



ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ LIFE+
Περιβαλλοντική Πολιτική και Διακυβέρνηση

ΈΡΓΟ LIFE08 ENV/GR/000554

AdaptFor

Προσαρμογή της διαχείρισης των δασών
στην κλιματική αλλαγή στην **Ελλάδα**



ΔΡΑΣΗ 3

Έκθεση αξιολόγησης των επιπτώσεων της κλιματικής
αλλαγής στα τέσσερα δασικά οικοσυστήματα του έργου

Β' ΕΚΔΟΣΗ - ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2014



ΜΟΥΣΕΙΟ ΓΟΥΛΑΝΔΡΗ ΦΥΣΙΚΗΣ ΙΣΤΟΡΙΑΣ
ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΒΙΟΤΟΠΩΝ - ΥΔΡΟΤΟΠΩΝ



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ &
ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ
ΑΛΛΑΓΗΣ

ΕΙΔΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΔΑΣΩΝ
ΓΕΝΙΚΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΔΑΣΩΝ
ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Η παρούσα μελέτη εκπονήθηκε στο πλαίσιο του έργου LIFE08 ENV/GR/000554 «Προσαρμογή της διαχείρισης των δασών στην κλιματική αλλαγή στην Ελλάδα» (www.life-adaptfor.gr) που υλοποιείται από το Ελληνικό Κέντρο Βιοτόπων-Υγροτόπων (Τελικός Δικαιούχος) και τη Γενική Διεύθυνση Ανάπτυξης και Προστασίας Δασών και Φυσικού Περιβάλλοντος / Υ.Π.Ε.Κ.Α. (Συνδικαιούχος) σε συνεργασία με τη Διεύθυνση Δασών Πιερίας και τα Δασαρχεία Καλαμπάκας, Πάρνηθας και Σπάρτης. Το έργο συνχρηματοδοτείται από το χρηματοδοτικό μέσο LIFE της Ευρωπαϊκής Κοινότητας, τον Τελικό Δικαιούχο και τον Συνδικαιούχο.

The present study has been prepared in the framework of the LIFE08 ENV/GR/000554 «Adaptation of forest management to climate change in Greece» (www.life-adaptfor.gr) which is implemented by the Greek Biotope-Wetland Centre (Coordinating Beneficiary) and the General Directorate for the Development and Protection of Forests and the Natural Environment / Y.P.E.K.A. (Associated Beneficiary) in cooperation with the Forest Directorate of Pieria and the Forest Services of Kalambaka, Parnitha and Sparti. The project is co-funded by the LIFE financial instrument of the European Community, the Coordinating and Associated Beneficiaries.

Ως πλήρης αναφορά της παρούσας μελέτης προτείνεται:

Χρυσοπολίτου Βασιλική και Σ. Ντάφης (συντονιστές έκδοσης) 2014. Έκθεση αξιολόγησης των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στα τέσσερα δασικά οικοσυστήματα του έργου LIFE+ AdaptFor – Β' έκδοση. Ελληνικό Κέντρο Βιοτόπων-Υγροτόπων (EKBY). Θέρμη. 66 σελ + Παραρτήματα.

This document may be cited as follows:

Chrysopolitou Vasiliki and S. Dafis (editors) 2014. Report on the assessment of climate change impacts on the four forest ecosystems of the project LIFE+ AdaptFor - 2nd version. Greek Biotope-Wetland Centre (EKBY). Thermi. 66 p + Annexes

Η παρούσα μελέτη μπορεί να αναζητηθεί ηλεκτρονικά στον δικτυακό τόπο του έργου www.life-adaptfor.gr.

This study can also be acquired from the project web site www.life-adaptfor.gr.

ΟΜΑΔΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

ΕΙΔΙΚΟΙ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΕΣ

- Μύκητες και Έντομα (Πιέρια Όρη)

Στέφανος Διαμαντής, *Τακτικός Ερευνητής* ΙΔΕ/ΕΘΙΑΓΕ
Δημήτριος Αβτζής, *Δόκιμος Ερευνητής* ΙΔΕ/ΕΘΙΑΓΕ
Χαρίκλεια Περλέρου, *Ειδικός Επιστήμονας* ΙΔΕ/ΕΘΙΑΓΕ

- Φλοιοφάγα Έντομα (Πάρνηθα και Ταΰγετος)

Νικόλαος Αβτζής, *Καθηγητής*, ΤΕΙ Καβάλας, Δράμα

- Φυτοκοινωνίες (τέσσερις περιοχές)

Ιωάννης Τσιριπίδης, *Επίκουρος Καθηγητής* ΑΠΘ

- Φυσιολογία (τέσσερις περιοχές)

Καλλιόπη Ραδόγλου, *Τακτική Ερευνήτρια* ΙΔΕ/ΕΘΙΑΓΕ
Γαβριήλ Σπύρογλου, *Ειδικός Επιστήμονας* ΙΔΕ/ΕΘΙΑΓΕ

- Έδαφος (τέσσερις περιοχές)

Δημήτριος Αλιφραγκής, *Καθηγητής* ΑΠΘ

ΕΚΒΥ

Αντώνης Αποστολάκης, *Γεωπόνος MSc.*
Σωτηρία Κατσαβούνη, *Περιβαλλοντολόγος MSc.*
Δήμητρα Κεμιτζόγλου, *Βιολόγος MSc.*
Βασιλική Τσιαούση, *Βιολόγος MSc.*
Ελένη Χατζηϊορδάνου, *Γεωλόγος MSc.*
Έλενα Χατζηχαραλάμπους, *Βιολόγος MSc.*
Βασιλική Χρυσοπολίτου, *Βιολόγος MSc.*

ΕΙΔΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΔΑΣΩΝ

Παναγιώτης Δρούγας, *Δασολόγος*
Αργυρώ Ζέρβα, *Δασοπόνος MSc.*
Ιφιγένεια Συνοδινού, *Δασολόγος MSc.*

ΔΑΣΙΚΕΣ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ

- Δ/νση Δασών Πιερίας

Αθανάσιος Παπαγιάννης, Ελένη Τζιουμέρκα, Παντελής Κλαπάνης

- Δασαρχείο Καλαμπάκας

Χριστόφορος Καρανίκας, Βασιλική Κοντοτόλη, Παναγιώτης Πουλιανίδης

- Δασαρχείο Πάρνηθας

Θεόδωρος Αλεξανδρής, Κωνσταντίνα Καρατζά, Γεώργιος Ζαρείφης

- Δασαρχείο Σπάρτης

Σαράντος Βουραντώνης, Αγγελική Μαλαβάζου, Παναγιώτα Σημάδη

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	3
EXECUTIVE SUMMARY	5
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	7
1.1. Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στα δασικά οικοσυστήματα	7
1.2. Το έργο LIFE+AdaptFor	13
1.2.1. Δράσεις επίδειξης της προσέγγισης προσαρμογής της δασικής διαχείρισης στην κλιματική αλλαγή στις τέσσερις περιοχές μελέτης.....	13
1.2.2. Δράσεις ενδυνάμωσης των δασικών υπηρεσιών στο να προσαρμόσουν τη δασική διαχείριση στις περιοχές αρμοδιότητάς τους	14
1.2.3. Δράσεις ενημέρωσης και επικοινωνίας	14
2. ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ.....	15
2.1. Χρονοσειρές μετεωρολογικών δεδομένων για τη χρονική περίοδο 2010-2050	15
3. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ	18
3.1. Η νέκρωση της δασικής πεύκης (<i>Pinus sylvestris</i>) στο Δάσος Ρητίνης – Βρίας στα Πιέρια Όρη.....	18
3.1.1. Γενικά για το Δάσος Ρητίνης-Βρίας	18
3.1.2. Παρούσα κατάσταση	18
3.1.3. Εκτίμηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής.....	20
3.2. Η εισβολή κωνοφόρων ειδών (<i>Abies borisii regis</i> και <i>Pinus nigra</i>) σε δάση πλατύφυλλων ειδών, στο Δάσος Ασπροποτάμου – Καλαμπάκας.....	26
3.2.1. Γενικά για το Δάσος Ασπροποτάμου - Καλαμπάκας.....	26
3.2.2. Παρούσα κατάσταση	27
3.2.3. Εκτίμηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής.....	32
3.3. Η νέκρωση της κεφαλληνιακής ελάτης (<i>Abies cephalonica</i>) στον Εθνικό Δρυμό Πάρνηθας.....	36
3.3.1. Γενικά για τον Εθνικό Δρυμό Πάρνηθας	36
3.3.2. Παρούσα κατάσταση	36
3.3.3. Εκτίμηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής.....	38
3.4. Η νέκρωση της κεφαλληνιακής ελάτης (<i>Abies cephalonica</i>) στον Ανατολικό Ταΰγετο.....	47
3.4.1. Γενικά για τον Ανατολικό Ταΰγετο	47
3.4.2. Παρούσα κατάσταση	47
3.4.3. Εκτίμηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής.....	50
4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	58
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	59

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στο πλαίσιο του έργου LIFE+ AdaptFor, αξιολογήθηκαν οι πιθανές μελλοντικές επιπτώσεις της αλλαγής του κλίματος στα τέσσερα επιλεγμένα δασικά οικοσυστήματα, από άποψη φυτοκοινωνιολογίας, οικοφυσιολογίας (αύξηση δέντρων, ηλικιακή δομή κτλ), υγείας του δάσους (επιδημίες παθογόνων οργανισμών όπως μύκητες και έντομα) κτλ.

Οι μελλοντικές τάσεις εκτιμήθηκαν με τη βοήθεια των χρονοσειρών μετεωρολογικών δεδομένων για την περίοδο 2010-2050 (Δράση 11-μέρος II) σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα της εκτίμησης της επίδρασης των προηγούμενων κλιματικών διακυμάνσεων στην υγεία και εξάπλωση της βλάστησης (Δράση 2). Λόγω του περιορισμένου όγκου δεδομένων που αφορούν σε προηγούμενα έτη, για την εκτίμηση των μελλοντικών τάσεων πραγματοποιήθηκε επίσης επισκόπηση της σχετικής βιβλιογραφίας και χρησιμοποιήθηκε και η κρίση των εμπειρογνομόνων σχετικά με το πώς αυτά τα δασικά οικοσυστήματα αναμένεται να αντιδράσουν στις αλλαγές των κλιματικών παραμέτρων. Όσον αφορά την αξιολόγηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στη βλάστηση, οι προβλεπόμενες μελλοντικές τιμές θερμοκρασίας και βροχόπτωσης (γραμμική συσχέτιση με το υψόμετρο) συγκρίθηκαν με τις τιμές των δεικτών Ellenberg για τη θερμοκρασία και την υγρασία του εδάφους. Επιπλέον, για την εκτίμηση των μελλοντικών επιδημιών φλοιοφάγων εντόμων στην Πάρνηθα και τον Ταΰγετο, υπολογίστηκε το ομβροθερμικό πηλίκο (Q_2) - βιοκλιματικός όροφος¹.

Σύμφωνα με τη Δράση 1-μέρος II, υπάρχουν 15 διαφορετικά κλιματικά σενάρια:

Καμία μεταβολή στη θερμοκρασία, σε συνδυασμό με: Καμία αλλαγή, - 10%, - 20%, +10% and +20% στη βροχόπτωση

+1 °C στη θερμοκρασία, σε συνδυασμό με: Καμία αλλαγή, - 10%, - 20%, +10% and +20% στη βροχόπτωση

+2 °C στη θερμοκρασία, σε συνδυασμό με: Καμία αλλαγή, - 10%, - 20%, +10% and +20% στη βροχόπτωση

Οι προβλέψεις σε σχέση με την εξέλιξη των φαινομένων για κάθε περιοχή είναι:

Στα Πιέρια Όρη, υπάρχει μια τάση αντικατάστασης της δασικής πεύκης από μικτές συστάδες μαύρης πεύκης και πλατύφυλλα (σε χαμηλότερα υψόμετρα) και από μικτές συστάδες μαύρης πεύκης και ελάτης (σε μεγαλύτερα υψόμετρα). Τρία από τα 15 σενάρια αλλαγής του κλίματος θεωρούνται τα πλέον επιβλαβή για τη δασική πεύκη, σε αυτή την οριακή περιοχή εξάπλωση (νοτιότερο όριο στην Ευρώπη):

α) Καμία αλλαγή στην θερμοκρασία ή αύξηση κατά 1°C ΚΑΙ αύξηση των βροχοπτώσεων κατά 10% ή 20% αναμένεται να οδηγήσει σε επιδημία της ρητινώδους σκωρίασης (που προκαλείται από τον μύκητα *Peridermium pini*) και σε χαμηλά ποσοστά νέκρωσης λόγω φλοιοφάγων εντόμων.

β) Αύξηση της θερμοκρασίας κατά 2°C ΚΑΙ μείωση των βροχοπτώσεων κατά 10% ή 20% θα οδηγήσει σε συνθήκες υψηλού στρες για τη δασική πεύκη, καθώς οι απώλειες από τις επιδημίες φλοιοφάγων εντόμων αναμένεται να είναι σημαντικές, αν

¹ Γενικά, όσο μικρότερο είναι το πηλίκο Q_2 , τόσο πιο ξηρό είναι το κλίμα. Η γενική ιδέα ήταν η εκτίμηση του μήκους της περιόδου των θερμών και ξηρών περιόδων στις δύο παραπάνω περιοχές (στο μέλλον), δεδομένου ότι οι επιδημίες εντόμων σχετίζονται στενά με αυτές τις δυσμενείς συνθήκες.

και τα ποσοστά νέκρωσης λόγω της ρητινώδους σκωρίασης αναμένεται να είναι χαμηλά.

c) Εάν επικρατήσει το χειρότερο σενάριο (αύξηση της θερμοκρασίας κατά 2°C ΚΑΙ αύξηση των βροχοπτώσεων κατά 10% ή 20%) τότε αναμένεται έξαρση της σύνθετης νόσου (επιθέσεις από μύκητες και φλοιοφάγα έντομα).

Στο Δάσος Ασπροποτάμου-Καλαμπάκας, η εισβολή κωνοφόρων σε δάση πλατύφυλλων αναμένεται να συνεχίσει την πορεία της, ακόμη και χωρίς μεταβολή των κλιματικών παραμέτρων. Ωστόσο:

α) Αύξηση της θερμοκρασίας κατά 1°C σε συνδυασμό με μείωση των βροχοπτώσεων κατά 10% θα οδηγήσει τα δέντρα σε συνθήκες υψηλού στρες λόγω έλλειψης νερού και συνεπώς η νέκρωση των κωνοφόρων λόγω εντόμων αναμένεται να ενταθεί.

β) Αύξηση της θερμοκρασίας και μόνο θα επηρεάσει αρνητικά την εξάπλωση των κωνοφόρων, ιδιαίτερα σε μικρότερα υψόμετρα και συνεπώς αναμένεται ανάσχεση των εισβολικών φαινομένων.

γ) Αντίστοιχα, αύξηση των βροχοπτώσεων και μόνο, θα ευνοήσει μάλλον τη οξιά έναντι της ελάτης (σε μεγαλύτερα υψόμετρα), ενώ σε μικρότερα υψόμετρα η ελάτη αναμένεται να αυξήσει την εξάπλωσή της.

δ) Η μείωση των βροχοπτώσεων θα οδηγήσει σε αντίστροφα αποτελέσματα από τα ανωτέρω (αναφορικά με την ελάτη σε σχέση με το υψόμετρο).

Στον Εθνικό Δρυμό Πάρνηθας, η κατάσταση φαίνεται να είναι ιδιαίτερα ανησυχητική. Τα περισσότερα σενάρια (10 από τα 15) προβλέπουν αρνητικές επιπτώσεις για την υγεία των δέντρων καθώς οι συνθήκες είναι ευνοϊκές για επικράτηση επιδημιών φλοιοφάγων εντόμων (ο ημίξηρος βιοκλιματικός όροφος συνεχίζει να υπάρχει). Τα παραπάνω ισχύουν ακόμη και στο σενάριο κατά το οποίο αναμένεται αύξηση των βροχοπτώσεων κατά + 20%. Εκτός των ανωτέρω, αναμένεται μεγαλύτερος βαθμός προσβολής από ιξό (*Viscum album*) και ακόμη πιο αυξημένος κίνδυνος πυρκαγιάς.

Στο Όρος Ταΰγετος, ο βιοκλιματικός όροφος φαίνεται να βελτιώνεται σε 13 από τα 15 κλιματικά σενάρια, διασφαλίζοντας την υγεία των δέντρων ενάντια σε δευτερογενείς επιθέσεις επιβλαβών εντόμων. Το οικοσύστημα φαίνεται ότι θα συνεχίσει την πορεία ανάκαμψής του. Ωστόσο, στα άλλα δύο σενάρια, η κατάσταση εξακολουθεί να είναι η ίδια και αυτό εγείρει κάποια ανησυχία για την υγεία του οικοσυστήματος.

EXECUTIVE SUMMARY

In the framework of the LIFE+ AdaptFor project, the potential future climate change impacts on the four selected forest ecosystems were assessed, in terms of phytosociology, eco-physiology (tree growth, age structure etc.), forest health (occurrence of pathogens such as fungi and insects) etc.

Future trends were estimated using the time series for the period 2010-2050 (Action 1-part II) in combination with the assessment of the influence that past climatic fluctuations had on the longevity/distribution of trees (Action 2). Due to the limited amount of past data acquired, literature review and expert judgment on how these forest ecosystems are expected to react to climatic parameters' alterations were also used. Regarding the assessment of climate change impacts on vegetation, predicted future temperature and precipitation values (linearly correlated with altitude) were compared to Ellenberg indicator values for temperature and soil humidity. Furthermore, for the estimation of future bark-beetle attacks in Parnitha and Taygetos, the rainfall-temperature bioclimatic floor (Q_2) was calculated².

According to Action 1-part II, 15 different climatic scenarios exist:

No change in temperature, combined with: No change, - 10%, - 20%, +10% and +20% in rainfall

+1 °C in temperature, combined with: No change, - 10%, - 20%, +10% and +20% in rainfall

+2 °C in temperature, combined with: No change, - 10%, - 20%, +10% and +20% in rainfall

The predictions regarding the course of the occurring phenomena for each area are:

At Mount Pieria, there is a trend of replacement of Scots pine by mixed stands of Black pine and broadleaves (at lower elevations) and by mixed stands of Black pine and fir (at higher elevations). Three out of the 15 climate change scenarios are considered to be the most harmful cases for Scots pine, at this marginal distribution area (southernmost European limit):

- a) No change in temperature OR increase by 1°C AND increase in precipitation of 10% or 20% is expected to result in an outbreak of resin top disease (caused by the fungus *Peridermium pini*) and to low necrosis rates caused by bark beetles.
- b) An increase in temperature by 2°C AND a decrease in rainfall by 10% or 20% will result in high stress conditions for Scots pine, as the losses from insects' outbreaks are expected to be significant although the resin top disease rates are expected to be low.
- c) If the worst case scenario prevails (increase in temperature by 2°C AND increase in rainfall by 10% or 20%) then exacerbation of the complex disease (attacks by fungus and bark-beetles) is going to be favored.

At Aspropotamos–Kalampaka Forest, the intrusion of conifers into broadleaved forests is expected to continue its course, even if no changes in climatic parameters occur. However:

² In general, the smaller the index Q_2 , the drier is the climate. The general concept was the estimation of the length of hot dry periods in the above two areas (in the future), as insect outbreaks are closely related to these unfavourable conditions.

- a) An increase in temperature by 1°C combined with a decrease in precipitation by 10% will make trees suffer from water stress and necrosis of conifers due to insects may intensify.
- b) An increase in temperature alone will impact negatively on the range of the conifers, especially in lower altitudes and halting of distribution expansion is expected.
- c) Respectively, an increase in precipitation alone will probably favor the beech against fir (at higher elevations) while at lower elevations fir is expected to increase its distribution.
- d) A decrease in rainfall would lead to reverse results to the above (regarding fir in relation to altitude).

At the National Park of Parnitha, the situation was found to be alarming. Most case scenarios (10 out of 15) predicted negative future impacts on tree health and favorable for bark beetle outbreaks, as the Semi-Dry Bioclimatic level continues to exist. The above stands even in the case scenario by which an increase by +20% in precipitation is expected. Further to that, a greater infestation degree by mistletoe (*Viscum album*) and an even more increased fire risk is expected.

At Mount Taygetos, the bioclimatic level seems to improve in 13 out of 15 case scenarios, ensuring the health and therefore strength of trees against secondary harmful insects. The ecosystem will continue its recovery course. However, in the other two case scenarios, the situation continues to be the same and this raises some concern for the health of the ecosystem.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στα δασικά οικοσυστήματα

Οι επιπτώσεις που αναμένεται να επιφέρει η κλιματική αλλαγή στα δασικά οικοσυστήματα είναι ποικίλες και εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες, όπως για παράδειγμα το μακροκλίμα της περιοχής ή το γεωγραφικό πλάτος, η φυσιογραφία της περιοχής, ο τύπος του δασικού οικοσυστήματος (φυσικό δάσος ή φυτεία), η ένταση των διαταραχών, οι χρήσεις γης στην ευρύτερη περιοχή κ.ά. Οι σημαντικότερες επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στα φυτικά είδη και στη δασική βλάστηση, με έμφαση στις αυτές που αφορούν κυρίως τα μεσογειακά οικοσυστήματα, είναι οι εξής:

Μεταβολή του ρυθμού αύξησης των δέντρων

Ως απόκριση στην αλλαγή του κλίματος αναμένεται μεταβολή (αύξηση ή μείωση) της ετήσιας προσαύξησης των δέντρων (Lindner 2000). Στις βόρειες περιοχές συγκεκριμένα αναμένεται αύξηση της πρωτογενούς παραγωγής. Σύμφωνα με τους Norby *et al.* (2005) και Korner *et al.* (2005), ο διπλασιασμός της συγκέντρωσης του CO₂ στην ατμόσφαιρα μπορεί να οδηγήσει στην αύξηση της πρωτογενούς παραγωγής, κατά 23% μέσο όρο, σε νεαρά δέντρα. Στις μεσογειακές περιοχές, ωστόσο, όπου η φωτοσύνθεση μειώνεται λόγω των υψηλών θερμοκρασιών, αναμένεται μείωση του ρυθμού αύξησης της βιομάζας και της παραγωγής (Lindner *et al.* 2010, Milad *et al.* 2011). Επιπρόσθετα, σε αυτές τις περιοχές, η αύξηση της συχνότητας και της έντασης των διαταραχών (π.χ. πυρκαγιές, προσβολές από παθογόνους οργανισμούς), καθώς και η μείωση του ρυθμού αύξησης και παραγωγικότητας των δασών εξαιτίας της ξηρασίας, θεωρείται ότι θα επηρεάσει αρνητικά το ισοζύγιο δέσμευσης του C (Lindner *et al.* 2010).

