρος. Όλη η βόρεια πλευρά του λόφου Πατήματος κοιτάζει το Πεντελικό όρος. Βόρεια βλέπει την κορυφή του Αγίου Παντελεήμονα (876m) και βορειοανατολικά βλέπει την υψηλότερη κορυφή Πυργάρι (1108m), δύο ανώνυμες κορυφές (997m και 953m) και την κορυφή Πύριζα (897m).

Η τοποθεσία που ελήφθησαν τα δείγματα είναι μια ζώνη μίξης δασών χαλεπίου πεύκης και οικισμών και βρίσκεται στην ανατολική - βορειοανατολική πλευρά του λόφου (Σχήμα 4.1 και Φωτ. Παραρτήματος 2.3) Τα δείγματα ελήφθησαν στην τοποθεσία με συντεταγμένες $38^{\circ}02'58.9''N$ (βόρεια) και $23^{\circ}51'07.5''E$ (ανατολικά) και μέσο υψόμετρο 344m και σε μια ακτίνα περίπου 100m από αυτήν. Ο γενικός προσανατολισμός της πλαγιάς που βρίσκεται η θέση δειγματοληψίας είναι ανατολικός, ενώ η έκθεση της θέσης δειγματοληψίας είναι Α-ΒΑ και η κλίση του εδάφους είναι 22%.



Σχήμα 4.1. Χάρτης τοποθεσίας δειγματοληψίας

4.2 Κλίμα

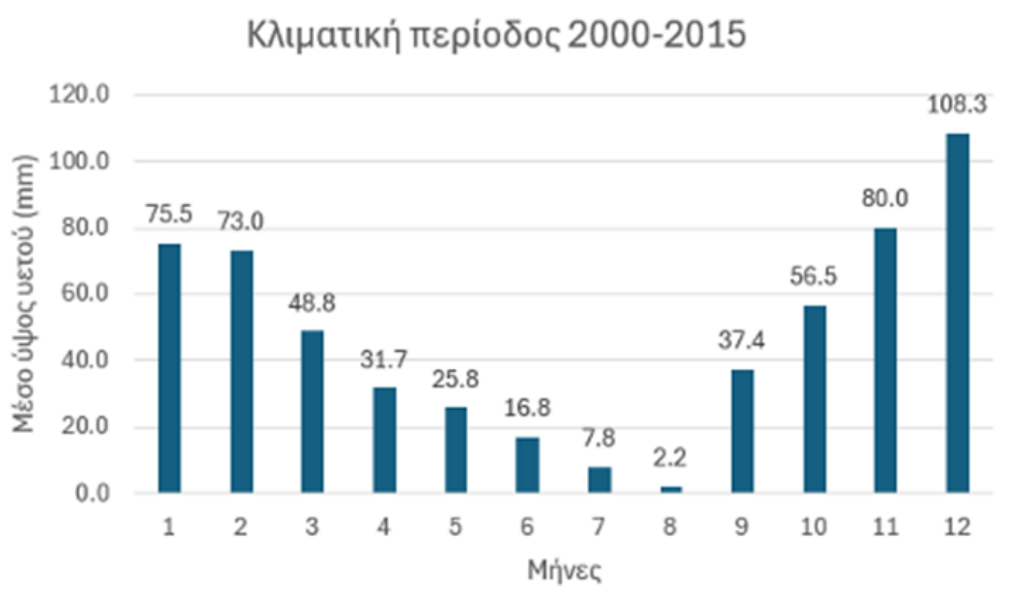
4.2.1. Γενικά

Η ανάλυση και περιγραφή του κλίματος στην περιοχή μελέτης πραγματοποιήθηκε με βάση τα κλιματολογικά στοιχεία του μετεωρολογικού σταθμού Πεντέλης (ΓΠ 38° 04', ΓΜ 23° 86', Υψόμετ. 495 m) με διαθέσιμα στοιχεία για 2 περιόδους αναφοράς α) 2000-2015 (ακτινομετρικός σταθμός Πεντέλης του ΙΕΠΒΑ-ΕΑΑ) και β) 2013-2023 (Μ/Σ Πεντέλης του ΕΑΑ) που βρίσκονται σε πολύ κοντινή απόσταση με την μελετούμενη συστάδα χαλεπίου πεύκης και σε ανάλογη υψομετρική θέση. Τα δεδομένα της περιόδου 2000-2015 αντλήθηκαν από την ιστοσελίδα του ΙΕΠΒΑ https://www.iersd.noa.gr/WeatherOnLine/s_Penteli/meteo_tableGR.html σε συνεργασία με τον επιστημονικό υπεύθυνο του Ακτινομετρικού σταθμού Πεντέλης του Ινστιτούτου Ερευνών Περιβάλλοντος & Βιώσιμης Ανάπτυξης (ΙΕΠΒΑ) του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (ΕΑΑ) Δρ. Ψυλόγλου Βασίλειο, ενώ αυτά της περιόδου 2013-2023 αντλήθηκαν από την ιστοσελίδα <http://stratus.meteo.noa.gr/front> και <https://meteosearch.meteo.gr/> του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (ΕΑΑ) για κάθε μήνα ξεχωριστά και επεξεργάστηκαν στο πρόγραμμα Microsoft Excel. Μετά από προσωπική επικοινωνία με τον Δ/ντή Ερευνών Δρ. Λαγουβάρδο Κώστα, επιστημονικό υπεύθυνο του Μ/Σ Πεντέλης του ΕΑΑ, σημειώνεται ότι στα αρχεία που παρέχονται για το ύψος υετού (mm) σε ορισμένες πολύ λίγες περιπτώσεις έχουν μια πολύ μικρή απόκλιση σε σχέση με τις πραγματικές τιμές, έχουν χαθεί κάποια πολύ λίγα mm κυρίως όσον αφορά στις χιονοπτώσεις εξαιτίας της σφοδρότητας των ανέμων. Βοηθητικά και για λόγους σύγκρισης, χρησιμοποιήθηκαν τα κλιματολογικά στοιχεία του μετεωρολογικού σταθμού Νέας Φιλαδέλφειας (ΓΠ 38° 03', ΓΜ 23° 40',

Υψόμ. 136,1 m) για την περίοδο 1955-2010 και τα στοιχεία αντλήθηκαν από την ιστοσελίδα της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (EMY) http://www.emy.gr/emy/el/climatology/climatology_city . Επιπλέον για την ανάλυση των σχέσεων κλίματος πλάτους δακτυλίων, δεδομένου ότι δεν υπήρχαν διαθέσιμα ετήσια κλιματολογικά στοιχεία που να καλύπτουν μια μεγάλη περίοδο ετών, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα του μετεωρολογικού σταθμού Θησείου (Γ.Π. 37° 58', Γ.Μ. 23° 43', Υψομ. 107 m) του ΕΑΑ για την περίοδο 1951-2022.

4.2.2. Βροχή

Το μέσο ετήσιο ύψος βροχής στην περιοχή μελέτης, με βάση τα στοιχεία του Μ/Σ Πεντέλης, υπολογίζεται σε 590 mm (ως μέσος όρος από ακτινομετρικό σταθμό Πεντέλης την περίοδο 2000-2015: 563,9 mm και Μ/Σ Πεντέλης την περίοδο 2013-2023: 616,2 mm) (Σχήμα 4.2 & Σχήμα 4.3). Για λόγους σύγκρισης στο γειτονικό στο όρος Πεντέλη σταθμό της Ν. Φιλαδέλφειας, που βρίσκεται σε χαμηλότερο υψόμετρο, το μέσο ετήσιο ύψος είναι 411,8 mm. Μεταξύ των δυο περιόδων αναφοράς παρατηρούμε μια αύξηση των βροχοπτώσεων την εαρινή και θερινή περίοδο την τελευταία περίοδο, ενώ παράλληλα παρατηρούμε μείωση των βροχοπτώσεων τους μήνες Οκτώβριο, Νοέμβριο, Δεκέμβριο και Φεβρουάριο, με τη μεγαλύτερη μείωση να είναι αυτή του Φεβρουαρίου (16,3mm). Η εξέταση της εποχιακής βροχομετρικής δίαιτας δείχνει ότι έχουμε τον τύπο ΧΦΑΚ (μέγιστη εποχιακή βροχόπτωση με σειρά προτεραιότητας: (Χ) Χειμώνας, (Φ) Φθινόπωρο, (Α) Άνοιξη, (Κ) Καλοκαίρι), χαρακτηριστικός σύμφωνα με τον Emberger (1943) του υποτύπου του μεσογειακού κλίματος της Ανατολικής Μεσογείου, και του μεσογειακού κλίματος στην Ελλάδα. Η ανάλυση της μέσης μηνιαίας βροχόπτωσης δείχνει ότι το μέγιστο ύψος βροχής παρατηρείται το μήνα Δεκέμβριο και το ελάχιστο το μήνα Αύγουστο (Σχήματα 4.2 & 4.3).



Σχήμα 4.2. Μέση μηνιαία βροχόπτωση στον ακτινομετρικό σταθμό Πεντέλης ΙΕΠΒΑ/ΕΑΑ (2000-2015)



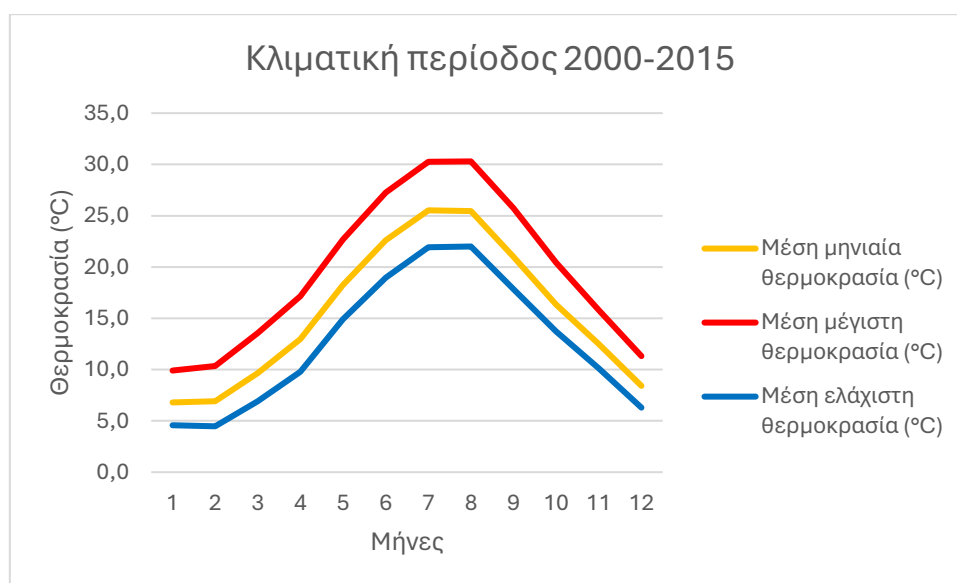
Σχήμα 4.3. Μέση μηνιαία βροχόπτωση στον Μ/Σ Πεντέλης ΕΑΑ (2013-2023)

4.2.3. Θερμοκρασία αέρα

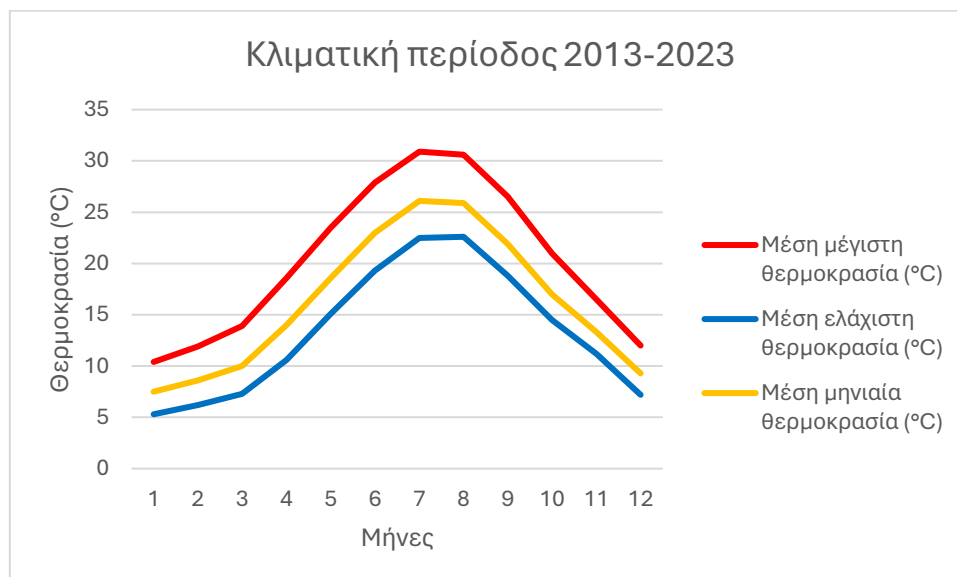
Από τους θερμοκρασιακούς παράγοντες αναφέρονται, η μέση ετήσια θερμοκρασία, η μέση μηνιαία, η μέση ελάχιστη και μέση μέγιστη μηνιαία θερμοκρασία καθώς και η μέση ελάχιστη θερμοκρασία του ψυχρότερου μήνα (m), η μέση μέγιστη θερμοκρασία του θερμότερου μήνα (M), και το θερμοκρασιακό εύρος (M-m). Η μέση μηνιαία και ετήσια θερμοκρασία αναφέρονται κυρίως

για μια γενική σύγκριση του τόπου με άλλες γεωγραφικές περιοχές.

Η μέση ετήσια θερμοκρασία (T_m) στην περιοχή μελέτης με βάση τα στοιχεία του Μ/Σ Πεντέλης, υπολογίζεται σε $15,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ (ως μέσος όρος από ακτινομετρικό σταθμό Πεντέλης την περίοδο 2000-2015: $15,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ και Μ/Σ Πεντέλης την περίοδο 2013-2023: $16,3\text{ }^{\circ}\text{C}$). Στο γειτονικό Μ/Σ της Ν. Φιλαδέλφειας είναι αισθητά μεγαλύτερη και φθάνει τους $17,8\text{ }^{\circ}\text{C}$, καθώς βρίσκεται $358,9\text{ m}$ χαμηλότερα στο λεκανοπέδιο της Αττικής (το ύψος του Μ/Σ Νέας Φιλαδελφείας της ΕΜΥ είναι $136,1\text{ m}$, ενώ το ύψος του Μ/Σ Πεντέλης του ΕΑΑ και του Α/Σ Πεντέλης του ΙΕΠΒΑ είναι στα 495 m στον λόφο Αστεροσκοπείου στο Πεντελικό όρος). Η εξέταση των μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών του Μ/Σ Πεντέλης (Σχήματα 4.4 & 4.5) δείχνει ότι ο ψυχρότερος μήνας είναι ο Ιανουάριος και ο θερμότερος ο Ιούλιος. Εξετάζοντας τη μέση ετήσια θερμοκρασία για τις δύο περιόδους αναφοράς στο σταθμό της Πεντέλης βλέπουμε μια αύξηση κατά $0,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ την τελευταία περίοδο, ενδεικτική της τάσης αύξησης της θερμοκρασίας λόγω της κλιματικής αλλαγής. Όπως βλέπουμε στους πίνακες του παραρτήματος (Πίνακ. Παραρτ. 3.2 & 3.3) η μέση μηνιαία θερμοκρασία παρουσιάζει τάση αύξησης σε όλους τους μήνες, με τη μεγαλύτερη αύξηση να παρουσιάζεται το Φεβρουάριο ($1,7\text{ }^{\circ}\text{C}$) και τον Απρίλιο ($1\text{ }^{\circ}\text{C}$). Σε όλους τους υπόλοιπους μήνες η αύξηση είναι μικρότερη του $1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Τη μεγαλύτερη αύξηση της μέσης μέγιστης θερμοκρασίας παρουσιάζει ο Φεβρουάριος με $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ και ο Απρίλιος με $1,4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Τέλος τη μεγαλύτερη αύξηση της μέσης ελάχιστης θερμοκρασίας παρουσιάζει πάλι ο Φεβρουάριος με $1,7\text{ }^{\circ}\text{C}$, ενώ ο Νοέμβριος και ο Σεπτέμβριος παρουσιάζουν αύξηση $1,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ και $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ αντίστοιχα.



Σχήμα 4.4. Μέσες μηνιαίες (T_m), μέσες μηνιαίες ελάχιστες (T_{min}) και μέσες μηνιαίες μέγιστες (T_{max}) θερμοκρασίες στον ακτινομετρικό σταθμό Πεντέλης ΙΕΠΒΑ/ΕΑΑ (2000-2015)



Σχήμα 4.5. Μέσες μηνιαίες (Tm), μέσες μηνιαίες ελάχιστες (Tmin) και μέσες μηνιαίες μέγιστες (Tmax) θερμοκρασίες στο Μ/Σ Πεντέλης ΕΑΑ (2013-2023)

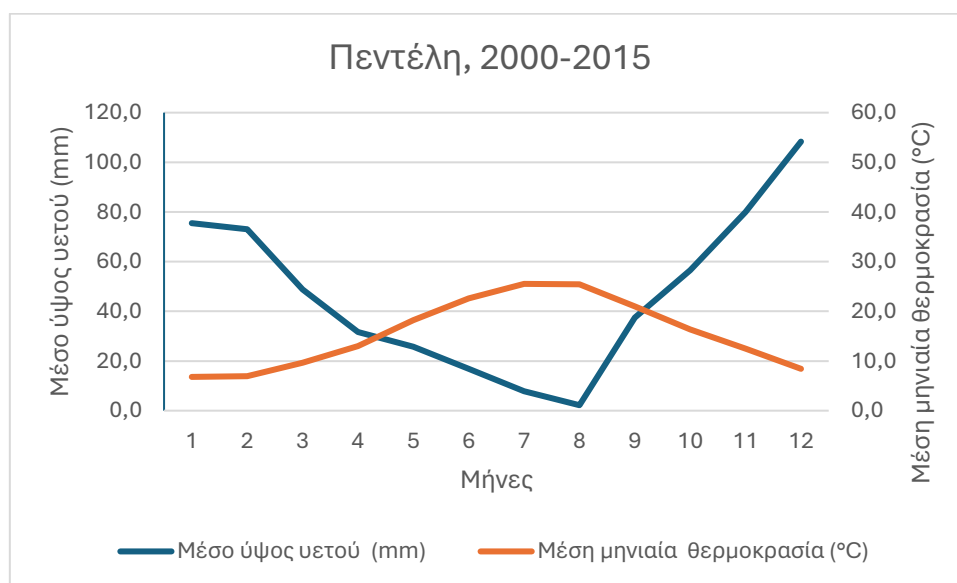
Αντίστοιχα παρατηρείται αύξηση της μέσης ετήσιας μέγιστης θερμοκρασίας κατά $0,75\text{ }^{\circ}\text{C}$ (από $19,56\text{ }^{\circ}\text{C}$ σε $20,31\text{ }^{\circ}\text{C}$) και αύξηση της μέσης ετήσιας ελάχιστης θερμοκρασίας επίσης $0,75\text{ }^{\circ}\text{C}$ (από $12,63\text{ }^{\circ}\text{C}$ σε $13,38\text{ }^{\circ}\text{C}$). Η μέση ελάχιστη θερμοκρασία του ψυχρότερου μήνα (m) εκτιμάται σε $4,95\text{ }^{\circ}\text{C}$ (ως μέσος όρος από ακτινομετρικό σταθμό Πεντέλης την περίοδο 2000-2015: $4,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ και από Μ/Σ Πεντέλης την περίοδο 2013-2023: $5,3\text{ }^{\circ}\text{C}$). Μεταξύ των δυο περιόδων αναφοράς έχουμε μια αύξηση του (m) κατά $0,7\text{ }^{\circ}\text{C}$. Το (m) αποτελεί βασικό στοιχείο για τον καθορισμό της εξάπλωσης και ζωνοποίησης της δασικής βλάστησης. Η χαλέπιος πεύκη στη Μεσόγειο εμφανίζεται σε περιοχές με (m) από $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ έως $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ και στην Ελλάδα σε περιοχές με (m) από $3,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ έως $7,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, (Quezel 1980, Papadopoulos et al. 2003). Η μέση μέγιστη θερμοκρασία του θερμότερου μήνα (M) εκτιμάται σε $30,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ (ως μέσος όρος από ακτινομετρικό σταθμό Πεντέλης την περίοδο 2000-2015: $30,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ και από Μ/Σ Πεντέλης την περίοδο 2013-2023: $30,9\text{ }^{\circ}\text{C}$). Μεταξύ των δύο περιόδων αναφοράς έχουμε μια αύξηση του (M) κατά $0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$. Το θερμοκρασιακό εύρος (M-m) με βάση τις τιμές του (m) και (M) υπολογίζεται σε $25,65\text{ }^{\circ}\text{C}$, ως μέσος όρος των 2 αναφερόμενων παραπάνω περιόδων. Ο υπολογισμός του δείκτη αυτού επιτρέπει να καθορίσουμε το βαθμό ηπειρωτικότητας της περιοχής (Παπαδόπουλος 2023).

4.2.4. Βιοκλιματικοί παράγοντες

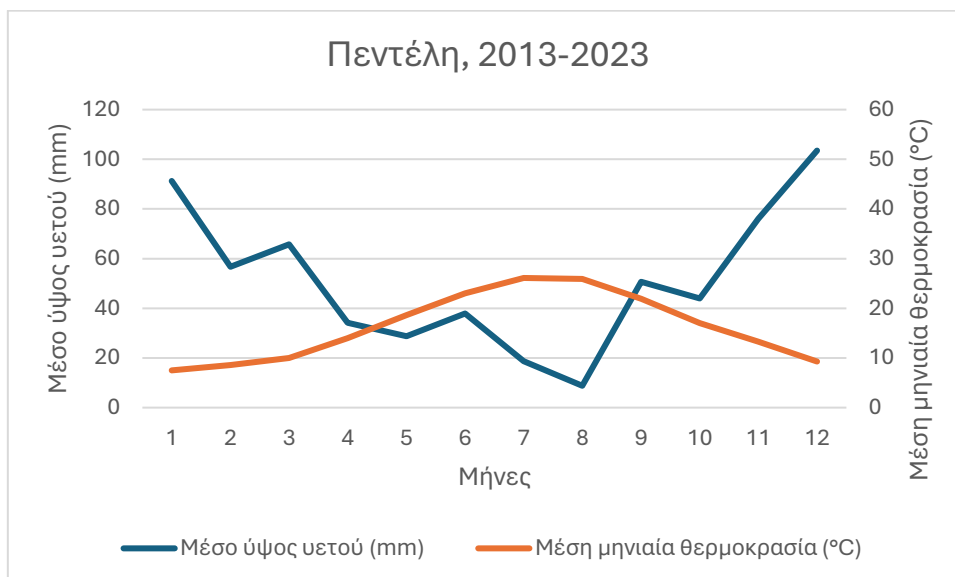
4.2.4.1. Ομβροθερμικό διάγραμμα των Bagnouls - Gausсен

Σύμφωνα με τους Bagnouls και Gausсен (1953), ένας μήνας είναι ξηρός όταν η τιμή της συνολικής μηνιαίας βροχόπτωσης σε mm είναι ίση ή μικρότερη από το διπλάσιο της τιμής της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας σε °C (Παπαδόπουλος 2023). Η γραφική απεικόνιση της παραπάνω σχέσης δίνει το ομβροθερμικό διάγραμμα, που καθορίζει τη διάρκεια της περιόδου και ένταση της ξηρασίας.