Αλλαγές στην εξάπλωση των ειδών και στη σύνθεση των δασών

Η κλιματική αλλαγή θα επιφέρει μεταβολές στην εξάπλωση (Parmesan & Yohe 2003) και στη σύνθεση των ειδών, τόσο του ανωρόφου, όσο και του υπορόφου (Lindner 2000). Ως αποτέλεσμα, στο πλαίσιο άσκησης δασικής διαχείρισης, η αλλαγή του κλίματος θα επηρεάσει και την επιλογή των ειδών (Lindner 2000). Οι αιτίες μεταβολής της σύνθεσης των ειδών είναι ποικίλες: Αρκετά είδη αναμένεται να αντιμετωπίσουν συρρίκνωση της εξάπλωσής τους, κυρίως λόγω της εξαφάνισης των πληθυσμών τους στα όρια της γεωγραφικής τους εξάπλωσης (Davis & Shaw 2001, Aitken *et al.* 2008, Lindner *et al.* 2010). Για παράδειγμα, σύμφωνα με τους Benito Garzón *et al.* (2008), η εξάπλωση της δασικής πεύκης στην Ιβηρική Χερσόνησο αναμένεται να μειωθεί σημαντικά βάσει των σεναρίων κλιματικής αλλαγής (IPCC 2007). Συγκεκριμένα τα ορεινά κωνοφόρα που εμφανίζονται σε μεγάλα υψόμετρα δεν θα έχουν σημαντικό χώρο δυνητικής εξάπλωσης σε περίπτωση αύξησης της θερμοκρασίας, εκτός από περιορισμένης έκτασης αλπικές περιοχές. Επομένως, τα είδη αυτά δεν θα μπορέσουν να αναπληρώσουν τις εκτάσεις στα μικρά υψόμετρα οπότε θα εξαφανιστούν. Το γεγονός αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα την εξαφάνιση υποπληθυσμών των ειδών αυτών και τη μείωση της γενετικής τους ποικιλότητας στη νότια Ευρώπη. Άλλα είδη αναμένεται να εξαφανιστούν λόγω της απώλειας των ενδιαιτημάτων τους ή της διατάραξης της ισορροπίας των βιοτικών σχέσεων εξαιτίας της αλλαγής των κλιματικών συνθηκών (Ohlson *et al.* 2005). Κάποια είδη αναμένεται να αντικατασταθούν από άλλα, πιο ανταγωνιστικά. Συγκεκριμένα, αναμένεται αντικατάσταση ειδών με στρατηγική ανταγωνισμού, από άλλα είδη με στρατηγικές

αντοχής σε καταπονήσεις ή σε διαταραχές (Honney *et al.* 2002, Milad *et al.* 2011). Επιπλέον, σε κάποιες περιοχές, λόγω της εμφάνισης διαταραχών εξαιτίας πυρκαγιών, ενδέχεται είδη που δεν διαθέτουν προσαρμογές έναντι των πυρκαγιών να αντικατασταθούν από είδη με κατάλληλες προσαρμογές (Noss 2001, Hemery 2008).

Οικοσυστήματα στα οποία η σύνθεση των τελικών κοινωνιών δεν περιλαμβάνει είδη ανθεκτικά στις νέες κλιματικές συνθήκες, αναμένεται να μεταβληθούν σημαντικά (Nitschke & Innes 2008a). Αυτό μπορεί να οδηγήσει, είτε σε αύξηση της ποικιλότητας των ενδιαιτημάτων σε αυτά τα οικοσυστήματα, είτε σε ομογενοποίηση. Ακραία καιρικά φαινόμενα (π.χ. καταιγίδες, βροχοπτώσεις, χιονοπτώσεις και ξηρασία) μπορεί να ενισχύσουν τη διαδικασία της φυσικής επιλογής για γενοτύπους ανθεκτικούς σε διαταραχές (Archaux & Wolters 2006) και να αυξήσουν (από κοινού με τους βιοτικούς παράγοντες) τη θνησιμότητα σε ορισμένους πληθυσμούς ή είδη (Milad *et al.* 2011). Οι αυξημένες θερμοκρασίες του χειμώνα αναμένεται να μειώσουν την αναπαραγωγική ικανότητα των φυτικών ειδών (Hampe & Petit 2005, Milad *et al.* 2011). Από την άλλη πλευρά, η αυξημένη ξηρασία του καλοκαιριού αναμένεται να μειώσει σημαντικά το ποσοστό επιβίωσης των αρτιφύτρων στους υπολειμματικούς πληθυσμούς ειδών στα νότια γεωγραφικά πλάτη (García *et al.* 1999, Peñuelas & Boada 2003, Castro *et al.* 2004). Σε υποαλπικά και γενικά μεγαλύτερα υψόμετρα, όπου σήμερα η ανάπτυξη των δέντρων και του δάσους περιορίζεται λόγω χαμηλών θερμοκρασιών, αναμένεται να ευνοηθεί η αύξηση των δασικών ειδών και της βλάστησης, εξαιτίας της ανόδου της θερμοκρασίας (Lindner *et al.* 2010). Περαιτέρω, όπου οι εδαφικές συνθήκες το επιτρέπουν, αναμένεται η αύξηση του υψομέτρου εμφάνισης των δασοορίων (Camarero & Gutierrez 2004, Bolli *et al.* 2007, Peñuelas *et al.* 2007) καθώς και μεταβολή της υψομετρικής κατανομής των ζωνών βλάστησης στους ορεινούς όγκους. Οι ανωτέρω παράγοντες είναι πιθανό να οδηγήσουν στη δημιουργία νέων συναθροίσεων ειδών (φυτοκοινωνιών) με άγνωστες (μη προβλέψιμες) επιπτώσεις στη λειτουργικότητα του οικοσυστήματος και στις βιοτικές σχέσεις μεταξύ των οργανισμών (Archaux & Wolters 2006, Keith *et al.* 2009).

Αύξηση έντασης και συχνότητας διαταραχών

Γενικώς, παρατηρείται αυξημένη πιθανότητα πυρκαγιών εξαιτίας της εντονότερης ξηρασίας, της μεγαλύτερης διάρκειας ξηρής περιόδου και των συχνότερων κεραυνών (Ohlson *et al.* 2005, de Dios *et al.* 2007, Lindner *et al.* 2010, Meyn *et al.* 2010, Flannigan *et al.* 2000). Σύμφωνα με τους Flannigan *et al.* (2000), η αύξηση της συχνότητας και της έντασης των πυρκαγιών θα αποτελέσει, σε πολλές περιοχές, την κύρια αιτία μεταβολής της βλάστησης. Γενικά, οι επιπτώσεις από την αλλαγή του καθεστώτος των πυρκαγιών στα φυτικά είδη αναμένεται να είναι σημαντικότερες από τις άμεσες επιπτώσεις της αλλαγής των κλιματικών παραμέτρων (π.χ. όσον αφορά στην εξάπλωσή τους). Επιπλέον, αναμένεται να εμφανιστούν προβλήματα διαταραχών λόγω πυρκαγιάς και σε οικοσυστήματα (τύπους βλάστησης) που στο παρελθόν δεν κινδύνευαν από πυρκαγιές. Πρόκειται για οικοσυστήματα που απαντούν σε ορεινά υψόμετρα (π.χ. δάση ελάτης), τα οποία συντίθενται από είδη που δεν εμφανίζουν προσαρμογές έναντι των πυρκαγιών και, ως εκ τούτου, η ανθεκτικότητα των εν λόγω οικοσυστημάτων έναντι των πυρκαγιών είναι πολύ μικρή. Η εμφάνιση πυρκαγιών σε τέτοια οικοσυστήματα μπορεί να προκαλέσει την έντονη υποβάθμισή τους και την εξαφάνιση των ειδών που τα συνθέτουν (Hemery 2008, Moser *et al.* 2010).

Μείωση της βιοποικιλότητας

Η επέκταση των δασών σε αλπικά υψόμετρα (επάνω από τα σημερινά δασοόρια), ως απόκριση στην αλλαγή του κλίματος, αναμένεται να έχει σημαντικές επιπτώσεις στην εξάπλωση και βιωσιμότητα των πληθυσμών αρκετών ορεινών και αλπικών ειδών. Καθώς οι ορεινοί όγκοι έχουν τη λειτουργία βιογεωγραφικών νησιών, η δυνατότητα μετανάστευσης των ανωτέρω ορεινών και αλπικών ειδών, σε περίπτωση απώλειας των ενδιαιτημάτων τους, είναι πολύ μικρή (Theurillat *et al.* 1998). Περαιτέρω, αναμένεται μείωση της αποτελεσματικότητας των δικτύων διατήρησης, διότι αρκετά είδη ίσως εκλείψουν από τις περιοχές που έχουν ορισθεί ειδικά για την προστασία τους (Araujo *et al.* 2004, Scott *et al.* 2002, Heller & Zavaleta 2009).

Μια έμμεση, αλλά αρκετά σημαντική επίδραση της κλιματικής αλλαγής, είναι οι επιπτώσεις που θα έχει στις χρήσεις γης. Συγκεκριμένα, η καταλληλότητα πολλών περιοχών για καλλιέργεια πιθανώς να μεταβληθεί. Η μεταβολή αυτή μπορεί να οφείλεται είτε σε μη καταλληλότητα κάποιων περιοχών για κάποιες καλλιέργειες ή σε δημιουργία προοπτικών για νέες καλλιέργειες. Οι αλλαγές που είναι πιθανό να επιφέρει η κλιματική αλλαγή στις χρήσεις γης θα μεταβάλουν σημαντικά το καθεστώς πιέσεων που υφίσταται σήμερα οι δασικές περιοχές και ιδιαίτερα αυτές που βρίσκονται υπό καθεστώς διατήρησης.

Οι πληθυσμοί που βρίσκονται στα άκρα της γεωγραφικής εξάπλωσης των ειδών αναμένεται να επηρεαστούν σημαντικά από την κλιματική αλλαγή (Thomas *et al.* 2001, Iverson *et al.* 2004, Hampe & Petit 2005). Αυτό οφείλεται στο ότι αυτοί οι πληθυσμοί, είναι συνήθως περισσότερο ευπαθείς σε περιβαλλοντικές αλλαγές, καθώς βρίσκονται πολλές φορές σε λιγότερο κατάλληλα ενδιαιτήματα. Η απώλεια των πληθυσμών στα όρια εξάπλωσης των ειδών θα μειώσει σημαντικά τη γενετική τους ποικιλότητα (Vucetich & Waite 2003, Hampe & Petit 2005) διότι, σύμφωνα με τους Petit *et al.* (2003) και Hewitt (2004), οι περιφερειακοί πληθυσμοί εμφανίζουν μεγαλύτερη γενετική ποικιλότητα από τους πληθυσμούς στο κέντρο εξάπλωσης των ειδών. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι οι πληθυσμοί στην περιφέρεια, και συγκεκριμένα στο νότιο όριο εξάπλωσής τους, έχουν αυξημένες πιθανότητες παραμονής στην περιοχή για μακρά περίοδο και κατά τη διάρκεια ενός ή και περισσότερων παγετωδών περιόδων (Hampe & Petit 2005). Πολλοί μάλιστα από τους υπολειμματικούς αυτούς πληθυσμούς δεν μπόρεσαν να μεταναστεύσουν βορειότερα έπειτα από την τελευταία παγετώδη περίοδο (Petit *et al.* 2003). Από την άλλη πλευρά, υπάρχει η άποψη ότι πιθανώς τμήμα των υπολειμματικών πληθυσμών ειδών στα νότια γεωγραφικά πλάτη να μην εξαφανιστεί, όπως προβλέπουν τα μοντέλα βιοκλιματικών φακέλων (bioclimatic envelopes), λόγω του ποικίλου ανάγλυφου το οποίο προσφέρει πληθώρα δυνητικών ενδιαιτημάτων, αλλά και βιοτικών παραγόντων (Hampe & Petit 2005).

Σε καταφύγια της Ιβηρικής χερσονήσου, κατά τις παγετώδεις και μεταπαγετώδεις περιόδους, η μετανάστευση της δασικής πεύκης κατά μήκος υψομετρικών βαθμίδων λόγω των κλιματικών αλλαγών είχε επιπτώσεις στη γενετική ποικιλότητα (Robledo-Arnuncio *et al.* 2005). Ο Beuker (1994) βρήκε διαφοροποιήσεις στη φαινολογία έκπτυξης των οφθαλμών μεταξύ διαφορετικών προελεύσεων της δασικής πεύκης. Λαμβάνοντας υπόψη τα ανωτέρω καθώς και το γεγονός ότι στις περιοχές της νότιας Ευρώπης έχει συσσωρευτεί ιδιαίτερα υψηλή γενετική ποικιλότητα (λόγω της λειτουργίας των εν λόγω περιοχών ως καταφύγια κατά τις παγετώδεις περιόδους) (Magri *et al.* 2006) γίνεται εμφανής ο σημαντικός κίνδυνος μείωσης της γενετικής ποικιλότητας των δασοπονικών ειδών της Ευρώπης, ως απόκριση στην κλιματική

αλλαγή. Επιπλέον, θα πρέπει να σημειωθεί ότι στην Ελλάδα, και συγκεκριμένα τα Πιέρια Όρη, ο δυνητικός χώρος επέκτασης της δασικής πεύκης σε μεγαλύτερα υψόμετρα είναι ιδιαίτερα περιορισμένος, καθώς ο κύριος περιοριστικός παράγοντας εξάπλωσης της πεύκης σε μεγαλύτερα υψόμετρα δεν είναι η δριμύτητα του κλίματος, αλλά το μικρό βάθος εδάφους.

Επιδημικές εξάρσεις φλοιοφάγων εντόμων και άλλων παθογόνων οργανισμών

Η αλλαγή των κλιματικών παραγόντων έχει ήδη μεταβάλει, σε πολλές περιπτώσεις, τις σχέσεις ισορροπίας μεταξύ παθογόνων οργανισμών και δασικών φυτικών ειδών. Ακόμη και μικρή αύξηση στη μέση ετήσια θερμοκρασία μπορεί να έχει σοβαρές επιπτώσεις στα δασικά οικοσυστήματα μέσα από την επίδραση στους παθογόνους οργανισμούς και τα έντομα (Lange *et al.* 2006). Συγκεκριμένα, έχουν παρατηρηθεί εξάρσεις προσβολών με συνέπεια σημαντικά αυξημένη θνησιμότητα πληθυσμών δασικών ειδών (Bolte *et al.* 2009). Περαιτέρω, αναμένεται αύξηση των προσβολών από νέους παθογόνους οργανισμούς και κυρίως από είδη εισβολείς, τα οποία επεκτείνουν την εξάπλωσή τους λόγω της κλιματικής αλλαγής (Bolte *et al.* 2009). Οι κλιματικές συνθήκες που επικρατούν σε μια περιοχή, και κατά συνέπεια και οι οποίες αλλαγές τους, επηρεάζουν άμεσα τόσο τη φυσιολογία του φυτού-ξενιστή, όσο και τη βιο-οικολογία των φλοιοφάγων εντόμων. Ταυτόχρονα όμως η βιο-οικολογία των εντόμων αυτών επηρεάζεται έμμεσα και από τη φυσιολογία των φυτών. Έτσι προκύπτει ένα πλέγμα αλληλοεπιδράσεων ανάμεσα στο φλοιοφάγο έντομο και το φυτό-ξενιστή, μέσα στο πλαίσιο που ορίζει ο καταλυτικής σημασίας κλιματικός παράγοντας, με τις επιμέρους παραμέτρους του.

Το φλοιοφάγο είδος εντόμου *Ips typographus* (Coleoptera: Scolytidae), το οποίο απαντά στη Βόρεια Ευρώπη (Lange *et al.* 2006, 2009) είναι ένα από τα πιο καταστρεπτικά έντομα της Ευρώπης. Έχει βρεθεί στη Νορβηγία, στη Σουηδία και στη Φιλανδία. Εμφανίζει μόνο μια γενιά / έτος (Annala 1969), ωστόσο, σε θερμά καλοκαίρια εμφανίζεται και δεύτερη γενιά στη Νότια Σουηδία και Νότια Νορβηγία (Austaraa *et al.* 1977). Σε γενικές γραμμές ο αριθμός των γενεών / έτος αποτελεί σημαντική παράμετρο της εξέλιξης των φλοιοφάγων εντόμων. Σε εύκρατες περιοχές (temperate regions), όπου οι χειμώνες είναι πολύ κρύοι για την εξέλιξη της ανάπτυξης, ο αριθμός των γενεών περιορίζεται με το μήκος της βλαστητικής περιόδου. Για ορισμένα είδη υπάρχει ένα συγκεκριμένο στάδιο ανάπτυξης, στο οποίο μπορεί να επιβιώσει το έντομο το χειμώνα. Ο αριθμός των γενεών των φλοιοφάγων εντόμων επηρεάζει σαφέστατα τη δυναμική εμφάνισης επιδημιών, και κατά συνέπεια τη νέκρωση των δέντρων (Hansen & Bentz 2003). Εάν η θέρμανση του πλανήτη επιφέρει παράταση της βλαστητικής περιόδου, τότε ένα μεγαλύτερο ποσοστό της δεύτερης γενιάς θα φθάσει στο, ανθεκτικό στο κρύο, στάδιο των ενηλίκων, διασφαλίζοντας έτσι την επιβίωσή τους κατά τη διάρκεια του επερχόμενου χειμώνα.

Οι Rebetez & Dobbertin (2004) αναφέρουν σημαντική αύξηση της θνησιμότητας της δασικής πεύκης στην Ελβετία έπειτα από το 1995. Το φαινόμενο αποδίδεται στην αύξηση της θερμοκρασίας και της ξηρασίας, παράγοντες που παίζουν σημαντικό ρόλο καθώς επηρεάζουν την ισορροπία μεταξύ δέντρων και δευτερογενών παθογόνων.

Δεδομένης της σημασίας που έχουν τα φλοιοφάγα έντομα και από οικονομικής πλευράς (εξαιτίας των ζημιών που προκαλούν), κατασκευάστηκαν αξιόπιστα μαθηματικά ομοιώματα (μοντέλα) αναφορικά με τη δράση των φλοιοφάγων εντόμων σε σχέση με τις πλανητικές κλιματικές αλλαγές. Αυτά βασίστηκαν σε:

- Λεπτομερή κλιματικά στοιχεία προηγούμενων δεκαετιών, ώστε έπειτα από τη μοντελοποίησή τους να μπορεί να προβλεφθεί με την καλύτερη δυνατή προσέγγιση το κλίμα κατά τις επερχόμενες δεκαετίες (Zeng *et al.* 2010, Bender *et al.* 2010, Thomas *et al.* 2009, Zanis *et al.* 2009, Christensen/Hewitson 2007, Giorgi 2006, Gao *et al.* 2006, κ.ά.). Χαρακτηριστικό παράδειγμα πρόβλεψης των μελλοντικών κλιματικών αλλαγών αποτελούν οι εκτιμήσεις των Christensen/Hewitson (2007). Οι προσπάθειές τους στηρίχθηκαν στη χρήση 21 μοντέλων πλανητικού επιπέδου, βάσει υποθετικών μέσων όρων θερμοκρασίας και βροχής σε τοπικό επίπεδο. Σε ό,τι αφορά στις εκτιμώμενες κλιματικές αλλαγές στην Ευρώπη, κατέληξαν στις κατωτέρω υποθέσεις, σε σχέση με τη θερμοκρασία και τις βροχοπτώσεις.

Θερμοκρασία: Οι ετήσιες μέσες θερμοκρασίες στην Ευρώπη πιθανά θα αυξηθούν περισσότερο από ότι οι μέσες θερμοκρασίες στον πλανήτη. Συμπερασματικά, πάντοτε σύμφωνα με τα εν λόγω μοντέλα, η Ευρώπη αναμένεται να θερμανθεί σε μεγαλύτερη κλίμακα σε σχέση με τις υπόλοιπες περιοχές του πλανήτη. Περαιτέρω, η θέρμανση στη Βόρεια Ευρώπη πιθανότατα θα είναι ισχυρότερη κατά τη διάρκεια του χειμώνα, ενώ η θέρμανση στη Μεσογειακή Ζώνη θα είναι μεγαλύτερης κλίμακας το καλοκαίρι. Οι ελάχιστες θερμοκρασίες του χειμώνα είναι πιθανό να αυξηθούν περισσότερο από ότι ο μέσος όρος της θερμοκρασίας του χειμώνα στη Βόρεια Ευρώπη. Από την άλλη πλευρά, οι μέγιστες τιμές του καλοκαιριού πιθανό να αυξηθούν περισσότερο από ότι ο μέσος όρος της θερμοκρασίας του καλοκαιριού στην Κεντρική και Νότια Ευρώπη. Συμπερασματικά, στη μεν Βόρεια Ευρώπη θερμότεροι θα είναι οι χειμώνες, ενώ στην περιοχή της Μεσογείου τα καλοκαίρια θα γίνουν θερμότερα.

Βροχοπτώσεις: Τα ανωτέρω μοντέλα έδειξαν ότι πιθανόν στο μεγαλύτερο μέρος της Βόρειας Ευρώπης το συνολικό ύψος βροχής σε ετήσια βάση θα αυξηθεί, στο μεγαλύτερο τμήμα της Μεσογειακής ζώνης θα μειωθεί και στην περιοχή της Κεντρικής Ευρώπης θα αυξηθεί τον χειμώνα και θα μειωθεί το καλοκαίρι. Συμπερασματικά, στην περιοχή της Μεσογείου τα καλοκαίρια θα υπάρχουν λιγότερες βροχοπτώσεις. Βρέθηκε ακόμη ότι πιθανό είναι να αυξηθούν οι ακραίες ημερήσιες βροχοπτώσεις στην Βόρεια Ευρώπη. Στη Μεσογειακή ζώνη αναμένεται να μειωθεί ο ετήσιος αριθμός των ημερών με βροχή, ενώ τόσο στην Κεντρική Ευρώπη, όσο και στην περιοχή της Μεσογείου θα αυξηθεί ο κίνδυνος εμφάνισης καλοκαιριών με ανομβρία.

- Αποτελέσματα από τη μελέτη της βιο-οικολογίας σημαντικών, για την παγκόσμια κοινότητα, φλοιοφάγων εντόμων (Lange *et al.* 2006, Lange *et al.* 2009, Økland *et al.* 2007 κ.ά.).

Με την αξιοποίηση των αποτελεσμάτων των δύο ανωτέρω πεδίων έρευνας επιχειρήθηκε η προσομοίωση των μελλοντικών προσβολών από τα φλοιοφάγα έντομα, σε συνάρτηση με το κλίμα και ιδιαίτερα με τη θερμοκρασία του αέρα και το ύψος της βροχής. Για παράδειγμα, η εξέλιξη των φλοιοφάγων, αλλά και άλλων εντόμων, έχει μοντελοποιηθεί με βάση μόνο τη θερμοκρασία (Logan & Powell 2001). Οι Lange *et al.* (2006) μοντελοποίησαν την εξέλιξη των φλοιοφάγων εντόμων χρησιμοποιώντας τη μέση ημερήσια θερμοκρασία του αέρα για μια χρονοσειρά αρκετών ετών (1061-1990). Στην εν λόγω μελέτη χρησιμοποιήθηκαν οι μέσες ημερήσιες και, εφόσον ήταν δυνατό, οι μέγιστες ημερήσιες θερμοκρασίες από 337 μετεωρολογικούς σταθμούς σε ολόκληρη τη Νορβηγία.

Επιπτώσεις στις λειτουργίες και υπηρεσίες των δασικών οικοσυστημάτων

Λόγω της αυξημένης συχνότητας και έντασης διαταραχών στα ορεινά δασικά οικοσυστήματα αναμένεται να επηρεαστεί αρνητικά η ποιότητα και η ποσότητα του παραγόμενου από αυτά νερού. Η ποιότητα του νερού μπορεί να επηρεαστεί επίσης και από την αύξηση του ρυθμού αποσύνθεσης, λόγω αύξησης της θερμοκρασίας στο κλίμα ή και στο μικροκλίμα των δασών (π.χ. λόγω διαταραχών όπως η πυρκαγιά), με αποτέλεσμα τον εμπλουτισμό του νερού με νιτρικά (Jandl *et al.* 2008). Επιπλέον, αναμένεται να επηρεαστεί, γενικά, ο υδρολογικός κύκλος σε μια περιοχή (για παράδειγμα, μορφή και χρονική κατανομή των κατακρημνισμάτων), με όλες τις δυνατές επιπτώσεις (π.χ. υδατοπαροχή ποταμών) που αυτό συνεπάγεται, ιδίως για τους αζωνικούς τύπους βλάστησης που εξαρτώνται από το νερό (Hulme 2005). Οι αλλαγές στον υδρολογικό κύκλο αναμένεται να έχουν επιπτώσεις και στον κύκλο των θρεπτικών στοιχείων (Prato 2008). Επιπρόσθετα, προβλέπεται επηρεασμός και των υπηρεσιών του δάσους, όπως η προστασία από πλημμύρες, η διάβρωση, οι χιονοστιβάδες, οι κατολισθήσεις κ.ά. Γενικά, θεωρείται ότι θα μειωθεί η προστατευτική επίδραση των δασών στους παραπάνω παράγοντες, αν και σε κάποιες περιπτώσεις, έστω και τοπικά, ενδέχεται να αυξηθεί (π.χ. έναντι των χιονοστιβάδων λόγω επέκτασης του δάσους στα αλπικά υψόμετρα) (de Dios *et al.* 2007, Lindner *et al.* 2010).