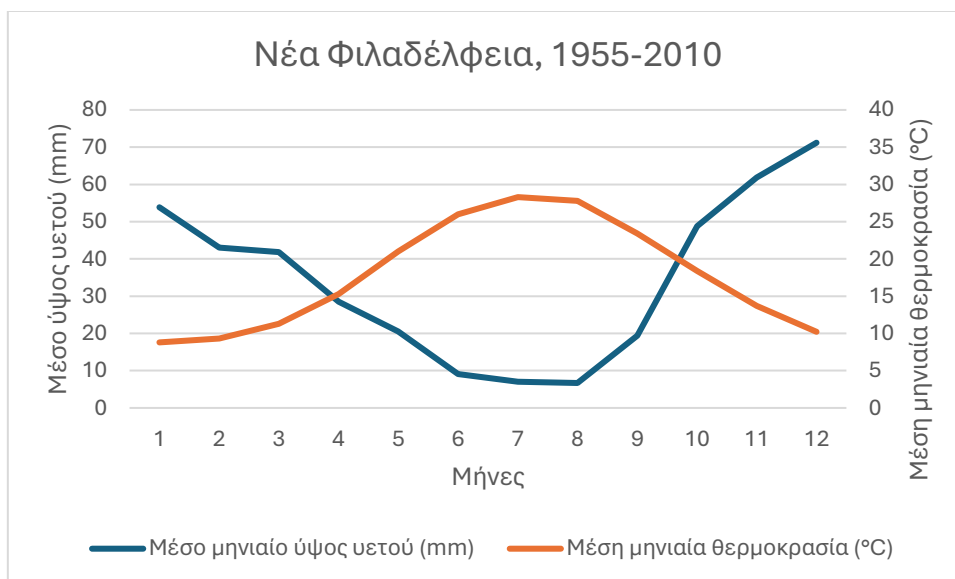
Το ομβροθερμικό διάγραμμα, του σταθμού Πεντέλης για τις δυο περιόδους αναφοράς δείχνει ότι η περίοδος ξηρασίας διαρκεί από τις αρχές προς μέσα Απριλίου μέχρι τις αρχές Σεπτεμβρίου (περίπου 4.5 με 5 μήνες) και είναι μέτριας έντασης (Σχήμα 4.6 & Σχήμα 4.7). Για τον γειτονικό σταθμό της Νέας Φιλαδέλφειας η περίοδος ξηρασίας διαρκεί περίπου 6 μήνες, από το τέλος Μαρτίου μέχρι το τέλος Σεπτεμβρίου και είναι έντονη (Σχήμα 4.8).



Σχήμα 4.6. Ομβροθερμικό διάγραμμα του ακτινομετρικού σταθμού Πεντέλης ΙΕΠΒΑ/ΕΑΑ (2000-2015)



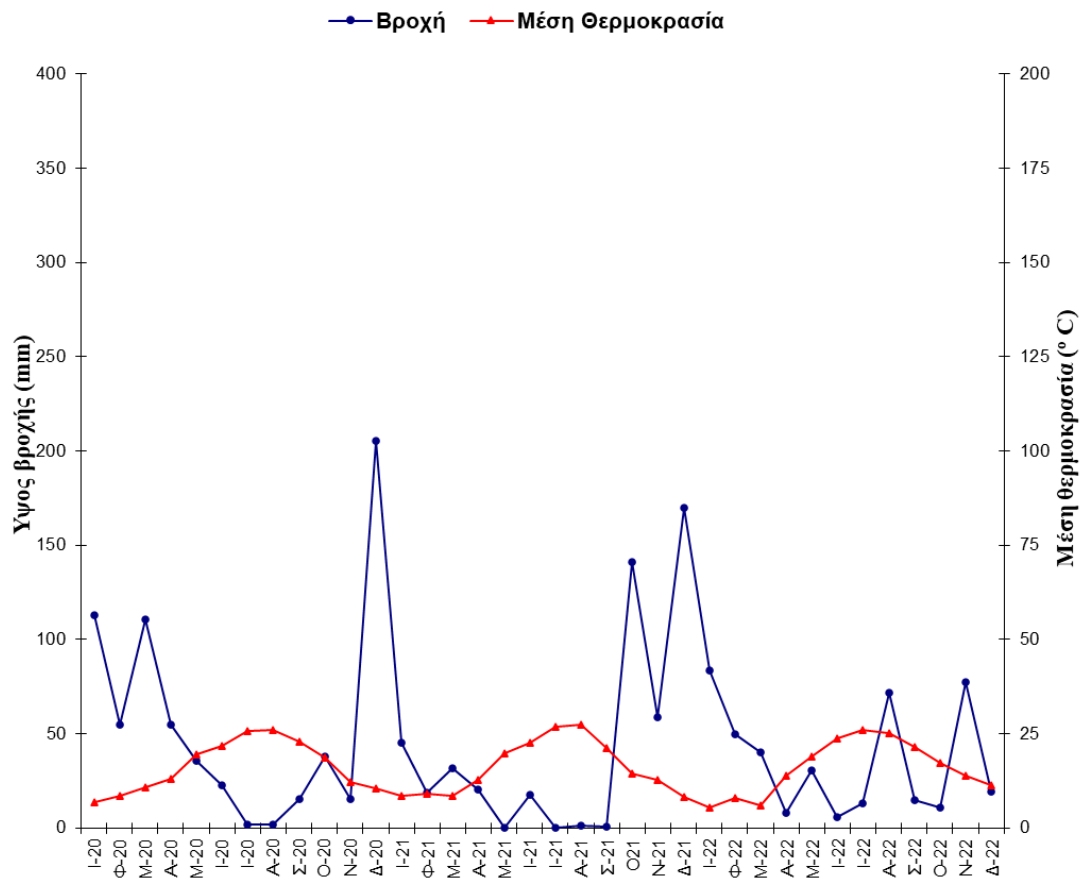
Σχήμα 4.7. Ομβροθερμικό διάγραμμα του Μ/Σ Πεντέλης ΕΑΑ (2013-2023)



Σχήμα 4.8. Ομβροθερμικό διάγραμμα του Μ/Σ Νέας Φιλαδέλφειας (1955-2010)

Για τις ανάγκες της δενδροοικολογικής – δενδροκλιματικής έρευνας κατασκευάστηκε επίσης το ομβροθερμικό διάγραμμα για τα έτη 2020, 2021 και 2022 (Σχήμα 4.9), που δείχνει μια αυξημένη περίοδο ξηρασίας για τα έτη 2021 και 2022. Επίσης παρατηρείται ότι τα έτη 2021 και 2023 καταγράφονται τα πιο θερμά καλοκαίρια που έχουν καταγραφεί ποτέ στην Πεντέλη (Πίνακ. Παραρτ. 3.10 & 3.11). Ενδεικτικά, τον Ιούλιο του 2021 καταγράφηκε αύξηση της μέσης μηνιαίας

θερμοκρασίας 1,3°C και τον Αύγουστο του 2021 καταγράφηκε αύξηση της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας 1,9°C, σε σχέση με την αντίστοιχη κλιματική περίοδο του 2000-2015.



Σχήμα 4.9. Ομβροθερμικό διάγραμμα του Μ/Σ Πεντέλης για τα έτη 2020, 2021 και 2022

4.2.4.2. Βροχοθερμικό πηλίκιο και κλιματικό διάγραμμα του Emberger

Το βροχοθερμικό πηλίκιο (Q_2) είναι μια συνθετική έκφραση του κλίματος και δίνεται από τον τύπο:

$$Q_2 = 2000 P / (M^2 - m^2)$$

όπου:

P = ετήσιο ύψος βροχής σε mm,

M = μέση μέγιστη θερμοκρασία του θερμότερου μήνα σε °K,

m = μέση ελάχιστη θερμοκρασία του ψυχρότερου μήνα σε °K.

Εναλλακτικά, το βροχοθερμικό πηλίκιο δίνεται από τον τύπο:

$$Q_2 = 2000 P / [(M+m+546,4)(M-m)]$$

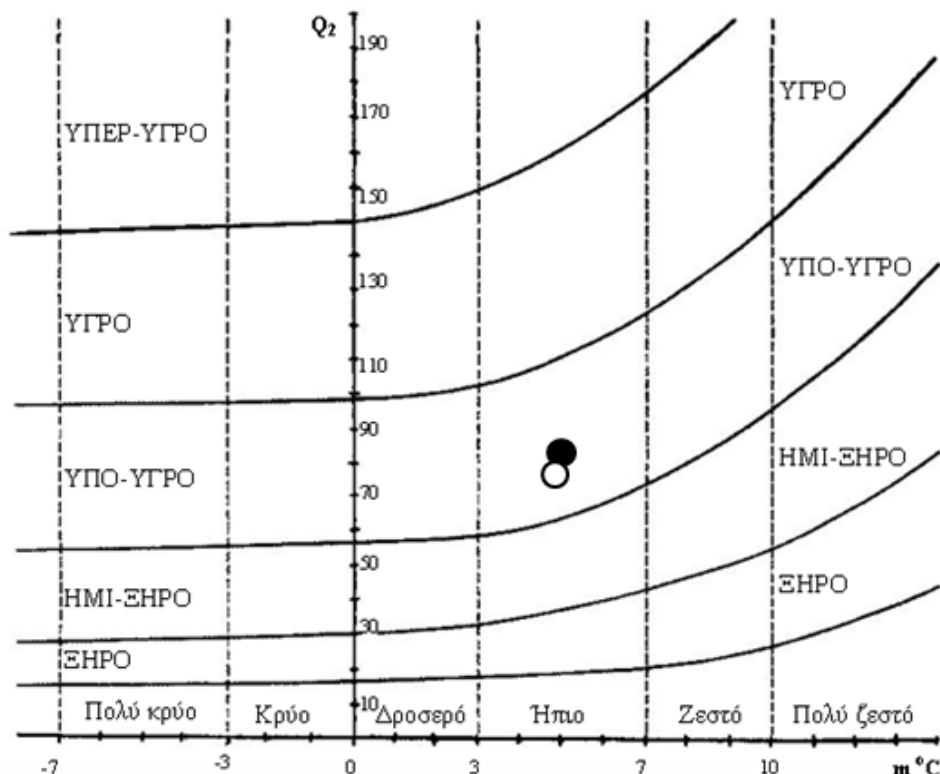
όπου:

P = ετήσιο ύψος βροχής σε mm,

M = μέση μέγιστη θερμοκρασία του θερμότερου μήνα σε $^{\circ}\text{C}$,

m = μέση ελάχιστη θερμοκρασία του ψυχρότερου μήνα σε $^{\circ}\text{C}$.

Το κλιματικό διάγραμμα του Embarger ισχύει μόνο για τη μεσογειακή περιοχή (Daget 1977a, Daget 1977b) και είναι η γραφική παράσταση του Q_2 με το (m) και ο διαχωρισμός πάνω σ' αυτό των βιοκλιματικών ορόφων (Παπαδόπουλος 2023). Το Q_2 για την περιοχή μελέτης υπολογίστηκε σε 75,53 και 82,63 αντίστοιχα για την περίοδο 2000-2015 και 2013-2023, ενώ για τη Νέα Φιλαδέλφεια υπολογίστηκε σε 49,52 για την περίοδο 1955-2010. Η τοποθέτηση του Q_2 σε σχέση με την αντίστοιχη τιμή του (m) στο κλιματικό διάγραμμα (Σχήμα 4.10) επιτρέπει να κατατάξουμε την περιοχή μελέτης στον υπό-υγρο βιοκλιματικό όροφο με ήπιο χειμώνα. Μια διαφοροποίηση που παρατηρείται ανάμεσα στις 2 περιόδους είναι ασήμαντη, ενδεικτικά όμως, λόγω του μικρού μήκους των περιόδων αναφοράς, να σημειώσουμε ότι υπάρχει μια τάση του βιοκλίματος προς το θερμότερο και υγρότερο. Η γειτονική περιοχή της Νέας Φιλαδέλφειας κατατάσσεται στον ημίξηρο βιοκλιματικό όροφο με ήπιο χειμώνα.



Σχήμα 4.10. Θέση του M/Σ και A/Σ Πεντέλης στο βιοκλιματικό διάγραμμα του Embarger για την περιοχή μελέτης για δύο περιόδους αναφοράς: α) με άσπρο κύκλο η περίοδος (2000-2015), με μαύρο κύκλο η περίοδος (2013-2023)

4.3. Έδαφος – πέτρωμα

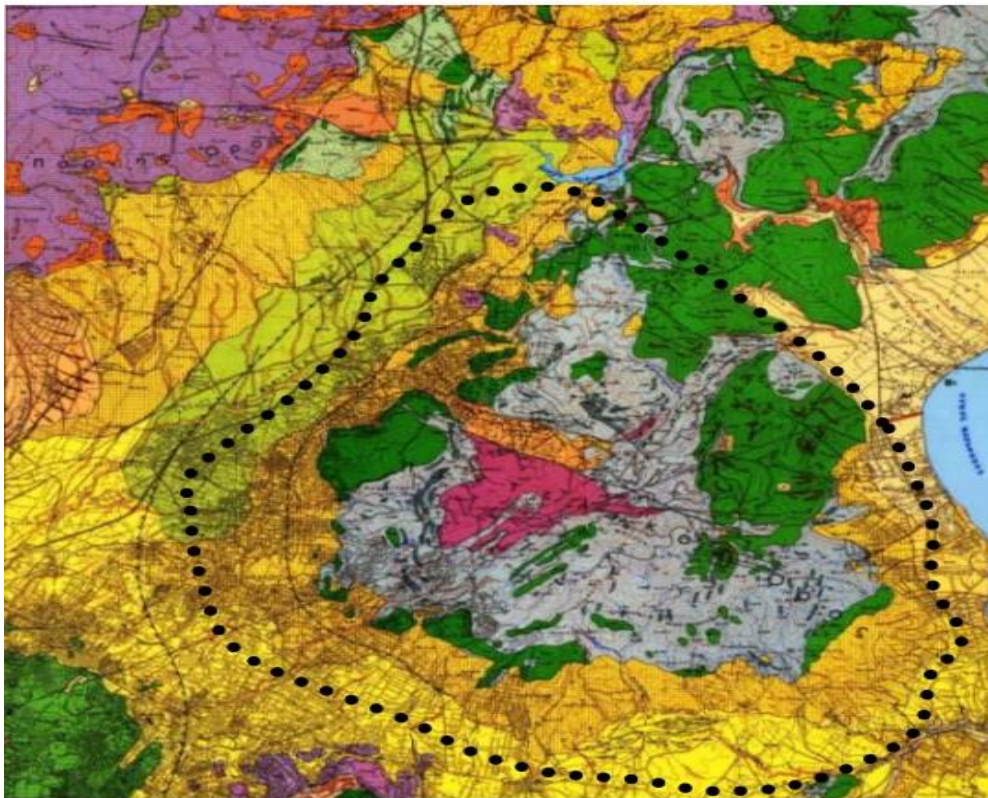
Το Πεντελικό όρος μέχρι το Ηώκαινο ήταν τμήμα του ωκεανού της Τηθύος. Από το ανώτερο Ηώκαινο και μετά μπαίνουν τα πετρώματα (κυρίως ασβεστόλιθοι) στη διαδικασία ορογένεσης. Πρώτα υποβυθίζονται στα έγκατα της Γης, όπου εξαιτίας της θερμότητας και της πίεσης οι ασβεστόλιθοι μεταμορφώνονται σε μάρμαρα όταν ανέρχονται και αποκαλύπτονται στην επιφάνεια σχηματίζοντας την ευρύτερη ορεινή περιοχή (Μπαλιούσης 2011). Η Πεντέλη ανήκει γεωτεκτονικά στην κατώτερη μεταμορφωμένη ενότητα πετρωμάτων που απαντάται στην Αττική και τις Κυκλάδες. Με βάση τον γεωλογικό χάρτη του ΙΓΜΕ (2021) περιλαμβάνει σχιστόλιθους, μάρμαρα (μεταμορφωμένους ασβεστόλιθους – ιζηματογενή ανθρακικά πετρώματα), πλευρικά κορήματα και κώνους κορημάτων (Σχήμα 4.11). Σύμφωνα με τον Λόζιο (1993) οι σχιστόλιθοι του νοτίου Πεντελικού (περιοχή μελέτης) είναι ένα πολύπλοκο σύστημα που αποτελείται από σχιστόλιθους, χαλαζιοαστριούχα πετρώματα, μεταβασίτες και μικρούς οριζόντες μαρμάρων. Αυτό το σύστημα αναπτύσσεται κυρίως στο νότιο τμήμα του όρους, το οποίο αντιστοιχεί στον ορίζοντα των “Σχιστόλιθων Καισαριανής” του Lepsius (1893). Το μεγαλύτερο μέρος του συστήματος αποτελείται κυρίως από μαρμαρυγικούς και ασβεστιτικούς-μοσχοβιτικούς σχιστόλιθους.

Μέσα στο σχηματισμό των σχιστόλιθων του νότιου Πεντελικού και κοντά στις επαφές με τα υπερκείμενα ή υποκείμενα μάρμαρα αναπτύσσεται μια σειρά από ενδιάμεσα μάρμαρα με κοινά χαρακτηριστικά και πάχος που κυμαίνεται από 1m μέχρι πάνω από 10m. Αυτά είναι κυρίως ακάθαρτα μάρμαρα και σιπολίνες που περιέχουν φυλλοπυριτικά ορυκτά (κυρίως μοσχοβίτη, αλλά και χλωρίτη) ή εναλλάσσονται με μικροσκοπικούς οριζόντες σχιστόλιθων. Λόγω της πολύπλοκης τεκτονικής μακροδομής με διαδοχικές ισοκλινείς πτυχές, ο ίδιος στρωματογραφικός ορίζοντας με τα ενδιάμεσα μάρμαρα επαναλαμβάνεται διαδοχικά (Λόζιος 1993). Σε αυτόν τον στρωματογραφικό ορίζοντα υπάρχουν περιοχές που αντιπροσωπεύονται από καθαρά μάρμαρα και από πολύ μικρές εναλλαγές μαρμάρων και ασβεστιτικών σχιστόλιθων. Σε πολύ κοντινή απόσταση από την περιοχή μελέτης, στη Μονή Πεντέλης που βρίσκεται βόρεια του λόφου Αστεροσκοπείου, στα ανώτερα τμήματα του σχηματισμού των ενδιάμεσων μαρμάρων, σε μικρούς οριζόντες μαρμάρων έχουν ανακαλυφθεί τα απολιθώματα *Rotalia* και *Quinqueloquolina* που φανερώνουν την ηλικία (Τριαδικό ή Ιουρασικό) των υπερκείμενων ακολουθιών μαρμάρων (Marinos 1948 & Μαρίνος 1948).

Τα μάρμαρα αυτά αντιστοιχούν στο “Κατώτερο Μάρμαρο” του Lepsius (1893) και αποτελούν τον πυρήνα του Πεντελικού όρους. Παρουσιάζουν μια διάταξη ΒΑ-ΝΔ με το ΒΑ όριό τους να καθορίζεται από το ρήγμα της βόρειας Πεντέλης και το ΝΔ όριο από τους σχιστόλιθους νότιας Πεντέλης και τα μάρμαρα της δυτικής Πεντέλης. Το χρώμα τους είναι συνήθως λευκό. Τα

μάρμαρα αυτά παρουσιάζουν έντονο κρυσταλλικό χαρακτήρα. Οι παχυστρωματώδεις οριζόντες από ολόλευκα κρυσταλλικά μάρμαρα είναι αυτοί που εκμεταλλεύτηκαν από την αρχαιότητα και χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή πολλών γνωστών έργων τέχνης, με χαρακτηριστικότερο παράδειγμα τον Παρθενώνα στην Ακρόπολη της Αθήνας. Τα μάρμαρα αυτά υπόκεινται του σχηματισμού των “Σχιστόλιθων Νότιας Πεντέλης” (Λόζιος 1993).

Το έδαφος στην περιοχή μελέτης χαρακτηρίζεται αβαθές με χούμο που δεν ξεπερνά τα 3-4cm, ενώ το pH του εδάφους συμπεραίνουμε ότι είναι ουδέτερο, γιατί αποτελείται από σχιστόλιθους που βρίσκονται κοντά σε μάρμαρα. Τα μάρμαρα έχουν pH βασικό-αλκαλικό (>7), ενώ οι σχιστόλιθοι που βρίσκονται μακριά από μάρμαρα έχουν pH όξινο (<7). Ο Μπαλιούσης (2011) κάνει μετρήσεις του pH εδάφους στο Πεντελικό και βρίσκει ότι το pH των ζωνών με μάρμαρα είναι 7,4 ενώ το αντίστοιχο των γειτονικών σχιστόλιθων 7,0. Σε σχιστόλιθους με ίδιο τύπο βλάστησης, αλλά σε πολύ μεγαλύτερη απόσταση από μάρμαρα το pH βρέθηκε να ισούται με 6,7. Μία ακόμη διαφορά μεταξύ σχιστόλιθων και μαρμάρων αφορά στη μηχανική σύσταση του εδάφους. Τα εδάφη με μάρμαρα είναι αργιλοπηλώδη, κατά κανόνα έντονα διαβρωμένα και αβαθή με υψηλό ποσοστό εμφάνισης βράχων στην επιφάνεια, ενώ αυτά των σχιστόλιθων είναι αμμοπηλώδη, σχετικά βαθύτερα με χαμηλότερα ποσοστά εμφάνισης βράχων στην επιφάνεια.





Σχήμα 4.11. Γεωλογικός χάρτης (IGME 2001), με τελείες ορίζεται η ευρύτερη περιοχή του Πεντελικού όρους.

4.4 Περιγραφή της βλάστησης

Όπως έχει ήδη αναφερθεί στο δεύτερο κεφάλαιο, η περιοχή μελέτης ανήκει στον αυξητικό χώρο του Oleo-lentiscetum της υποζώνης Oleo-ceratonion της Ευμεσογειακής ζώνης βλάστησης (*Quercetalia ilicis*) (Φωτ. 4.1). Όσον αφορά στα στοιχεία της συστάδας που μελετήθηκαν, η δασοκομική μορφή χαρακτηρίζεται ως ομήλικη-ομηλικοειδής, ενώ η διαχειριστική μορφή είναι σπερμοφυής φυσική. Ο βαθμός συγκόμωσης της κυριαρχούσης συστάδας (χαλέπιος πεύκη) είναι 0,8. Σε ότι αφορά την κατάσταση εξέλιξης έχουμε λεπτούς και χονδρούς κορμούς ηλικίας περίπου 70-75 ετών, ενώ η κατάσταση υγείας των δένδρων χαρακτηρίζεται ως μέτρια. Η αναγέννηση είναι ελάχιστη. Η χλωριδική σύνθεση της βλάστησης στην περιοχή μελέτης με βάση τη μέθοδο Braun-Blanquet περιλαμβάνει τα παρακάτω είδη ανά όροφο βλάστησης (Πίνακας 4.1)

Πίνακας 4.1. Χλωριδική σύνθεση της βλάστησης στην περιοχή μελέτης

Δενδρώδης όροφος

<i>Pinus halepensis</i>	5.5
<i>Cupressus sempervirens</i>	+1
<i>Prunus dulcis</i>	+1
<i>Olea europaea</i>	1.2

Θαμνώδης όροφος

<i>Quercus coccifera</i>	3.4
<i>Quercus ithaburensis</i>	r.1

<i>Pistacia lentiscus</i>	3.4
<i>Phillyrea latifolia</i>	1.1
<i>Lonicera implexa</i>	r.1
<i>Rhamnus lycioides</i>	r.1
<i>Rhamnus alaternus</i>	1.1
cf <i>Ruscus hypophyllum</i>	r.1
<i>Nerium oleander</i>	+1
<i>Erica manipuliflora</i>	+1

Χαμαίφυτα (σχεδόν το σύνολο των χαμαίφυτων είναι φρύγανα)

<i>Asparagus acutifolius</i>	2.1
<i>Cistus creticus</i>	1.2
<i>Cistus salviifolius</i>	1.2
<i>Prasium majus</i>	+1
<i>Fumana scoparia</i>	r.1
<i>Genista acanthoclada</i>	2.1
<i>Thymbra capitata</i>	1.1
<i>Thymus cf sibthorpii</i>	+1
<i>Sarcopoterium spinosum</i>	1.1
<i>Hypericum empetrifolium</i>	1.1
<i>Teucrium flavum</i>	1.1
<i>Teucrium capitatum</i>	1.1
<i>Teucrium chamaedrys</i>	1.1

Πλώδης όροφος

<i>Helichrysum stoechas</i>	+1
<i>Cyclamen hederifolium</i>	+1
<i>Cyclamen graecum</i>	1.2
<i>Piptatherum miliaceum</i>	2.2
<i>Brachypodium retusum</i>	2.2
<i>Micromeria graeca</i>	+1
<i>Carthamus lanatus</i>	1.2
<i>Arenaria sp.</i>	1.3
<i>Convolvulus althaeoides</i>	r.1
<i>Sonchus sp.</i>	1.1
<i>Carex cf halleriana</i>	+1
<i>Vulpia muralis</i>	+1
<i>Reichardia picroides</i>	+1
<i>Crepis foetida</i>	1.1
<i>Linum cf usitatissimum</i>	r.1
<i>Lepidium graminifolium</i>	+1
<i>Chondrilla juncea</i>	1.2
<i>Stellaria media</i>	+1
<i>Malva pusilla</i>	1.1
<i>Malva cf neglecta</i>	+1
<i>Rorippa sp.</i>	+1
<i>Verbascum sp.</i>	r.1
<i>Foeniculum vulgare</i>	r.1
<i>Fallopia sp.</i>	r.1

Arundo donax	1.2
Avena fatua	+1
Avena barbata	+1
Cynodon dactylon	+1
Silene sp.	r.1
Centaurea sp.	1.2
Muscari comosum	r.1
Stipa cf bromoides	r.1



Φωτογραφία 4.1. Η βλάστηση στη θέση δειγματοληψίας

5. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

5.1 Λήψη δειγμάτων

Μετά από επιτόπια επισκόπηση στις 6 Ιουλίου 2023 με τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Παπαδόπουλο Ανδρέα συμφωνήθηκε η λήψη δειγμάτων από την περιοχή μελέτης, η οποία έλαβε χώρα στις 14 Σεπτεμβρίου 2023. Επιλέχθηκαν 11 ζωντανά και 11 νεκρά δένδρα χαλεπίου πεύκης ύψους 8m έως 10m, από τα οποία ελήφθησαν με τη βοήθεια της δενδροτρυπάνης τύπου Pressler 2 δείγματα (τρυπανίδια) ανά δένδρο (Φωτ. 5.1). Η λήψη των δειγμάτων έγινε στο στήθιαίο ύψος

παίρνοντας 2 αντιδιαμετρικά τρυπανίδια, το πρώτο στα ανάντη και το δεύτερο στα κατόντη της κλίσης του εδάφους. Κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας η τρυπάνη ήταν τοποθετημένη κάθετα προς τον κορμό με κατεύθυνση προς την εντεριώνη (Παπαδόπουλος 2022). Για να αποφευχθεί η επιμόλυνση από παθογόνα και η προσβολή από έντομα μετά από κάθε δειγματοληψία, η οπή κλείστηκε καλά με ένα αποφλοιωμένο κομμάτι κλαδιού του ίδιου δένδρου. Μετά τη δειγματοληψία η δενδροτρυπάνη καθαρίστηκε με οινόπνευμα 95 βαθμών. Συνολικά ελήφθησαν 44 τρυπανίδια, 22 από 11 ζωντανά άτομα χαλεπίου πεύκης και 22 από 11 νεκρά άτομα χαλεπίου πεύκης. Για τη μεταφορά των δειγμάτων στο εργαστήριο Δενδροχρονολογίας του τμήματος Δασολογίας και Διαχείρισης Φυσικού Περιβάλλοντος στο Καρπενήσι χρησιμοποιήθηκε χονδρό γκοφρέ χαρτόνι με αυλακώσεις, πάνω στις οποίες τοποθετήθηκαν τα τρυπανίδια και τα σταθεροποιήσαμε με αυτοκόλλητη ταινία.



Φωτογραφία 5.1. Λήψη δειγμάτων (τρυπανιδίων) με τη δενδροτρυπάνη τύπου Pressler

5.2 Προετοιμασία δειγμάτων

Στο εργαστήριο πραγματοποιήθηκε η αποξήρανση των τρυπανιδίων με φυσικό τρόπο ώστε αυτά να αποκτήσουν σταθερές διαστάσεις. Κατά τη διάρκεια της αποξήρανσης τα τρυπανίδια παρέμειναν στα κυματοειδή χαρτόνια και πάνω σε αυτά τοποθετήθηκε βάρος για να διατηρηθούν ευθυτενή. Όταν ολοκληρώθηκε η διαδικασία της φυσικής αποξήρανσης τα τρυπανίδια κολλήθηκαν σε ξύλινα λεπτά πηγάκια με αυλάκι (Φωτ. 5.2) ώστε να γίνουν μόνιμα δείγματα. Η επικόλληση των κυλινδρικής μορφής τρυπανιδίων έγινε προσεκτικά ώστε στην άνω πλευρά να εμφανίζεται η εγκάρσια τομή του ξύλου για να είναι ευκρινέστερη η ανάγνωση των δακτυλίων (Παπαδόπουλος 2022).

Το κάθε δείγμα προσδιορίζεται με έναν κωδικό αριθμό που αποτελείται από 2 νούμερα με μία τελεία να τα χωρίζει. Το πρώτο νούμερο αναφέρεται στον αριθμό του δένδρου από το οποίο πάρθηκε το τρυπανίδιο, ενώ το δεύτερο νούμερο, μετά την τελεία, αναφέρεται στον αριθμό του τρυπανιδίου ανά δένδρο. Έτσι έχουμε το δείγμα με κωδικό 1.1 που είναι το πρώτο τρυπανίδιο από το πρώτο δένδρο, ενώ το δείγμα με κωδικό 1.2 είναι το δεύτερο τρυπανίδιο από το ίδιο δένδρο. Αντίστοιχα ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία και για τα υπόλοιπα 10 ζωντανά δένδρα. Για τα 11 νεκρά δένδρα οι κωδικοί ήταν παρόμοιοι με τα ζωντανά, με τη διαφορά ότι στο τέλος προστέθηκε το κεφαλαίο γράμμα N. Έτσι τα δείγματα των νεκρών δένδρων προσδιορίστηκαν με τους κωδικούς 1.1N, 1.2N κ.ο.κ. Στα δείγματα εκτός από τον κωδικό αναγράφονται το είδος (*Pinus halepensis*), η περιοχή μελέτης (Πεντέλη) και η ημερομηνία λήψης των δειγμάτων (14/9/2023).

Στη συνέχεια τα δείγματα λειάνθηκαν προσδευτικά (Φωτ. 5.3), στην αρχή με χονδρά γυαλόχαρτα (No 60, 80, 120) και μετά με λεπτά γυαλόχαρτα (No 220, 330, 400) έτσι ώστε να έχουμε όσο το δυνατό πιο ευκρινείς δακτυλίους (Παπαδόπουλος 2022). Η διαδικασία της λείανσης πραγματοποιήθηκε με τη στερέωση των δειγμάτων σε μέγγενη, ένα κάθε φορά, και τη χρήση παλμικού τριβείου που πάνω του τοποθετούνταν τα γυαλόχαρτα.



Φωτογραφία 5.2. Ξύλινα πηχάκια στα οποία έχουν κολληθεί τα τρυπανίδια



Φωτογραφία 5.3. Λείανση των τρυπανιδίων

5.3 Διασταυρούμενη χρονολόγηση

Η διασταυρούμενη χρονολόγηση (cross-dating) πραγματοποιήθηκε απευθείας στα δείγματα ξύλου με οπτική παρατήρηση και καταγραφή των χαρακτηριστικών των δακτυλίων σε ειδικό έντυπο. Αποτελεί την κλασική μέθοδο διασταυρούμενης χρονολόγησης που εφαρμόστηκε από τον θεμελιωτή της επιστήμης της δενδροχρονολογίας Douglass. Η παρατήρηση έγινε με τη

βοήθεια στερεοσκοπίου λόγω του λεπτού πλάτους των δακτυλίων (Φωτ. 5.4). Χάρη στη διασταυρούμενη χρονολόγηση (cross dating) μπορεί να προσδιοριστεί με ακρίβεια η χρονιά σχηματισμού του κάθε δακτυλίου. Αυτό επιτυγχάνεται με την αντιστοίχιση των μεταβολών στο πλάτος των δακτυλίων ή άλλων χαρακτηριστικών τους, όπως ψευδείς δακτυλίου ή μεταχρωματισμούς κ.α., μεταξύ δειγμάτων ξύλου του ίδιου δένδρου ή δένδρων της ίδιας περιοχής ή ακόμα και, σε περιπτώσεις παρόμοιων κλιματικών συνθηκών, δένδρων διαφορετικών περιοχών. Ανάλογες περιβαλλοντικές – κλιματικές συνθήκες προκαλούν ανάλογες διακυμάνσεις στο πλάτος και την εμφάνιση των δακτυλίων.



Φωτογραφία 5.4. Διασταυρούμενη χρονολόγηση δακτυλίων

Κατά τη διάρκεια της διασταυρούμενης χρονολόγησης, ακολουθώντας τη διαδικασία που εφαρμόζεται στο εργαστήριο δενδροχρονολογίας του Τμήματος, εντοπίζονται και καταγράφονται σε ειδικό έντυπο οι δακτύλιοι που ξεχωρίζουν από τους υπόλοιπους (χαρακτηριστικοί δακτύλιοι). Στο έντυπο καταγραφής στην αριστερή στήλη τοποθετούνται οι χρονολογίες, ενώ στην πρώτη οριζόντια σειρά οι κωδικοί αριθμοί των δειγμάτων (Φωτ. 5.5). Στις χρονολογίες με χαρακτηριστικούς δακτυλίου σημειώνονται τα εξής: ΛΟ=λεπτό όψιμο ξύλο, ΠΟ=παχύ όψιμο ξύλο, ΛΠ=λεπτό πρώιμο ξύλο, ΠΠ=παχύ πρώιμο ξύλο, Μ=μεταχρωματισμός, Ψ=ψευδής δακτύλιος και

E=ελλιπής δακτύλιος. Επίσης με το γράμμα A συμβολίζουμε τον τελευταίο σχηματισμένο – ολοκληρωμένο δακτύλιο (2022 για τα ζωντανά) και με το γράμμα T τον πρώτο δακτύλιο του δένδρου μετά την εντεριώνη. Η διασταυρούμενη χρονολόγηση επαναλήφθηκε ενιαία για το σύνολο των δένδρων (ζωντανών και νεκρών) και από δεύτερο άτομο του εργαστηρίου, σε βαθμό που να μην υπάρχουν αμφιβολίες για τη χρονολόγηση των δακτυλίων σε όλα τα δείγματα. Η διασταυρούμενη χρονολόγηση, ελέγχθηκε και κατά τη διάρκεια της μέτρησης των δακτυλίων με το σύστημα WinDendro καθώς και στατιστικά με τη βοήθεια του προγράμματος Cofecha, όπως περιγράφεται παρακάτω.

Φωτογραφία 5.5. Έντυπο καταγραφής χαρακτηριστικών δακτυλίων κατά τη διασταυρούμενη χρονολόγηση

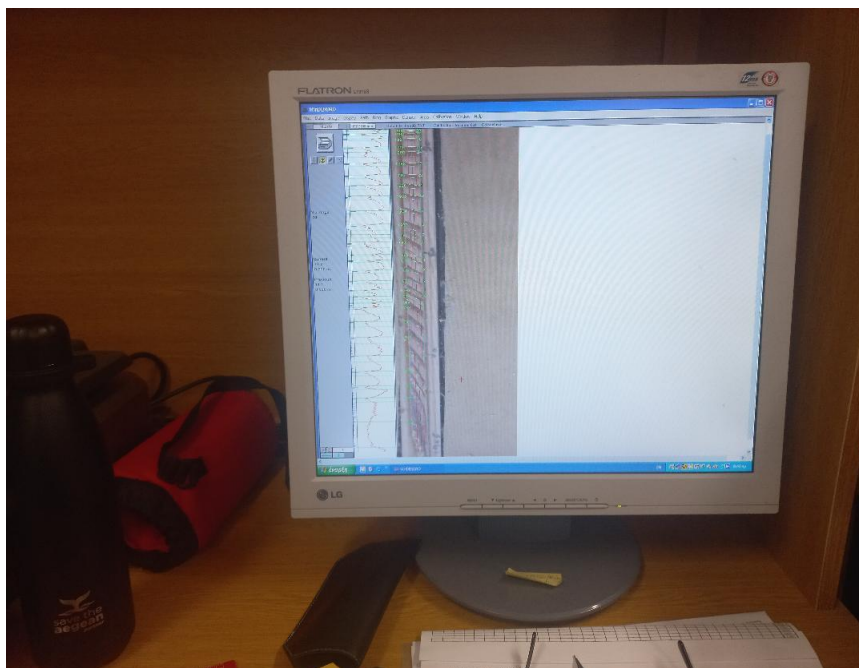
5.4 Μέτρηση πλάτους δακτυλίων

Η μέτρηση του πλάτους των δακτυλίων έγινε σε χιλιοστά του χιλιοστού με τη χρήση του προγράμματος WinDendro και τα αποτελέσματα εξάγονται σε ειδικό του προγράμματος αρχείο το οποίο στη συνέχεια μετατρέπεται σε αρχείο μορφής Tuscson (αρχείο δενδροχρονολογίας). Το πρόγραμμα WinDendro είναι ένα σύστημα ανάλυσης εικόνας που έχει τη δυνατότητα αυτόματου εντοπισμού των δακτυλίων, του πρώιμου και όψιμου ξύλου και της φαινομενικής πυκνότητας, ενώ μπορεί να διορθώνει τυχόν λάθη σε σύγκριση με δείγματα αναφοράς (Régant 2007). Με τη βοήθεια ενός σαρωτή (scanner) (Φωτ. 5.6) το πρόγραμμα δημιουργεί μια ψηφιακή εικόνα του δείγματος

στην οθόνη του υπολογιστή μέσα από την οποία εντοπίζει και καταγράφει με αυτόματο τρόπο τους δακτυλίους (Φωτ. 5.7). Βέβαια σε κάποιες περιπτώσεις χρειάστηκε να παρέμβουμε για να διορθώσουμε λάθη που έχει κάνει το πρόγραμμα στον εντοπισμό των δακτυλίων. Για την αποφυγή λαθών στην ταυτοποίηση των ετών χρησιμοποιήθηκαν οι σημειωμένοι δακτύλιοι με μολύβι ανά δεκαετία που υπήρχαν πάνω στα δείγματα από όταν έγινε η οπτική παρατήρηση κατά τη διάρκεια της διασταυρούμενης χρονολόγησης. Επιπλέον της μέτρησης, μεταξύ πολλών άλλων επιλογών, επιτρέπει τον εντοπισμό των ελλειπόντων δακτυλίων και την αφαίρεση ψευδών δακτυλίων των δειγμάτων, αλλά και τη δυνατότητα πραγματοποίησης της διασταυρούμενης χρονολόγησης με τη μέθοδο του σκελετικού διαγράμματος (skeleton plot), αλλά και στατιστικού ελέγχου της αποτελεσματικότητας της διασταυρούμενης χρονολόγησής τους (Παπαδόπουλος 2022).



Φωτογραφία 5.6. Σάρωση των δειγμάτων με το σύστημα WinDendro



Φωτογραφία 5.7. Εντοπισμός και μέτρηση του πλάτους δακτυλίων με το σύστημα WinDendro

Από τη μέτρηση των πλατών των δακτυλίων προέκυψαν τόσες χρονοσειρές όσες και τα δείγματα. Αυτές οι χρονοσειρές ονομάζονται στοιχειώδεις (single curves). Από το μέσο όρο των δύο στοιχειωδών χρονοσειρών κάθε δένδρου προέκυψαν οι ατομικές χρονοσειρές (averaged growth chronologies) των δένδρων (Παπαδόπουλος 2022). Από αυτές κατασκευάστηκαν οι καμπύλες του πλάτους των ετησίων δακτυλίων για κάθε δένδρο, και για τα ζωντανά και για τα νεκρά δένδρα, ώστε να διερευνηθούν οι τάσεις αύξησης. Από το μέσο όρο του συνόλου των στοιχειωδών χρονοσειρών δημιουργήθηκε η μέση χρονολογία σταθμού (site chronology) για κάθε μια από τις 2 ομάδες δένδρων (ζωντανά και νεκρά), η οποία χρησιμοποιείται για τη διερεύνηση της αυξητικής συμπεριφοράς των δένδρων.

5.5 Στατιστικές μέθοδοι ανάλυσης

Για τον έλεγχο της διασταυρούμενης χρονολόγησης, τον υπολογισμό των δενδροχρονολογικών στατιστικών παραμέτρων και τον υπολογισμό των σχέσεων κλίματος-αύξησης χρησιμοποιήθηκαν τα προγράμματα COFECHA και ARSTAN από το πακέτο Dendro Program Library (DPL) του Πανεπιστημίου της Αριζόνα (εργαστήριο Tree-ring Research) που διατίθεται ελεύθερα καθώς επίσης και προγράμματα από το πακέτο Programs in Paleoclimatology: Prediction of the Hiatus and Analysis of the Linkages between the Observations and the Series (PPHALOS) που

είναι ελεύθερα διαθέσιμο στο εργαστήριο του Τμήματος Δασολογίας και Διαχείρισης Φυσικού Περιβάλλοντος στο Καρπενήσι. Όλα τα παραπάνω προγράμματα είναι σε περιβάλλον DOS.

Το πρόγραμμα COFECHA από το πακέτο DPL είναι ένα πρόγραμμα υπολογιστή που είναι γραμμένο σε ANSI standard Fortran – 77 (Holmes 1983, Grissino-Mayer 2001) και προσφέρει πληθώρα λειτουργιών για την εφαρμογή της διασταυρούμενης χρονολόγησης (cross dating) καθώς επίσης και ένα μεγάλο εύρος στατιστικών αναλύσεων που αφορούν στη δημιουργία παλινδρόμησης και συσχέτισεων. Το πρόγραμμα αυτό χρησιμοποιεί τεχνικές συσχέτισης σε τμήματα των χρονοσειρών με σκοπό την εκτίμηση της ποιότητας της διασταυρούμενης χρονολόγησης στις μετρήσεις των χρονοσειρών. Η εισαγωγή των δεδομένων των χρονοσειρών στο πρόγραμμα γίνεται με αρχείο μορφής κειμένου (txt) και παρέχονται επιλογές για το φιλτράρισμά τους. Στα αποτελέσματα ελέγχεται η ποιότητα της διασταυρούμενης χρονολόγησης με βάση τα προβλήματα που εντοπίζονται στα διάφορα τμήματα των χρονοσειρών που εξετάζονται και το συντελεστή συσχέτισης της κάθε χρονοσειράς με τη μέση χρονοσειρά.

Το πρόγραμμα ARSTAN χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των δενδροχρονολογικών στατιστικών παραμέτρων και για τη δημιουργία των δεικτών των δακτυλίων μέσα από μια διαδικασία φιλτραρίσματος των δεδομένων με προσαρμογή των καμπυλών και αυτοσυσχέτιση των δεδομένων με βάση επιλογές διαφόρων μοντέλων που μας παρέχει το πρόγραμμα. Από αυτό το πρόγραμμα μπορούν να προκύψουν δείκτες με βάση την καμπύλη προσαρμογής των δεδομένων, καθώς επίσης και δείκτες που έχουν τη μορφή υπολειμματικών δεδομένων μετά από μια διαδικασία αυτοσυσχέτισης. Μια σειρά προγραμμάτων από το πακέτο PPPHALOS χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία των δεδομένων των χρονοσειρών (Guiot 1990), ενώ πιο ειδικά προγράμματα όπως το GALCPC για την ανάλυση σε κύριες συνιστώσες των χρονοσειρών και το CALROB για τον υπολογισμό των σχέσεων κλίματος – αύξησης πλάτους των ετησίων δακτυλίων.

Για τον υπολογισμό των σχέσεων απόκρισης χρησιμοποιήθηκαν, τα μηνιαία κλιματολογικά δεδομένα της περιόδου 1951-2022 του μετεωρολογικού σταθμού Θησείου του Αστεροσκοπείου Αθηνών. Τα κλιματικά στοιχεία που χρησιμοποιούνται είναι οι μηνιαίες βροχοπτώσεις και οι μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες της παραπάνω περιόδου και αναφέρονται στο υδρολογικό έτος, δηλαδή για την περίοδο από Οκτώβριο του προηγούμενου έτους μέχρι και το Σεπτέμβριο του επόμενου έτους που κατά κανόνα ισχύει για δενδροκλιματολογικές εφαρμογές στην περιοχή της λεκάνης της Μεσογείου (Παπαδόπουλος 1999).

6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

6.1 Δενδροχρονολογικά στατιστικά

Με βάση τον στατιστικό έλεγχο της διασταυρούμενης χρονολόγησης με το πρόγραμμα COFECHA, διαπιστώθηκε ότι στο σύνολο των 22 στοιχειωδών χρονοσειρών των ζωντανών δένδρων δεν παρουσιάζονται πιθανά σφάλματα (flags) και ο συντελεστής συσχέτισης της κάθε χρονοσειράς με την μέση χρονοσειρά είναι πολύ υψηλός. Αντίστοιχα για τα νεκρά δένδρα, στο σύνολο των 22 στοιχειωδών χρονοσειρών εμφανίζονται 4 πιθανά σφάλματα (flags), όμως με συντελεστές συσχέτισης της κάθε χρονοσειράς με την μέση χρονοσειρά σχετικά σημαντικές έως σημαντικές. Για το λόγο αυτό και στις δυο περιπτώσεις για το σχηματισμό της μέσης χρονοσειράς ελήφθη το σύνολο των στοιχειωδών χρονοσειρών.

Οι μέσες χρονοσειρές των πλατών των δακτυλίων της χαλεπίου πεύκης που κατασκευάστηκαν για την περιοχή μελέτης καλύπτουν μια περίοδο 72 ετών (1951-2022) για τα ζωντανά δένδρα και 71 ετών (1951-2021) για τα νεκρά δένδρα (Πίνακας 6.1). Πρόκειται για ώριμες μέσης ηλικίας ομήλικες συστάδες που προέκυψαν πιθανώς από φυσική αναγέννηση και οι οποίες δεν έχουν δεχθεί δασοκομικές επεμβάσεις καθώς βρίσκονται εκτός δασικής διαχείρισης (Φωτ. 6.1). Στην ουσία είναι τμήματα στα όρια μίξης δάσους – οικισμών.



Φωτογραφία 6.1. Συστάδα χαλεπίου πεύκης της περιοχής μελέτης με πυκνό υπόροφο

Από τη χρονολόγηση των δακτυλίων των δειγμάτων των 11 νεκρών δένδρων χαλεπίου πεύκης προκύπτει ότι, 3 άτομα νεκρώθηκαν από το τέλος της Άνοιξης μέχρι το τέλος του Καλοκαιριού του έτους 2020, ενώ 8 άτομα νεκρώθηκαν από το τέλος της Άνοιξης μέχρι το τέλος του Καλοκαιριού του έτους 2022 (Φωτ. 6.2).



Φωτογραφία 6.2. Νεκρό δένδρο χαλεπίου πεύκης στην περιοχής μελέτης. Στο βάθος διακρίνεται ο λόφος Αστεροσκοπείου όπως φαίνεται από τη θέση δειγματοληψίας. Στην κορυφή του διακρίνονται ο θόλος του Αστεροσκοπείου και δεξιά του οι εγκαταστάσεις του ΙΕΠΒΑ/ΕΑΑ

Τα περιγραφικά δενδροχρονολογικά στατιστικά στοιχεία των δεδομένων των πλατών των δακτυλίων των ζωντανών και νεκρών δένδρων φαίνονται στον πίνακα 6.1. Το μέσο πλάτος δακτυλίων των ζωντανών δένδρων είναι 1.65 mm, ενώ των νεκρών δένδρων 1.30 mm, με τυπική απόκλιση 0.96 και 0.82 mm. Η μέση ευαισθησία είναι 0.31 και 0.37 για τα ζωντανά και νεκρά δένδρα αντίστοιχα και ο συντελεστής αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης 0.73 και 0.66, αντίστοιχα (-0.02 και -0.09 για τους δείκτες). Για τα δεδομένα των δεικτών των πλατών των δακτυλίων, η μέση συσχέτιση μεταξύ όλων των χρονοσειρών είναι 0.46 για τα ζωντανά και 0.37 για τα νεκρά δένδρα, η μέση συσχέτιση των χρονοσειρών με τη μέση χρονοσειρά είναι 0.66 για τα ζωντανά και 0.63 για τα νεκρά δένδρα, το εκφρασμένο από τον πληθυσμό σήμα (EPS) είναι 0.94 για τα ζωντανά και 0.92 για τα νεκρά δένδρα και η αναλογία του σήματος προς τον θόρυβο (SNR) είναι 16.17 για τα ζωντανά και 11.27 για τα νεκρά δένδρα.