1.2. Το έργο LIFE+AdaptFor

Το βασικό ερώτημα με το οποίο ασχολείται το Έργο LIFE+ AdaptFor (www.life-adaptfor.gr) είναι *πώς μπορούμε να προσαρμόσουμε τη διαχείριση των δασών στην κλιματική αλλαγή στην Ελλάδα*. Συγκεκριμένα, το Έργο έχει ως σκοπό την επίδειξη της προσαρμογής της δασικής διαχείρισης στην αλλαγή του κλίματος σε τέσσερα επιλεγμένα δασικά οικοσυστήματα της χώρας. Σε αυτά τα δάση έχουν παρατηρηθεί ήδη αλλαγές στη βλάστηση οι οποίες αποδίδονται στην κλιματική αλλαγή.

1.2.1. Δράσεις επίδειξης της προσέγγισης προσαρμογής της δασικής διαχείρισης στην κλιματική αλλαγή στις τέσσερις περιοχές μελέτης

Προκειμένου να αξιολογηθούν οι μεταβολές των κλιματικών παραμέτρων, παρήχθησαν χρονοσειρές θερμοκρασίας και βροχόπτωσης για τις χρονικές περιόδους 1950-2009 και 2010-2050 (Δράση 1) σε κάθε μία από τις περιοχές μελέτης.

Στο πλαίσιο της Δράσης 2, αξιολογήθηκαν η προηγούμενη και υφιστάμενη κατάσταση των τεσσάρων δασικών οικοσυστημάτων, κυρίως από άποψη υγείας του δάσους (εμφάνιση παθογόνων οργανισμών, όπως μύκητες και έντομα) αλλά και από άποψη οικοφυσιολογίας, φυτοκοινωνιολογική και εδαφολογική. Η περιγραφή βασίστηκε σε α) εργασία πεδίου, β) έρευνα των αρχείων των τοπικών δασικών και άλλων υπηρεσιών και γ) υπάρχουσα βιβλιογραφία. Περαιτέρω, έγινε προσπάθεια τεκμηρίωσης των αλλαγών στη βλάστηση με βάση τα κλιματικά δεδομένα για την περίοδο 1950-2009 που συλλέχθηκαν στο πλαίσιο της Δράσης 1. Επιπλέον, οι αλλαγές στη βλάστηση των τεσσάρων περιοχών κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών αποτυπώθηκαν με τη χρήση τηλεπισκοπικών δεδομένων.

Στην παρούσα δράση (Δράση 3), με βάση τις πληροφορίες που προέκυψαν από τις ανωτέρω δράσεις (Δράσεις 1 και 2), γίνεται προσπάθεια εκτίμησης της εν δυνάμει εξάπλωσης και της κατάστασης των εν λόγω δασικών οικοσυστημάτων εξαιτίας της μελλοντικής αλλαγής του κλίματος για τη χρονική περίοδο 2010-2050.

Στη συνέχεια, στο πλαίσιο της Δράσης 4, θα διατυπωθούν προτάσεις για την προσαρμογή των πρακτικών δασικής διαχείρισης στην κλιματική αλλαγή σε καθεμία από τις τέσσερις (4) περιοχές μελέτης. Τα εν λόγω μέτρα προσαρμογής των πρακτικών δασικής διαχείρισης θα στοχεύουν στη μείωση της ευπάθειας των δασικών οικοσυστημάτων και στην ενίσχυση της ανθεκτικότητάς τους στην κλιματική αλλαγή και θα περιλαμβάνουν κατευθύνσεις για την αντιμετώπιση περιστατικών έκτακτης ανάγκης, όπως οι επιδημίες εντόμων, ξηρασίες κ.ά.. Εξυπακούεται πως τα προτεινόμενα μέτρα προσαρμογής θα ανταποκρίνονται στην αξιολόγηση των επιδράσεων της αναμενόμενης κλιματικής αλλαγής στα δάση (Δράση 3), λαμβάνοντας υπόψη την υφιστάμενη κατάσταση και τις τάσεις των δασών (Δράση 2).

Το 2014, έπειτα από διαβουλεύσεις με τις αρμόδιες υπηρεσίες και με άλλους εμπλεκόμενους, τα ανωτέρω μέτρα – στρατηγικές προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή αναμένεται να ενσωματωθούν στα δασικά διαχειριστικά σχέδια των τεσσάρων περιοχών μελέτης (Δράση 5).

Περαιτέρω, προβλέπεται ο σχεδιασμός και η εγκατάσταση ενός προγράμματος παρακολούθησης στις τέσσερις περιοχές μελέτης (Δράση 6). Στόχος είναι η παρακολούθηση α) των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής και β) της επιτυχίας της εφαρμογής των μέτρων προσαρμογής στα τέσσερα δασικά οικοσυστήματα.

1.2.2. Δράσεις ενδυνάμωσης των δασικών υπηρεσιών στο να προσαρμόσουν τη δασική διαχείριση στις περιοχές αρμοδιότητάς τους

Ταυτόχρονα με τις δράσεις επίδειξης της προσέγγισης προσαρμογής της δασικής διαχείρισης στην κλιματική αλλαγή, το έργο προβλέπει την ενίσχυση της ικανότητας των ελληνικών δασικών υπηρεσιών ώστε να μπορούν να ανιχνεύουν εγκαίρως και να διαχειρίζονται κατάλληλα τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στα δάση της αρμοδιότητάς τους.

Συγκεκριμένα, στο πλαίσιο της Δράσης 13 θα συνταχθούν και θα εκδοθούν κατευθύνσεις για την προσαρμογή της διαχείρισης των δασών της Ελλάδας και της Μεσογείου στην κλιματική αλλαγή. Οι κατευθύνσεις απευθύνονται στους υπεύθυνους άσκησης δασικής διαχείρισης, τους επαγγελματίες που συμμετέχουν στον σχεδιασμό δασικής διαχείρισης κ.ά. με στόχο την εξοικείωσή τους με θέματα όπως οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στα δάση, οι πιθανές διαχειριστικές προσεγγίσεις για την προσαρμογή στην αλλαγή του κλίματος, οι μέθοδοι και τα εργαλεία για την παρακολούθηση και την αξιολόγηση της άσκησης διαχείρισης κ.ά.

Επιπρόσθετα, πρόκειται να διεξαχθεί σεμινάριο κατάρτισης για τους υπαλλήλους της Γενικής Διεύθυνσης Ανάπτυξης και Προστασίας Δασών και Φυσικού Περιβάλλοντος του Υ.Π.Ε.Κ.Α. και το προσωπικό των δασικών υπηρεσιών (Δράση 11). Η διεξαγωγή του θα πραγματοποιηθεί έπειτα από την ανάπτυξη των προτάσεων για τα μέτρα προσαρμογής (Δράση 4) και από τη σύνταξη των κατευθύνσεων για την προσαρμογή της ελληνικής δασικής διαχείρισης στην κλιματική αλλαγή (Δράση 11) ώστε οι συμμετέχοντες να ενημερωθούν επί του συνόλου των αποτελεσμάτων του έργου.

1.2.3. Δράσεις ενημέρωσης και επικοινωνίας

Σκοπός των δράσεων πληροφόρησης είναι η ευρεία επικοινωνία της ανάγκης προσαρμογής της δασικής διαχείρισης στην κλιματική αλλαγή και η διάδοση των αποτελεσμάτων του έργου σε άλλους εμπλεκόμενους αλλά και στο ευρύ κοινό. Πιο συγκεκριμένα, οι εν λόγω δράσεις περιλαμβάνουν τη δημιουργία δικτυακού τόπου (Δράση 7), την κατασκευή και ανάρτηση στις τέσσερις περιοχές του έργου πινακίδων δημοσιοποίησης (Δράση 8), την έκδοση ενημερωτικού εντύπου (Δράση 12), τη διοργάνωση συναντήσεων έναρξης και λήξης του έργου (Δράση 10), την έκδοση εκλαϊκευμένης έκθεσης (Layman's report) (Δράση 14), τη δημοσιοποίηση των δράσεων και των αποτελεσμάτων του έργου στα Μέσα Μαζικής Ενημέρωσης (δελτία τύπου, άρθρα, παρουσιάσεις σε τοπικά και εθνικά κανάλια κ.ά.) (Δράση 9) και το σχέδιο επικοινωνίας μετά το τέλος του LIFE (After-LIFE Communication Plan) το οποίο περιλαμβάνει επισκόπηση των στόχων, της μεθόδου και των αποτελεσμάτων του έργου καθώς και τη στρατηγική επικοινωνίας (Δράση 18).

2. ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

2.1. Χρονοσειρές μετεωρολογικών δεδομένων για τη χρονική περίοδο 2010-2050

Οι χρονοσειρές μετεωρολογικών δεδομένων για τη χρονική περίοδο 2010-2050, παρήχθησαν με βάση τις ιστορικές χρονοσειρές βροχόπτωσης (ημερήσιες τιμές) και θερμοκρασίας (μέσες μηνιαίες, μέγιστες και ελάχιστες) για την περίοδο 1950-2009. Τα δεδομένα για την κατασκευή των εν λόγω χρονοσειρών προήλθαν από βροχομετρικούς και μετεωρολογικούς σταθμούς, πλησίον των τεσσάρων δασικών οικοσυστημάτων του έργου. Καταβλήθηκε προσπάθεια, η διάρκεια των ιστορικών χρονοσειρών να είναι της τάξης των 50 ετών και άνω, όπου αυτό ήταν δυνατό. Για τη χωρική κατανομή των τιμών βροχόπτωσης και θερμοκρασίας στις τέσσερις περιοχές μελέτης χρησιμοποιήθηκε η βροχοβαθμίδα και η θερμοβαθμίδα αντίστοιχα, οι οποίες υπολογίστηκαν για κάθε περιοχή ξεχωριστά. Στις χρονοσειρές των ιστορικών τιμών εφαρμόστηκε επιπλέον ανάλυση για τη διερεύνηση ύπαρξης τάσεων. Η ανάλυση αυτή αφορούσε τις ετήσιες τιμές βροχής και θερμοκρασίας (μέση ελάχιστη και μέση μέγιστη), στις τέσσερις περιοχές και περιελάμβανε τα ακόλουθα: α) αναγνώριση ύπαρξης τάσης, β) εντοπισμό της χρονικής στιγμής έναρξης της τάσης, γ) εκτίμηση του μεγέθους της τάσης. Για διάστημα εμπιστοσύνης 95%, η ανωτέρω διαδικασία έδωσε τα ακόλουθα αποτελέσματα:

Βροχόπτωση

- Η μόνη περιοχή στην οποία εντοπίστηκε ύπαρξη τάσης ήταν η Καλαμπάκα (σταθμός Αγίου Δημητρίου). Η τάση αρχίζει να διακρίνεται (σημείο έναρξης) από το έτος 1983 και είναι αρνητική με μέγεθος $-6,5$ mm/έτος.
- Στις υπόλοιπες περιοχές δεν εμφανίζεται κάποια σαφής τάση εντός του διαστήματος εμπιστοσύνης για το οποίο έγινε η διερεύνηση.

Μέση μέγιστη θερμοκρασία

- Δεν έχει εντοπισθεί ύπαρξη τάσης σε καμία περιοχή, εντός του διαστήματος εμπιστοσύνης για το οποίο έγινε η διερεύνηση.

Μέση Ελάχιστη θερμοκρασία

- Ανοδική εντοπίστηκε η τάση όσον αφορά στη μέση ελάχιστη θερμοκρασία στις περιοχές της Πάρνηθας (σταθμός Τατοίου) και του Ταΰγετου (σταθμός Σελλασίας). Το μέγεθος της τάσης στους δυο σταθμούς προσδιορίστηκε σε $+0,025$ °C/έτος και $+0,03$ °C/έτος, αντίστοιχα. Η στιγμή έναρξης αυτής είναι το έτος 1979 για την Πάρνηθα και το 1986 για τον Ταΰγετο.
- Για τις περιοχές της Καλαμπάκας και της Πιερίας δεν έχει εντοπισθεί η ύπαρξη τάσης εντός του διαστήματος εμπιστοσύνης για το οποίο έγινε η διερεύνηση.

Η παραγωγή συνθετικών χρονοσειρών βροχόπτωσης και θερμοκρασίας για τη χρονική περίοδο 2010-2050 (μελλοντικά σενάρια κλιματικών αλλαγών) πραγματοποιήθηκε με τη χρήση στοχαστικών μοντέλων. Στόχος ήταν η προσομοίωση της βροχόπτωσης και της θερμοκρασίας (μέγιστης και ελάχιστης).

Τα στοχαστικά μοντέλα δεν αποτελούν εργαλεία πρόγνωσης καιρού αλλά διαδικασίες δημιουργίας συνθετικών σειρών βροχόπτωσης και θερμοκρασίας, οι οποίες διατηρούν τα στατιστικά χαρακτηριστικά των ιστορικών σειρών έπειτα από τη διατάραξή τους από ένα υποθετικό σενάριο κλιματικής αλλαγής. Τα εν λόγω μοντέλα χρησιμοποιούνται ευρέως στην παραγωγή χρονοσειρών κλιματικών παραμέτρων, για μελλοντικά σενάρια κλιματικών αλλαγών (Semenov & Barrow 1997).

Βροχόπτωση: Η συνθετική παραγωγή της βροχόπτωσης έγινε σε δύο βήματα: α) Στο πρώτο βήμα, πραγματοποιήθηκε προσομοίωση και παραγωγή της επισύμβασης³ της βροχόπτωσης, χρησιμοποιώντας μοντέλα διακριτής επισύμβασης⁴, τα οποία βασίζονται στις αλυσίδες Markov. Η παραγωγή συνθετικών σειρών υγρών και ξηρών ημερών έγινε με τη βοήθεια παραγωγής τυχαίων αριθμών ομοιόμορφης κατανομής και των πιθανοτήτων μετάβασης. β) Στο δεύτερο βήμα, υπολογίστηκε το ύψος βροχόπτωσης των υγρών ημερών με τη βοήθεια της Γάμμα κατανομής. Η συνθετική παραγωγή μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας έγινε με ταυτόχρονη παραγωγή τους, αφού θεωρούνται αλληλοεξαρτώμενες στοχαστικές μεταβλητές με ένα πρώτης τάξης ομοίωμα αυτοσυσχέτισης.

Θερμοκρασία: Η συνθετική παραγωγή της μέγιστης και της ελάχιστης θερμοκρασίας γίνεται θεωρώντας αυτές ως αλληλοεξαρτώμενες στοχαστικές μεταβλητές (Richardson 1981, Ndlovu 1994, Young & Gowing 1996, Young 2002). Για την παραγωγή συνθετικών σειρών θερμοκρασίας (μέγιστης και ελάχιστης), απαραίτητη προϋπόθεση ήταν η τυποποίηση ή παραμετροποίηση (parameterization).

Οι ανωτέρω διαδικασίες εφαρμόστηκαν σε δεδομένα τεσσάρων μετεωρολογικών σταθμών (ένας για κάθε περιοχή μελέτης) για τα εξής υποθετικά σενάρια κλιματικών αλλαγών:

α) Βροχόπτωση -20%, -10%, 0%, +10% και +20% και

β) Θερμοκρασία (μέγιστη και ελάχιστη) 0 °C, +1 °C και +2 °C.

Σε κάθε μία από τις τέσσερις περιοχές μελέτης επιλέχθηκε ένας αντιπροσωπευτικός σταθμός για κάθε παράμετρο (βροχόπτωση και θερμοκρασία). Τα δεδομένα των σταθμών αυτών χρησιμοποιήθηκαν για τη συνθετική παραγωγή. Οι σταθμοί αυτοί ήταν:

- Για την περιοχή του Δάσους Ρητίνης-Βρίας στα Πιέρια Όρη) επιλέχθηκε ο σταθμός του Αγίου Δημητρίου και για τις δύο μετεωρολογικές μεταβλητές.
- Για την περιοχή του Δάσους Ασπροποτάμου-Καλαμπάκας επιλέχθηκε ο σταθμός του Περτουλίου για τη βροχόπτωση και ο σταθμός του Ασπροποτάμου για τη θερμοκρασία.
- Για την περιοχή του Εθνικού Δρυμού Πάρνηθας επιλέχθηκε ο σταθμός του Τατοΐου και για τις δύο μετεωρολογικές μεταβλητές.
- Για το Όρος Ανατολικός Ταΰγετος επιλέχθηκε ο σταθμός της Άρνας για τη βροχόπτωση και ο σταθμός της Σελλασίας για τη θερμοκρασία.

Στον Πίνακα 1 που ακολουθεί δίνονται οι συντεταγμένες και το υψόμετρο των έξι σταθμών που βρίσκονται στις τέσσερις περιοχές μελέτης.

³ Με τον όρο *επισύμβαση* νοείται το αν μία ημέρα είναι υγρή ή ξηρή. *Υγρή* χαρακτηρίζεται μια ημέρα στην οποία έχει πέσει κάποια βροχόπτωση και *ξηρή* χαρακτηρίζεται η ημέρα στην οποία δεν έχει πέσει καθόλου βροχή.

⁴ Η *διακριτή επισύμβαση* της βροχόπτωσης είναι μια απλοποίηση της παρατηρηθείσας διαδικασίας βροχόπτωσης, έτσι ώστε οι βροχοπτώσεις να υπολογίζονται κατά τη διάρκεια καθορισμένων χρονικών βημάτων, συνήθως της ημέρας, η οποία είναι και το πιο κοινά χρησιμοποιούμενο βήμα σε μοντέλα που χρησιμοποιούν συνθετικά δεδομένα.

Πίνακας 1. Στοιχεία των έξι σταθμών που βρίσκονται τις περιοχές μελέτης.

Α/α	Όνομα Σταθμού	Περιοχή Μελέτης	Συντεταγμένες		Υψόμετρο (m)
			Γ. Πλάτος	Γ. Μήκος	
1	Άγιος Δημήτριος	Πιέρια Όρη	40° 09'	22° 14'	808
2	Περτούλι	Ασπροπόταμος - Καλαμπάκα	39° 33'	21° 28'	1140
3	Ασπροπόταμος		39° 39'	21° 20'	1050
4	Τατόι	Πάρνηθα	38° 60'	23° 47'	235
5	Άρνα	Ταΰγετος	36° 53'	22° 25'	779,2
6	Σελλασία		37° 10'	22° 25'	610

Η ενσωμάτωση των διαφόρων μελλοντικών σεναρίων κλιματικών αλλαγών έγινε με τη διατάραξη της ιστορικής σειράς των δεδομένων με τη βοήθεια του αντίστοιχου σεναρίου κλιματικής αλλαγής. Στη συνέχεια εφαρμόστηκαν οι διαδικασίες που περιγράφηκαν ανωτέρω για τη συνθετική παραγωγή της βροχοπτώσης και της θερμοκρασίας της χρονικής περιόδου 2010-2050 με τη βοήθεια των αντίστοιχων διαταραγμένων ιστορικών χρονοσειρών.

Οι πιθανότητες εμφάνισης των σεναρίων αυτών, σε όλους τους δυνατούς συνδυασμούς, ανέρχονται στις κατωτέρω 15 δυνατές περιπτώσεις:

1. Μηδενική μεταβολή της θερμοκρασίας (0° C) με ταυτόχρονη:
 - 1.1 Μηδενική μεταβολή βροχοπτώσεων
 - 1.2 Μείωση των βροχοπτώσεων κατά 20%
 - 1.3 Μείωση των βροχοπτώσεων κατά 10%
 - 1.4 Αύξηση των βροχοπτώσεων κατά 10%
 - 1.5 Αύξηση των βροχοπτώσεων κατά 20%
2. Αύξηση της θερμοκρασίας κατά 1° C με ταυτόχρονη:
 - 1.1 Μηδενική μεταβολή βροχοπτώσεων
 - 2.2 Μείωση των βροχοπτώσεων κατά 20%
 - 2.3 Μείωση των βροχοπτώσεων κατά 10%
 - 2.4 Αύξηση των βροχοπτώσεων κατά 10%
 - 2.5 Αύξηση των βροχοπτώσεων κατά 20%
3. Αύξηση της θερμοκρασίας κατά 2° C με ταυτόχρονη:
 - 1.1 Μηδενική μεταβολή βροχοπτώσεων
 - 3.2 Μείωση των βροχοπτώσεων κατά 20%
 - 3.3 Μείωση των βροχοπτώσεων κατά 10%
 - 3.4 Αύξηση των βροχοπτώσεων κατά 10%
 - 3.5 Αύξηση των βροχοπτώσεων κατά 20%

Με βάση όλα τα ανωτέρω, όσον αφορά την ύπαρξη τάσεων στις τέσσερις περιοχές και το μέγεθος αυτών, δυο σενάρια θεωρούνται τα επικρατέστερα για το μέλλον:

1. Μείωση των βροχοπτώσεων κατά 10% και καθόλου μεταβολή της θερμοκρασίας.
2. Μείωση των βροχοπτώσεων κατά 10% και αύξηση της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας κατά 1°C (Κατσαβούνη κ.ά. 2013).

3. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ

3.1. Η νέκρωση της δασικής πεύκης (*Pinus sylvestris*) στο Δάσος Ρητίνης – Βρίας στα Πιέρια Όρη

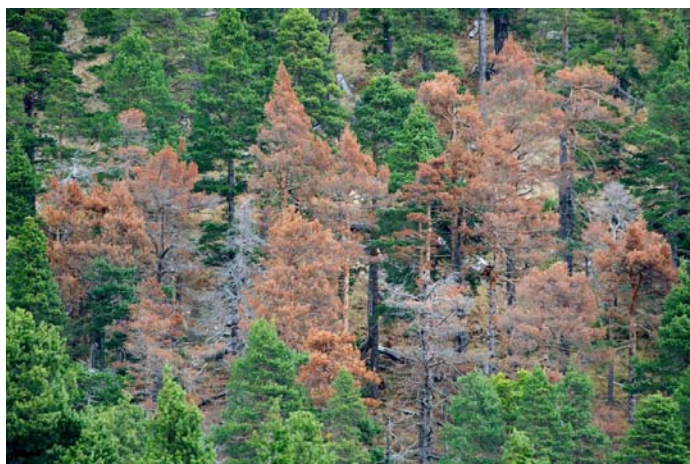
3.1.1. Γενικά για το Δάσος Ρητίνης-Βρίας

Η περιοχή καλύπτεται κυρίως από αμιγείς συστάδες δασικής πεύκης (*Pinus sylvestris*) και μόνο στα χαμηλότερα όριά της εμφανίζεται ζώνη σε μίξη με μαύρη πεύκη (*Pinus nigra*). Στον υποόροφο απαντά θαμνώδης βλάστηση, κυρίως το είδος *Vaccinium myrtillus*. Ο πληθυσμός της δασικής πεύκης των Πιερίων Ορέων διαμορφώθηκε κατά τη διάρκεια της τελευταίας παγετωγενούς περιόδου, κατά τη μετανάστευση πολλών φυτικών ειδών της Μεσευρώπης προς νοτιότερες περιοχές-καταφύγια (refugia), οι οποίες δεν πλήγηκαν από τους παγετώνες (Passagianis 2000). Αντιπροσωπεύει έναν από τους νοτιότερους πληθυσμούς του είδους στην Ευρώπη (Carlisle & Brown 1968, EUFROGEN 2009), αποτελώντας, μάλιστα, μια αρκετά απομακρυσμένη κηλίδα από την περιοχή της συνεχόμενης εξάπλωσης του είδους (κεντρική, βόρεια και βορειοανατολική Ευρώπη). Το γεγονός αυτό καθιστά τα δάση δασικής πεύκης των Πιερίων ως έναν «rear edge» πληθυσμό, που χρήζει ειδικής διαχείρισης με σκοπό τη διατήρηση της γενετικής και οικοτυπικής ποικιλότητας του είδους (Hampe & Petit 2005). Συνεπώς, ο εν λόγω πληθυσμός παρουσιάζει τεράστιο επιστημονικό ενδιαφέρον λόγω της μεγάλης γενετικής ποικιλότητας και αποτελεί μια πολύτιμη τράπεζα γονιδίων, όχι μόνο για τη χώρα μας αλλά και γενικότερα. Ως εκ τούτου, η διατήρηση της φυσικής γενετικής ποικιλότητας αποτελεί έναν από τους βασικούς στόχους διαχείρισης. Επιπλέον, η περιοχή των Πιερίων μπορεί να αποτελεί καταφύγιο για ορισμένα είδη. Εκτός από τη δασική πεύκη και άλλα είδη των δασών της, όπως τα *Avenella flexuosa*, *Calamagrostis arundinacea*, *Luzula luzulina*, *Luzula luzuloides* και *Vaccinium myrtillus*, βρίσκονται στα νοτιότερα όρια εξάπλωσής τους (Raus 1995, Schuler 2004).