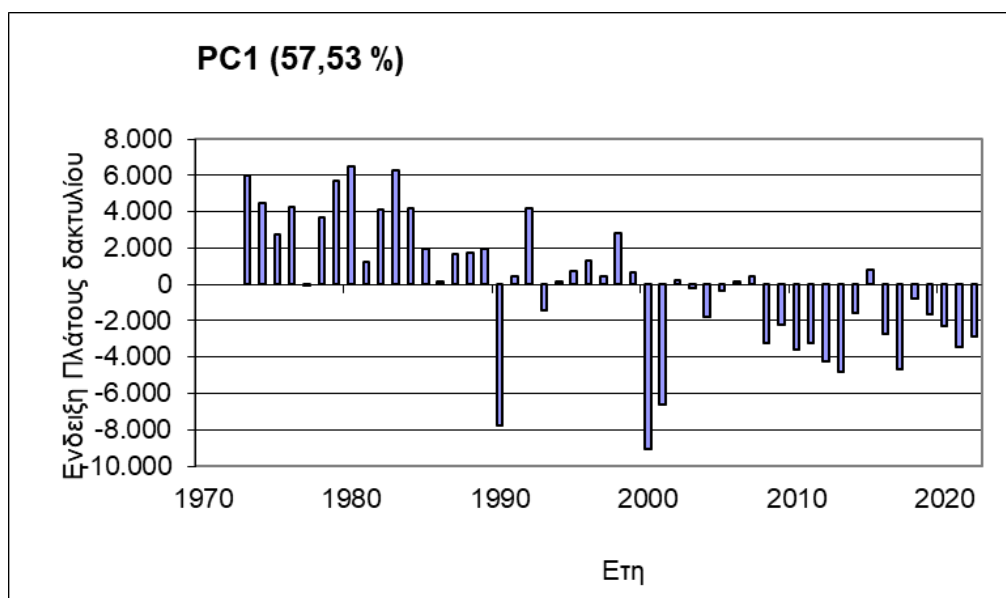
Πίνακας 6.1. Στατιστικά χρονοσειρών πλατών δακτυλίων ζωντανών και νεκρών δένδρων. Τα στατιστικά με αστεράκι αφορούν δείκτες πλατών δακτυλίων.

	Ζωντανά δένδρα	Νεκρά δένδρα
Αριθμός δένδρων (τρυπανίδια)	11 (22)	11 (22)
Περίοδος μέσης χρονοσειράς	1951-2022	1951-2021
Μήκος χρονοσειράς (έτη)	72	71
Μέσο πλάτος δακτυλίου (mm)	1.65	1.30
Τυπική απόκλιση	0.96	0.82
Μέση ευαισθησία	0.31	0.37
Αυτοσυσχέτιση πρώτης τάξης	0.73	0.66
Μέση συσχέτιση μεταξύ όλων των τρυπανιδίων *	0.46	0.37
Μέση συσχέτιση με τη μέση χρονοσειρά *	0.66	0.63
Εκφρασμένο σήμα πληθυσμού (EPS) *	0.94	0.92
Λόγος του σήματος προς τον θόρυβο (SNR) *	16.17	11.27

Από τα δενδροχρονολογικά στατιστικά φαίνεται ότι τα νεκρά δένδρα παρουσιάζουν σημαντικά μικρότερο μέσο πλάτος δακτυλίου από ότι τα ζωντανά δένδρα γεγονός που δείχνει μια μικρή υστέρηση στην αύξηση, καθώς και μεγαλύτερη μέση ευαισθησία στο κλίμα όπως αυτό φαίνεται από τον μεγαλύτερο συντελεστή μέσης ευαισθησίας. Επίσης τα νεκρά δένδρα παρουσιάζουν λίγο μικρότερους μέσους συντελεστές συσχέτισης μεταξύ των στοιχειωδών χρονοσειρών (τρυπανιδίων) και με τη μέση χρονοσειρά, γεγονός που δείχνει ένα λιγότερο ομοιογενές σήμα της ομάδας αυτής δένδρων. Αυτό πιθανώς ερμηνεύεται από μια πιθανή εξασθένηση των δένδρων αυτής της ομάδας λόγω και της πιο αδύναμης αύξησης που παρουσιάζουν. Το εκφρασμένο από τον πληθυσμό σήμα (EPS) ξεπερνά σημαντικά το όριο του 0,85 (Wigley et al. 1984) και στις δυο ομάδες δένδρων, γεγονός που καθιστά τις χρονοσειρές αποδεκτές για δενδροκλιματολογική χρήση. Τέλος, η αναλογία του σήματος προς τον θόρυβο (SNR) που είναι μεγαλύτερη στα ζωντανά δένδρα από ότι στα νεκρά, δείχνει ότι ένα μεγάλο μέρος της μεταβλητότητας των δακτυλίων εκτός από τους κλιματικούς παράγοντες ερμηνεύεται και από άλλους παράγοντες που επηρεάζουν τη συστάδα.

Βασικοί χαρακτηριστικοί δακτύλιοι οι οποίοι εντοπίστηκαν από τη φάση της διασταυρούμενης χρονολόγησης είναι το 1990 και 2000, πολύ λεπτοί δακτύλιοι με λεπτό πρώιμο ξύλο, το 2001 με λεπτό όψιμο και το 2002 και 2018 με παχύ όψιμο ξύλο. Να σημειωθεί ότι το 2018, χρονιά με παχύ όψιμο ξύλο σε όλα τα δείγματα (ζωντανά και νεκρά) χαρακτηρίζεται ως έτος με υψηλή θερινή βροχόπτωση. Με βάση τα βροχομετρικά δεδομένα του Μ/Σ Πεντέλης για το 2018, την περίοδο Ιουνίου – Σεπτεμβρίου, καταγράφεται 468,2mm βροχής. Από την ανάλυση σε κύριες

συνιστώσες των 22 χρονοσειρών των πλατών των δακτυλίων επαληθεύεται η βαρύτητα των λεπτών χαρακτηριστικών δακτυλίων των ετών 1990 και 2000 στη διαμόρφωση της συνολικής διακύμανσης του 1^{ου} παραγοντικού άξονα. Ο πρώτος άξονας (PC1) ερμηνεύει το 57,53 % της συνολικής διακύμανσης που αποδίδεται κατά κανόνα στο κλίμα (Σχήμα 6.1).

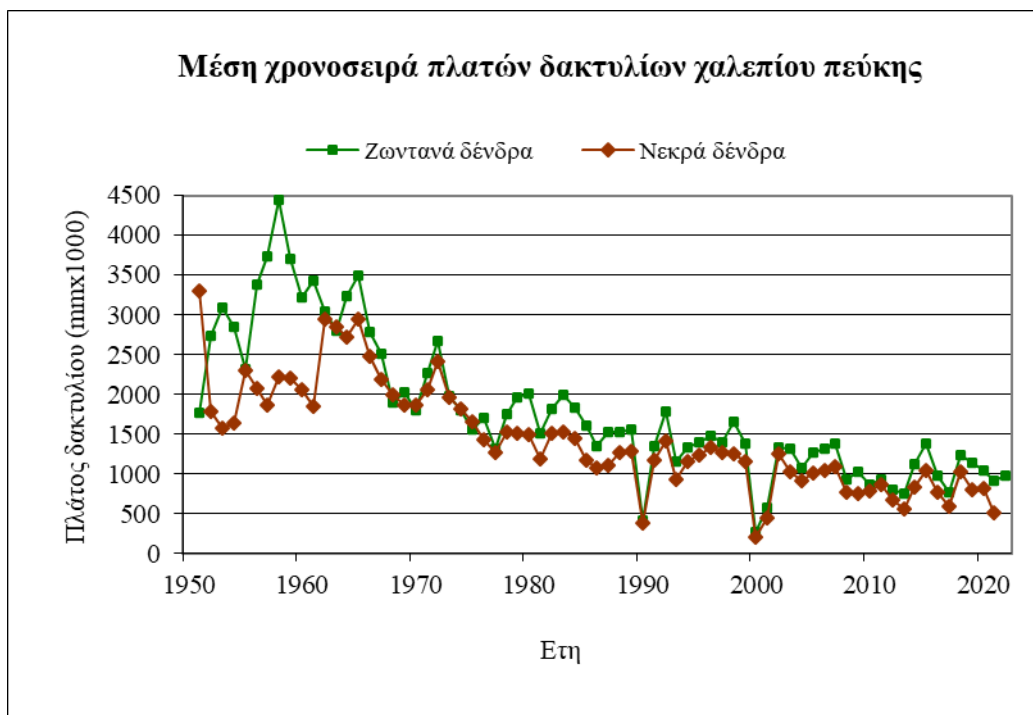


Σχήμα 6.1. Διάγραμμα του βάρους των ετών στον 1^ο άξονα (PC1) της ανάλυσης σε κύριες συνιστώσες των 22 στοιχειωδών χρονοσειρών των ζωντανών δένδρων (θετική τιμή πλατύς δακτύλιος, αρνητική στενός δακτύλιος)

6.2. Διερεύνηση της κατά πλάτος αύξησης

Τα διαγράμματα των μέσων χρονοσειρών των πλατών των δακτυλίων των ζωντανών και νεκρών δένδρων δείχνουν την αυξητική συμπεριφορά των δένδρων (Σχήμα 6.2). Ο ρυθμός της κατά πλάτος αύξησης είναι ανάλογος και στις δυο ομάδες δένδρων με εξαίρεση την πρώτη περίοδο της νεότητας, όπου συνήθως τα δένδρα διαμορφώνουν μια πιο ατομική συμπεριφορά αύξησης. Όμως πέρα από ομοιογένεια στο ρυθμό που είναι λογικό, καθώς τα δένδρα βρίσκονται στην ίδια περιοχή, το πλάτος των δακτυλίων των νεκρών δένδρων υπολείπεται σε σχέση με αυτό των ζωντανών σχεδόν σε όλη τη διάρκεια της εξεταζόμενης περιόδου ζωής τους. Καθώς τα δένδρα είναι της ίδιας συστάδας πιθανώς αυτά που νεκρώθηκαν να είχαν διαφορετική κοινωνική θέση με πιο έντονο ανταγωνισμό για θρεπτικά στοιχεία και νερό. Από την τάση των καμπυλών των δύο ομάδων δένδρων δεν φαίνεται κάποια διαφοροποίηση και στις δύο περιπτώσεις η πορεία αύξησης ακολουθεί την τάση ηλικίας όπως αυτή διαμορφώνεται τυπικά σε ένα ομήλικο δάσος. Πιθανώς τα ήδη εξασθενημένα δένδρα λόγω της μικρότερης αύξησης, ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια και η

καταπόνηση τους από τις υψηλές θερμοκρασίες και την έλλειψη βροχοπτώσεων της θερινής περιόδου σε συνδυασμό με τη μείωση των βροχοπτώσεων τους μήνες Οκτώβριο, Νοέμβριο, Δεκέμβριο και Φεβρουάριο κατά τη διάρκεια της τελευταίας δεκαετίας να οδήγησε στη δευτερογενή προσβολή τους από έντομα και μύκητες και στην άμεση νέκρωση τους μέσα σε λίγα χρόνια.



Σχήμα 6.2. Διαγράμματα των μέσων χρονοσειρών των πλατών των δακτυλίων των ζωντανών και νεκρών δένδρων

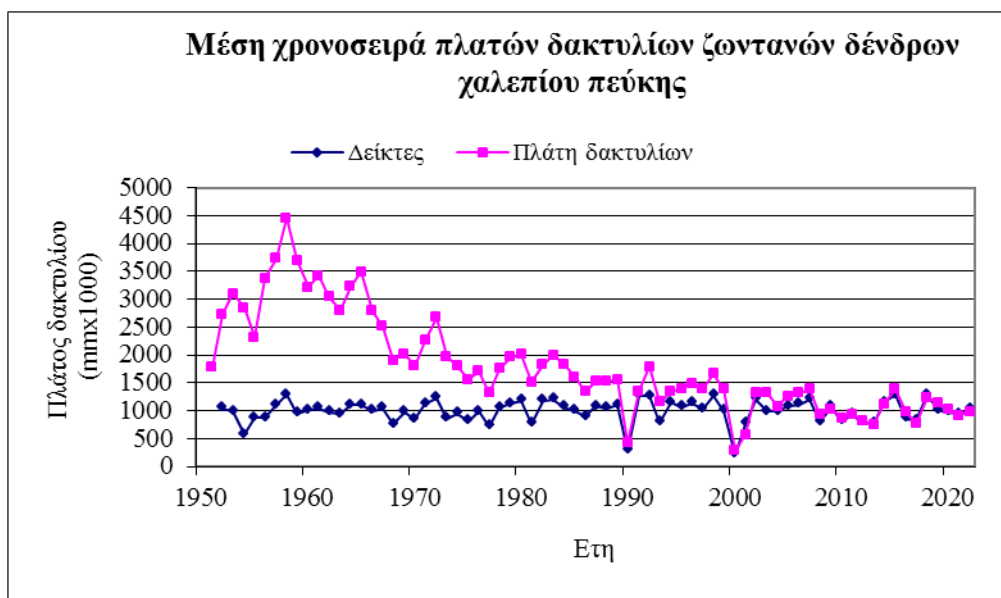
Στα δένδρα που νεκρώθηκαν παρατηρείται μια σημαντική μείωση του πλάτους του δακτυλίου τα τελευταία περίπου 10 έτη πριν τη νέκρωση, γεγονός που θεωρείται ένα πρόδρομο σημάδι (Cailleret et al. 2019) της εξέλιξης αυτής των ήδη εξασθενημένων δένδρων. Μάλιστα στην εξεταζόμενη συστάδα χαλεπίου πεύκης υπάρχει μια προοδευτική μείωση της κατά πλάτους αύξησης (δηλαδή του πλάτους του δακτυλίου) εδώ και αρκετές δεκαετίες. Μάλιστα στην τελευταία δεκαετία γίνεται μικρότερη ακόμη και από 1 mm στα δένδρα που νεκρώθηκαν αλλά και σε κάποιο βαθμό και στα ζωντανά δένδρα, γεγονός που τα θέτει σε καθεστώς εξασθένησης και υποψήφια για μελλοντική νέκρωση. Συχνά, πριν από τη νέκρωση των δένδρων, παρατηρείται μια περίοδος ετών από 1-100 έτη, όπου μειώνεται ή και μηδενίζεται το πλάτος του δακτυλίου (Bigler et al. 2004, Papadopoulos et al. 2007, 2011, Cailleret et al. 2016). Η νέκρωση των εξασθενημένων δένδρων εντείνεται τα έτη όπου έχουμε έντονη και παρατεταμένη ξηρασία, όπως για παράδειγμα το έτος

2022, όπου 8 από τα 11 νεκρωμένα δένδρα στην εξεταζόμενη συστάδα νεκρώθηκαν το έτος αυτό, ενώ και το 2021 ήταν μια χρονιά με πολύ έντονη θερινή ξηρασία για την περιοχή μελέτης.

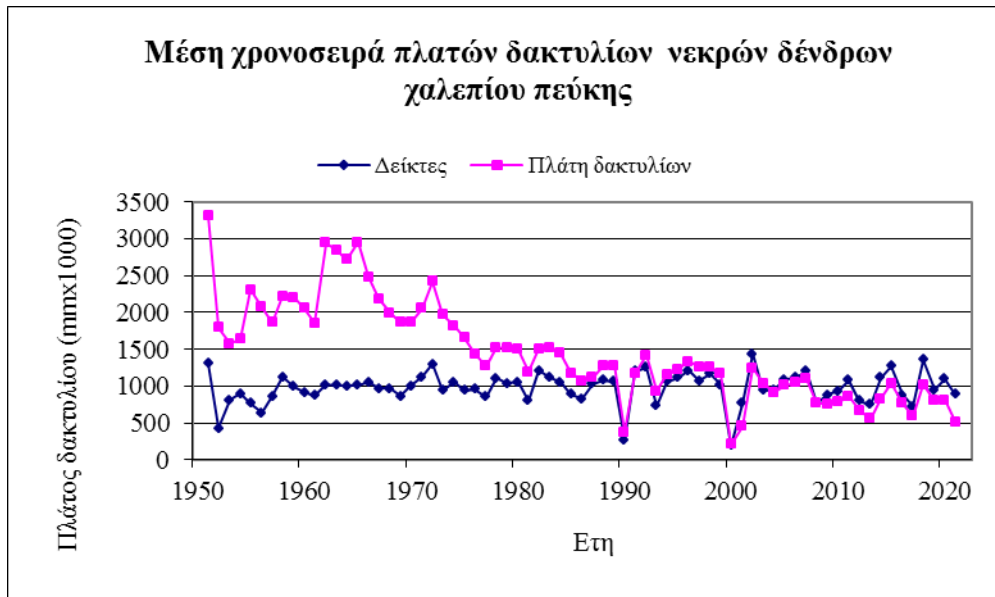
Ανάλογα φαινόμενα νέκρωσης δένδρων παρατηρούνται τα τελευταία χρόνια και στα ελατοδάση της χώρας μας με βασική αιτία να είναι πρωτογενώς η κλιματική αλλαγή, με την αρνητική επίδραση της ξηρασίας και των υψηλών θερμοκρασιών της θερινής περιόδου (Paradopoulos et al. 2007, Παπαδόπουλος και συν. 2011, Σωτηρίου 2020) που οδηγεί στη συνέχεια στη δευτερογενή προσβολή τους από φυλλοφάγα και φλοιοφάγα έντομα και άλλα παθογόνα και τελικά στη νέκρωση τους.

6.3. Σχέσεις κλίματος – αύξησης

Από τη μετατροπή των αρχικών δεδομένων των πλατών των δακτυλίων των ζωντανών και νεκρών δένδρων σε δείκτες, με βοήθεια του προγράμματος ARSTAN, προέκυψαν δεδομένα απαλλαγμένα από την τάση ηλικίας ή άλλες μη κλιματικές επιδράσεις (Σχήμα 6.3 και Σχήμα 6.4).

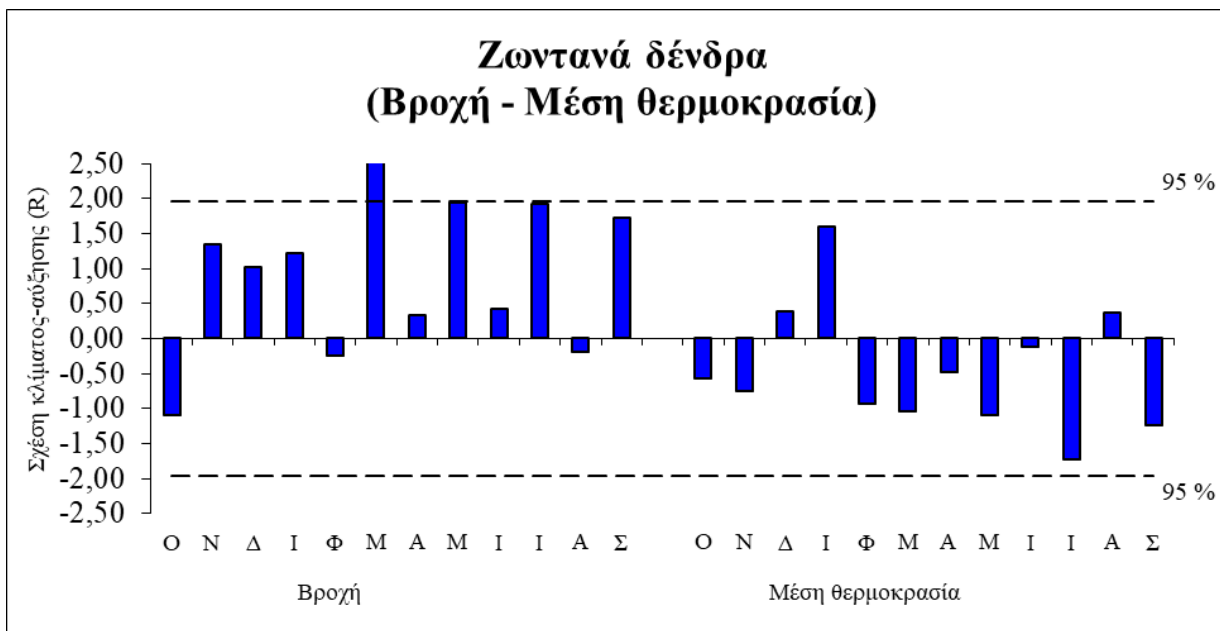


Σχήμα 6.3. Μέση χρονοσειρά πλατών δακτυλίων και δεικτών των ζωντανών δένδρων

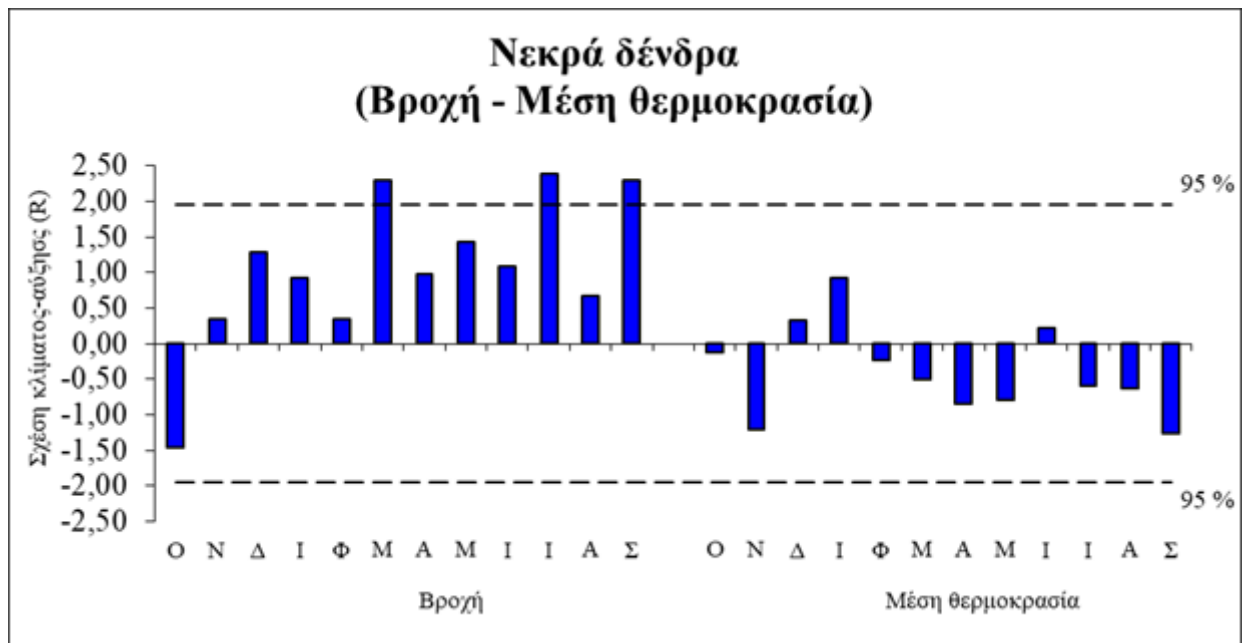


Σχήμα 6.4. Μέση χρονοσειρά πλατών δακτυλίων και δεικτών των νεκρών δένδρων

Τα δεδομένα αυτά (δείκτες) συσχετίσθηκαν με τις 24 μηνιαίες κλιματικές παραμέτρους (βροχή και θερμοκρασία). Τα αποτελέσματα των σχέσεων κλίματος – πλάτους δακτυλίων για τα ζωντανά και νεκρά δένδρα φαίνονται αντίστοιχα στα σχήματα 6.5 και 6.6.



Σχήμα 6.5. Προφίλ της σχέσης απόκρισης του πλάτους των δακτυλίων των ζωντανών δένδρων με 24 κλιματικές παραμέτρους (μηνιαία βροχόπτωση και μέση μηνιαία θερμοκρασία). Η διακεκομμένη γραμμή δείχνει το επίπεδο σημαντικότητας στο 95 %, $R=r/s$, r = μέσος συντελεστής συσχέτισης, s = μέση τυπική απόκλιση (για 50 επαναλήψεις)



Σχήμα 6.6. Προφίλ της σχέσης απόκρισης του πλάτους των δακτυλίων των δένδρων που νεκρώθηκαν με 24 κλιματικές παραμέτρους (μηνιαία βροχόπτωση και μέση μηνιαία θερμοκρασία). Η διακεκομμένη γραμμή δείχνει το επίπεδο σημαντικότητας στο 95 %, $R=r/s$, r = μέσος συντελεστής συσχέτισης, s = μέση τυπική απόκλιση (για 50 επαναλήψεις)

Από την ανάλυση του προφίλ των σχέσεων απόκρισης φαίνεται ότι υπάρχει μια σημαντικά στατιστική σχέση και για τις δυο ομάδες δένδρων για κάποιους μήνες. Συγκεκριμένα τα ζωντανά παρουσιάζουν θετικές συσχετίσεις του πλάτους των δακτυλίων και τις βροχοπτώσεις του Μαρτίου, Μαΐου και Ιουλίου σε επίπεδο σημαντικότητας 95 % και άνω. Επίσης τα νεκρά δένδρα παρουσιάζουν επίσης θετικές συσχετίσεις του πλάτους των δακτυλίων και τις βροχοπτώσεις του Μαρτίου, Ιουλίου και Σεπτεμβρίου σε επίπεδο σημαντικότητας πάνω από 95 %.