3.1.2. Παρούσα κατάσταση

Άτομα του πληθυσμού της δασικής πεύκης των Πιερίων Ορέων προσβάλλονται περιστασιακά από τον πρωτογενή παθογόνο μύκητα *Peridermium pini* (Εικ. 1). Ο εν λόγω μύκητας προσβάλλει σχεδόν όλες τις διβέλωνες πεύκες και ιδιαίτερα τη δασική πεύκη. Ο μύκητας συνεξελίχθηκε με τις ορεινές διβέλωντες πεύκες και σπάνια στο παρελθόν η προσβολή οδηγούσε σε πλήρη, επιδημικής μορφής, νέκρωση των προσβλημένων ατόμων. Ωστόσο, κατά τη διάρκεια των τελευταίων 30 ετών, οι εκτεταμένες νεκρώσεις της δασικής πεύκης που παρατηρούνται στο Δάσος Ρητίνης – Βρίας στα Πιέρια Όρη βρέθηκε ότι οφείλονται στη συνδυασμένη δράση του μύκητα *P. pini* και των φλοιοφάγων εντόμων, κυρίως του είδους *Ips acuminatus*, το οποίο απαντά στην περιοχή με εξαιρετικά υψηλή συχνότητα εμφάνισης (70%) (Διαμαντής κ.ά. 2010). Ο μύκητας *P. pini* προσβάλλει τη δασική πεύκη και προκαλεί μία ασθένεια του φλοιού γνωστή ως «ρητινώδη σκωρίαση» (resin top disease). Ο εν λόγω μύκητας, ως πρωτογενές παράσιτο, προσβάλλει δέντρα ανεξαρτήτως ηλικίας, θέσης στη συστάδα και σταθμού, όταν βέβαια οι κλιματικές συνθήκες είναι κατάλληλες για την εκδήλωση της προσβολής. Στη συνέχεια, τα προσβλημένα από τον μύκητα δέντρα, ακόμη και αν δεν νεκρωθούν αμέσως, καθίστανται εξαιρετικά ευάλωτα σε δευτερογενείς προσβολές φλοιοφάγων εντόμων που ανήκουν στην υπό-οικογένεια Scolytinae, η οποία περιλαμβάνει κάποια από τα πιο επιβλαβή έντομα παγκοσμίως. Τα φλοιοφάγα έντομα που εγκαθίστανται πρώτα, εκλύουν σημειοχημικές ουσίες

(semiochemicals) που προσελκύουν και άλλα άτομα του ίδιου είδους, φαινόμενο που οδηγεί σε ραγδαία αύξηση του πληθυσμού των φλοιοφάγων και συνεπώς στην κατάρρευση του αμυντικού μηχανισμού των δέντρων (Byers 2004). Σε υψηλές πληθυσμιακές πυκνότητες, τα φλοιοφάγα έντομα είναι δυνατόν να προσβάλλουν όχι μόνο προσβλημένα από την ασθένεια της ρητινώδους σκωρίασης δέντρα αλλά και υγιή άτομα.



Εικόνα 1. Νέκρωση δασικής πεύκης (*Pinus sylvestris*) στο Δάσος Ρητίνης – Βρίας στα Πιέρια Όρη.

Τα διαθέσιμα στοιχεία υποστηρίζουν την αρχική υπόθεση πως οι μεταβολές των κλιματικών παραμέτρων κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών έχουν συνεργήσει σημαντικά προς αυτήν την κατεύθυνση. Επίσης, ο πληθυσμός δασικής πεύκης στην περιοχή βρίσκεται σχεδόν στα θερμοόρια της οικολογικής ανοχής του είδους (νοτιότερο άκρο εξάπλωσης στην Ευρώπη), οπότε καθίσταται περισσότερο επιδεκτικός σε προσβολές μυκήτων και κυρίως φλοιοφάγων εντόμων κατά την περίοδο εμφάνισης ακραίων καιρικών φαινομένων (υψηλές θερμοκρασίες και παρατεταμένες ξηρές περιόδους) ή συχνότητα εμφάνισης των οποίων αυξάνει λόγω της κλιματικής αλλαγής. Σήμερα, η κατάσταση της υγείας του δάσους συνεχίζει να είναι ανησυχητική. Κατά τη συνολική εκτίμηση, ένα γενικό ποσοστό έντασης προσβολής της τάξης του 20% οφειλόμενο στην ασθένεια της ρητινώδους σκωρίασης αλλά και στα φλοιοφάγα έντομα βρίσκεται πολύ κοντά στην πραγματικότητα (Διαμαντής κ.ά. 2010).

Από άποψη φυτοκοινωνιολογίας, στην περιοχή των Πιερίων απαντούν τρεις μονάδες βλάστησης στα δάση δασικής πεύκης, οι οποίες αντιπροσωπεύουν δύο ποιότητες τόπου. Η μονάδα βλάστησης στα χαμηλότερα υψόμετρα (1η μονάδα) βρέθηκε με αρκετά πιο θερμοφιλή και ξηρόφιλη χλωρίδα από τις υπόλοιπες δύο μονάδες και με έδαφος με μεγαλύτερες τιμές pH και φτωχότερο σε θρεπτικά στοιχεία. Η διαφοροποίηση μεταξύ των δύο υπολοίπων μονάδων αφορά κυρίως στη συμμετοχή υποαλπικών ειδών στη μονάδα που εμφανίζεται στα μεγαλύτερα υψόμετρα (3η μονάδα). Η ποικιλότητα εντός των δασών δασικής πεύκης είναι αρκετά υψηλή, με μεγάλο βαθμό διαφοροποίησης τόσο της χλωριδικής σύνθεσης, όσο και των ενδιαιτημάτων. Εκτός από την υψηλή θνησιμότητα (φαινόμενα ξηράνσεων) της δασικής πεύκης σε μεγάλες εκτάσεις, στην περιοχή παρατηρείται μία σταδιακή αντικατάσταση της δασικής πεύκης από ανταγωνιστικότερα είδη, όπως είναι η οξυά. Αυτό το τελευταίο αφορά σε συστάδες

δασικής πεύκης με επαρκή για την οξυά υγρασία και θερμοκρασία, όχι ιδιαίτερα χαμηλή (Τσιριπίδης 2011).

Από άποψη οικοφυσιολογίας, η κατάσταση των συστάδων δασικής πεύκης στο σύμπλεγμα Ρητίνης – Βρίας θεωρείται κρίσιμη καθώς τα δέντρα είναι υπέργηρα, με κακή υγεία και, όπως προαναφέρθηκε, η προσβολή των υφιστάμενων δέντρων από τον μύκητα *P. pini* ανέρχεται σε περίπου 20%. Περαιτέρω, η συγκόμωση των συστάδων είναι αραιή, ενώ το δασικό έδαφος είναι καλυμμένο με παχύ στρώμα από *Vaccinium myrtillus* το οποίο, σε συνδυασμό με την υπάρχουσα βόσκηση, εμποδίζει τη φυσική αναγέννηση. Η διαρκής υλοτομία των προσβλημένων δέντρων είχε ως αποτέλεσμα το δάσος να αποκτήσει ακανόνιστη δομή των συστάδων. Η μείωση των ετήσιων κατακρημνισμάτων της περιόδου 1957-2009 στην περιοχή, σε συνδυασμό με την αύξηση των μέγιστων θερμοκρασιών, την αύξηση της εξατμισιοδιαπνοής και το μεγάλο εύρος των διακυμάνσεων ευνόησαν την επικράτηση συνθηκών οι οποίες έθεσαν τα δέντρα σε κατάσταση έντονης καταπόνησης για ένα αρκετά μεγάλο και συνεχόμενο χρονικό διάστημα. Όλες οι ανωτέρω συνθήκες επηρέασαν τη φυσιολογική κατάσταση των δέντρων και την αύξηση, ιδιαίτερα σε ένα δασοπονικό είδος που οι απαιτήσεις του σε εδαφική υγρασία είναι μεγάλες και το οποίο βρίσκεται στο νοτιότερο όριο της εξάπλωσής του στην Ευρώπη. Τα κλιματικά στοιχεία δείχνουν ότι το οικοσύστημα έχει υποστεί καταπόνηση γεγονός που οδηγεί το δάσος σε σταδιακή υποβάθμιση. Η καταπόνηση αυτή είναι δυνατόν να επηρεάσει τη σχέση του οικοσυστήματος με τους παθογόνους οργανισμούς, καθώς αδύναμα και καταπονημένα δέντρα έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα να υποστούν επίθεση παθογόνων μικροοργανισμών. Η περιοχή σήμερα δέχεται μικρή μόνο πίεση από βόσκηση αιγοπροβάτων. Παλαιότερα, η πίεση αυτή ήταν πολύ μεγαλύτερη σε σημείο που καθιστούσε αδύνατη τη φυσική αναγέννηση της δασικής πεύκης και συνεργούσε στην υποβάθμιση του οικοσυστήματος. Ωστόσο, είναι δύσκολο να διαχωριστούν οι επιπτώσεις της ανθρωπογενούς επίδρασης (βόσκηση) από τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής και να προσδιορισθεί ο βαθμός που επηρέασε η κάθε μία την καταπόνηση και υποβάθμιση του οικοσυστήματος (Ραδόγλου & Σπύρογλου 2011).

Από άποψη εδαφολογίας, η δομή των εδαφών στην περιοχή, εξαιτίας της μεγάλης περιεκτικότητας σε άμμο, είναι πολύ ασθενής με αποτέλεσμα την έντονη και γρήγορη υποβάθμισή τους, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις όπου καταστρέφεται η προστατευτική βλάστηση ή ο δασικός τάπητας. Η αποθηκευτική ικανότητα του εδάφους σε νερό είναι μικρή. Αξίζει να σημειωθεί πως στην περιοχή, η μεγαλύτερη αποθηκευτική ικανότητα σε νερό παρουσιάζεται σε τόπους όπου το οικοσύστημα είναι μικτό, αποτελούμενο από ελάτη, οξυά, μαύρη και δασική πεύκη. Γενικά, παρατηρείται μια σταδιακή βελτίωση των εδαφικών συνθηκών της περιοχής κατά τα τελευταία έτη. Λόγω όμως της ευαισθησίας των εδαφών αυτών (εξαιτίας της ασθενούς δομής και της αμμοπηλώδους υφής), ο κίνδυνος νέας υποβάθμισής τους είναι πολύ μεγάλος (Αλιφραγκής 2011).

3.1.3. Εκτίμηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής

Εκτός από τις συνθήκες υγρασίας (βροχοπτώσεις), οι οποίες κρίνονται ως καθοριστικής σημασίας για την έξαρση της ασθένειας της ρητινώδους σκωρίασης της δασικής πεύκης, και οι συνθήκες θερμοκρασίας, και ιδιαίτερα αυτές που επικρατούν κατά τους μήνες Μάιο και Ιούνιο κάθε έτους, διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο. Η ασθένεια προκαλείται, όπως αναφέρθηκε ανωτέρω, από τη δράση του μύκητα *Peridermium pini*, ο οποίος καρποφορεί (παράγει αικιοσπόρους) και απελευθερώνει τα αικιοσπόριά του κατά τον μήνα Ιούνιο. Η βέλτιστη θερμοκρασία ανάπτυξης, καρποφορίας και στη συνέχεια

εκβλάστησης των ακισπορίων του μύκητα κυμαίνεται στους 20-25°C (Klingström 1972) ενώ κατά άλλους είναι 15°C (Sullivan 2010).

Η επίδραση της θερμοκρασίας του αέρα και της βροχόπτωσης επηρεάζουν με τρόπο διαφορετικό την εμφάνιση των φλοιοφάγων εντόμων. Η θερμοκρασία, και κυρίως οι θερμοκρασίες που παρατηρούνται νωρίς την άνοιξη, είναι καθοριστικής σημασίας για ανάπτυξη των φλοιοφάγων εντόμων, καθώς προκειμένου αυτά να εξέλθουν από τη χειμερινή διάπαυση απαιτείται ένας συγκεκριμένος αριθμός ημερών με ευνοϊκές για αυτά θερμοκρασίες. Έτσι, η θερμοκρασία καθορίζει αρχικά το πότε θα ξεκινήσει η πτήση των φλοιοφάγων εντόμων. Στη συνέχεια, η θερμοκρασία μπορεί να επηρεάσει την ταχύτητα μετάβασης από τη μία γενιά στην άλλη, καθορίζοντας με τον τρόπο αυτό τον αριθμό των γενεών των φλοιοφάγων εντόμων κατά τη διάρκεια ενός έτους. Ταυτόχρονα ωστόσο η θερμοκρασία μπορεί να επιδράσει και έμμεσα στα φλοιοφάγα έντομα, μέσω της επίδρασης που έχει στην ευρωστία των δέντρων. Θερμοκρασιακές μεταβολές είναι δυνατόν να διαταράξουν τη φυσιολογία των δέντρων, μειώνοντας την ικανότητά τους να ανταπεξέρχονται σε προσβολές εντόμων. Αυτό έχει ως τελικό αποτέλεσμα, τα δέντρα να καθίστανται πιο ευάλωτα σε προσβολές εντόμων. Τα φλοιοφάγα έντομα, ειδικότερα, είναι σε θέση, μέσω ενός εξαιρετικά πολύπλοκου συστήματος χημικής επικοινωνίας, να εντοπίζουν δέντρα των οποίων η φυσιολογία είναι διαταραγμένη (με τη βοήθεια των καιρομονών), διασφαλίζοντας έτσι ότι το δέντρο που θα προσβάλλουν θα προβάλλει την ελάχιστη δυνατή αντίσταση. Αντίστοιχα, με έμμεσο τρόπο επιδρούν και οι βροχοπτώσεις στην προσβολή της δασικής πεύκης από φλοιοφάγα έντομα. Όταν οι βροχοπτώσεις είναι αρκετές, τότε τα δέντρα αναπτύσσονται κανονικά, διατηρώντας έτσι την ικανότητά τους να αντιστέκονται σε προσβολές εντόμων. Όταν όμως οι βροχοπτώσεις είναι περιορισμένες, τότε η φυσιολογία των δέντρων διαταράσσεται, με αποτέλεσμα και η ικανότητα αντίστασης που έχουν σε προσβολές φλοιοφάγων εντόμων να είναι υποβαθμισμένη. Όπως αναφέρθηκε ήδη, τα φλοιοφάγα έντομα, εντοπίζουν τα εξασθενημένα αυτά δέντρα, τα οποία και προσβάλλουν με μεγαλύτερη ευκολία από τα υγιή.

Συμπερασματικά, συνθήκες ευνοϊκές για την εξέλιξη της ρητινώδους σκωρίασης, δηλαδή υψηλές βροχοπτώσεις και σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες αποτελούν συνθήκες δυσμενείς για την πληθυσμιακή έκρηξη των φλοιοφάγων εντόμων. Αντίθετα, χαμηλές βροχοπτώσεις και υψηλές θερμοκρασίες που εμφανίζονται για μερικά διαδοχικά έτη και δημιουργούν σχετικά μακρές ξηροθερμικές περιόδους, αφ' ενός μεν καταπονούν τα δέντρα και τα καθιστούν ευαίσθητα σε προσβολή από φλοιοφάγα έντομα, αφ' ετέρου δε ευνοούν την πληθυσμιακή έξαρση των εντόμων. Τέτοιες συνθήκες ωστόσο δεν ευνοούν την επέκταση της ασθένειας (Διαμαντής & Αβτζής 2011).

Όπως περιγράφεται αναλυτικά κατωτέρω, η νέκρωση της δασικής πεύκης στα Πιέρια Όρη και η μείωση της ζωτικότητας του πληθυσμού, αναμένεται να συνεχισθεί ακόμη και στα λιγότερο δυσμενή σενάρια κλιματικής αλλαγής. Ωστόσο, σε κάθε περίπτωση, στο τέλος της περιόδου 2010-2050, η δασική πεύκη στην περιοχή θα έχει ξεπεράσει την ηλικία των 180 ετών, γεγονός που ξεπερνά τη διαχειριστική ηλικία αυτού του είδους. Συνεπώς, ανεξάρτητα από τα κλιματικά σενάρια και τις εξάρσεις του μύκητα και των φλοιοφάγων εντόμων, τα συγκεκριμένα άτομα δασικής πεύκης θα υφίσταται νεκρώσεις και λόγω γήρατος.

Η αξιολόγηση της επίδρασης των μελλοντικών κλιματικών μεταβολών στην υγεία του συγκεκριμένου δάσους έδειξε τα ακόλουθα:

- Στο πιθανό σενάριο της μηδενικής μεταβολής της θερμοκρασίας αέρα ή της αύξησης κατά 1°C με ταυτόχρονη αύξηση των βροχοπτώσεων κατά 10% και 20% αναμένεται έξαρση της ασθένειας της ρητινώδους σκωρίασης (άκρως ευνοϊκές συνθήκες για την έξαρση της ασθένειας), ενώ οι απώλειες από φλοιοφάγα έντομα θα είναι χαμηλές (Διαμαντής & Αβτζής 2011). Λόγω της μεγάλης ηλικίας των ατόμων δασικής πεύκης, το φαινόμενο αναμένεται να είναι ιδιαίτερα έντονο στη χαμηλότερη υψομετρικά ζώνη, δηλαδή στα όρια με την εξάπλωση της μαύρης πεύκης όπου και αναμένεται τελικά η επικράτηση της δεύτερης. Στα μεγαλύτερα υψόμετρα, εκεί όπου η δασική πεύκη σχηματίζει τα μάλλον ανθρωπογενή λόγω βόσκησης δασοόρια, αναμένεται να επεκταθεί και να καλύψει τα γυμνά τμήματα από 1800 ως 2020 μ., με την προϋπόθεση ωστόσο ότι δεν θα υπάρξει ανθρωπογενής παρέμβαση με βόσκηση αιγοπροβάτων ή υλοτομίες (Ραδόγλου & Σπύρογλου 2013α).
- Στο λιγότερο πιθανό σενάριο αύξησης της θερμοκρασίας κατά 2°C και παράλληλης αύξησης των βροχοπτώσεων κατά 10% και 20% θα ευνοηθεί η έξαρση της ασθένειας καθόσον οι υψηλότερες θερμοκρασίες κατά τους μήνες Μάιο και Ιούνιο θα αυξήσουν την καρποφορία του μύκητα αλλά θα συμβάλλουν και στην αύξηση των απωλειών από τα φλοιοφάγα έντομα (complex disease) (Διαμαντής & Αβτζής 2011). Οι αυξημένες βροχοπτώσεις σε συνδυασμό με την αύξηση της θερμοκρασίας αναμένεται ότι θα προκαλούν έντονα καιρικά φαινόμενα με περισσότερες καταιγίδες και δυνατούς ανέμους λόγω μεγαλύτερης αστάθειας της ατμόσφαιρας. Φαινόμενα διάβρωσης ενδέχεται να κάνουν την εμφάνισή τους εάν οι βροχοπτώσεις είναι έντονες και ανομοιόμορφα κατανεμημένες. Η παρεδαφιαία βλάστηση θα ευνοηθεί όπως επίσης και η αναγέννηση της δασικής πεύκης, της ελάτης και της οξυάς. Ωστόσο, η βόσκηση των οικοσίτων ζώων θα διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην εξέλιξη της φυσικής αναγέννησης. Περαιτέρω, η αύξηση τόσο της θερμοκρασίας όσο και των βροχοπτώσεων θα προκαλέσει μείωση του διαστήματος από τον Δεκέμβριο ως τον Φεβρουάριο-Μάρτιο κατά το οποίο επικρατούν αρνητικές θερμοκρασίες και τα φυτά σταματούν τη φωτοσύνθεση και τη διαπνοή. Συνεπώς, αναμένεται να υπάρξει αύξηση του εύρους των ημερών όπου τα δέντρα παράγουν βιομάζα (ενεργή παραγωγική περίοδος) και αυτό θα οδηγήσει σε μικρή ενδυνάμει αύξηση της παραγωγής (Ραδόγλου & Σπύρογλου 2013α).
- Στο πιθανό σενάριο της αύξησης της θερμοκρασίας κατά 2°C και μείωσης των βροχοπτώσεων κατά 10% ή 20% (συνθήκες καταπόνησης της δασικής πεύκης εξαιτίας έντονου υδατικού στρες κατά τις ξηροθερμικές περιόδους), οι απώλειες από επιδημικές εξάρσεις των φλοιοφάγων εντόμων θα είναι υψηλές ενώ η επέκταση της ασθένειας της ρητινώδους σκωρίασης θα είναι περιορισμένη. Στην περίπτωση αυτή, αναμένεται πως οι απώλειες θα είναι εντονότερες στη χαμηλότερη ζώνη του δάσους δασικής πεύκης, δηλαδή εκεί όπου η δασική πεύκη θα παύσει να είναι ανταγωνιστική. Τα διάκενα που θα δημιουργηθούν θα καταληφθούν από τη μαύρη πεύκη (η οποία δεν προσβάλλεται από τον εν λόγω μύκητα και απαντά στην αμέσως χαμηλότερη υψομετρικά ζώνη) ή ακόμη και από πλατύφυλλα είδη όπως οξυά και απόδοσκος δρυς. Αυτό αναμένεται να είναι και το πιο καταστροφικό σενάριο όλων. Η σταδιακή μετατροπή των συστάδων δασικής πεύκης σε μερικώς δασοσκεπής εκτάσεις και τελικά σε ορεινά υπαλπικά λιβάδια θα γίνει πιο γρήγορα (Διαμαντής & Αβτζής 2011, Ραδόγλου & Σπύρογλου 2013α).