Η θετική επίδραση των βροχοπτώσεων της εαρινής και θερινής περιόδου στην κατά πλάτος αύξηση της χαλεπίου πεύκης και στις δυο ομάδες δένδρων μπορεί να ερμηνευθεί από τη ζήτηση νερού των δένδρων για την αύξηση τους στην έναρξη και στη διάρκεια της βλαστητικής περιόδου (Papadopoulos et al. 2005, Papadopoulos et al. 2009). Ωστόσο να σημειώσουμε την ισχυρότερη συσχέτιση που παρατηρείται στα δένδρα που έχουν νεκρωθεί, γεγονός που δείχνει ότι ο παράγοντας βροχόπτωση είναι ακόμη πιο περιοριστικός στην αύξηση τους και η πρωτογενής αιτία για τη νέκρωση τους. Ανάλογες θετικές συσχετίσεις του πλάτους των ετησίων δακτυλίων με τις θερινές και εαρινές βροχοπτώσεις έχουν υπολογισθεί για την χαλέπιο πεύκη (Παπαδόπουλος 1999, Papadopoulos et al. 2001), και άλλα θερμομεσογειακά κωνοφόρα. Αντίθετα, με τις θερμοκρασίες δεν καταγράφονται σημαντικές στατιστικά συσχετίσεις ούτε με τα ζωντανά ούτε με τα νεκρά δένδρα. Ο κυρίαρχος ρόλος των κατακρημνισμάτων σε σχέση με τις θερμοκρασίες έχει

παρατηρηθεί και για άλλα είδη που αναπτύσσονται σε χαμηλό υψόμετρο (Fritts 1976, Schweingruber 1996).

Με βάση τις παραπάνω σχέσεις απόκρισης κλίματος- αύξησης της χαλεπίου πεύκης φαίνεται ότι η μείωση της βροχόπτωσης και αύξηση της θερμοκρασίας που αναμένεται για την Ελλάδα και τη Μεσόγειο λόγω της κλιματικής αλλαγής (IPCC 2007, Τράπεζα της Ελλάδος 2011), θα επηρεάσει αρνητικά στο μέλλον την αύξηση της χαλεπίου πεύκης. Αυτό θα έχει ως συνέπεια τη συνέχιση και αύξηση των νεκρώσεων δένδρων με ένταση ανάλογη με το σενάριο της κλιματικής αλλαγής το οποίο θα επικρατήσει.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η χαλέπιος πεύκη είναι ένα ανθεκτικό και ολιγαρκές είδος, με μεγάλο εύρος εξάπλωσης σε διάφορους τύπους βλάστησης και τύπους μεσογειακού βιοκλίματος. Ένα είδος, που με εξαίρεση τη νεαρή φάση όπου δεν υπάρχουν σπέρματα, αναγεννάται εύκολα με φυσικό τρόπο μετά από πυρκαγιά. Παρόλα αυτά όμως είναι ένα είδος που επηρεάζεται από την κλιματική αλλαγή και θα επηρεασθεί ακόμη περισσότερο στο μέλλον με την εξέλιξή της. Ήδη υπάρχουν στοιχεία γι' αυτό σε άλλες περιοχές της Μεσογείου και υποψίες ή υποθέσεις για τη χώρα μας.

Το κλίμα αλλάζει, αυτό προκύπτει από μελέτες σε παγκόσμιο επίπεδο αλλά και από τα κλιματικά στοιχεία που αναλύθηκαν στα πλαίσια της παρούσας μελέτης. Συγκρίνοντας κλιματικά δεδομένα των περιόδων 2000-2015 και 2013-2023 του Α/Σ και Μ/Σ Πεντέλης διαπιστώνουμε, με την επιφύλαξη σε ότι αφορά το μήκος των εξεταζόμενων περιόδων αναφοράς, παρόλο που χρησιμοποιήθηκαν όλα τα παρεχόμενα κλιματικά δεδομένα για την Πεντέλη, ότι η μέση ετήσια θερμοκρασία έχει αυξηθεί 0,8 °C (από 15,5 °C σε 16,3 °C), η μέση ετήσια μέγιστη θερμοκρασία 0,7 °C (από 19,6 °C σε 20,3 °C), η μέση ετήσια ελάχιστη θερμοκρασία 0,8 °C (από 12,6 °C σε 13,4 °C) και η μέση ελάχιστη τιμή του ψυχροτέρου μήνα (m) κατά 0,7 °C (από 4,6 °C σε 5,3 °C), καθώς και η μέση μέγιστη τιμή του θερμότερου μήνα (M) κατά 0,6 °C (από 30,3 °C σε 30,9 °C). Γενικότερα η μέση μηνιαία θερμοκρασία έχει αυξηθεί σε όλους τους μήνες, με το Φεβρουάριο να έχει αυξηθεί κατά 1,7 °C (από 6,9 °C την περίοδο 2000-2015 σε 8,6 °C την περίοδο 2013-2023). Άξιο αναφοράς είναι το γεγονός ότι τη μεγαλύτερη αύξηση της μέσης μέγιστης θερμοκρασίας παρουσιάζει ο Φεβρουάριος με 1,5 °C (από 10,4 °C σε 11,9 °C), ενώ τη μεγαλύτερη αύξηση της μέσης ελάχιστης θερμοκρασίας παρουσιάζει πάλι ο Φεβρουάριος με 1,7 °C (από 4,5 °C σε 6,2 °C). Ταυτόχρονα, το μήνα Φεβρουάριο διαπιστώθηκε η μεγαλύτερη μείωση της βροχόπτωσης (16,3mm), αν και τους

υπόλοιπους χειμερινούς μήνες (Ιανουάριο & Μάρτιο) παρατηρήθηκε μικρή αύξηση. Γενικότερα σε ότι αφορά τη βροχοπτώση φαίνεται ότι υπάρχει μια μικρή αύξηση των εαρινών και θερινών βροχοπτώσεων στην τελευταία περίοδο (2013-2023), η οποία όμως συνδυάζεται με μείωση των φθινοπωρινών βροχοπτώσεων και με την αύξηση της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια και των 4 εποχών του έτους, χωρίς έτσι να μειώνεται η ξηρασία. Όλα αυτά βέβαια πρέπει να επαληθευθούν για μεγαλύτερες περιόδους κλιματικών δεδομένων και για άλλες περιοχές.

Από την διερεύνηση της αυξητικής συμπεριφοράς και των νεκρώσεων δένδρων χαλεπίου πεύκης στην περιοχή με τη βοήθεια δενδροοικολογικών – δενδροκλιματολογικών τεχνικών φαίνεται ότι η προοδευτική μείωση του πλάτους των δακτυλίων, μάλιστα την τελευταία δεκαετία κάτω και από το όριο του 1 mm, αποτελεί τη βασική αιτία εξασθένησης των δένδρων τα οποία κάτω από τη μεγάλη διάρκεια και ένταση της ξηρασίας νεκρώνονται λόγω αδυναμίας στην πρόσληψη νερού και της προσβολής τους από ξυλοφάγα και φλοιοφάγα έντομα. Επαληθεύεται λοιπόν το συμπέρασμα ότι τα υπολοιπόμενα σε αύξηση δένδρα παρουσιάζουν μεγαλύτερη ευπάθεια στην κλιματική αλλαγή. Από τη διερεύνηση των σχέσεων κλίματος – αύξησης φαίνεται ότι η χαλέπιος πεύκη στην περιοχή μελέτης επηρεάζεται θετικά από τις βροχοπτώσεις της εαρινής και θερινής περιόδου. Η επίδραση αυτή είναι μεγαλύτερη στα εξασθενημένα δένδρα με τη μικρότερη κατά πλάτος αύξηση. Με την εξέλιξη της κλιματικής αλλαγής και την παρουσία όλο και πιο έντονης και παρατεταμένης ξηρασίας την εαρινή και θερινή περίοδο, ήδη εξασθενημένα δένδρα που είναι ακόμη ζωντανά θα οδηγούνται σε ξήρανση.

Έχοντας ως δεδομένο ότι μέρος των δασών χαλεπίου πεύκης στην Πεντέλη έχει ήδη χαθεί ή υποβαθμιστεί σε θαμνώδη βλάστηση εξαιτίας ενός συνδυασμού παραγόντων, όπως οι δασικές πυρκαγιές, ή οι νεκρώσεις δένδρων, παράγοντες που ενισχύονται από την κλιματική αλλαγή, αλλά και μια σειρά άλλων ανθρώπινων δραστηριοτήτων, όπως αλλαγές των χρήσεων γης με εκχέρωση δασών για οικοπεδοποίηση ή αγροτική γη, υπερεκμετάλλευση φυσικών πόρων κ.α. θα οδηγήσουν στην περαιτέρω μείωσή τους αν δεν ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα. Σε αυτή την κατεύθυνση βασικό ρόλο θα παίζει η εφαρμογή μιας ορθολογικής και προσαρμοσμένης στην κλιματική αλλαγή διαχείρισης των δασών αυτών.

8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Αγγελακόπουλος, Κ., Ορφανάκη, Ε., Αλυσσανδράκης, Ε. & Κολλάρος, Δ. (2010). Δεδομένα για τη μετακίνηση ενός φυτικού εχθρού (*Rhynchophorus ferrugineus*) προς ένα απειλούμενο φυτικό είδος (*Phoenix theophrasti*). *5ο Πανελλήνιο Συνέδριο Οικολογίας - «Οικολογικές διεργασίες στο χώρο και το χρόνο» Πάτρα 7 - 10 Οκτωβρίου 2010. Ελληνική Οικολογική Εταιρεία - Ελληνική Ζωολογική Εταιρεία - Ελληνική Βοτανική Εταιρεία. Σελ. 9.*
- Αθανασιάδης, Ν. (1986). Δασική Φυτοκοινωνιολογία. *Θεσσαλονίκη. Εκδόσεις Γιαχούδη – Γιαπούλη. σελ. 109.*
- Αριανούτσου, Μ. (1995). Τα κα(η)μένα Μεσογειακά οικοσυστήματα – προσπάθειες αποκατάστασης και απόπειρες βιασμού. *Νέα Οικολογία 133: 27-29.*
- Anagnou-Veroniki, M., Papaioannou-Souliotis, P., Karanastasi, E. & Giannopolitis, C.N. (2008). New records of plant pests and weeds in Greece, 1990-2007. *Hellenic Plant Protection Journal, 1 (2), 55-78.*
- Ayres, M. & Lombardero, M. (2000). Assessing the consequences of global change for forest disturbance from herbivores and pathogens. *Elsevier, Science of The Total Environment, 262 (3), 263-286.* [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(00\)00528-3](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(00)00528-3)
- Battisti, A. (2008). Forests and climate change - lessons from insects. *iForest - Biogeosciences and Forestry. 1 (1). 1-5.* <https://doi.org/10.3832/ifor0210-0010001>
- 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.*
- Βοτανική (2018). “*Pinus halepensis*”. *Ξυλώδη Είδη της Ελλάδας, votaniki.gr*
- Βοτανική (2018). “*Pinus brutia*”. *Ξυλώδη Είδη της Ελλάδας, votaniki.gr*
- Γεωργιάδης, Θ. (2004). Οικολογία Βλάστησης. *Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών.*
- Γιαννίτσaros, Α. (1982). Η επιγενής χλωρίδα της Ελλάδας, γενική θεώρηση. *Βοτ. Χρον. 2 (2): 159-166.*
- Γκουβάς, Μ. & Σακελλαρίου, Ν. (2011). Κλίμα και δασική βλάστηση της Ελλάδας. *Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών. Ινστιτούτο Ερευνών Περιβάλλοντος και Βιώσιμης Ανάπτυξης. Τεχνική Βιβλιοθήκη.*
- 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., Vollaiba, 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.* doi: [10.1111/gcb.13535](https://doi.org/10.1111/gcb.13535).
- Cailleret, M., Dakos, V., Jansen, S., Robert, E.M.R., Aakala, T., Mariano, M., Amoroso, M.M., Antos, J.A., Bigler, Ch., Bugmann, H., Caccianiga, M., Camarero, J.J., Cherubini, P., Coyea, M.R., Čufar, K., Das, A.J., Davi, H., Gea-Izquierdo, G., Gillner, S., Haavik, L.J., Hartmann, H., Heres, A.M.,

- Hultine, K.R., Janda, P., Kane, J.M., Kharuk, V.I., Kitzberger, Th., Klein, T., Levanic, T., Linares, J.C., Lombardi, F., Mäkinen, H., Mészáros, I., Metsaranta, J.M., Oberhuber, W., Papadopoulos, A., Petritan, A.M., Rohner, B., Sangüesa-Barreda, G., Smith, J.M., Stan, A.B., Stojanovic, D.B., Suarez, M.L., Svoboda, M., Trotsiuk, V., Villalba, R., Westwood, A.R., Wyckoff, P.H., 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>
- CABI (2021). *Mycosphaerella pini* (Dothistroma blight). *CABI Compendium.* <https://doi.org/10.1079/cabicompendium.49059>
- Caudullo, G., Welk, E. & San-Miguel-Ayanz, J. (2017). Chorological maps for the main European woody species. *Data in Brief, 12: 662-666. Elsevier.* <https://doi.org/10.1016/j.dib.2017.05.007>
- Chappelka, A.H. and Samuelson, L.J. (1998). Ambient ozone effects on forest trees of the eastern United States: a review. *New Phytologist, 139 (1), 91-108.* <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.1998.00166.x>
- Christensen, K.I. (1997). *Pinus L.* In: Strid A. & Tan K. (eds.), *Flora Hellenica 1: 4-9. Koeltz Scientific Books, Königstein.*
- Conifer Specialist Group (1998). *Pinus halepensis.* *IUCN Red List of Threatened Species. IUCN 2006.* <https://www.iucnredlist.org>
- Daget Ph. (1977a). Le bioclimat méditerranéen: Caractères généraux, modes de caractérisation. *Vegetatio, 34 : 1-20.*
- Daget Ph. (1977b). Le bioclimat méditerranéen: analyse des formes climatiques par le système d'Emberger. *Vegetatio 34 : 87-103.*
- Daskalakou, E. & Thanos, C. (2004). Postfire regeneration of Aleppo pine – the temporal pattern of seedling recruitment. *Plant Ecology, 171 (1): 81-89.* doi: [10.1023/B:VEGE.0000029375.93419.f9](https://doi.org/10.1023/B:VEGE.0000029375.93419.f9)
- Devillers, P. & Devillers-Terschuren, J. (1996). A classification of Palearctic habitats. *Nature and Environment, 78. Council of Europe Publishing, Strasbourg.*
- Diamandis, S. & de Kam, M. (1986). A severe attack of Scots pine by resin top disease in N. Greece. *European Journal of Forest Pathology, 16 (4), 247-249.* <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19861319611>
- Enright, N., Marsula, R., Lamont, B. & Wissel, C. (1998). The ecological significance of canopy seed storage in fire-prone environments: a model for non-sprouting shrubs. *Journal of Ecology. 86 (6), 946-959.* <https://doi.org/10.1046/j.1365-2745.1998.00312.x>
- Etheridge, D. M., Steele, L. P., Langenfelds, R. L., Francey, R. J., Barnola, J. M., and Morgan, V. I. (1998). Historical CO₂ Records from the Law Dome DE08, DE08-2, and DSS Ice Cores (1006 A.D.-1978 A.D). *Environmental System Science Data Infrastructure for a Virtual Ecosystem (ESS-DIVE).* <https://doi.org/10.3334/CDIAC/ATG.011>
- Fumagalli, I., Gimeno, B., Velissariou, D., De Temmerman, L. & Mills, G. (2001). Evidence of ozone-induced adverse effects on crops in the Mediterranean region. *Atmospheric Environment, Elsevier, 35 (14), 2583-2587.* <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1352231000004684>
- Fritts, H.C. (1976). *Tree-rings and climate. Academic Press, London, 567 pp.*

- 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 pp.*
- Grissino-Mayer, H.D. (2001). Evaluating Crossdating Accuracy: A Manual and Tutorial for the Computer Program COFECHA. *Tree-Ring Research* 57(2), 205–221.
- Gallis, A. (2007). Evaluation of the damage by insect *Marchalina hellenica* (Genn.) in eastern Attica, Greece. Conclusions for sustainable management of forest ecosystems. *Proceedings of the 10th International Conference on Environmental Science and Technology. Kos island, Greece, 5-7 September 2007.*
- Georgevits, R.P. (1969). Insects attacking the cones of Aleppo pine in Attica. *CABI Databases*. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19690500266>
- Goubitz, S., Nathan, R., Roitemberg, R., Shmida, A. & Ne'eman, G. (2004). Canopy seed bank structure in relation to: fire, tree size and density. *Plant Ecology*, 173, 191-201. <https://link.springer.com/article/10.1023/B:VEGE.0000029324.40801.74>
- Goudelis, G., Ganatsas, P., Spanos, I. & Karpi, A. (2004). Effect of repeated fire on plant community recovery in Penteli, central Greece. *Developments in Plant and Soil Sciences (103). Eco-and Ground Bio-Engineering: The Use of Vegetation to Improve Slope Stability*, 337-343. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4020-5593-5_33
- Goudelis, G., Ganatsas, P., Tsitsoni, T., Spanos, Y. & Daskalakou, E. (2008). Effect of two successive wildfires in *Pinus halepensis* stands of central Greece, *Web Ecol.*, 8, 30–34. <https://doi.org/10.5194/we-8-30-2008>
- Graniti, A. (1998). Cypress Canker: A Pandemic in Progress. *Annual Review of Phytopathology*, 36, 91-114. <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.36.1.91>
- Holmes, R.I. (1983). Computer-assisted quality control in tree ring dating and measurement. *Tree-Ring Bull.* 43, 69-78.
- Θάνος, Κ. (2000). Τα καμένα δάση της Ευρωστίνης. *Ευρωστινιακά Φύλλα*, 14: 52-59
- Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, ΙΓΜΕ (2001). Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδος. Φύλλο Κηφισιά. Κλίμακα 1:50.000
- 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.*
- Καϊλίδης, Δ. (1981). Δασικές πυρκαγιές. Δεύτερη Έκδοση. Θεσσαλονίκη.
- Καϊλίδης, Δ. (1985). Δασική παθολογία. Εκδόσεις Γιαχούδη-Γιαπούλη. Θεσσαλονίκη.
- Κορακάκη, Ε. (2010). Ελληνικά Δάση και Κλιματική Αλλαγή. In: Regato, P. & Κορακάκη, Ε. (Eds.) *Τα Μεσογειακά Δάση απέναντι στην Παγκόσμια Κλιματική Αλλαγή*, (2) 9-20. WWF Ελλάς.
- Karmezi, M., Bataka, A., Papachristos, D. & Avtzis, D. (2022). Nematodes in the Pine Forests of Northern and Central Greece. *MDPI, Insects*, 13 (2), 194. <https://doi.org/10.3390/insects13020194>
- Λιβανίου – Τηνιακού, Α. (1991). Βιοσυστηματική μελέτη του γένους *Viola sectio Viola* (Violaceae) στην Ελλάδα. Διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα.
- Λόζιος, Σ. (1993). Τεκτονική ανάλυση μεταμορφωμένων σχηματισμών βορειοανατολικής Αττικής.

Διδακτορική Διατριβή. Τμήμα Γεωλογίας. Πανεπιστήμιο Αθηνών. Αθήνα.
<https://www.didaktorika.gr/eadd/handle/10442/2925>

- Lenssen, N., Schmidt, G., Hansen, J., Menne, M., Persin, A., Ruedy, R. and Zyss, D. (2019). Improvements in the GISTEMP uncertainty model. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 124 (12), 6307-6326, NASA, doi:[10.1029/2018JD029522](https://doi.org/10.1029/2018JD029522). <https://pubs.giss.nasa.gov/abs/le05800h.html>
- Lepsius, R. (1893). *Geologie von Attica. Ein beitrage zur Lehre vom Metamorphismus der Gesteine. Berlin.*
- Marinos, G. (1948). Notes on the structure of Greek marbles. *American Journal of Science*, 246: 386-389.
- Μαρίνος, Γ. (1948). Μικροτεκτονικά έρευναι εν Αττική. *Πρ. Ακαδ. Αθηνών*, 23: 274-280.
- Μαρκάλας, Σ. (2011). Δασική εντομολογία. *Εκδόσεις Γιαχούδη*.
- Μαυρομάτης, Γ. (1978). Βιοκλιματικός Χάρτης της Ελλάδος. *Υπουργείο Γεωργίας, Ίδρυμα Δασικών Έρευνών Αθηνών, Τομέας Δασικής Σταθμολογίας*. <https://www.geogreece.gr/bio-clima.php>
- Μαυρομάτης, Γ. (1980). Το βιοκλίμα της Ελλάδος. Σχέσεις κλίματος και φυσικής βλάστησης, βιοκλιματικοί χάρτες. *Ι.Δ.Ε.Α., Αθήναι*.
- Μερτζάνης Α., Σκοτίδα Α., Ευθυμίου Γ., & Ζακυνθινός Γ. (2004). Temporal Evolution of the Environmental Situation (Geology - Geomorphology) and the Land Uses of Abandoned Quarries of the Mountain Pentelicon (Attica - Greece). *Bulletin of the Geological Society of Greece*, 36(1), 216–225. <https://doi.org/10.12681/bgsg.16624>
- Μιχόπουλος, Π. & Οικονόμου, Α. (2012). Το έδαφος στα δάση. In: *Το δάσος: Μια ολοκληρωμένη προσέγγιση*. Παπαγεωργίου, Α., Καρέτσος, Γ. & Κατσαδωράκης, Γ. (επιμ. έκδοσης), (6) 77 – 88. *WWF Ελλάς, Αθήνα*. ISBN: [978-960-7506-28-3](https://www.wwf.gr/978-960-7506-28-3)
- Moreira, F., Arianoutsou, M., Corona, P. & De las Heras, J. (2012). Post-Fire Management and Restoration of Southern European Forests. *Managing Forest Ecosystems*, 24, 329 p., Springer. DOI: [10.1007/978-94-007-2208-8_7](https://doi.org/10.1007/978-94-007-2208-8_7). <https://link.springer.com/book/10.1007/978-94-007-2208-8>
- Moreno, J.M. & Oechel, W.C. (2012). The role of fire in Mediterranean-type ecosystems. *Ecological Studies* 107. Springer-Verlag.
- Μπαλιούσης, Ε. (2011). Η Χλωρίδα και η Βλάστηση του όρους Πεντελικού (Ανατολική Αττική). *Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών. Τμήμα Βιολογίας. Διδακτορική Διατριβή*. <https://www.didaktorika.gr/eadd/handle/10442/26845>
- Nahal, I. (1962). Le Pin d'Alep (*Pinus halepensis* Miller). Etude taxonomique, phytogeographic, ecologique et sylvicole. *Annales de l'Ecole Nationale des Eaux et Forets (Nancy)*, 19 (4), 1-207.
- NASA (2023). July 2023 Was the Hottest Month on Record. *Earth Observatory*. <https://earthobservatory.nasa.gov/images/151699/july-2023-was-the-hottest-month-on-record>
- NASA (2023). Summer 2023 was the Hottest on Record. *Earth Observatory*. <https://earthobservatory.nasa.gov/images/151831/summer-2023-was-the-hottest-on-record>
- NASA (2023). The Ocean Has a Fever. *Earth Observatory*. <https://earthobservatory.nasa.gov/images/151743/the-ocean-has-a-fever>
- NASA (2024). NASA analysis confirms 2023 as warmest year on record. *NASA*

<https://www.nasa.gov/news-release/nasa-analysis-confirms-2023-as-warmest-year-on-record/>

- NASA (2024). Five-factors to explain the record heat in 2023. *Earth Observatory*. <https://earthobservatory.nasa.gov/images/152313/five-factors-to-explain-the-record-heat-in-2023>
- Naveh, Z. (1991). The role of fire in Mediterranean vegetation. *Botanika Chronika* 10: 385-405.
- NOAA (2024). Annual Greenhouse Gas Index. *Global Monitoring Laboratory, Earth System Research Laboratories, National Oceanic and Atmospheric Administration*. <https://gml.noaa.gov/aggi/>
- Ντάφης, Σ. (1973). Ταξινόμησης της δασικής βλαστήσεως της Ελλάδας. *Επιστ. Επετ. Γεωπ. Δασολ. Σχολής. Τόμος ΙΕ', τεύχος Β', Θεσσαλονίκη*.
- Ντάφης, Σ. (1986). Δασική Οικολογία. *Εκδόσεις Γιαχρούδη-Γιαπούλη, Θεσσαλονίκη*.
- Ντάφης, Σ., Παπαστεργιάδου, Ε., Λαζαρίδου, Ε. & Τσιαφούλη, Μ. (2001). Τεχνικός Οδηγός Αναγνώρισης, Περιγραφής & Χαρτογράφησης Τύπων Οικοτόπων της Ελλάδας. *Ελληνικό Κέντρο Βιοτόπων-Υγροτόπων (EKBY)*, 309-314. https://www.ekby.gr/ekby/el/ekby_home_el.html
- Ντάφης, Σ. (2010). Τα δάση της Ελλάδας. *Μουσείο Γουλανδρή Φυσικής Ιστορίας*. 192 σελ.
- Οργανισμός Ρυθμιστικού Σχεδίου και Προστασίας Περιβάλλοντος Αθήνας, ΟΡΣΑ (1999). Μελέτη αποκατάστασης ανενεργών λατομείων Πεντελικού. *Σχεδιασμός χρήσης γης ζώνης Ζ'. Αθήνα*.
- Οργανισμός Ρυθμιστικού Σχεδίου και Προστασίας Περιβάλλοντος Αθήνας, ΟΡΣΑ (2001). Μελέτη μορφολογικής και βλαστητικής αποκατάστασης ανενεργών λατομικών χώρων Πεντελικού. *Λατομεία Κοκκιναρά-Λ1. Αθήνα*.
- Παπαδόπουλος, Α. (1999). Σχέσεις κλίματος – πλάτους ετησίων δακτυλίων της χαλεπίου πεύκης (*Pinus halepensis* Mill.) στην Ελλάδα. *Γεωτεχνικά Επιστημονικά Θέματα, Τόμος 10, Σειρά II-Τεύχος 2, 191-200*.
- Παπαδόπουλος, Α.Μ. (2022). Δενδροχρονολογία (Σημειώσεις). *Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών. Τμήμα Δασολογίας και Διαχείρισης Φυσικού Περιβάλλοντος, Καρπενήσι. Π.Μ.Σ. "Οικολογία και Διαχείριση Περιβάλλοντος", Νοέμβριος 2022*.
- Παπαδόπουλος, Α.Μ. (2023). Κλιματική αλλαγή και Μεσογειακά οικοσυστήματα (Σημειώσεις). *Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών. Τμήμα Δασολογίας και Διαχείρισης Φυσικού Περιβάλλοντος, Καρπενήσι. Π.Μ.Σ. "Οικολογία και Διαχείριση Περιβάλλοντος", Φεβρουάριος 2023*.
- Papadopoulos, A.M. (2013). Resin Tapping History of an Aleppo Pine Forest in Central Greece. *The Open Forest Science Journal*, 6, 50-53. DOI: [10.2174/1874398601306010050](https://doi.org/10.2174/1874398601306010050)
- Papadopoulos, A., Barbero, M., Quezel, P. (2003). Caractérisation climatique et bioclimatique de l'aire de répartition du pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) en Grèce; l'action du climat sur la dynamique de ses populations. *Ecologia Mediterranea Tom. 29, fascicule 1, 27-37*.
- 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*.
- Παπαδόπουλος, Α., Ραυτογιάννης, Ι., Παντέρα, Α. (2011). Διερεύνηση της αυξητικής συμπεριφοράς και των σχέσεων κλίματος-αύξησης στη νέκρωση των ελατοδασών. *Πρακτικά 15ου Πανελληνίου Δασολογικού Συνεδρίου, Καρδίτσα 2011. Ελληνική Δασολογική Εταιρεία, 360-*

367.

- Papadopoulos, A. (2016). Tree-ring patterns and climate response of Mediterranean fir populations in Central Greece. *Dendrochronologia*, 40, 17-25. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2016.05.005>
- Papadopoulos, A., Serre-Bachet, F. & Tessier, L. (2001). Tree ring to climate relationships of Aleppo pine (*Pinus halepensis* Mill.) in Greece. *Ecologia Mediterranea*, 27, 89-98. https://www.persee.fr/doc/ecmed_0153-8756_2001_num_27_1_1908
- Papadopoulos, A., Tolika, K., Pantera, A. & Maheras, P. (2009). Investigation of the annual variability of the Aleppo pine tree-rings width: The relationships with the climatic conditions in the Attica basin. *Global NEST Journal*, 11 (4), 583-592.
- Papadopoulos, A.M., Pantera, A., Goudelis, G., Raftogiannis, I., Stamatopoulos, E. and Vergos S., (2005). Sensitivity of tree rings of Aleppo pine (*Pinus halepensis* Mill.) to climatic conditions for the period 1960-2003 at the basin of Attica, In: *Forest and Water, Proceedings of the 12th Forest Scientific Society Congress held in Drama, Greece*
- Παπαδόπουλος, Α. (2023). Μετεωρολογία – Κλιματολογία. Σημειώσεις Εργαστηρίου. *Τμήμα Δασολογίας και Διαχείρισης Φυσικού Περιβάλλοντος, Γ.Π.Α., 43 σελ.*
- Πουλής, Γ., Κακούρος, Π., Καψάλης, Δ., Χρυσοπολίτου, Β. (2021). Πληροφοριακό δελτίο τύπου οικοτόπου 9540 στην Ελλάδα. Έργο *ForestLife - Οικοδόμηση συνεργασιών, ανάπτυξη δεξιοτήτων και ανταλλαγή γνώσεων για τα δάση του Δικτύου Natura 2000 στην Ελλάδα.*
- Quezel P. (1980). Biogéographie et écologie des conifères sur le pourtour méditerranéen. In : *Pesson, Actualités d'Ecologie Forestière, Bordas Edit. Paris : 205-256.*
- Régant Inc (2007). Windendro 2008a. For Tree-Ring Analysis. *Régant Instruments Inc, Québec Canada, 132p.*
- Regato, P. (2008). Adapting to Global Change: Mediterranean Forests. *International Union for Conservation of Nature and Natural Resources.* <https://iucn.org/resources/publication/adapting-global-change-mediterranean-forests>
- Regato, P. (2010). Τάσεις Παγκόσμιας Θέρμανσης. *Τα Μεσογειακά Δάση απέναντι στην Παγκόσμια Κλιματική Αλλαγή, (3) 23-28. WWF Ελλάς.*
- San-Miguel-Ayanz, J., de Rigo, D., Caudullo, G., Houston Durrant, T. & Mauri, A. (2016). European Atlas of Forest Tree Species. *Publication Office of the European Union, Luxembourg.* ISBN: 978-92-79-52833-0. DOI: [10.2788/038466](https://doi.org/10.2788/038466) <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC98076>
- Sandermann, H., Wellburn, A.R. & Heath, R.L. (1997). Forest Decline and Ozone. *Ecological Studies*, 173, 369-377. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-59233-1_11
- Schweingruber, F. H., 1996. Tree Rings and Environment. Dendroecology. *Birmensdorf, Swiss Federal Insitute for Forest, Snow and Landscape Research. Haupt. pp. 609*
- Σεπετζή, Ε. (2014). Εκτίμηση χωρικής κατανομής κλιματικών δεικτών στην περιοχή της Αττικής. *Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Αθήνα.*
- Σταματελάτος, Μ. & Βάμβα-Σταματελάτου, Φ. (2006). Γεωγραφικό Λεξικό της Ελλάδας. *Αθήνα: Ερμής. σελ. 233*
- Skarmoutsos, G. & Michalopoulos-Skarmoutsos, H. (2000). Pathogenicity of *Bursaphelenchus sexdentati*, *Bursaphelenchus leoni* and *Bursaphelenchus hellenicus* on European pine

seedlings. *Forest Pathology*, 30 (3), 149-156. <https://doi.org/10.1046/j.14390329.2000.00198.x>

Strid, A. & Tan, K. (1997). *Flora Hellenica. Koeltz Scientific Books. Konigstein.*

Σωτηρίου Χ. (2020). Διερεύνηση της νέκρωσης δένδρων ελάτης στην περιοχή Γοριανάδων – Καρπενησίου, *Μεταπτυχιακή Διατριβή, Γενικό Τμήμα – Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών*, 53 σελ.

Τράπεζα της Ελλάδος (2011). Περιβαλλοντικές, οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην Ελλάδα, 470 σελ.

Τσόπελας, Π. & Καρανικόλα, Π. (2012). Υγεία των δασικών οικοσυστημάτων. In: *Το δάσος: Μια ολοκληρωμένη προσέγγιση. Παπαγεωργίου, Α., Καρέτσος, Γ. & Κατσαδωράκης, Γ. (επιμ. έκδοσης), (4) 173-186. WWF Ελλάς, Αθήνα. ISBN: 978-960-7506-28-3*

Tsopelas, P. (1999). Distribution and ecology of *Armillaria* species in Greece. *European Journal of Forest Pathology*, 29 (2), 103-116. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0329.1999.00139.x>

Tsopelas, P. & Korhonen, K. (1996). Hosts and distribution of the intersterility groups of *Heterobasidion annosum* in the highlands of Greece. *European Journal of Forest Pathology*, 26 (1), 4-11. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0329.1996.tb00705.x>

Velissariou, D., Davison, A.W., Barnes, J.D., Pfirmann, T., Maclean, D.C. & Holevas, C.D. (1992). Effects of air pollution on *Pinus halepensis* (Mill.): pollution levels in Attica, Greece. *Atmospheric Environment. Part A. General Topics, Elsevier*, 26 (3), 373-380. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/096016869290323D>

Vennetier, M., Vila, B., Liang, E.Y., Guibal, F., Ripert, C. & Chandieux, O. (2005). Impacts du changement climatique sur la productivité forestière et le déplacement d'une limite bioclimatique en région méditerranéenne française. *Ingénieries eau-agriculture -territoires*, 44, 49-61. <https://hal.science/hal-00601077/>

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.

WWF Ελλάς (2009). Το αύριο της Ελλάδας: επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην Ελλάδα κατά το άμεσο μέλλον. *Εθνικοί Δρυμοί. Αθήνα, Σεπτέμβριος 2009.*

Xenopoulos, S.G. (1990). Screening for resistance to cypress canker (*Seiridium cardinale*) in three Greek provenances of *Cupressus sempervirens*. *European Journal of Forest Pathology*, 20 (3), 140-147. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0329.1990.tb01124.x>

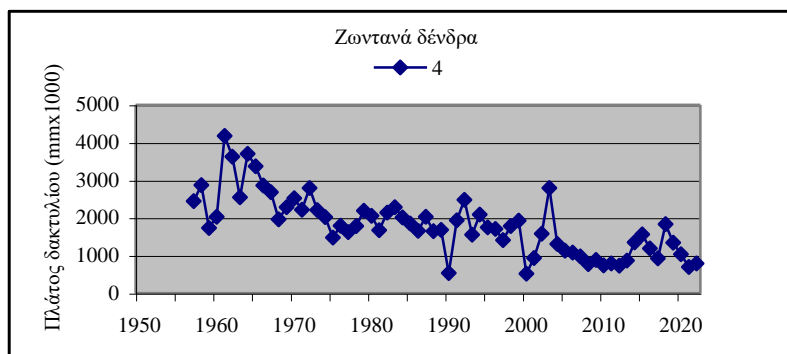
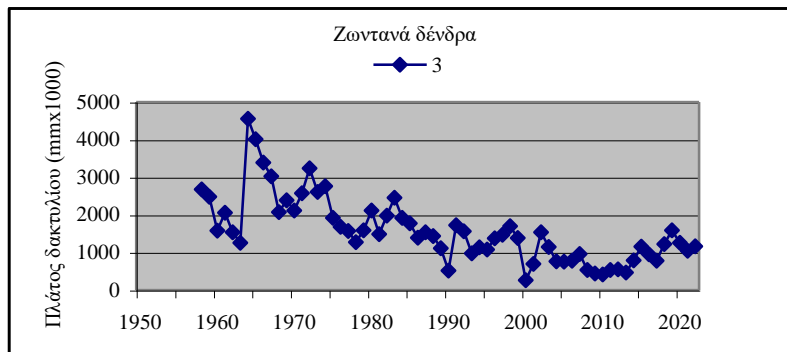
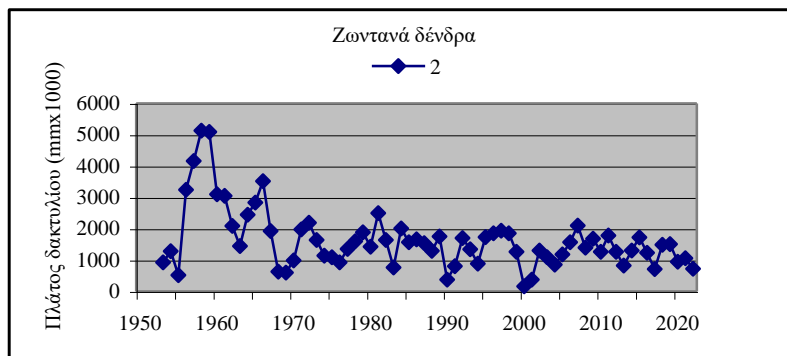
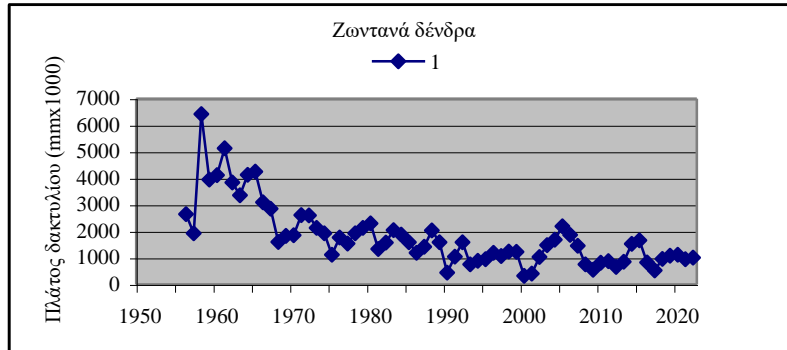
Χάρτης εξάπλωσης και εύρους εξάπλωσης τύπου οικοτόπου 9540. http://www.biodiversity-info.gr/images/DOCUM/3rd_Art17_Report/Habitat_types/terrestrial/maps/9540_map.pdf

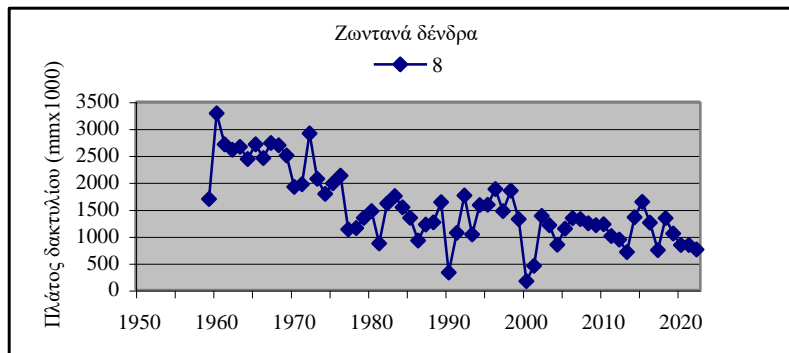
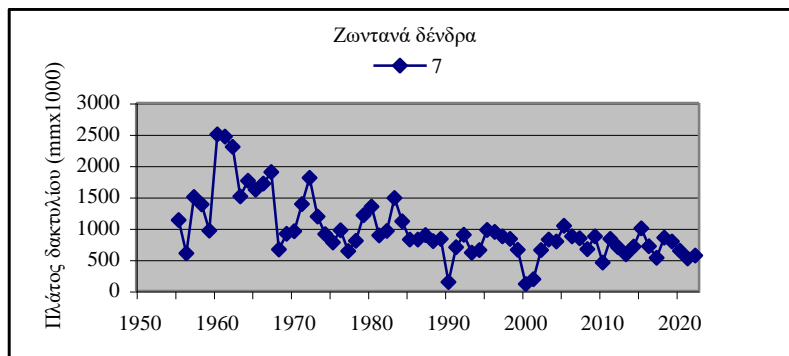
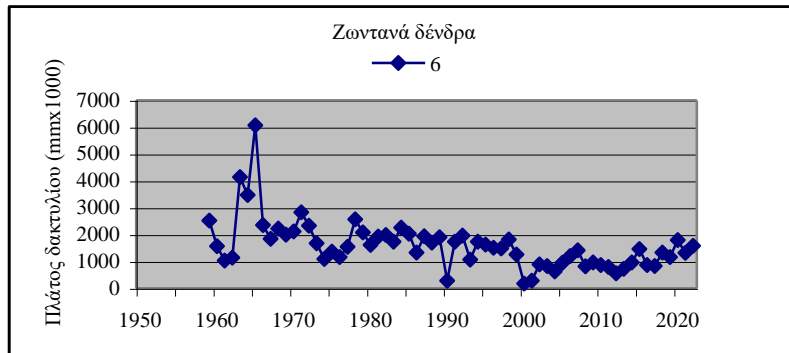
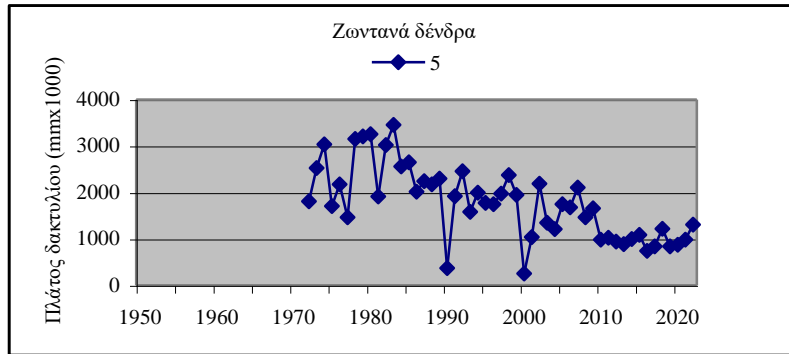
Χάρτης Πεντελικού όρους (2020). Η Πεντέλη σε χάρτες. *Η Πεντέλη μας.* <https://www.epentelimas.gr/index.php/chartes/>

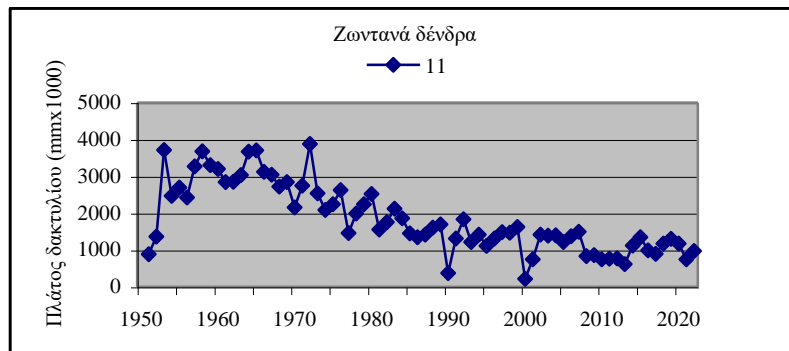
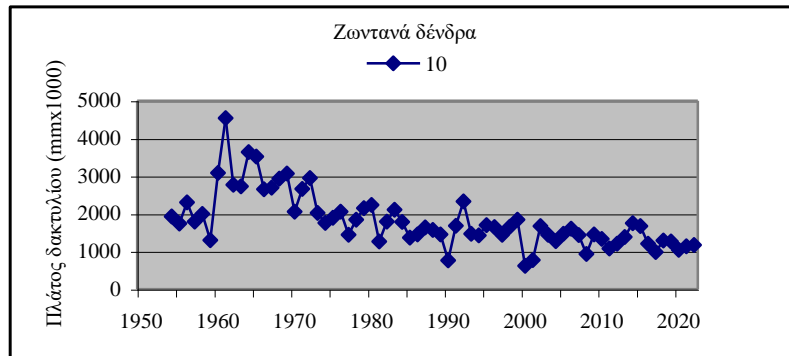
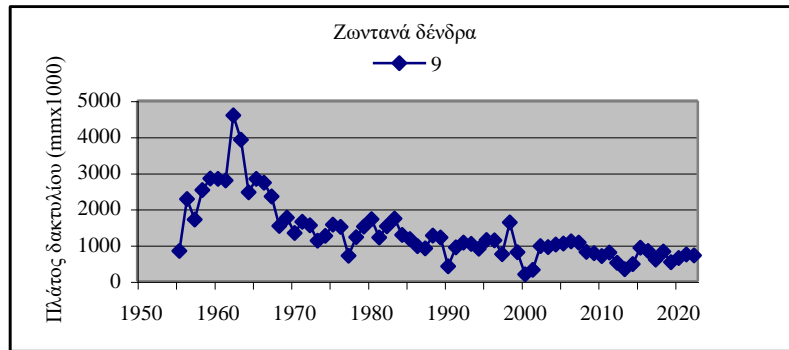
<https://www.giss.nasa.gov/>

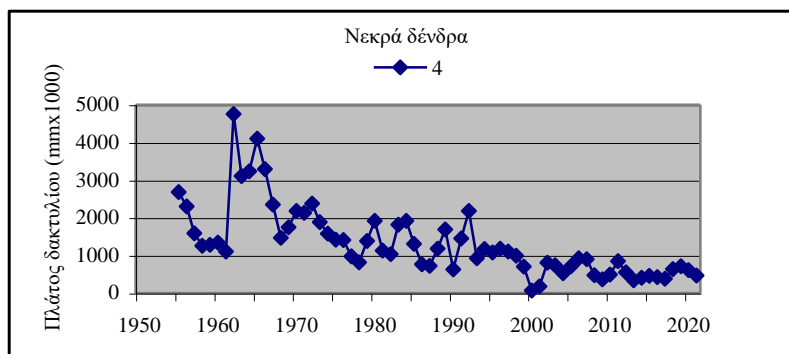
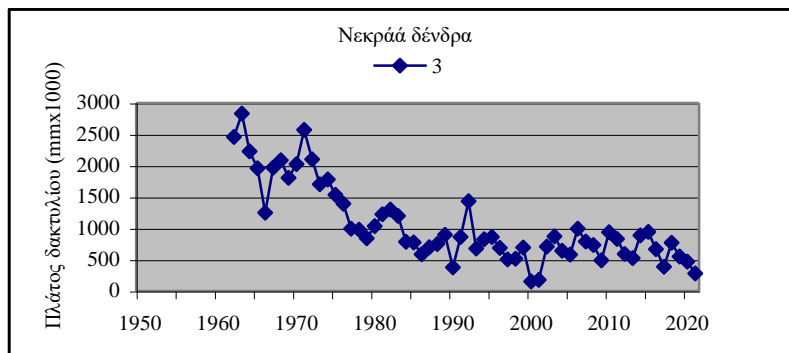
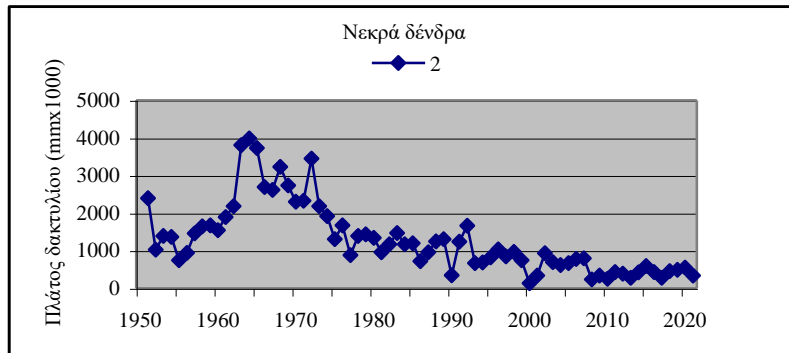
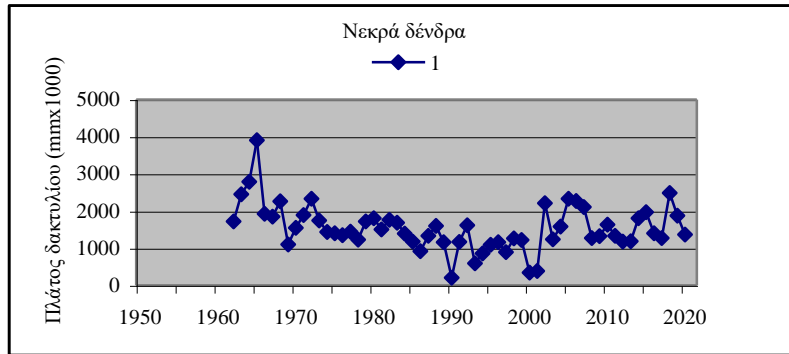
https://data.giss.nasa.gov/gistemp/graphs_v4/