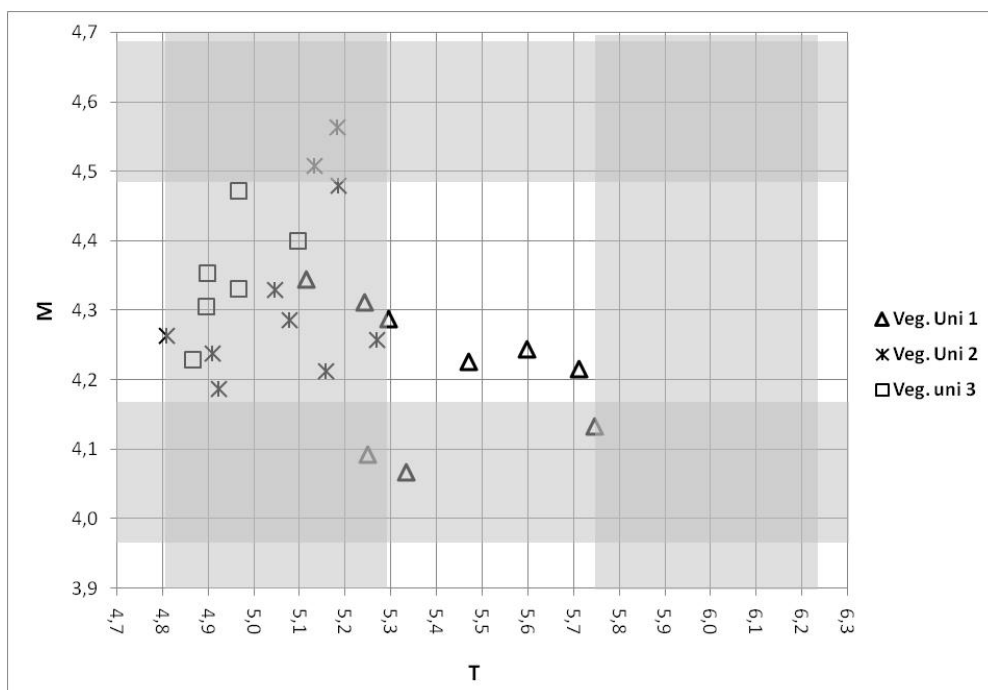
- Στο σενάριο μη σημαντικών αποκλίσεων σε σύγκριση με την περίοδο 1950-2010), η εξέλιξη της ασθένειας της ρητινώδους σκωρίασης της δασικής πεύκης καθώς και των επιδημικών εξάρσεων από φλοιοφάγα έντομα θα συνεχισθεί με τον ίδιο περίπου ρυθμό. Εξάρσεις της ασθένειας ενδέχεται να εμφανίζονται κάθε φορά που παρατηρούνται περίοδοι τριών και περισσότερων συναπτών ετών με ιδιαίτερα υψηλές βροχοπτώσεις, ενώ εξάρσεις επιδημικών προσβολών από φλοιοφάγα έντομα αναμένεται να καταγράφονται σε περιόδους δύο-τριών ή και περισσότερων συναπτών ετών με έντονα ξηροθερμικά στοιχεία. Ωστόσο, σε περίπτωση που προκύψει κάποια δραστική αλλαγή, όπως για παράδειγμα δασική πυρκαγιά, έντονα μετεωρολογικά φαινόμενα (π.χ. χιονοθλασίες, ανεμορριψίες κ.ά.), η πρόβλεψη για την κατάσταση που θα δημιουργηθεί είναι εξαιρετικά δυσμενής (Διαμαντής & Αβτζής 2011). Σε περίπτωση που συνεχισθεί η εφαρμογή εξυγιαντικών υλοτομιών, είναι πιθανόν, κατά τα επόμενα έτη, η περιοχή να μετατραπεί σε μερικώς δασοσκεπής έκταση και τελικά σε ορεινό υπαλπικό λιβάδι (διότι θα αυξηθεί το ποσοστό των συστάδων με ακανόνιστη δομή). Η υφιστάμενη φυσική αναγέννηση δασικής πεύκης κρίνεται ικανοποιητική, ωστόσο, υπό αυτές τις συνθήκες αναμένεται να είναι ευαίσθητη στις προσβολές του μύκητα και κατά συνέπεια σε νεκρώσεις. Όπου οι σταθμικές συνθήκες το επιτρέπουν θα υπάρξει είσοδος της ελάτης και της οξυάς ως πιο σκιόφυτα και απαιτητικότερα είδη (Ραδόγλου & Σπύρογλου 2013α).

Για την εκτίμηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στη βλάστηση των περιοχών μελέτης πραγματοποιήθηκε σύγκριση των τιμών θερμοκρασίας και βροχόπτωσης (οι οποίες είναι γραμμικά συσχετισμένες με το υψόμετρο, από Κατσαβούνη κ.ά. 2013) με τους δείκτες του Ellenberg για τη θερμοκρασία και την υγρασία εδάφους. Με αυτόν τον τρόπο, προκύπτει μία ένδειξη της αναμενόμενης αλλαγής των δεικτών του Ellenberg βάσει των σεναρίων κλιματικής αλλαγής.

Η άμεση ανάλυση διαβάθμισης βάσει των δεικτών του Ellenberg για τη θερμοκρασία και την υγρασία (Εικ. 2) έδειξε ότι με την αύξηση της θερμοκρασίας μειώνεται σημαντικά ο δυνητικός χώρος εξάπλωσης της 2ης και της 3ης μονάδας βλάστησης (που απαντούν στα μεγαλύτερα υψόμετρα). Ειδικότερα, η σημαντική μείωση του χώρου εξάπλωσης της 3ης μονάδας βλάστησης επέρχεται και με την αύξηση της θερμοκρασίας κατά 1°C. Από την άλλη πλευρά, η μεταβολή των βροχοπτώσεων, φαίνεται να επηρεάζει κυρίως την εξάπλωση της 1ης μονάδας βλάστησης, η οποία απαντά σε μικρότερα υψόμετρα και καταλαμβάνει τους ξηρότερους σταθμούς εμφάνισης της δασικής πεύκης στα Πιέρια Όρη. Οι Dobbertin *et al.* (2005) αναφέρουν ότι, στην κοιλάδα του Ρήνου (Ελβετία), η θνησιμότητα της δασικής πεύκης εμφανίζεται σημαντικά μεγαλύτερη στα μικρότερα υψόμετρα. Το γεγονός αυτό συσχετίζεται αρνητικά με τον παράγοντα P-PET (όπου P είναι το ύψος των κατακρημνισμάτων και PET η δυνητική εξατμισοδιαπνοή του θέρους του προηγούμενου έτους). Στη Μεσόγειο, η δασική πεύκη είναι πιθανόν να καταστεί κινδυνεύων είδος λόγω της επίδρασης της κλιματικής αλλαγής. Το γεγονός αυτό καθιστά ιδιαίτερα σημαντική τη διατήρηση των υπολειμματικών πληθυσμών του είδους στις ορεινές περιοχές της νότιας εξάπλωσής του (de Dios *et al.* 2007).

Εκτός από τη δασική πεύκη (*Pinus sylvestris*) που είναι το κυρίαρχο είδος βλάστησης στα Πιέρια Όρη, μεγάλη κάλυψη και συχνότητα εμφάνισης έχουν και τα είδη *Avenella flexuosa*, *Calamagrostis arundinacea*, *Juniperus communis*, *Vaccinium myrtillus* και *Luzula luzuloides*. Τα εν λόγω είδη είναι τυπικά της βλάστησης των δασών δασικής πεύκης και αναφέρονται ως διαγνωστικά ή συχνά εμφανιζόμενα στην κλάση Vaccinio-Piceetea (Horvat *et al.* 1974, Mucina 1997, Dzwonko *et al.* 1999),

στην οποία συχνά κατατάσσονται τα δάση δασικής πεύκης. Η ανάλυση των τιμών των δεικτών του Ellenberg έδειξε πως οι συνθήκες στα Πιέρια Όρη είναι σχετικά θερμές για τα ανωτέρω είδη. Το γεγονός αυτό ήταν αναμενόμενο, καθώς τα Πιέρια Όρη βρίσκονται στα νοτιότερα όρια εξάπλωσης των εν λόγω ειδών.



Εικόνα 2. Διάγραμμα άμεσης ανάλυσης διαβάθμισης βάσει των δεικτών θερμοκρασίας και υγρασίας για το Δάσος Ρητίνης – Βρίας στα Πιέρια Όρη. Οι ζώνες γκρι χρώματος που είναι κάθετες στον οριζόντιο άξονα αντιπροσωπεύουν την αύξηση της θερμοκρασίας έως 2°C, ενώ οι ζώνες που είναι κάθετες στον κάθετο άξονα αντιπροσωπεύουν τη διαφοροποίηση των βροχοπτώσεων έως ±20%.

Κυρίαρχο περιοριστικό παράγοντα στην εξάπλωση των δασών δασικής πεύκης στα Πιέρια Όρη φαίνεται να αποτελεί η θερμοκρασία. Αύξηση της θερμοκρασίας κατά 1 ή 2°C θα περιορίζε σημαντικά την εξάπλωση της δασικής πεύκης στα χαμηλότερα υψόμετρα και στις θερμότερες περιοχές εξάπλωσής της. Ωστόσο, η εμφάνιση της δασικής πεύκης τόσο στα Πιέρια Όρη όσο και στην υπόλοιπη Ελλάδα δεν σχετίζεται αποκλειστικά με τις κλιματικές συνθήκες, αλλά και με παλαιότερες διαταραχές και γενικά με την ιστορία χρήσεων γης.

Οι Grace et al. (2002) αναφέρουν ότι σε περίπτωση που βγει αληθινό το υποθετικό σενάριο της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC 2001) για άνοδο της θερμοκρασίας κατά 4,5°C στα επόμενα 100 έτη, αναμένεται να παρατηρηθεί μετανάστευση της δασικής πεύκης προς μεγαλύτερα υψόμετρα (κατά 650 μ.). Η αύξηση της θερμοκρασίας θα αναμενόταν να ωθήσει τα δάση δασικής πεύκης σε μεγαλύτερα υψόμετρα (μέγιστο υψόμετρο εμφάνισης δάσους δασικής πεύκης ~1800). Λαμβάνοντας υπόψη το ευρύτερο μεσογειακό κλίμα στην περιοχή, δεν εκτιμάται ότι περιοριστικός παράγοντας για την εξάπλωση της δασικής πεύκης σε μεγαλύτερα υψόμετρα είναι το υψηλό ψύχος. Πιθανότατα, περιοριστικούς παράγοντες για την εξάπλωση του είδους σε μεγαλύτερα υψόμετρα, αποτελούν το μικρό βάθος εδάφους και η πίεση της βόσκησης.

Περαιτέρω, λαμβάνοντας υπόψη τη φυσική διαδοχή των ειδών από φωτόφιλα και πρόδρομα είδη προς πιο σκιοφύτα, στα χαμηλότερα υψόμετρα οι συστάδες δασικής πεύκης αναμένεται να δώσουν τη θέση τους σε μικτές συστάδες μαύρης πεύκης με πλατύφυλλα ενώ σε μεγαλύτερα υψόμετρα σε συστάδες ελάτης-οξυάς, κατά θέσεις και ανάλογα με την ένταση των εξυγιαντικών υλοτομιών. Γενικώς, τις ανοιχτές συστάδες δασικής πεύκης αναμένεται να διαδεχθούν πιο κλειστές συστάδες πλατυφύλλων (Ραδόγλου & Σπύρογλου 2013α). Συγκεκριμένα, σε αρκετές συστάδες δασικής πεύκης, οι κλιματικές συνθήκες (θερμοκρασία και υγρασία) φαίνεται να ευνοούν την ανάπτυξη δασών οξυάς. Ως εκ τούτου, εκτιμάται ότι σε λίγες δεκαετίες οι συστάδες αυτές θα αντικατασταθούν από οξυά μέσω της φυσικής οικολογικής διαδοχής (Τσιριπίδης 2012α).

3.2. Η εισβολή κωνοφόρων ειδών (*Abies borisii regis* και *Pinus nigra*) σε δάση πλατύφυλλων ειδών, στο Δάσος Ασπροποτάμου – Καλαμπάκας

3.2.1. Γενικά για το Δάσος Ασπροποτάμου - Καλαμπάκας

Η περιοχή καλύπτεται, γενικά, από μικτά δάση φυλλοβόλων πλατύφυλλων ειδών, όπως καστανιά (*Castanea sativa*), ευθύφλοιη δρυς (*Quercus cerris*), χνοώδης δρυς (*Quercus pubescens*), υβριδογενής ελάτη (*Abies borisii regis*) και μαύρη πεύκη (*Pinus nigra*). Ειδικότερα:

α) Στην περιοχή του Δημοσίου Δάσους Καστανιάς απαντά πρεμνοφυές δάσος υπό αναγωγή κυρίως χνοώδους δρυός (*Quercus pubescens*) με σύμμειξη τρίλοβου σφενδαμιού (*Acer monspeliensis*) και πλατύφυλλης δρυός (*Quercus frainetto*) στο οποίο έχει εισβάλλει σε σημαντικό βαθμό η υβριδογενής ελάτη (*Abies borisii regis*). Η ελάτη, η οποία είναι ένα δυναμικό, επεκτατικό είδος που αναγεννάται πολύ εύκολα κάτω από την κομοστέγη άλλων ειδών, στη συγκεκριμένη περίπτωση βρίσκεται εκτός των ορίων της φυσικής της εξάπλωσης (θερμοορίων) και συχνά προσβάλλεται από φλοιοφάγα έντομα (όπως για παράδειγμα το έτος 2009).

β) Στην περιοχή του Κοινοτικού δάσους Καστανιάς – Καλαμπάκας, πάνω από το χωριό Καστανιά, απαντά φυλλοβόλο δάσος με δύο σαφείς ζώνες βλάστησης. Η χαμηλότερη ζώνη, σε υψόμετρο 850-1150 (1200) καλύπτονταν από μεγάλα δέντρα καστανιάς σε σύμμειξη με αργυρόχρωμη φιλύρα (*Tilia argentea*) και ορεινό σφενδάμι (*Acer pseudoplatanus*), φράξο (*Fraxinus ornus*) και υπόροφο - μεσώροφο από λεφτοκαρυές (*Corylus avellana*), ανατολικό γαύρο (*Carpinus orientalis*), βετολοειδή γαύρο (*Carpinus betulus*), κρανιές (*Cornus mas*), βουζοκρανιές (*Cornus sanguinea*) κ.λπ. καθώς και μερικά σποραδικά άτομα ελάτης. Η δεύτερη ζώνη αποτελείται από πυκνό αμιγές δάσος οξυάς (*Fagus sylvatica*). Το δάσος της Καστανιάς διαχειρίζονταν στο παρελθόν για την παραγωγή άγριων καστανίων. Στο μεταξύ, πολλά άτομα καστανιάς προσβλήθηκαν από τον μύκητα *Cryphonectria parasitica*, ο οποίος προκαλεί μια ασθένεια γνωστή ως έλκος της καστανιάς. Για την αντιμετώπιση του φαινομένου της προσβολής, ο τότε πρόεδρος της Κοινότητας αποφάσισε την αποψιλωτική υλοτομία των ηλικιωμένων ατόμων καστανιάς και τη μετατροπή του σπερμοφυούς υψηλού δάσους (high forest) σε πρεμνοφυές δάσος (coprice) χωρίς ωστόσο να προβεί στις κατάλληλες καλλιεργητικές επεμβάσεις (καθαρισμό, αραιώσεις κ.λπ.). Έτσι, η μείωση της ανταγωνιστικής ικανότητας της καστανιάς λόγω της προσβολής της από τον μύκητα, σε συνδυασμό με τον ανωτέρω λανθασμένο χειρισμό για την αντιμετώπιση της προσβολής, και πιθανότατα ο παράγοντας της κλιματικής αλλαγής τα τελευταία 30-40 έτη, προκάλεσαν μια έντονη εισβολή της υβριδογενούς ελάτης και κατά θέσεις και της μαύρης πεύκης. Ως αποτέλεσμα, επήλθε αλλοίωση του τοπίου.

γ) Στην περιοχή του Ασπροποτάμου (Τρία Ποτάμια) απαντά ένα ομήλικο πρεμνοφυές δάσος φυλλοβόλου ευθύφλοιης δρυός (*Quercus cerris*) μέσα στο οποίο εισβάλλει δυναμικά η υβριδογενής ελάτη (*Abies borisii regis*). Ως αποτέλεσμα έχουμε τον βαθμιαίο εκτοπισμό, ιδιαίτερα σε καλούς τόπους (sites), της ευθύφλοιης δρυός και την αντικατάστασή της με υβριδογενή ελάτη. Η ευθύφλοιος δρυς, ως φωτόφυτο είδος έχει μικρή ανταγωνιστική ικανότητα, η οποία με τα ακραία κλιματικά φαινόμενα καθίσταται ακόμα μικρότερη. Αντίθετα, η ελάτη είναι ένα άκρως ανταγωνιστικό είδος λόγω της μεγάλης αντοχής της στη σκιά και της ικανότητάς της να αναλαμβάνει και να εξελίσσεται κανονικά έπειτα από μακρά περίοδο σκίασης. Αναγεννάται πολύ εύκολα κάτω από την κομοστέγη (canopy) άλλων ειδών και δημιουργεί συνήθως ανομήλικο πολυόροφα δάση με υψηλό ξυλαπόθεμα. Συνεπώς, η ελάτη

ανταποκρίνεται περισσότερο σε μια μορφή διαχείρισης προσαρμοσμένη στην κλιματική αλλαγή. Η εισβολή της υβριδογενούς ελάτης στο σχεδόν ομήλικο πρεμνοφυές δάσος της δρυός γίνεται σταδιακά, κατά κύματα, ανάλογα και με τα έτη καρποφορίας της ελάτης και ανάλογα με τις επικρατούσες καιρικές συνθήκες. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να συναντά κανείς την ελάτη ως νεοφυτεία στον υπόροφο του δάσους δρυός, ως πυκνοφυτεία και λεπτά κορμίδια στον μεσώροφο και ως χονδρά κορμίδια ή λεπτούς κορμούς στον ανώροφο, σε σύμμιξη με την ευθύφλοιο δρυ. Τελικά, λόγω της μεγαλύτερης ανταγωνιστικής ικανότητας της υβριδογενούς ελάτης δημιουργείται, στους καλύτερους τόπους, βαθμιαία, ένα ακανόνιστο, ανομήλικο δάσος ελάτης με σποραδική εμφάνιση ατόμων ευθύφλοιης δρυός.

Γενικά, τα δάση των φυλλοβόλων δρυών και γενικά των φυλλοβόλων πλατυφύλλων διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην υδατική οικονομία της μεσογειακής ζώνης όπου το μεγαλύτερο μέρος των κατακρημνισμάτων είτε κυρίως υπό μορφή βροχής, είτε υπό μορφή χιονιού (δευτερευόντως), πέφτει κατά τη φθινοπωρινή, χειμωνιάτικη και ανοιξιάτικη περίοδο, όταν τα φυλλοβόλα είδη δεν φέρουν φύλλωμα. Συνεπώς, η κατακράτηση μέρους της βροχής και η εξάτμισή της στην ατμόσφαιρα περιορίζεται στο ελάχιστο. Με αυτόν τον τρόπο σχεδόν όλο το ύψος των βροχοπτώσεων φθάνει έως το έδαφος και διεισδύει στο πλούσιο σε πόρους (πορώδες) έδαφος, καθώς λόγω της φυλλάδος εμποδίζεται η επιφανειακή απορροή. Το ύψος των βροχοπτώσεων που φθάνει στο έδαφος εμπλουτίζει τον υπόγειο υδροφόρο ή δρα ως ρυθμιστική δεξαμενή, ταμιεύοντας το νερό κατά τη διάρκεια της βροχερής περιόδου και αποδίδοντάς το κατά την άνομβρη περίοδο. Επιπλέον τα δρυοδάση έχουν μεγάλη οικονομική αξία διότι παράγουν πολύτιμο ξύλο τόσο ως καύσιμο όσο και ως ξύλο κατασκευών, παρκετοποιίας και επιπλοποιίας.

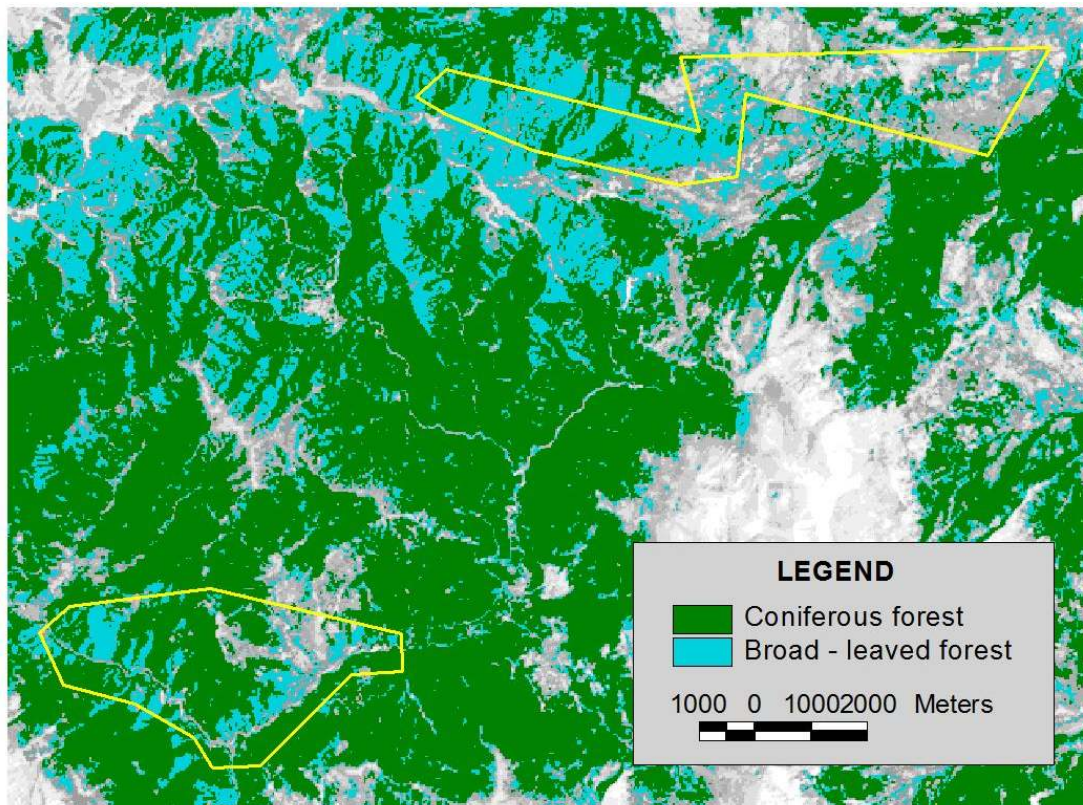
3.2.2. Παρούσα κατάσταση

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών, έχουν παρατηρηθεί φαινόμενα εισβολής κωνοφόρων σε επιφάνειες όπου κανονικά κυριαρχούν πλατύφυλλα είδη (Εικ. 3). Πιο συγκεκριμένα, στο δάσος καστανιάς του Δημοτικού δάσους Καστανιάς παρατηρείται εισβολή ελάτης και μαύρης πεύκης. Στο δάσος πλατύφυλλης δρυός του Δημοσίου δάσους Καστανιάς παρατηρείται εισβολή ελάτης και στο δάσος ευθύφλοιης δρυός του δάσους Ασπροποτάμου παρατηρείται εισβολή ελάτης. Η ανάλυση δορυφορικών εικόνων (εφαρμογή της μεθόδου επιβλεπόμενης ταξινόμησης) έδειξε πως πολλές εκτάσεις που καλύπτονταν από δάση πλατύφυλλων ειδών το έτος 1984, καλύπτονται από δάση κωνοφόρων ειδών (*Abies borisii regis* και *Pinus nigra*) το 2010. Συγκεκριμένα, τα δάση κωνοφόρων βρέθηκε ότι έχουν αυξήσει την επιφάνεια εξάπλωσής τους κατά 9,08% μέσα σε 25 έτη. Επιπρόσθετα, το 2010 διακρίνονται πολλά τμήματα όπου μικρές νησίδες κωνοφόρων, που δεν υπάρχουν κατά το έτος 1984, έχουν παρεισφρήσει μέσα σε δάση πλατύφυλλων. Το φαινόμενο εμφανίζεται σε χαμηλότερα υψόμετρα, κυρίως μεταξύ 700 και 1000 (Εικ. 4 και 5).