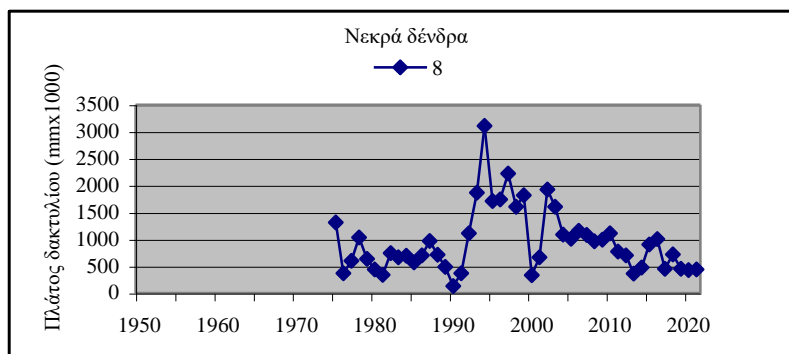
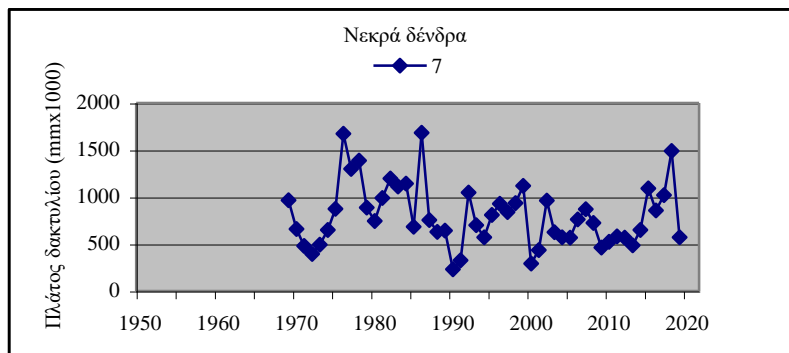
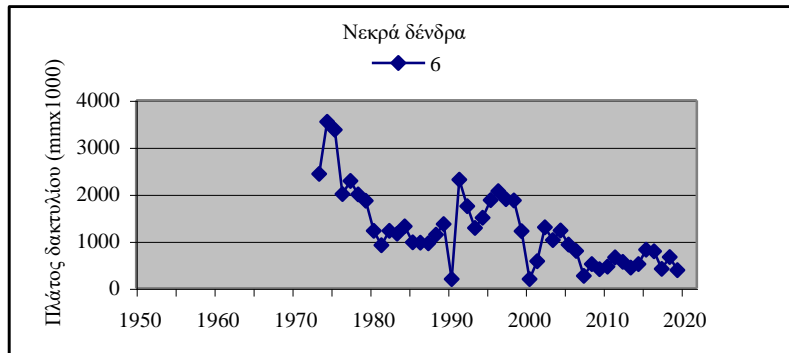
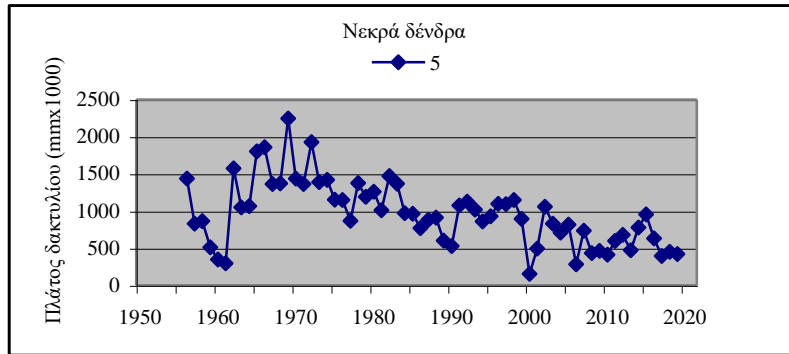
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

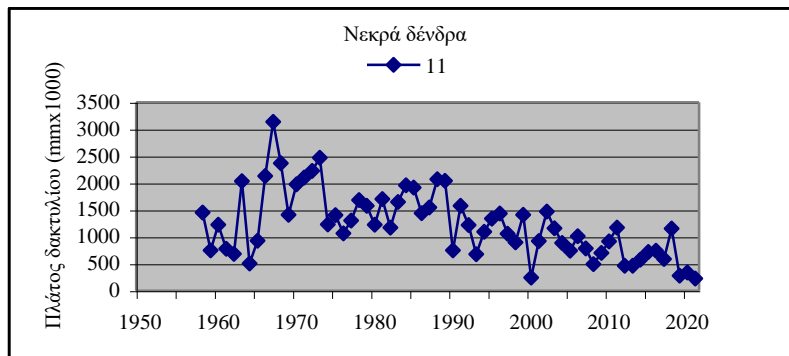
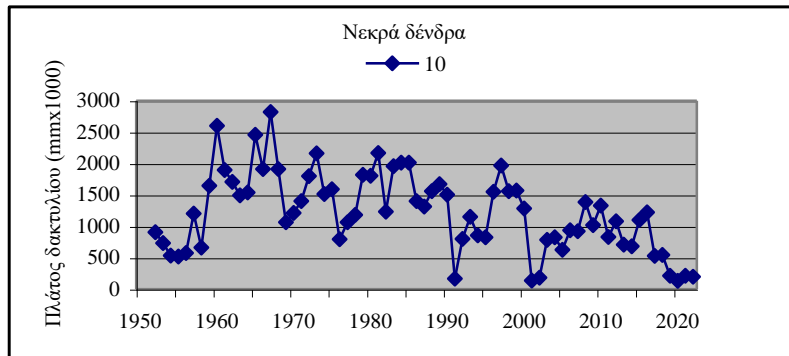
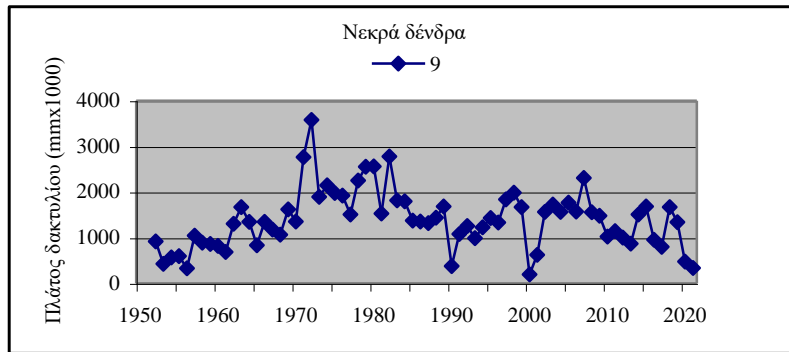
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1: Καμπύλες πλατών δακτυλίων για τα ζωντανά και νεκρά δένδρα











ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2: Φωτογραφίες από την περιοχή μελέτης



Φωτογραφία Παραρτήματος 2.1. Πανοραμική άποψη της Παλαιάς και Νέας Πεντέλης από το ύψωμα Κατσουλιέρης στο Πεντελικό όρος. Ο πρώτος λόφος που διακρίνεται αριστερά είναι ο λόφος Αστεροσκοπείου. Πίσω και δεξιά από το Αστεροσκοπείο διακρίνεται ο λόφος Πατήματος (περιοχή μελέτης). Στο βάθος εκτείνεται το λεκανοπέδιο της Αθήνας.

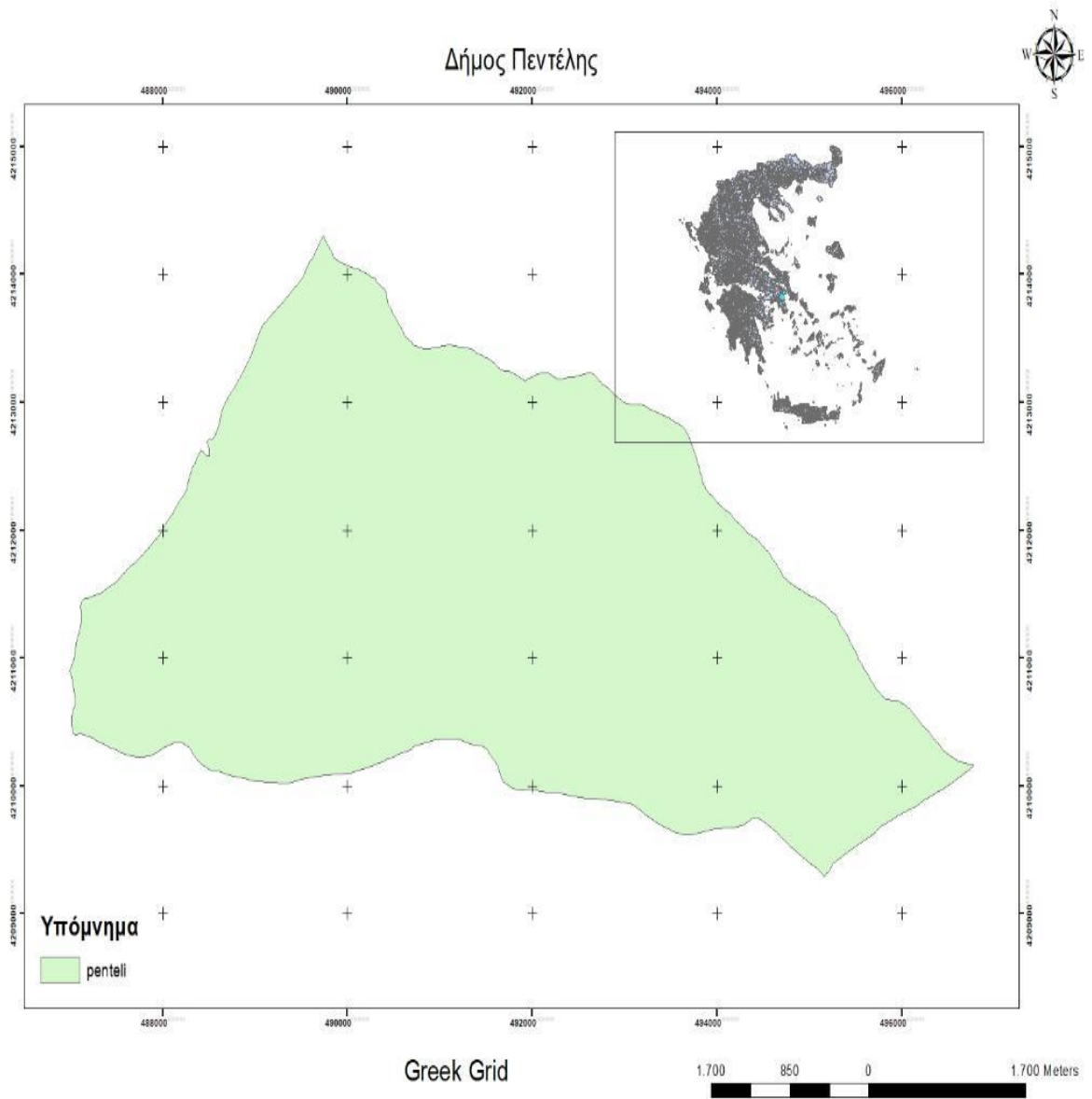


Φωτογραφία Παραρτήματος 2.2. Πανοραμική άποψη της περιοχής μελέτης (λόφος Πατήματος) από το ύψωμα του Προφήτη Ηλία στη Νέα Πεντέλη. Στο βάθος εκτείνεται το λεκανοπέδιο της Αθήνας. Το βουνό στο βάθος αριστερά, πίσω από το λόφο Πατήματος, είναι ο Υμηττός.



Φωτογραφία Παραρτήματος 2.3. Λήψη φωτογραφίας από τη θέση δειγματοληψίας με έκθεση A-BA. BA διακρίνεται η κορυφή του Πεντελικού όρους Πυργάρι (1108m) και A διακρίνεται η κορυφή του λόφου Αστεροσκοπείου (512m) με το θόλο του ΕΑΑ. Δεξιά της κορυφής Πυργάρι διακρίνονται τα ανενεργά λατομεία μαρμάρου

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3: Χάρτης Δήμου Πεντέλης



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 4: Πίνακες κλιματολογικών δεδομένων

Πίνακας Παραρτήματος 3.1. Μ/Σ Νέας Φιλαδέλφειας (ΕΜΥ) για την περίοδο 1955-2010

Μήνας	Μέση μηνιαία θερμοκρασία (°C)	Μέση μέγιστη μηνιαία θερμοκρασία (°C)	Μέση ελάχιστη μηνιαία θερμοκρασία (°C)	Μέση μηνιαία σχετική υγρασία %	Μέσο μηνιαίο ύψος υετού (mm)
1	8,8	12,6	5,4	74,4	53,9
2	9,3	13,6	5,5	72	43
3	11,3	16	6,9	68,4	41,8
4	15,3	20,3	9,9	61,7	28,5
5	21	26,2	14,2	53,4	20,5
6	26	31,4	18,7	45,7	9,1
7	28,3	33,8	21,3	42,9	7
8	27,8	33,6	21,2	45,4	6,7
9	23,4	29,2	17,6	54,6	19,4
10	18,4	23,5	13,8	66,1	48,8
11	13,7	18,1	10	74,5	61,9
12	10,2	14,1	6,9	76,2	71,2

Πίνακας Παραρτήματος 3.2. Ακτινομετρικός σταθμός Πεντέλης (ΙΕΠΒΑ/ΕΑΑ) για την περίοδο 2000-2015

Month	AirTemp (oC)	MAX AirTemp (oC)	MAX AirTemp (oC)	MIN AirTemp (oC)	MIN AirTemp (oC)	Rel Hum (%)	Precipitatio n (mm)	Precipitatio n (mm)	Precipitatio n (mm)
	AVG per Month	AVG per Month	MAX of Period	AVG per Month	MIN of Period	AVG per Month	AVG of Monthly SUM	MAX of Monthly SUM	MIN of Monthly SUM
1	6,8	9,91	19,2	4,57	-8,4	80,1	75,5	191,4	8,0
2	6,9	10,36	18,8	4,47	-10,1	78,3	73,0	248,8	16,0
3	9,7	13,55	27,6	6,90	-4,1	72,7	48,8	128,4	6,0
4	13,0	17,16	26,9	9,79	0,6	66,5	31,7	67,6	0,6
5	18,2	22,69	32,3	14,89	6,8	59,0	25,8	101,4	0,0
6	22,6	27,26	40,4	18,96	0,7	54,2	16,8	61,2	0,0
7	25,5	30,26	42,6	21,93	14,7	50,3	7,8	42,8	0,0
8	25,4	30,29	37,8	22,00	17,0	50,8	2,2	23,0	0,0
9	21,0	25,75	36,4	17,85	0,7	63,9	37,4	137,2	0,0
10	16,3	20,43	31,9	13,73	-1,0	73,1	56,5	235,2	1,2
11	12,5	15,80	25,6	10,14	-2,4	78,5	80,0	240,2	0,4
12	8,4	11,32	20,8	6,30	-3,3	81,5	108,3	219,8	9,8

Ο Ακτινομετρικός Σταθμός Πεντέλης του Ινστιτούτου Ερευνών Περιβάλλοντος & Βιώσιμης Ανάπτυξης του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών ξεκίνησε τη λειτουργία του το 2000.

Πίνακας Παραρτήματος 3.3. Μ/Σ Πεντέλης (ΕΑΑ) για την περίοδο 2013-2023

Μήνας	Μέση μηνιαία θερμοκρασία (°C)	Μέση μέγιστη θερμοκρασία (°C)	Μέση ελάχιστη θερμοκρασία (°C)	Μέσο ύψος υετού (mm)	Επικρατών άνεμος
1	7.5	10.4	5.3	91.3	B
2	8.6	11.9	6.2	56.7	B
3	10	13.9	7.3	65.8	B
4	14	18.6	10.6	34.2	ANA
5	18.6	23.5	15.1	28.8	B
6	23	27.9	19.3	37.9	BA
7	26.1	30.9	22.5	18.7	BA
8	25.9	30.6	22.6	8.8	BA
9	21.9	26.5	18.8	50.6	BA
10	17	21	14.5	43.9	B
11	13.3	16.5	11.2	76	BA
12	9.3	12	7.2	103.5	BΒΔ

Πίνακας Παραρτήματος 3.4. Μ/Σ Πεντέλης (ΕΑΑ) Ιανουάριος 2013-2023

Ιανουάριος	Μέση μηνιαία θερμοκρασία (°C)	Μέση μέγιστη θερμοκρασία (°C)	Μέση ελάχιστη θερμοκρασία (°C)	Ύψος υετού (mm)	Επικρατών άνεμος
2014	9.9	12.6	8	96.2	ΔΒΔ
2015	7.4	10.5	5.1	38.2	B
2016	7.9	11	5.7	53.8	ΔΒΔ
2017	4.6	7.4	2.5	68.8	BA
2018	8.2	11.3	6.1	110	NA
2019	6.4	9.3	4.1	223	BΒΔ
2020	6.8	9.5	4.8	113	BA
2021	8.6	11.8	6.1	45	ΔΝΔ
2022	5.5	8.5	3.4	83.4	B
2023	9.3	12.4	7.4	81.4	B
M.O.2013- 2023	7.46	10.43	5.32	91.28	B

Πίνακας Παραρτήματος 3.5. Μ/Σ Πεντέλης (ΕΑΑ) Φεβρουάριος 2013-2023

Φεβρουάριος	Μέση μηνιαία θερμοκρασία (°C)	Μέση μέγιστη θερμοκρασία (°C)	Μέση ελάχιστη θερμοκρασία (°C)	Ύψος υετού (mm)	Επικρατών άνεμος
2014	9.8	13.1	7.8	18	ΔΒΔ
2015	6.7	9.6	4.3	62.8	ΝΑ
2016	11.8	15.6	9	34.4	ΝΑ
2017	8.5	11.8	6.3	17.2	ΒΑ
2018	9.2	12.1	6.9	126.6	Δ
2019	7.2	10.3	4.9	169.6	ΒΑ
2020	8.6	12.2	6	55	ΒΔ
2021	9	12.4	6.5	18.6	ΒΒΑ
2022	7.9	11.5	5.4	49.8	Β
2023	7	10.3	4.8	15.4	Β
Μ.Ο.2013- 2023	8.57	11.89	6.19	56.74	Β

Πίνακας Παραρτήματος 3.6. Μ/Σ Πεντέλης (ΕΑΑ) Μάρτιος 2013-2023

Μάρτιος	Μέση μηνιαία θερμοκρασία (°C)	Μέση μέγιστη θερμοκρασία (°C)	Μέση ελάχιστη θερμοκρασία (°C)	Ύψος υετού (mm)	Επικρατών άνεμος
2014	10.8	14.3	8.3	51.8	Β
2015	8.9	12.1	6.7	124.6	Β
2016	10.5	14.6	7.6	93	Δ
2017	11.2	15.2	8.5	106	ΒΑ
2018	12.2	16.2	9.3	10.8	Δ
2019	10.9	14.8	8.1	55.4	ΒΑ
2020	10.7	14.2	7.9	110.6	ΒΑ
2021	8.6	12.9	5.7	31.8	Δ
2022	5.9	9.4	3.5	40.2	Β
2023	10.6	15.1	7.6	33.6	Β
Μ.Ο.2013- 2023	10.03	13.88	7.32	65.78	Β

Πίνακας Παραρτήματος 3.7. Μ/Σ Πεντέλης (ΕΑΑ) Απρίλιος 2013-2023

Απρίλιος	Μέση μηνιαία θερμοκρασία (°C)	Μέση μέγιστη θερμοκρασία (°C)	Μέση ελάχιστη θερμοκρασία (°C)	Ύψος υετού (mm)	Επικρατών άνεμος
2014	13.6	18.1	10.6	55.8	ΑΝΑ
2015	13	17.6	9.5	22.4	ΒΑ
2016	17.1	22.3	13.5	0	ΝΑ
2017	14.1	18.8	10.7	13.4	ΝΑ
2018	17.3	22.1	13.6	3	ΝΑ
2019	12.8	16.7	9.9	120	ΒΑ
2020	12.9	17.1	9.7	54.6	ΑΒΑ
2021	12.7	17.5	9	20.4	ΑΝΑ
2022	13.9	18.8	10.3	8	ΑΝΑ
2023	12.5	17.2	9.5	44.2	ΑΝΑ
Μ.Ο.2013- 2023	13.99	18.62	10.63	34.18	ΑΝΑ

Πίνακας Παραρτήματος 3.8. Μ/Σ Πεντέλης (ΕΑΑ) Μάιος 2013-2023

Μάιος	Μέση μηνιαία θερμοκρασία (°C)	Μέση μέγιστη θερμοκρασία (°C)	Μέση ελάχιστη θερμοκρασία (°C)	Ύψος υετού (mm)	Επικρατών άνεμος
2014	17.9	22.5	14.3	3.8	ΔΒΔ
2015	19.2	24.1	15.7	52.8	ΝΑ
2016	18	23.1	14.3	14.2	Δ
2017	18.5	23.2	15.2	83.2	ΒΑ
2018	20.2	24.7	16.8	42.6	ΒΑ
2019	17.6	22.6	14	2.8	ΝΑ
2020	19.4	24.5	15.6	35.8	ΒΔ
2021	19.9	25.2	15.8	0.2	ΒΔ
2022	19	23.8	15.2	30.4	Β
2023	16.7	21.1	13.6	22.4	Β
Μ.Ο.2013- 2023	18.64	23.48	15.05	28.82	Β

Πίνακας Παραρτήματος 3.9. Μ/Σ Πεντέλης (ΕΑΑ) Ιούνιος 2013-2023

Ιούνιος	Μέση μηνιαία θερμοκρασία (°C)	Μέση μέγιστη θερμοκρασία (°C)	Μέση ελάχιστη θερμοκρασία (°C)	Ύψος υετού (mm)	Επικρατών άνεμος
2014	22.8	27.7	19.1	14	B
2015	21.2	25.7	17.9	27.4	BA
2016	24.6	29.7	20.5	54.2	BA
2017	23.8	28.4	20.1	27.6	NA
2018	22.9	27.7	19.4	121.6	BA
2019	24.1	28.7	20.4	56	BA
2020	21.8	27.1	17.9	22.8	Δ
2021	22.7	28.3	18.7	17.4	ΒΔ
2022	23.8	28.6	20.1	5.8	B
2023	22.3	27.3	18.7	32.6	B
M.O.2013- 2023	23	27.92	19.28	37.94	BA

Πίνακας Παραρτήματος 3.10. Μ/Σ Πεντέλης (ΕΑΑ) Ιούλιος 2013-2023

Ιούλιος	Μέση μηνιαία θερμοκρασία (°C)	Μέση μέγιστη θερμοκρασία (°C)	Μέση ελάχιστη θερμοκρασία (°C)	Ύψος υετού (mm)	Επικρατών άνεμος
2014	24.9	30	21.2	20.2	B
2015	26	30.6	22.6	0	BA
2016	25.9	30.4	22.4	0	BA
2017	26.4	30.9	22.8	14.2	BA
2018	25.5	30.2	21.7	133.8	ΒΒΔ
2019	25.3	30.3	21.8	3.8	BA
2020	25.7	30.2	22.3	1.6	BA
2021	26.8	31.9	23.2	0	B
2022	25.9	30.6	22.4	13	B
2023	28.7	34	24.6	0	B
M.O.2013- 2023	26.11	30.91	22.5	18.66	BA

Πίνακας Παραρτήματος 3.11. Μ/Σ Πεντέλης (ΕΑΑ) Αύγουστος 2013-2023

Αύγουστος	Μέση μηνιαία θερμοκρασία (°C)	Μέση μέγιστη θερμοκρασία (°C)	Μέση ελάχιστη θερμοκρασία (°C)	Ύψος υετού (mm)	Επικρατών άνεμος
2013	25.5	29.7	22.6	0	B
2014	26.2	31.6	22.3	1.2	B
2015	25.8	30.5	22.5	0	BA
2016	25.6	30.2	22.3	0	BA
2017	25.8	30.1	22.6	2.4	BA
2018	24.6	28.5	21.8	18	BA
2019	26.1	30.5	22.9	0	BA
2020	26.1	31.2	22.6	2	BA
2021	27.3	32.6	23.6	1.4	B
2022	25.2	30	22	71.8	B
2023	26.3	31.2	23	0	B
M.O.2013- 2023	25.86363636	30.55454545	22.56363636	8.8	BA