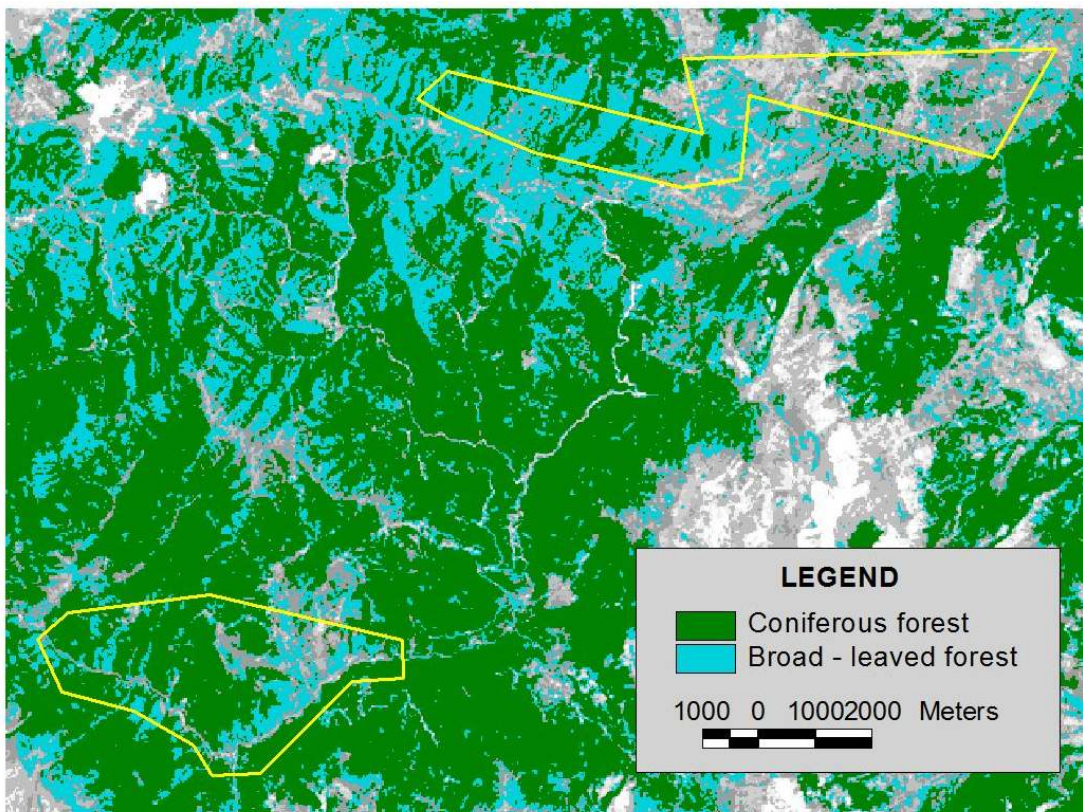


Εικόνα 3. Εισβολή κωνοφόρων ειδών (*Abies borisii regis* και *Pinus nigra*) σε δάση πλατύφυλλων ειδών στο δάσος Ασπροποτάμου – Καλαμπάκας.

Στην περιοχή, η εισβολή των κωνοφόρων ειδών στην επόμενη κατώτερη ζώνη όπου κανονικά επικρατούν πλατύφυλλα είδη δεν φαίνεται να συνδέεται άμεσα με την κλιματική αλλαγή. Τα ευρήματα δείχνουν ότι α) η μέση ετήσια θερμοκρασία της περιοχής παρουσίασε μείωση κατά τις τελευταίες δεκαετίες, σε αντίθεση με τις άλλες τρεις περιοχές μελέτης και β) τα είδη κωνοφόρων μετατόπισαν την εξάπλωσή τους προς χαμηλότερα υψόμετρα, σε αντίθεση με τη γενική περίπτωση όπου τα είδη κινούνται προς την κατεύθυνση των πόλων ή προς μεγαλύτερα υψόμετρα, ως απόκριση στην κλιματική αλλαγή (Gian-Reto *et al.* 2002). Υπάρχουν ενδείξεις ότι η εντατική διαχείριση στην περιοχή κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών έχει οδηγήσει στην αποδυνάμωση των δασών με πλατύφυλλα είδη, μειώνοντας με αυτόν τον τρόπο την ανταγωνιστικότητά τους. Οι απομιλιωτικές υλοτομίες που έχουν εφαρμοσθεί στο δάσος πλατύφυλλων της περιοχής για πολλά έτη έχουν οδηγήσει σε υποβάθμιση του εδάφους, αφού μία μεγάλη ποσότητα των θρεπτικών συστατικών απομακρύνεται μόνιμα από το οικοσύστημα. Ως εκ τούτου, τα πλατύφυλλα γίνονται λιγότερο ανταγωνιστικά έναντι των κωνοφόρων ειδών που τείνουν να καταλαμβάνουν τις διαθέσιμες οικολογικές θέσεις (Χρυσοπολίτου & Ντάφης 2012).



Εικόνα 4. Ταξινόμηση (classification) για τα δάση κωνοφόρων και πλατύφυλλων για τη δορυφορική εικόνα του έτους 1984 στο Δάσος Ασπροποτάμου – Καλαμπάκας.



Εικόνα 5. Ταξινόμηση (classification) για τα δάση κωνοφόρων και πλατύφυλλων για τη δορυφορική εικόνα του έτους 2010 στο Δάσος Ασπροποτάμου – Καλαμπάκας.

Από άποψη φυτοκοινωνιολογίας, στην ευρύτερη περιοχή διακρίθηκαν συνολικά τέσσερις μονάδες βλάστησης, που αντιπροσωπεύουν τρεις ποιότητες τόπου. Η καλύτερη ποιότητα τόπου αντιπροσωπεύει δάση οξυάς (*Fagus sylvatica*), αμιγή ή μικτά με τα είδη/υποείδη *Abies borisii-regis*, *Pinus nigra* ssp. *nigra* και *Castanea sativa* (4η μονάδα). Η ενδιάμεση ποιότητα τόπου περιλαμβάνει δύο μονάδες βλάστησης (2η και 3η) που φαίνεται να διαφέρουν στο στάδιο διαδοχής τους και η μία αντιπροσωπεύει θαμνώνες ή χαμηλά δάση με *Quercus cerris* στα οποία εισέρχεται το *Abies borisii-regis*, ενώ η άλλη αντιπροσωπεύει ξηρά δάση με *Abies borisii-regis*, στα οποία υπάρχουν ακόμα «υπολείμματα» από είδη των θαμνώνων/δασών με *Quercus cerris*. Τα δάση χνοώδους δρυός (*Quercus pubescens*) και μικτά δάση του ανωτέρω είδους με την πλατύφυλλη δρυ (*Q. frainetto*) βρίσκονται στις χαμηλότερες υψομετρικές θέσεις, αντιπροσωπεύουν τις χειρότερες σταθμολογικές συνθήκες και χαρακτηρίζονται από σχετικά υψηλότερη ένταση διαταραχών. Τα κύρια προβλήματα (πιθανές ενδείξεις επίδρασης της κλιματικής αλλαγής στη βλάστηση) είναι η εισαγωγή κωνοφόρων σε δάση πλατυφύλλων. Αυτή αφορά την εισαγωγή ατόμων μαύρης πεύκης σε μικτά δασή οξυάς και ελάτης στα κατώτερα υψόμετρα της συγκεκριμένης μονάδας βλάστησης ή την εισαγωγή ελάτης, κυρίως, σε μικτά δάση *Quercus pubescens* και *Q. frainetto*. Παρόλα αυτά, η είσοδος της ελάτης στις σχετικά ξηρότερες συνθήκες των δύο πρώτων μονάδων βλάστησης, μπορεί να οφείλεται στη μείωση των διαταραχών λόγω βόσκησης, στην πιθανή μείωση της πίεσης για υλοτόμηση του είδους και στη βελτίωση των εδαφικών και μικροκλιματικών συνθηκών λόγω μείωσης των διαταραχών. Από την άλλη μεριά, η περιορισμένη είσοδος της μαύρης πεύκης σε συστάδες οξυάς-ελάτης σε σχετικά χαμηλά υψόμετρα, πιθανώς, οφείλεται σε διαταραχή που προκλήθηκε λόγω της νέκρωσης ατόμων καστανιάς. Στους σταθμούς που παρατηρείται η είσοδος της μαύρης πεύκης υπάρχουν ακόμα και σήμερα άτομα καστανιάς, αλλά και νεκρά άτομα του ίδιου είδους. Σε κάποια άτομα εντοπίστηκαν συμπτώματα από την ασθένεια του «έλκους της καστανιάς» (προσβολή από τον μύκητα *Endothia parasitica*). Η νέκρωση των ατόμων καστανιάς και η μείωση της συγκόμωσης, δημιούργησε πιθανώς τις κατάλληλες συνθήκες (μικροδιάκενα με σχετικά ξηρές και φωτεινές συνθήκες) για είσοδο της μαύρης πεύκης. Η είσοδος αυτή παρατηρείται, συνήθως, στα χαμηλότερα υψόμετρα εμφάνισης μικτών συστάδων οξυάς-ελάτης, όχι λόγω των κατάλληλων οικολογικών συνθηκών (τουλάχιστον όχι μόνο), αλλά, πιθανότατα, κυρίως, λόγω της πρότερης εμφάνισης της καστανιάς στις συγκεκριμένες συνθήκες. Στην περιοχή του Ασπροποτάμου, η διαφοροποίηση της βλάστησης ακολουθεί μια τυπική διαβάθμιση οικολογικών συνθηκών (κυρίως θερμοκρασίας και κατακρημνισμάτων) κατά μήκος μιας υψομετρικής βαθμίδας. Το μεγαλύτερο ποσοστό της βλάστησης στην περιοχή είναι σε σταθερή κατάσταση (σε δυναμική ισορροπία με τις περιβαλλοντικές συνθήκες) ή βρίσκεται σε εμπροσθοδρομική διαδοχή λόγω μείωσης των διαταραχών. Εξάίρεση, αποτελεί ένα μικρό σχετικά ποσοστό έκτασης που βρίσκεται υπό δευτερογενή διαδοχή λόγω της διαταραχής που προκλήθηκε από τη νέκρωση ατόμων καστανιάς. Μεγάλο ποσοστό των διαφοροποιών και κυρίαρχων ειδών εμφανίζει στατιστικά σημαντική απόκριση στους παράγοντες υψόμετρο, θερμοκρασία και υγρασία. Αυτά τα είδη θεωρούνται ως ευπαθή, υπό την έννοια ότι αναμένεται να αποκριθούν άμεσα σε μεταβολή της θερμοκρασίας και υγρασίας (Τσιριπίδης 2011).

Από άποψη οικοφυσιολογίας, στην περιοχή της Καστανιάς, οι συνθήκες αύξησης του δάσους είναι καλές. Το δάσος είναι ανομήλικο, μικτό με ελάτη, μαύρη πεύκη, οξυά και άλλα πλατύφυλλα όπως καστανιά και ψευδοπλάτανο. Οι δασοπονικές μορφές που καταγράφηκαν είναι κηπευτοειδείς και μπορούν να αναχθούν σε κανονικές κηπευτές.

Τα δάση αυτά είναι σχετικά νεαρής ηλικίας και μπορούν να συνεχίσουν να αυξάνουν σταθερά τα επόμενα έτη με προσόδους. Η μίξη βοηθά στην καλύτερη εκμετάλλευση των επιμέρους σταθμών και η παρουσία ευγενών πλατυφύλλων δίνει τη δυνατότητα δημιουργίας συστάδων με συγκεκριμένο βαθμό μίξης με αυτά. Στην περιοχή του Ασπροποτάμου, οι συστάδες ελάτης (*Abies borisii regis*) παρουσιάζουν καλές συνθήκες αύξησης, είναι σχετικά πυκνές και οι νεκρώσεις που παρατηρούνται οφείλονται στον ανταγωνισμό. Τα άλλα είδη που καταγράφηκαν όπως η ευθύφλοιη δρυς (*Quercus cerris*) και το σφενδάμι απαντούν με μικρό αριθμό ατόμων και λόγω του περιορισμένου ποσοστού εμφάνισής τους το δάσος δεν μπορεί να θεωρηθεί ότι τείνει να γίνει μικτό. Η αναγέννηση είναι ικανοποιητική, με την ελάτη να κυριαρχεί σε αριθμό νεοφύτων. Η αναγέννηση των άλλων ειδών κάτω από την κομοστέγη της ελάτης είναι επίσης ικανοποιητική από άποψη ειδών (δρύες, σφενδάμια, σορβιές, καρυδιές, γαύροι). Τα εν λόγω είδη δίνουν μελλοντικά στον διαχειριστή τη δυνατότητα ευνοϊκής μεταχείρισης των πλατυφύλλων και την επιδίωξη κάποιου βαθμού μίξης της ελάτης με ευγενή πλατύφυλλα όπως το σφενδάμι ή τον βετουλοειδή γαύρο. Από άποψη ζωτικότητας, τα δέντρα παρουσιάζουν καλή αύξηση, δεν έχουν πτώση βελονών και αποχρωματισμό και η παρουσία παρασίτων όπως ο ιξός (*Viscum album*) είναι περιορισμένη. Ένα μεγάλο ποσοστό των δέντρων, πάνω από το 70%, δεν παρουσιάζουν σφάλματα. Γενικά, η εισβολή ειδών δέντρων σε διάφορους τύπους οικοσυστημάτων έχει παρατηρηθεί πολλές φορές στο παρελθόν, με τα κωνοφόρα είδη να συγκαταλέγονται ανάμεσα στους πιο πετυχημένους εισβολείς. Τις περισσότερες φορές, τα φαινόμενα εισβολής οδηγούν σε αλλαγές στις λειτουργίες των οικοσυστημάτων (Richardson & Rejmánek 2004). Η εισβολή της ελάτης στο δασικό οικοσύστημα Ασπροποτάμου - Καλαμπάκας επεκτείνεται σταδιακά. Είναι πιθανόν οι παρατηρούμενες μειώσεις των βροχοπτώσεων και της θερμοκρασίας να ευνοούν την ελάτη και να επηρεάζουν το οικοσύστημα όπως φαίνεται από τον μεγάλο αριθμό ατόμων ελάτης που εμφανίζονται στην αναγέννηση. Γενικά, αυτό το δάσος είναι σε καλή φυσιολογική κατάσταση και υγεία. Στη σύνθεσή του λαμβάνουν μέρος πολλά είδη. Ο παράγοντας που διαμορφώνει τη σύνθεση του δάσους είναι ο ανταγωνισμός μεταξύ των ειδών. Ειδικότερα, ο δυναμικός ανταγωνισμός και η αναγέννηση της ελάτης οδήγησαν στην παρούσα εξέλιξη και δομή στις συστάδες (Ραδόγλου & Σπύρογλου 2011).

Από άποψη εδαφολογίας, τα εδάφη που προέρχονται από φλύσχη είναι ιδιαίτερα ασταθή και κινδυνεύουν από τη διάβρωση λόγω της πολύ μικρής διαπερατότητας. Σε ορισμένες περιπτώσεις το έδαφος παρουσιάζεται συμπιεσμένο με αποτέλεσμα η ταχύτητα διήθησης του νερού να περιορίζεται. Η αποθηκευτική ικανότητα σε νερό των εδαφών Ασπροποτάμου – Καλαμπάκας είναι μικρή. Το νερό που είναι δυνατό να αποθηκευθεί στο έδαφος μπορεί να καλύψει μέρος μόνο των αναγκών των φυτών κατά τη διάρκεια της αυξητικής περιόδου. Μία μικρή μείωση της ποσότητας των κατακρημνισμάτων ή ακόμη και μεταβολή της χρονικής κατανομής τους κατά τη διάρκεια της αυξητικής περιόδου θεωρείται κρίσιμη για την ισορροπία των οικοσυστημάτων της εν λόγω περιοχής έρευνας. Σε ορισμένες περιπτώσεις όπου το έδαφος εμφανίζεται συμπιεσμένο και παρουσιάζει αρκετά μεγάλη αντίσταση στη διείσδυση των ριζών, η εγκατάσταση της ελάτης μπορεί να είναι ένα πρόσκαιρο φαινόμενο. Όταν στη συνέχεια οι ανάγκες σε νερό και θρεπτικά στοιχεία της ελάτης αυξηθούν, η δυνατότητα ανάπτυξης της ρίζας θα περιορίζεται με τελικό αποτέλεσμα τη νέκρωσή της είτε λόγω των εντονότερων προσβολών από έντομα είτε λόγω της αδυναμίας κάλυψης των φυσιολογικών αναγκών των φυτών σε νερό. Η επέκταση της ελάτης σε χαμηλότερα υψόμετρα, σε σημεία στα οποία το έδαφος μπορεί να καλύψει τις ανάγκες της σε νερό και θρεπτικά στοιχεία, μπορεί να είναι περιοδικό φαινόμενο.

Με την πάροδο του χρόνου και τις μεταβολές στη σύνθεση της φυτοκοινωνίας που παρατηρούνται, οι ανάγκες των φυτών αυξάνονται με αποτέλεσμα τα περισσότερα απαιτητικά είδη να υποφέρουν και τελικώς να καταρρέουν. Περαιτέρω, η είσοδος της ελάτης στο οικοσύστημα της καστανιάς μπορεί να οφείλεται σε ανθρωπογενείς επιδράσεις και όχι σε μεταβολές του ευρύτερου οικολογικού περιβάλλοντος. Στην περιοχή αυτή, σε πολλές θέσεις με σχετικά μικρές κλίσεις, το έδαφος είναι πολύ υποβαθμισμένο, γεγονός που οφείλεται στην προηγούμενη χρήση των εδαφών και ιδιαίτερα στην καλλιέργεια που έγινε σε παλαιότερες εποχές. Ωστόσο, παρουσιάζονται σημαντικές ενδείξεις ότι τα εδάφη της περιοχής βρίσκονται σε διαδικασία βελτίωσης των εδαφικών συνθηκών. Η διαχείριση των εδαφών αυτών θα πρέπει να εστιάζεται περισσότερο στην προστασία των εδαφικών πόρων (Αλιφραγκής 2012).

3.2.3. Εκτίμηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής

Η αξιολόγηση της επίδρασης των μελλοντικών κλιματικών μεταβολών για την περίοδο 2010-2050 στην υγεία του Δάσους Ασπροποτάμου - Καλαμπάκας έδειξε τα ακόλουθα:

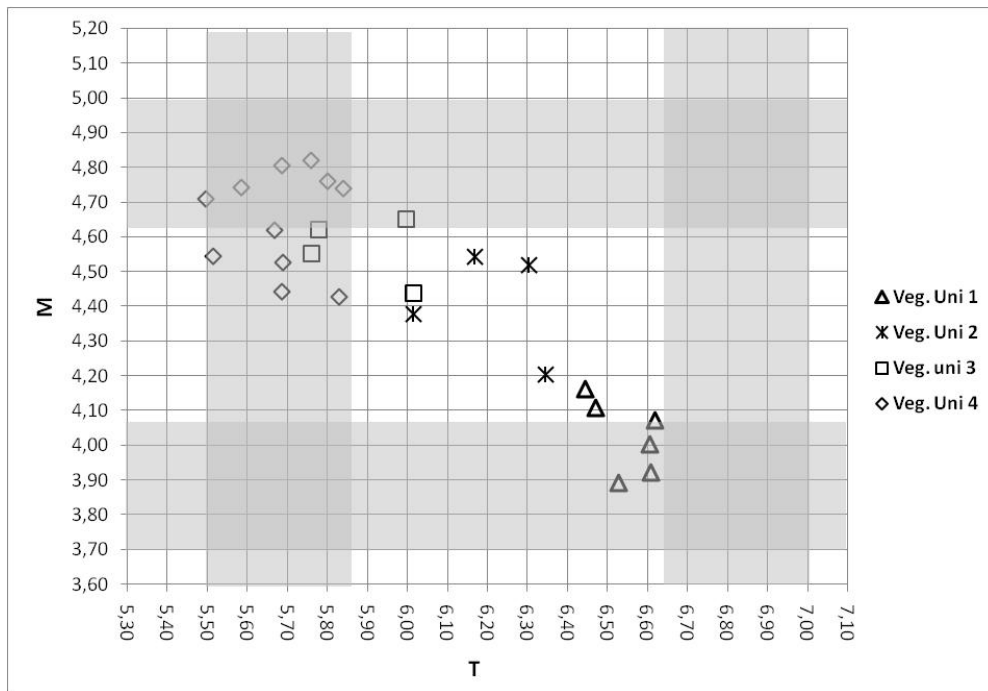
Σύμφωνα με το σενάριο μηδενικής μεταβολής θερμοκρασίας αέρα και βροχοπτώσεων, στο σύμπλεγμα Καστανιάς (Δημόσιο Δάσος Καστανιάς και Κοινοτικό Δάσος Καστανιάς – Καλαμπάκας), οι συστάδες πλατύφυλλων ειδών αναμένεται να εξακολουθήσουν να αυξάνουν με τις ίδιες τάσεις. Οι εν λόγω συνθήκες είναι ευνοϊκές για την περαιτέρω είσοδο και εγκατάσταση της ελάτης στον υπόροφο των δασών πλατύφυλλων. Ακόμη και στις συστάδες δρυός, σε ευνοϊκές θέσεις, η φυσική αναγέννηση της ελάτης στον υπόροφο θα συνεχισθεί. Στο σύμπλεγμα Ασπροποτάμου, σύμφωνα πάντα με το ανωτέρω σενάριο, οι συστάδες ελάτης θα συνεχίσουν να αυξάνουν με ικανοποιητικό ρυθμό. Αναμένεται ότι, στην επόμενη περίοδο 40-50 ετών, η ελάτη θα φθάσει στον περίτροπο χρόνο της και θα μπει σε διαδικασία αναγέννησης. Ο πληθυσμός των πλατύφυλλων ειδών, όπως η ευθύφλοιος δρυς ή τα σφενδάμια που βαθμιαία κάνουν την εμφάνιση τους στον υπόροφο ή μεσόροφο, θα αυξηθεί. Ανάλογα με τον τρόπο αναγέννησης που θα επικρατήσει στις συστάδες ελάτης, αναμένεται δημιουργία νέων συστάδων ελάτης με διάφορο βαθμό μίξης με πλατύφυλλα είδη.

Στο δυσμενές σενάριο αύξησης θερμοκρασίας (+1°C) και μείωσης βροχοπτώσεων (-10%), αναμένεται αύξηση των ξηροθερμικών περιόδων με εντονότερα διαδοχικά θερμά και ξηρά καλοκαίρια. Τα δέντρα υποβάλλονται σε έντονο υδατικό στρες με αποτέλεσμα την εμφάνιση πληθυσμιακών εκρήξεων εντόμων και συνεπώς νεκρώσεων κωνοφόρων αλλά και πλατύφυλλων ειδών που είναι απαιτητικά σε υγρασία. Στο σύμπλεγμα Καστανιάς, οι συστάδες πλατύφυλλων ειδών αναμένεται να εξακολουθήσουν να αυξάνουν με τις ίδιες τάσεις. Η δυναμική είσοδος και εγκατάσταση της ελάτης στον υπόροφο των δασών πλατύφυλλων θα συνεχισθεί. Στις συστάδες δρυός, επίσης, αναμένεται να συνεχισθεί η εγκατάσταση φυσικής αναγέννησης ελάτης στον υπόροφο. Στο σύμπλεγμα Ασπροποτάμου, η ελάτη δεν αναμένεται να επηρεασθεί σε σημαντικό βαθμό και θα συνεχίσει να αυξάνει με ικανοποιητικό ρυθμό. Κατά τα επόμενα 50 περίπου έτη, η ελάτη θα φθάσει στον περίτροπο χρόνο της και θα έχει μπει σε διαδικασία αναγέννησης. Ωστόσο, οι πληθυσμοί πλατύφυλλων ειδών, όπως η ευθύφλοιος δρυς ή τα σφενδάμια που βαθμιαία κάνουν την εμφάνιση τους στον υπόροφο ή μεσόροφο, αναμένεται να μην παρουσιάσουν αύξηση. Ανάλογα με τον τρόπο αναγέννησης που θα επικρατήσει στις συστάδες ελάτης, αναμένεται δημιουργία νέων συστάδων ελάτης με μικρό κυρίως βαθμό μίξης με πλατύφυλλα είδη.

Στο σενάριο αύξησης θερμοκρασίας (+1°C) και αύξησης βροχοπτώσεων (+10%), η ατμόσφαιρα αναμένεται να είναι πιο δυναμική, πιο ασταθής και να δίνει πιο έντονα καιρικά φαινόμενα, όπως καταιγίδες, έντονες βροχοπτώσεις, χαλαζοπτώσεις κ.ά., τα οποία ενδέχεται να προκαλέσουν φαινόμενα διάβρωσης και καταστροφής στα δασικά οικοσυστήματα. Οι αυξημένες βροχοπτώσεις ίσως δημιουργήσουν κατάλληλες συνθήκες για πολλαπλασιασμό παθογόνων μυκήτων και δημιουργία πληθυσμιακών εξάρσεων που σε συνδυασμό με τις δευτερογενείς επιδρομές εντόμων μπορεί να επιφέρουν περαιτέρω νεκρώσεις στα δέντρα. Στο σύμπλεγμα Καστανιάς, οι συστάδες πλατύφυλλων ειδών αναμένεται να συνεχίσουν να αυξάνουν με πιο έντονο ρυθμό. Οι συνθήκες θα είναι ευνοϊκές για την περαιτέρω είσοδο και εγκατάσταση της ελάτης στον υπόροφο των εν λόγω δασών. Η φυσική αναγέννηση της ελάτης σε ευνοϊκές θέσεις στον υπόροφο συστάδων δρυός θα συνεχισθεί. Τελικά, η ελάτη αναμένεται να επικρατήσει επειδή, λόγω της αυξημένης υγρασίας, θα γίνει περισσότερο ανταγωνιστική από τη δρυ. Ωστόσο, η βόσκηση (κυρίως από αγελάδες και αιγοπρόβατα που απαντούν στην περιοχή) θα επηρεάσει σε σημαντικό βαθμό τον ρυθμό εγκατάστασης της ελάτης. Η αύξηση της θερμοκρασίας σε συνδυασμό με την αύξηση των βροχοπτώσεων αναμένεται να οδηγήσουν στην αύξηση του εύρους των ημερών κατά τις οποίες τα δέντρα παράγουν βιομάζα μέσω της φωτοσύνθεσης. Αντιστρόφως, θα μειωθεί το διάστημα από τον Δεκέμβριο έως τον Φεβρουάριο-Μάρτιο κατά το οποίο επικρατούν αρνητικές θερμοκρασίες και συνεπώς τα φυτά σταματούν τη φωτοσύνθεση και τη διαπνοή. Το γεγονός αυτό αναμένεται να οδηγήσει σε μικρή αύξηση της παραγωγής. Επιπρόσθετα, η αύξηση των βροχοπτώσεων κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου (και όχι τόσο η αύξηση της θερμοκρασίας) ενδέχεται να οδηγήσει σε επιπλέον αύξηση της παραγωγής ξυλόδους όγκου διότι, όπως είναι γνωστό, στη Μεσόγειο περιοριστικός παράγοντας για την κατ' όγκο αύξηση των συστάδων είναι η διαθέσιμη υγρασία του εδάφους. Στο σύμπλεγμα Ασπροποτάμου, οι συστάδες ελάτης θα συνεχίσουν να αυξάνουν με ικανοποιητικό ρυθμό, επιδεικνύοντας μάλιστα μεγαλύτερη προσαύξηση. Κατά τα επόμενα 50 περίπου έτη, η ελάτη θα φθάσει στον περίτροπο χρόνο της και θα έχει μπει σε διαδικασία αναγέννησης. Ο πληθυσμός των πλατύφυλλων ειδών, όπως η ευθύφλοιος δρυς ή τα σφενδάμια που βαθμιαία κάνουν την εμφάνιση τους στον υπόροφο ή μεσόροφο, θα αυξηθεί. Ανάλογα με τον τρόπο αναγέννησης που θα επικρατήσει στις συστάδες ελάτης, αναμένεται δημιουργία νέων συστάδων ελάτης με διάφορο βαθμό μίξης με πλατύφυλλα είδη (Ραδόγλου & Σπύρογλου 2013α).

Για την εκτίμηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στη βλάστηση των περιοχών μελέτης πραγματοποιήθηκε σύγκριση των τιμών θερμοκρασίας και βροχόπτωσης (οι οποίες είναι γραμμικά συσχετισμένες με το υψόμετρο, από Κατσαβούνη κ.ά. 2013) με τους δείκτες του Ellenberg για τη θερμοκρασία και την υγρασία εδάφους. Με αυτόν τον τρόπο, προκύπτει μία ένδειξη της αναμενόμενης αλλαγής των δεικτών του Ellenberg βάσει των σεναρίων κλιματικής αλλαγής.

Η άμεση ανάλυση διαβάθμισης βάσει των δεικτών του Ellenberg για τη θερμοκρασία και την υγρασία (Εικ. 6) έδειξε ότι με την αύξηση της θερμοκρασίας μειώνεται σημαντικά ο χώρος δυνητικής εξάπλωσης της 4ης μονάδας βλάστησης (η οποία απαντά στην καλύτερη ποιότητα τόπου), ενώ μείωση φαίνεται να εμφανίζει και ο χώρος εξάπλωσης της 3ης μονάδας βλάστησης (ενδιάμεση ποιότητα τόπου). Η αύξηση ή μείωση των βροχοπτώσεων θα είχε, ομοίως, σημαντικότερη επίπτωση στον δυνητικό χώρο ανάπτυξης των μονάδων βλάστησης στα άκρα της βαθμίδας υγρασίας, δηλαδή της 1ης (χειρότερη ποιότητα τόπου) και 4ης (καλύτερη ποιότητα τόπου) μονάδας βλάστησης.



Εικόνα 6. Διάγραμμα άμεσης ανάλυσης διαβάθμισης βάσει των δεικτών θερμοκρασίας και υγρασίας για το Δάσος Ασπροποτάμου - Καλαμπάκας. Οι ζώνες γκρι χρώματος που είναι κάθετες στον οριζόντιο άξονα αντιπροσωπεύουν την αύξηση της θερμοκρασίας έως 2°C, ενώ οι ζώνες που είναι κάθετες στον κάθετο άξονα τη διαφοροποίηση των βροχοπτώσεων έως ±20%.

Η υβριδογενής ελάτη (*Abies borisii regis*) παρουσιάζει μεγάλη κάλυψη και συχνότητα εμφάνισης στην περιοχή Ασπροποτάμου – Καλαμπάκας, χωρίς ωστόσο να αποτελεί διαφοροποιό είδος μεταξύ των διαφορετικών μονάδων βλάστησης. Στην κεντρική Ελλάδα, η ελάτη έχει συγκρίσιμη οικοθέση με την οξυά, αν και μπορεί να έχει σχετικά καλύτερη ανάπτυξη από την τελευταία σε περισσότερο ξηρές και θερμές συνθήκες. Άλλωστε, λόγω της υβριδογενούς φύσης του συγκεκριμένου taxon, η οικοθέση του θα πρέπει να αναμένεται περισσότερο ευρεία, καθώς στην περιοχή εμφανίζονται άτομα ελάτης με μορφολογικά και οικολογικά χαρακτηριστικά που πλησιάζουν περισσότερο στην κεφαλληνιακή ελάτη (*A. cephalonica*). Η αύξηση της θερμοκρασίας, πιθανώς θα έχει αρνητική επίπτωση στο εύρος εξάπλωσης της υβριδογενούς ελάτης στην περιοχή. Σε μικρότερα υψόμετρα, όπου το είδος βρίσκεται στα θερμοόρια του, η αύξηση της θερμοκρασίας αναμένεται να οδηγήσει στην ανάσχεση της εξάπλωσής του, ενώ στα μεγαλύτερα υψόμετρα ίσως η αύξηση της θερμοκρασίας επηρεάσει θετικά την ανταγωνιστική ικανότητα του είδους σε σχέση με την οξυά. Το τελευταίο είναι συνάρτηση και της υγρασίας: αύξηση της υγρασίας, πιθανότατα θα ευνοήσει την οξυά έναντι της ελάτης στα μεγαλύτερα υψόμετρα, ενώ αντίστροφα στα μικρότερα υψόμετρα θα αυξήσει τον δυνητικό χώρο και τις πιθανότητες εξάπλωσης της ελάτης. Συνεπώς, η μείωση των βροχοπτώσεων θα οδηγούσε σε αντίστροφα αποτελέσματα για την ελάτη σε σχέση με το υψόμετρο.

Η μεγάλη ξηρασία της περιόδου Απρίλιος-Αύγουστος 1988 οδήγησε σε πληθυσμιακή έξαρση φλοιοφάγων εντόμων και σε εκτεταμένες νεκρώσεις ελάτης σε ολόκληρη την Ελλάδα (Markalas 1992). Η ευπάθεια της ελάτης σε προσβολές από έντομα είναι δευτερογενές αποτέλεσμα της ξηρασίας. Τα δέντρα, μέσω της καταπόνησης λόγω ξηρασίας, καθίστανται περισσότερο ευπαθή. Ο Markalas (1992) βρήκε μεγαλύτερη

συχνότητα θνησιμότητας δέντρων στα μικρότερα υψόμετρα, γεγονός που αποδόθηκε στο περισσότερο ξηρό και θερμό κλίμα των μικρότερων υψομέτρων. Από την άλλη πλευρά, η θνησιμότητα βρέθηκε μεγαλύτερη σε σταθμούς με βαθύτερο έδαφος και καλύτερης ποιότητας τόπου. Το γεγονός αυτό αποδόθηκε στο ότι τα άτομα ελάτης σε τέτοιους σταθμούς δεν ήτανε προσαρμοσμένα σε έλλειψη υγρασίας και συνεπώς ήταν περισσότερο ευπαθή σε συνθήκες ξηρασίας. Εάν ληφθεί υπόψη ότι η έρευνα του Markalas (1992) πραγματοποιήθηκε στη νότια Πίνδο, όπου εξαπλώνεται η υβριδογενής ελάτη, το παραπάνω φαινόμενο θα μπορούσε να ερμηνευθεί επιπλέον από το γεγονός ότι στα χαμηλότερα υψόμετρα, τα άτομα ελάτης, πιθανώς, ήταν συγγενικότερα με τη κεφαλληνιακή ελάτη που είναι περισσότερο ξηρανθεκτική, ενώ στα μεγαλύτερα υψόμετρα τα άτομα ελάτης, πιθανώς οικολογικά και γενετικά, να παρουσιάζουν μεγαλύτερη συγγένεια με τη λευκή ελάτη, γεγονός που τα καθιστά λιγότερο ανθεκτικά στη ξηρασία.

Η είσοδος της ελάτης στις σχετικά ξηρότερες συνθήκες της 1ης και 2ης μονάδας βλάστησης (σχετικά χειρότερες ποιότητες τόπου), οφείλεται στη μείωση των διαταραχών λόγω βόσκησης, αλλά και πιθανότατα στη μείωση της πίεσης για υλοτόμηση του είδους. Επιπλέον, η ελάτη έμμεσα ευνοείται και από τη βελτίωση των εδαφικών συνθηκών και του μικροκλίματος λόγω της αύξησης της κάλυψης του δεντρώδη ορόφου των δρυοδασών στα μικρότερα υψόμετρα. Συμπερασματικά, η αύξηση της κάλυψης του δεντρώδη ορόφου των δρυοδασών σε συνδυασμό με τη μείωση των διαταραχών στα μικρότερα υψόμετρα έχει επιφέρει αύξηση της συσσώρευσης της οργανικής ουσίας στο έδαφος και βελτίωση των υδατικών συνθηκών στο ενδοσυσταδικό περιβάλλον. Ως συνέπεια, η καθοδική εισβολή της ελάτης (στα μικρότερα υψόμετρα) θα πρέπει πιθανώς να αποδοθεί στην εμπροσθοδρομική διαδοχή της βλάστησης λόγω μείωσης των διαταραχών.

3.3. Η νέκρωση της κεφαλληνιακής ελάτης (*Abies cephalonica*) στον Εθνικό Δρυμό Πάρνηθας

3.3.1. Γενικά για τον Εθνικό Δρυμό Πάρνηθας

Το δάσος κεφαλληνιακής ελάτης (*Abies cephalonica*) στην Πάρνηθα μπορεί να χωρισθεί σε δύο κατηγορίες:

α) Στο δάσος ελάτης που αναπτύσσεται σε καλούς τόπους (βόρειες – βορειοανατολικές πλαγιές). Εκεί το είδος έχει καλή ανάπτυξη και εμφανίζονται νεαρές συστάδες που προέκυψαν είτε από διάσπαση παλαιών δασών λόγω γήρανσης είτε από πυρκαγιά. Ωστόσο, το μεγαλύτερο μέρος αυτού του δάσους παρέμεινε ανεπηρέαστο (δεν κάηκε) κατά την πυρκαγιά του 2007.

β) Στο υποβαθμισμένο δάσος ελάτης (νότιες εκθέσεις) που αναπτύσσονταν σε ασβεστολιθικά κυρίως πετρώματα σε υποβαθμισμένα εδάφη. Εκεί το είδος εμφανιζόταν στα όρια της οικολογικής του ανοχής ή και πέραν των ορίων και το δάσος είχε μια πολύ κακή ανάπτυξη. Το ύψος ώριμων ατόμων σπάνια ξεπερνούσε τα 10-12 μέτρα. Τα δέντρα προσβάλλονταν συχνά από φλοιοφάγα και άλλα έντομα ενώ η φυτρωτικότητα των σπόρων της κεφαλληνιακής ελάτης ήταν πολύ μικρή (3-5%). Σχεδόν όλο αυτό το υποβαθμισμένο δάσος καταστράφηκε κατά τη διάρκεια της πυρκαγιάς του 2007.

3.3.2. Παρούσα κατάσταση

Γενικά στην περιοχή, εδώ και πολλές δεκαετίες, έχει παρατηρηθεί ξήρανση ατόμων κεφαλληνιακής ελάτης εξαιτίας επιδημικών εξάρσεων φλοιοφάγων εντόμων (Εικ. 7). Στο πλαίσιο του έργου, βρέθηκε ότι κατά τα τελευταία έτη το φαινόμενο προκαλείται από την επικράτηση του είδους *Pityokteines spinidens*, ενός εξαιρετικά επικίνδυνου φλοιοφάγου εντόμου. Η επικράτηση του εν λόγω είδους οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στις αλλαγές των κλιματικών παραμέτρων, δηλαδή, στην αύξηση της θερμοκρασίας και στη μείωση των βροχοπτώσεων που παρατηρήθηκαν στην περιοχή μελέτης. Επιπρόσθετα, το φαινόμενο επιδεινώνεται αφενός από το χαμηλό ποσοστό εμφάνισης του φυσικού θηρευτή *Thanasimus formicarius* και αφετέρου από τη χαμηλή εντομοβιοποικιλότητα της περιοχής. Ο συνδυασμός των ανωτέρω καταδεικνύει ένα μάλλον ευαίσθητο και ασταθές οικοσύστημα το οποίο πιθανότατα δεν είναι ικανό να αντιμετωπίσει ένα πληθυσμιακό ξέσπασμα του είδους *P. spinidens*. Τέλος, η ξυλώδης βιομάζα που παρέμεινε στον Εθνικό Δρυμό Πάρνηθας έπειτα από την πυρκαγιά του 2007 σε συνδυασμό με τις δυσμενείς κλιματικές και εδαφικές συνθήκες στην περιοχή θεωρείται ότι ευνόησαν την αύξηση και εξάπλωση του πληθυσμού των επιβλαβών φλοιοφάγων εντόμων. Σήμερα, ωστόσο, η απομάκρυνση των δέντρων από τις καμένες επιφάνειες του 2007 θα αποτελούσε άσκοπη δαπάνη. Ό,τι απέμεινε από τα καμένα δέντρα είναι πλέον ακατάλληλο για αξιοποίηση από τα επικίνδυνα φλοιοφάγα έντομα. Το υλικό αυτό είναι πια κατάλληλο μόνο για προσβολή από ξυλοφάγα έντομα (Αβτζής 2010).



Εικόνα 7. Νέκρωση κεφαλληνιακής ελάτης (*Abies cephalonica*) στον Εθνικό Δρυμό Πάρνηθας.

Στην περιοχή παρατηρούνταν διαχρονικά (από το έτος 1930) σποραδικές νεκρώσεις δέντρων κεφαλληνιακής ελάτης από προσβολές φλοιοφάγων εντόμων, ιδιαίτερα στους καλύτερους τύπους. Ωστόσο, το έτος 1989, έπειτα από την επικράτηση υψηλών θερμοκρασιών στην περιοχή το καλοκαίρι του 1987 και του 1988, παρουσιάστηκε νέκρωση ατόμων ελάτης. Μία περίοδος επτά ετών μειωμένων βροχοπτώσεων, η οποία προηγήθηκε των υψηλών θερμοκρασιών, φαίνεται πως επιδείνωσε το φαινόμενο. Συνεπώς, οι νεκρώσεις στα δάση τόσο της κεφαλληνιακής όσο και της υβριδογενούς ελάτης, αποδόθηκαν στις ακραίες κλιματικές συνθήκες λόγω της κλιματικής αλλαγής. Έπειτα από το 1989 συνεχίστηκε η σποραδική νέκρωση ατόμων ελάτης από προσβολή φλοιοφάγων εντόμων αλλά σε πολύ μικρότερη ένταση, χωρίς να πάρει τις επιδημικές διαστάσεις του 1989.

Από άποψη φυτοκοινωνιολογίας, στην περιοχή διακρίθηκαν τρεις μονάδες βλάστησης, οι οποίες αντιπροσωπεύουν δύο ποιότητες τύπου. Η βλάστηση και η διαφοροποίηση των οικολογικών (σταθμολογικών) συνθηκών στην Πάρνηθα δεν ακολουθεί την τυπική διαβάθμιση υψομέτρου. Συγκεκριμένα, η κύρια περιβαλλοντική βαθμίδα στην οποία οφείλεται η διαφοροποίηση των μονάδων βλάστησης συσχετίζεται, κυρίως, με τις συνθήκες φωτισμού και την περιεκτικότητα του εδάφους σε υγρασία και θρεπτικά στοιχεία. Οι ανωτέρω οικολογικές συνθήκες φαίνεται ότι διαφοροποιούνται στον χώρο λόγω φυσιογραφικών παραγόντων (π.χ. κλίση εδάφους) και έντασης διαταραχών. Η ποικιλότητα των μονάδων βλάστησης της κεφαλληνιακής ελάτης είναι μικρή και η χλωριδική σύνθεση των δασών της χαρακτηρίζεται από την είσοδο αρκετών ειδών ανοικτού χώρου. Αυτό φαίνεται και από το αυξημένο ποσοστό θεροφύτων ιδιαίτερα στις δύο από τις τρεις μονάδες βλάστησης, που χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερο βαθμό διαταραχών. Επιπρόσθετα, η δομή των δασών της κεφαλληνιακής ελάτης είναι αρκετά απλή με πολύ λίγα ξυλώδη είδη να συμμετέχουν στη σύνθεση των δασών της. Ακόμα και το ανώτερο ύψος των κυρίαρχων δέντρων ελάτης εμφανίζει μικρή διακύμανση, αλλά και μικρές τιμές (το μέγιστο ύψος 14 μ.). Τα δάση της κεφαλληνιακής ελάτης στην Πάρνηθα εκτιμάται ότι αντιμετωπίζουν απειλές, όπως: α) αυξημένη θνησιμότητα ατόμων λόγω βιοτικών και αβιοτικών παραγόντων, β) μικρή ποικιλότητα χλωρίδας, μονάδων βλάστησης και οικολογικών συνθηκών, γ) οριακές για την ανάπτυξη της ελάτης οικολογικές συνθήκες, δ) υψηλή ένταση διαταραχών, ε) αυξημένο κίνδυνο διαταραχών από πυρκαγιές και ακραία καιρικά φαινόμενα, στ) μικρό υψομετρικό εύρος (μέγιστο υψόμετρο Πάρνηθας 1413)

και ουσιαστικά ανύπαρκτη έκταση κατάλληλων ενδιαιτημάτων στα οποία θα μπορούσε η ελάτη να εξαπλωθεί στην περίπτωση αύξησης της θερμοκρασίας ή/και μείωσης των βροχοπτώσεων. Όπως προαναφέρθηκε, σημαντικό τμήμα του δάσους κεφαλληνιακής ελάτης της Πάρνηθας, περίπου τα 2/3 (Λατσούδης 2007) κήκε κατά την πυρκαγιά του 2007 (Τσιριπίδης 2011).

Από άποψη οικοφυσιολογίας, η δομή των συστάδων κεφαλληνιακής ελάτης στην περιοχή του Εθνικού Δρυμού Πάρνηθας είναι ακανόνιστη. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι, από το 1991 έως πρόσφατα, το Δασαρχείο Πάρνηθας υλοτομεί σποραδικά μόνο νεκρά άτομα με σκοπό την απομάκρυνσή τους. Στην περιοχή καταγράφηκαν σημαντικά ποσοστά ιστάμενου νεκρού ξύλου και μεγάλα ποσοστά κατακείμενου νεκρού. Η γενική μορφή των δέντρων απέχει πολύ από τη μορφή που έχει η κεφαλληνιακή ελάτη σε άλλες συστάδες στην Ελλάδα (π.χ. Πίνδος, Καρπενήσι). Εδώ παρατηρείται ισχυρή και μέση βελονόπτωση, ενώ τα δέντρα, σε μεγάλο ποσοστό, εμφανίζουν σφάλματα και κακομορφίες. Στο τμήμα του δάσους όπου έγιναν αναδάσώσεις με μαύρη πεύκη (νοτιοανατολικά), η μαύρη πεύκη κάλυψε τα κενά και δημιούργησε το κατάλληλο δασογενές περιβάλλον για να αναγεννηθεί και να αναπτυχθεί η κεφαλληνιακή ελάτη. Συνεπώς, ο βασικός σκοπός για τον οποίο φυτεύτηκε αυτό το είδος επιτεύχθηκε. Η ελάτη θα συνεχίζει να μεγαλώνει κάτω από την κόμη της μαύρης πεύκης και τελικά θα κυριαρχήσει στον ανώροφο έπειτα από την ολοκλήρωση του κύκλου ζωής της μαύρης πεύκης. Στα βορειοανατολικά τμήματα του δάσους παρατηρήθηκε η διάσπαση της μητρικής συστάδας και η αναγέννηση πάλι από ελάτη. Σε αυτό το τμήμα, η ελάτη έχει τη δυναμική του νεαρού δάσους με δέντρα θαλαρά ζωτικά και με κορμούς δέντρων που δεν παρουσιάζουν σφάλματα (Ραδόγλου & Σπύρογλου 2011).

Από άποψη εδαφολογίας, παρουσιάζονται, κατά θέσεις, ίχνη παλαιότερης γεωργικής καλλιέργειας των εδαφών καθώς και συνθήκες έντονης επιφανειακής διάβρωσης, κυρίως στις περιοχές στις οποίες τα μητρικά υλικά του εδάφους είναι φλύσχης. Η αποθηκευτική ικανότητα σε νερό των εδαφών είναι πολύ μικρή. Σε ορισμένες περιπτώσεις, ιδιαίτερα στις περιοχές με ασβεστόλιθο, οι ρίζες των δέντρων εισέρχονται μέσα σε καρστικές κοιλότητες στις οποίες συσσωρεύεται εδαφικό υλικό και από το οποίο τα φυτά αντλούν θρεπτικά στοιχεία και νερό (Αλιφραγκής 2011).