Πίνακας Παραρτήματος 3.12. Μ/Σ Πεντέλης (ΕΑΑ) Σεπτέμβριος 2013-2023

Σεπτέμβριος	Μέση μηνιαία θερμοκρασία (°C)	Μέση μέγιστη θερμοκρασία (°C)	Μέση ελάχιστη θερμοκρασία (°C)	Ύψος υετού (mm)	Επικρατών άνεμος
2013	22	27.2	18.7	0.4	ANA
2014	20.9	25.3	18.1	102.6	B
2015	22.9	27.9	19.7	44.2	BA
2016	21.3	26	18.3	13.6	BA
2017	22.3	27.6	18.8	10.2	NA
2018	21.3	25.4	18.6	194.8	BA
2019	22.1	26.7	19.1	5.6	BA
2020	23	27.5	19.9	15.6	ABA
2021	21.1	25.9	18	0.8	B
2022	21.4	26.3	18.2	14.6	B
2023	22.4	26.2	19.5	153.6	B
M.O.2013- 2023	21.88181818	26.54545455	18.80909091	50.54545455	BA

Πίνακας Παραρτήματος 3.13. Μ/Σ Πεντέλης (ΕΑΑ) Οκτώβριος 2013-2023

Οκτώβριος	Μέση μηνιαία θερμοκρασία (°C)	Μέση μέγιστη θερμοκρασία (°C)	Μέση ελάχιστη θερμοκρασία (°C)	Ύψος υετού (mm)	Επικρατών άνεμος
2013	16.9	21.1	14	16	ΒΔ
2014	16.1	19.7	13.6	33.2	Β
2015	16.3	19.8	14.1	131	ΒΑ
2016	16.7	20.7	14.2	44	ΒΑ
2017	16.4	20.9	13.6	11	ΒΑ
2018	16.2	19.6	14	11	ΒΑ
2019	19.2	23.9	16.4	44.2	ΒΔ
2020	18.8	23.2	15.9	37.8	Δ
2021	14.5	18.2	12.3	141	Β
2022	17.3	21.3	14.8	10.8	Β
2023	18.9	23.1	16.2	2.4	Β
M.O.2013- 2023	17.02727273	21.04545455	14.46363636	43.8545454 5	Β

Πίνακας Παραρτήματος 3.14. Μ/Σ Πεντέλης (ΕΑΑ) Νοέμβριος 2013-2023

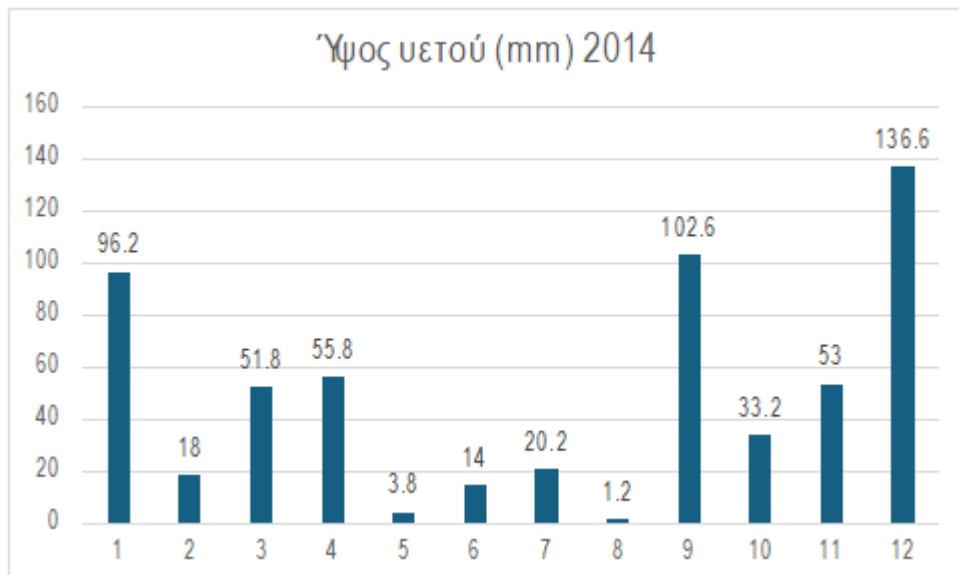
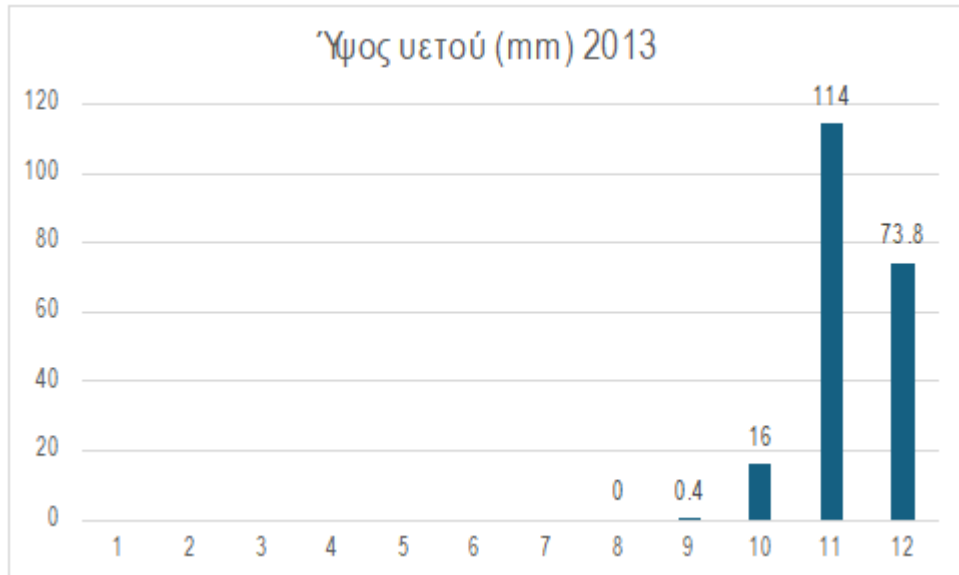
Νοέμβριος	Μέση μηνιαία θερμοκρασία (°C)	Μέση μέγιστη θερμοκρασία (°C)	Μέση ελάχιστη θερμοκρασία (°C)	Ύψος υετού (mm)	Επικρατών άνεμος
2013	13.4	16.6	11.4	114	ΑΝΑ
2014	12.1	14.7	10.4	53	ΒΒΑ
2015	14.6	17.7	12.3	47	ΒΑ
2016	12.3	15.5	10.1	85	ΑΒΑ
2017	12.2	15.6	9.7	108.2	ΝΑ
2018	12.6	15.5	10.7	78.8	ΒΑ
2019	15.4	18.7	13.2	167.2	ΝΑ
2020	12.2	14.9	10.5	15.6	ΑΒΑ
2021	12.7	15.9	10.4	58.8	Β
2022	13.9	17.2	11.7	77.4	Β
2023	15.2	18.9	12.4	31	Δ
M.O.2013- 2023	13.32727273	16.47272727	11.16363636	76	ΒΑ

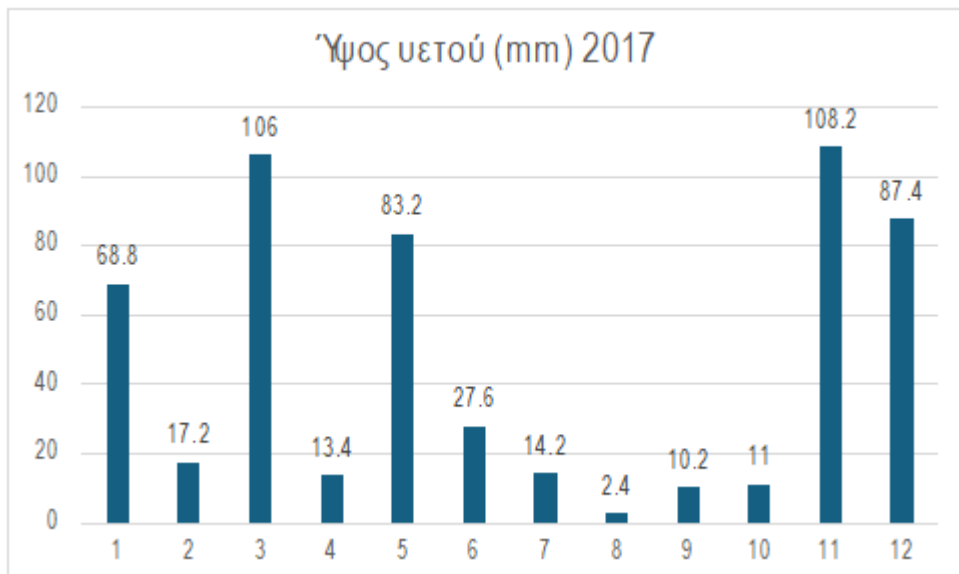
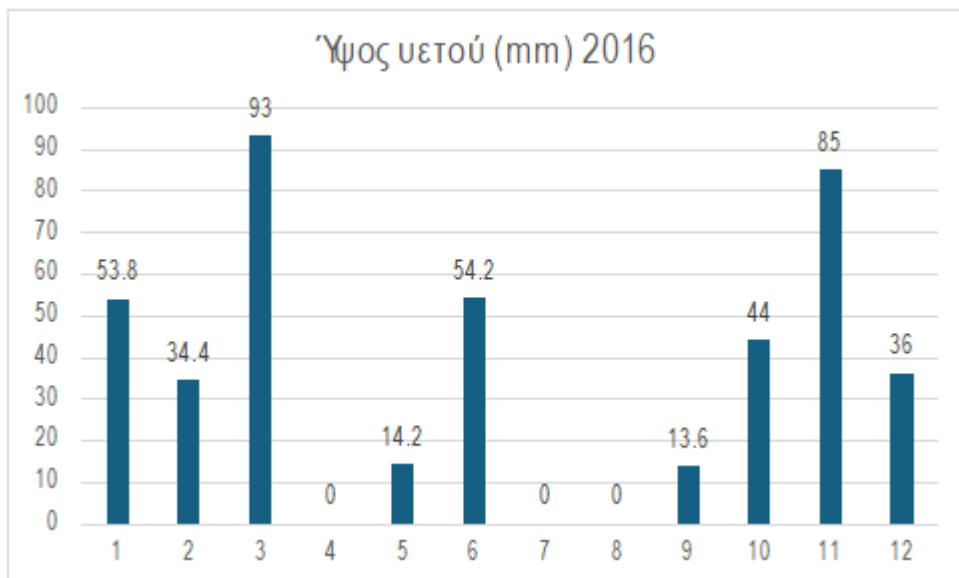
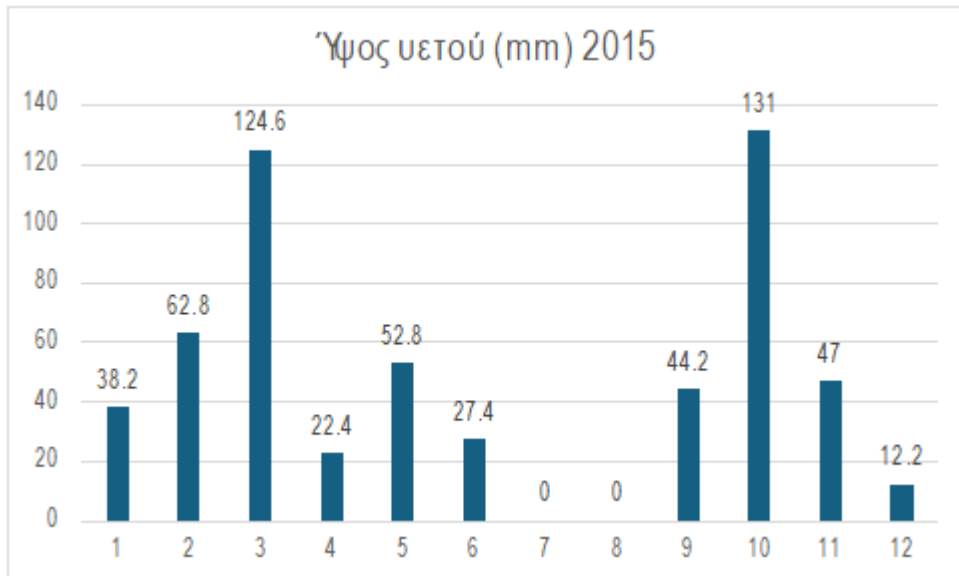
Πίνακας Παραρτήματος 3.15. Μ/Σ Πεντέλης (ΕΑΑ) Δεκέμβριος 2013-2023

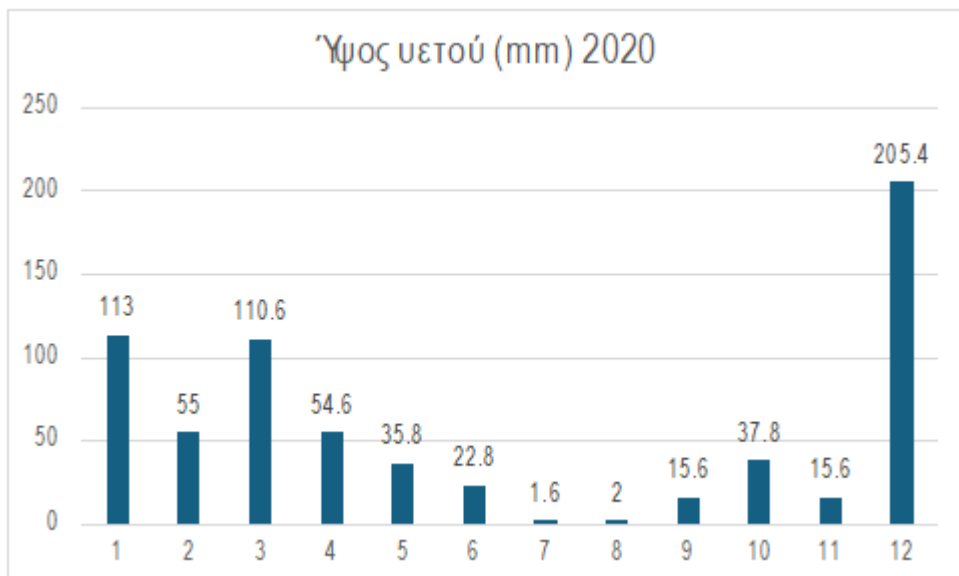
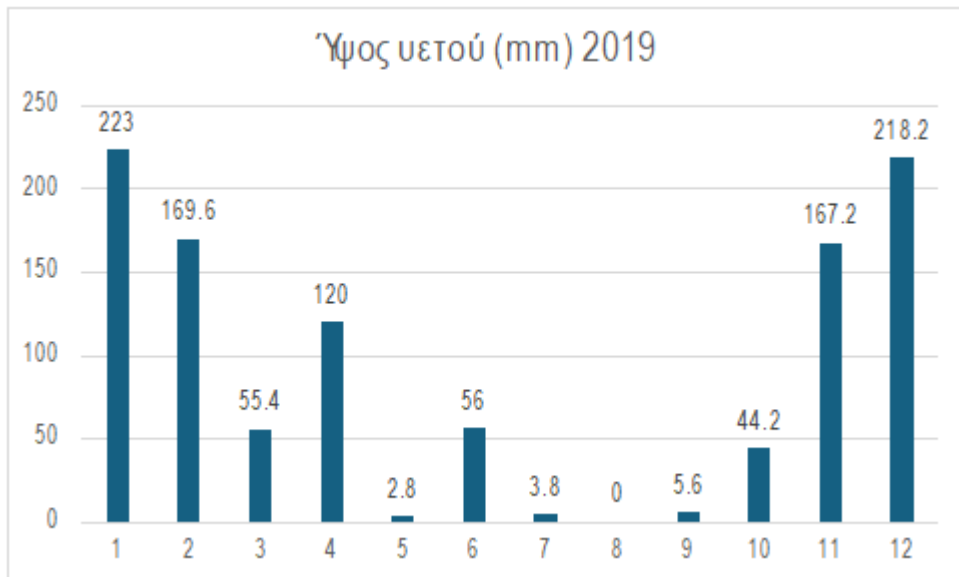
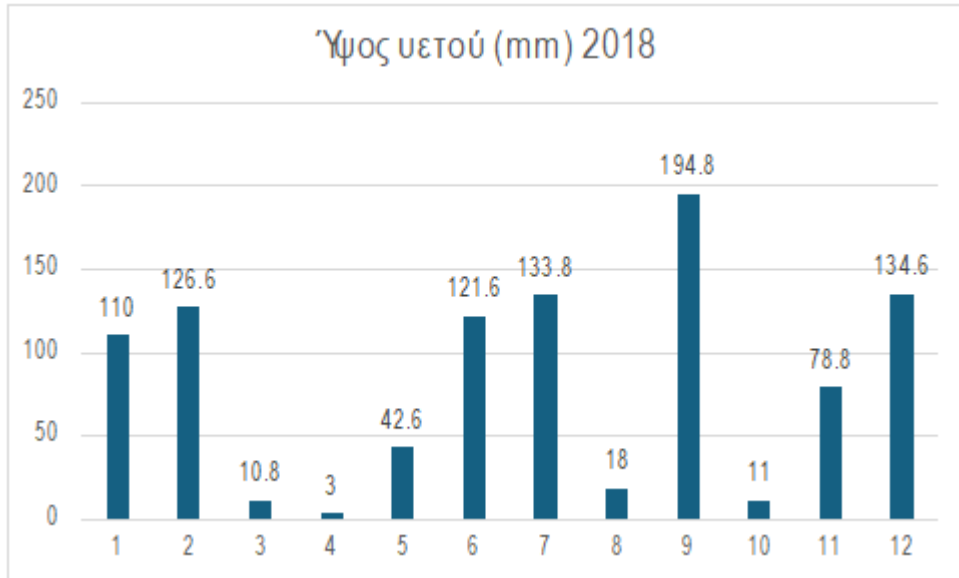
Δεκέμβριος	Μέση μηνιαία θερμοκρασία (°C)	Μέση μέγιστη θερμοκρασία (°C)	Μέση ελάχιστη θερμοκρασία (°C)	Ύψος υετού (mm)	Επικρατών άνεμος
2013	8	10.6	5.8	73.8	B
2014	10.4	13.2	8.5	136.6	B
2015	9.2	12	7.1	12.2	BΒΔ
2016	5.9	8.7	3.7	36	ΒΑ
2017	9.5	12.4	7.2	87.4	ΒΔ
2018	7.7	10.6	5.8	134.6	ΒΑ
2019	9.7	12.1	7.7	218.2	BΒΔ
2020	10.5	13.1	8.8	205.4	ΝΝΔ
2021	8.2	10.9	6.1	170	Δ
2022	11.4	14.3	9.5	19.4	ΝΑ
2023	11.3	14.4	9.2	44.8	Δ
M.O.2013- 2023	9.254545455	12.02727273	7.218181818	103.490909 1	BΒΔ

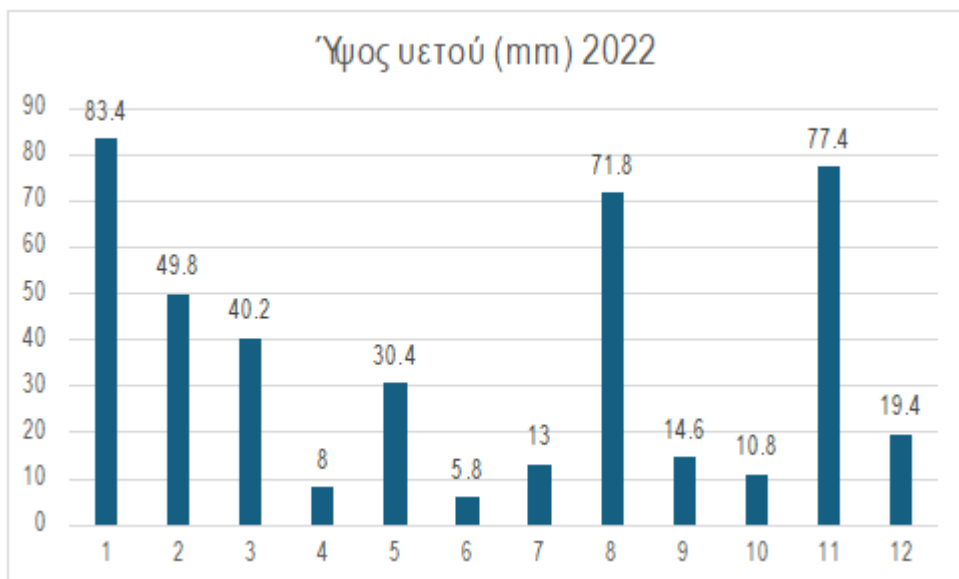
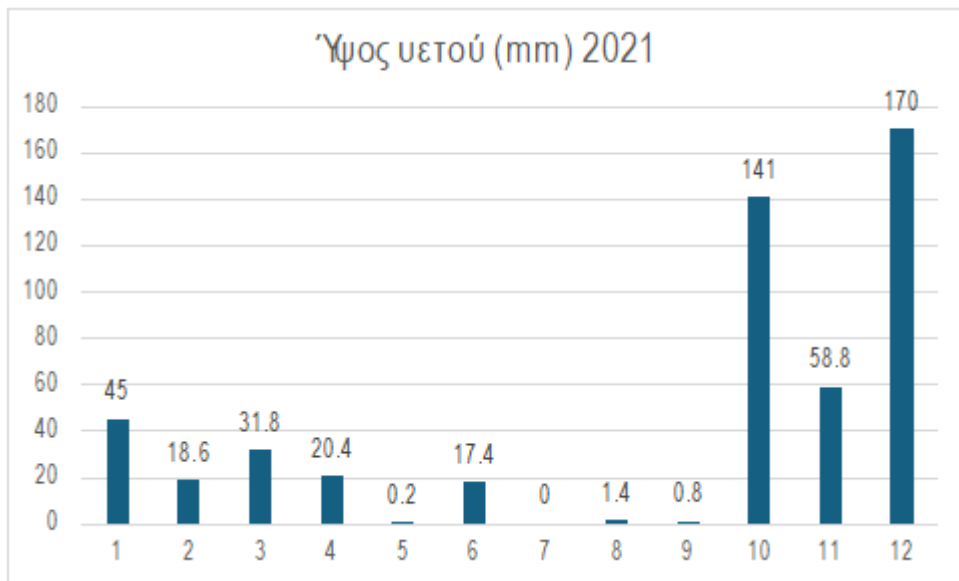
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 5: Γραφικές παραστάσεις ύψους υετού Μ/Σ Πεντέλης ΕΑΑ

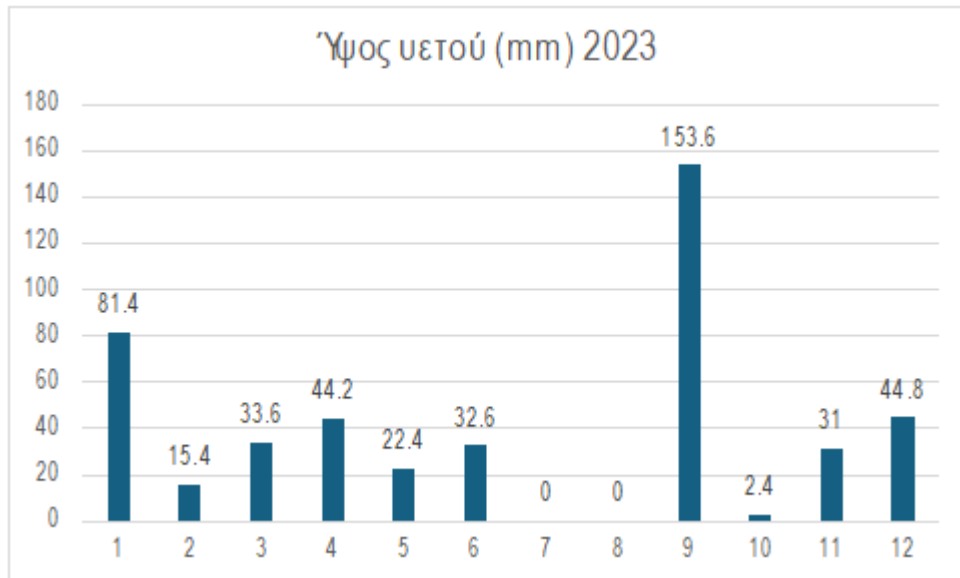
Ο Μετεωρολογικός Σταθμός Πεντέλης του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών ξεκίνησε τη λειτουργία του τον Αύγουστο του 2013.











ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 6: Γραφικές παραστάσεις θερμοκρασίας αέρα Μ/Σ Πεντέλης ΕΑΑ

Ο Μετεωρολογικός Σταθμός Πεντέλης του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών ξεκίνησε τη λειτουργία του τον Αύγουστο του 2013.