3.3.3. Εκτίμηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής

Με την αξιοποίηση των ανωτέρω διαθέσιμων κλιματικών στοιχείων υπολογίστηκε ο βιοκλιματικός όροφος της περιοχής της Πάρνηθας. Ο τελευταίος εκφράζεται με το ομβροθερμικό πηλίκο (Q_2), το οποίο υπολογίστηκε βάσει της εξίσωσης των Emberger (1945) που ακολουθεί:

$$Q_2 = \frac{1000 \cdot P}{\left(\frac{M + m}{2}\right) \cdot (M - m)}$$

όπου,

P = η συνολική μέση ετήσια βροχόπτωση σε mm για τη διάρκεια της χρονοσειράς

M = η μέση τιμή των μέγιστων θερμοκρασιών του θερμότερου μήνα του έτους σε απόλυτους βαθμούς °K (T° σε βαθμούς Κελσίου +273,16)

m = η μέση τιμή των ελάχιστων θερμοκρασιών του ψυχρότερου μήνα του έτους σε απόλυτους βαθμούς °K (T° σε βαθμούς Κελσίου +273,16).

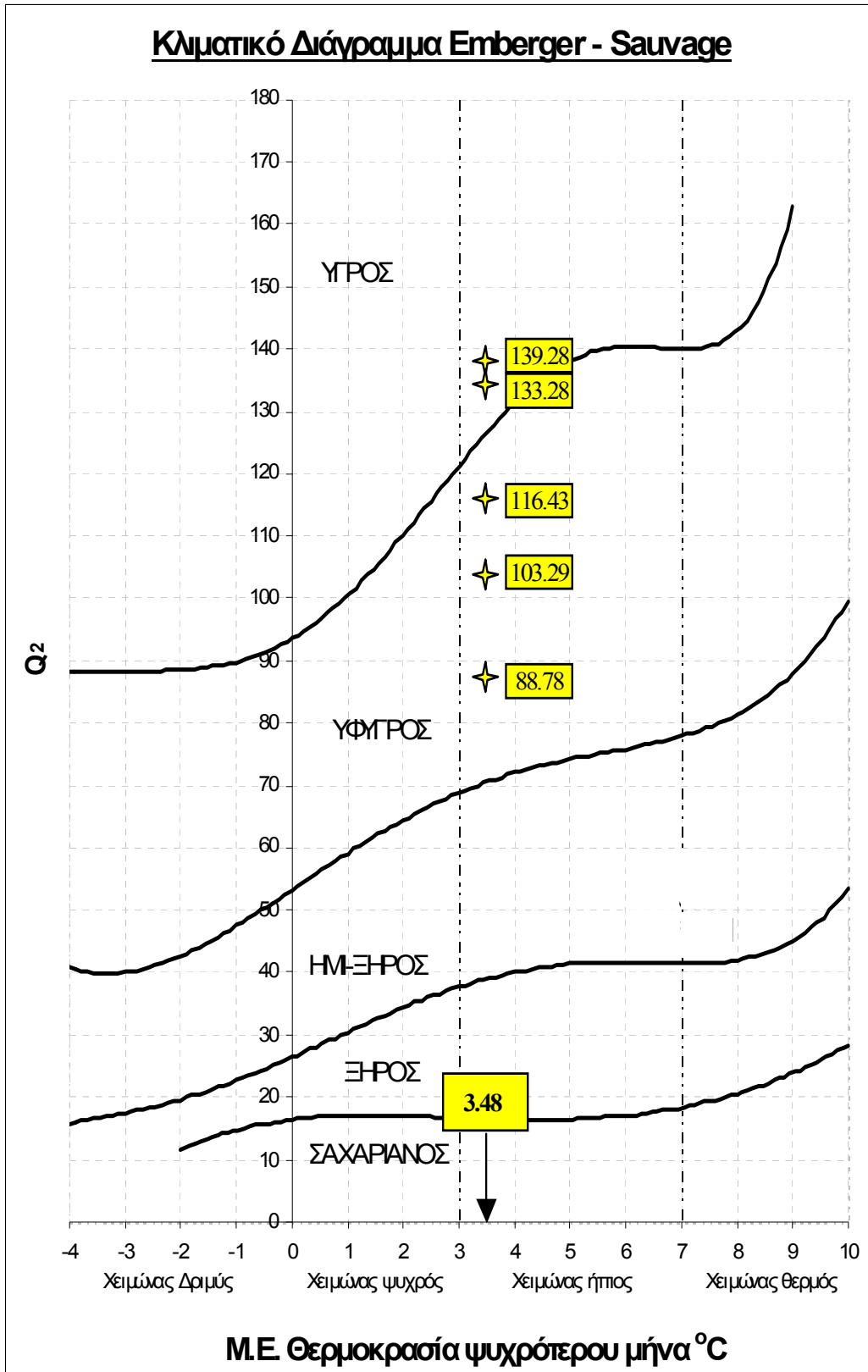
Σε γενικές γραμμές όσο μικρότερος είναι ο δείκτης Q_2 , τόσο ξηρότερο είναι το κλίμα.

Με βάση μετεωρολογικά δεδομένα του ενός σταθμού της περιοχής (Τατοΐου) για την περίοδο 1965-1992, ο υφιστάμενος βιοκλιματικός όροφος της Πάρνηθας βρέθηκε ημίξηρος με ψυχρό έως ήπιο χειμώνα ($Q_2 = 51,25$).

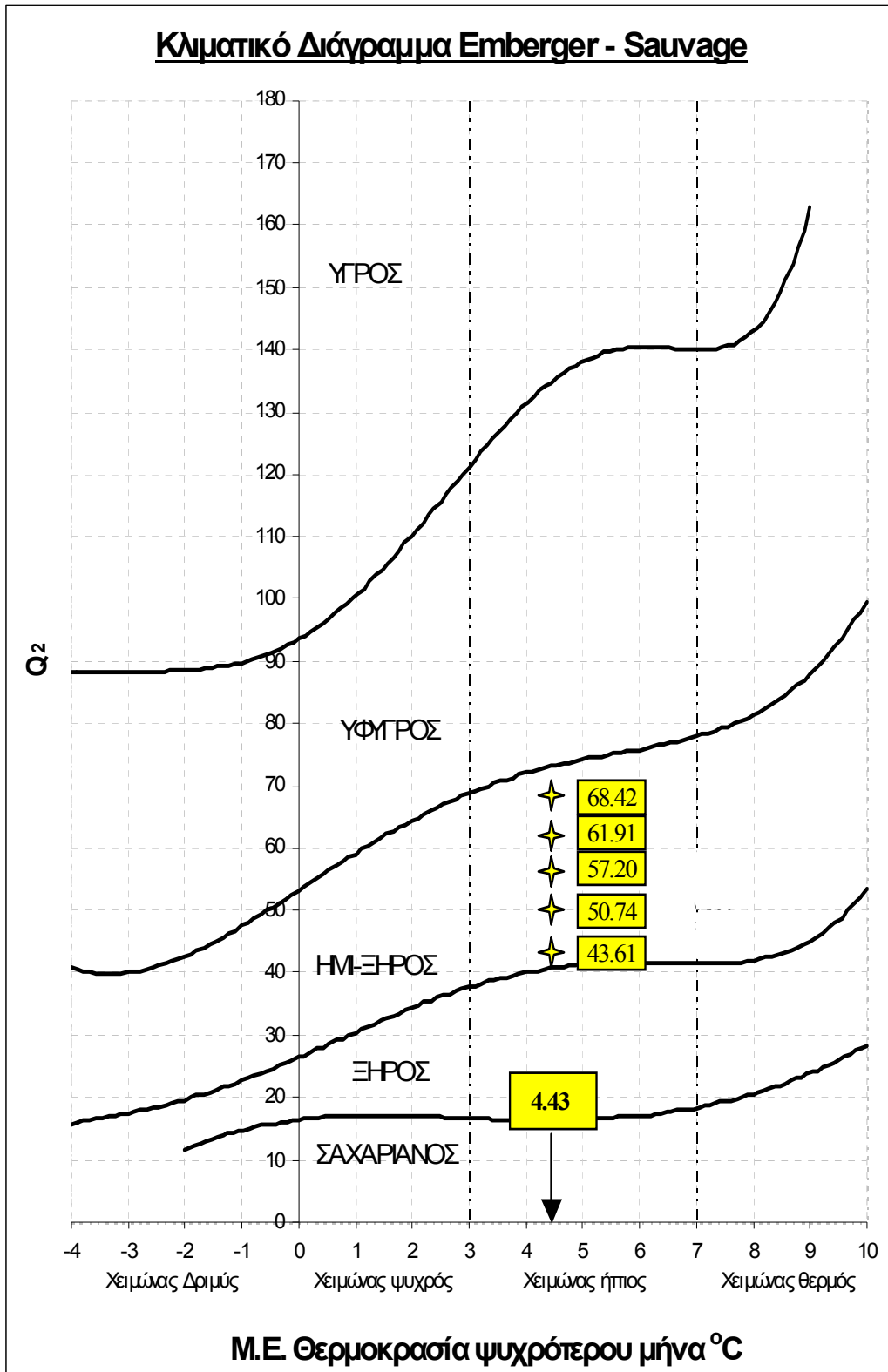
Στη συνέχεια, για κάθε ένα από τα τρία υποθετικά σενάρια μεταβολής της θερμοκρασίας τοποθετήθηκε ο μετεωρολογικός σταθμός με βάση τις συντεταγμένες Q_2 και m , στο κλιματικό διάγραμμα του Emberger που έχει τροποποιηθεί από τον Sauvage (1961) (Εικ. 8, 9 και 10). Από τα κατωτέρω διαγράμματα προκύπτει ότι η ξηρή περίοδος για την Πάρνηθα θα διαρκέσει περίπου τρειςήμισι μήνες στο υποθετικό σενάριο μη μεταβολής της θερμοκρασίας, τεσσεράμισι μήνες στο σενάριο μεταβολής της θερμοκρασίας κατά $1\text{ }^\circ\text{C}$ και πεντέμισι μήνες στο σενάριο μεταβολής της θερμοκρασίας κατά $2\text{ }^\circ\text{C}$ (Πιν. 2).

Από τον ανωτέρω πίνακα προκύπτει πως η πορεία της υγείας του δάσους του Εθνικού Δρυμού Πάρνηθας θα συνεχίσει να βρίσκεται στην ίδια κρίσιμη κατάσταση. Η εν λόγω πρόβλεψη στηρίζεται στη στασιμότητα που προκύπτει από την επεξεργασία των διαθέσιμων κλιματικών στοιχείων για το διάστημα 2010-2050. Ο προβληματικός και επικίνδυνος για την υγεία των δέντρων και ταυτόχρονα ευνοϊκός για την εμφάνιση πληθυσμιακών εξάρσεων (επιδημιών) φλοιοφάγων εντόμων, ημίξηρος βιοκλιματικός όροφος που επικρατεί σήμερα θα εξακολουθήσει να υπάρχει στα 10 από τα 15 υποθετικά σενάρια μελλοντικών κλιματικών αλλαγών στην περιοχή. Ο κίνδυνος εδράζεται στη διαπίστωση ότι σε γενικές γραμμές όσο μικρότερος είναι ο δείκτης Q_2 , τόσο ξηρότερο είναι το κλίμα. Σύμφωνα με τον Πίνακα 2, οι χαμηλές τιμές του δείκτη Q_2 των προηγούμενων ετών (1950-2010), θα εξακολουθήσουν να ταλαιπωρούν τα δέντρα, ακόμα και στις περιπτώσεις πιθανής αύξησης των ετήσιων βροχοπτώσεων έως και κατά 20%.

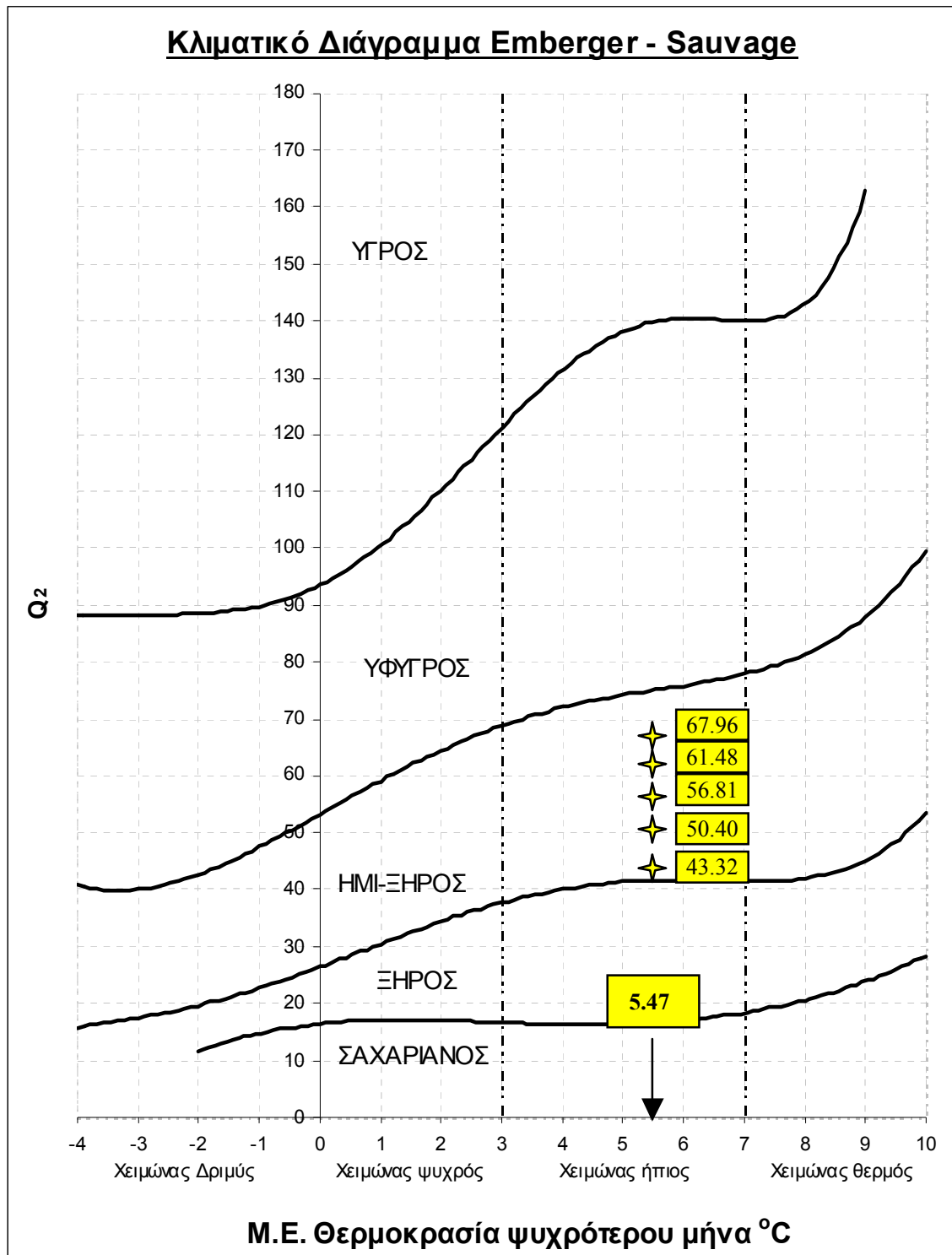
Συμπερασματικά, η επεξεργασία των σεναρίων των υποθετικών κλιματικών αλλαγών για το χρονικό διάστημα 2010-2050, σε συνδυασμό με τον υφιστάμενο ημίξηρο βιοκλιματικό όροφο της περιοχής, επιτρέπει τη διατύπωση της υπόθεσης ότι, κατά τη διάρκεια της συγκεκριμένης χρονοσειράς, αναμένεται να ευνοηθεί η ανάπτυξη πληθυσμιακών εξάρσεων των φλοιοφάγων εντόμων, εξαιτίας της αρνητικής επίδρασης των κλιματικών αλλαγών στη φυσιολογία της ελάτης. Η υπόθεση αυτή καθιστά ακόμα πιο επιτακτική τη λήψη των μέτρων που αναφέρθηκαν ανωτέρω. Τα διαθέσιμα κλιματικά και βιο-οικολογικά στοιχεία δεν επιτρέπουν την εξαγωγή στατιστικά ασφαλών συμπερασμάτων, παρέχουν ωστόσο τις ενδείξεις για μελλοντικές εξάρσεις του πληθυσμού των φλοιοφάγων εντόμων (Αβτζής 2011α).



Εικόνα 8. Κλιματικό Διάγραμμα Emberger-Sauvage χωρίς καμία μεταβολή των συνθηκών θερμοκρασίας για την περιοχή της Πάρνηθας, κατά τη διάρκεια της χρονοσειράς (2010-2050).



Εικόνα 9. Κλιματικό Διάγραμμα Emberger-Sauvage με αύξηση θερμοκρασίας κατά 1°C για την περιοχή της Πάρνηθας, κατά τη διάρκεια της χρονοσειράς (2010-2050).



Εικόνα 10. Κλιματικό Διάγραμμα Emburger-Sauvage με αύξηση θερμοκρασίας κατά 2°C για την περιοχή της Πάρνηθας, κατά τη διάρκεια της χρονοσειράς (2010-2050).

Πίνακας 2. Μεταβολές της τιμής Q₂ (βιο-κλιματικός όροφος) στην Πάρνηθα κατά την περίοδο της χρονοσειράς 2010-2050, σε σύγκριση με την υφιστάμενη τιμή.

Μεταβολές στο Μ.Ο. του ετήσιου ύψους βροχής / θερμοκρασίας	ΗΜΙΞΗΡΟΣ (Q ₂ =51,25)	ΗΜΙΞΗΡΟΣ (Q ₂ =51,25)	ΗΜΙΞΗΡΟΣ (Q ₂ =51,25)
	0°C	1°C	2°C
-20% βροχή	88,78 ΥΦΥΓΡΟΣ	43,61 ΗΜΙΞΗΡΟΣ	43,32 ΗΜΙΞΗΡΟΣ
-10% βροχή	103,29 ΥΦΥΓΡΟΣ	50,74 ΗΜΙΞΗΡΟΣ	50,40 ΗΜΙΞΗΡΟΣ
Καμία μεταβολή	116,43 ΥΦΥΓΡΟΣ	57,20 ΗΜΙΞΗΡΟΣ	56,81 ΗΜΙΞΗΡΟΣ
+10% βροχή	133,28 ΥΓΡΟΣ	61,91 ΗΜΙΞΗΡΟΣ	61,48 ΗΜΙΞΗΡΟΣ
+20% βροχή	139,28 ΥΓΡΟΣ	68,42 ΗΜΙΞΗΡΟΣ	67,96 ΗΜΙΞΗΡΟΣ

Στο υποθετικό σενάριο μη μεταβολής των κλιματικών παραμέτρων (θερμοκρασίας και βροχόπτωσης) για την περίοδο 2010-2050, αναμένεται να υπάρξει περαιτέρω είσοδος της κεφαλληνιακής ελάτης στον υπόροφο των αναδασωμένων με μαύρη πεύκη περιοχών της Πάρνηθας (νοτιοανατολικά της περιοχής μελέτης). Ιδιαίτερα προς το τέλος της περιόδου, η μαύρη πεύκη θα έχει φθάσει στον περίτροπο χρόνο της και θα δώσει τη θέση της στην ελάτη, η οποία θα έχει αναπτυχθεί και θα έχει σχηματίσει ανομήλικες, μάλλον υποκηπευτές συστάδες. Στις βόρειες εκθέσεις όπου επικρατούν νεαρές συστάδες ελάτης έπειτα από αναγέννηση σε διάκενα, αναμένεται να παρατηρηθεί αύξηση των συστάδων και δημιουργία ανομήλικων κηπευοειδών δομών με μεγαλύτερο η μικρότερο βαθμό προσβολής από ιξό (*Viscum album*). Κατά θέσεις, επίσης, αναμένεται μίξη με μαύρη πεύκη ιδιαίτερα σε κακής ποιότητας σταθμούς. Στον υπόροφο, ως δευτερεύουσα συστάδα, αναμένεται να αναπτυχθεί το πουργάρι και η άρκευθος.

Στο σενάριο αύξησης της θερμοκρασίας (+1°C) και μείωσης των βροχοπτώσεων (-10%), η Πάρνηθα, ως ασβεστολιθικός ορεινός όγκος, αναμένεται να οδηγηθεί προοδευτικά σε μείωση της διάρκειας των χιονοπτώσεων, παράγοντας εξαιρετικά σημαντικός για τον κύκλο νερού. Υπό τις εξελίξεις του εν λόγω κλιματικού σεναρίου, έως το έτος 2050 αναμένεται αύξηση των ξηροθερμικών περιόδων με εντονότερα διαδοχικά θερμά και ξηρά καλοκαίρια κατά τα οποία τα δέντρα θα υποβληθούν σε έντονο υδατικό στρες. Ως αποτέλεσμα, όπως προαναφέρθηκε, αναμένονται φαινόμενα ξηράνσεων της ελάτης, πληθυσμιακές εξάρσεις εντόμων και ως εκ τούτου νεκρώσεις και εντονότερη παρουσία του παράσιτου ιξός (*Viscum album*) στα είδη κωνοφόρων γενικά. Η είσοδος της κεφαλληνιακής ελάτης στον υπόροφο των αναδασωμένων με μαύρη πεύκη περιοχών της Πάρνηθας ίσως διαταραχθεί, καθώς αναμένονται νεκρώσεις ατόμων ελάτης στο στάδιο της πυκνοφυτείας λόγω έντονων

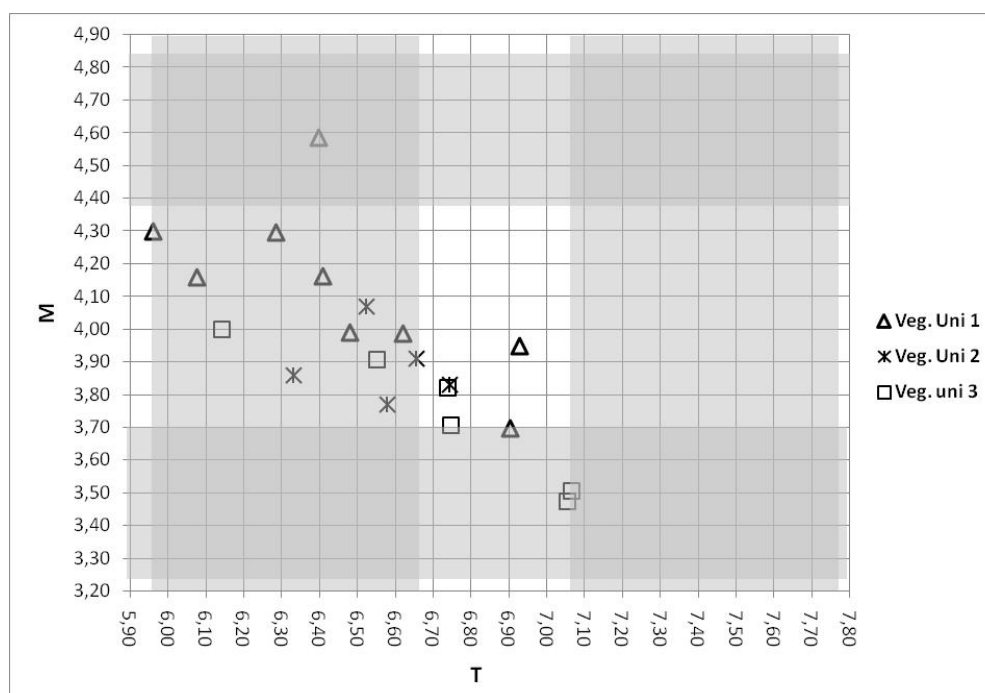
ξηροθερμικών θερινών περιόδων. Ιδιαίτερα προς το τέλος της περιόδου 2010-2050, η μαύρη πεύκη θα έχει φθάσει στον περίτροπο χρόνο της και θα έχει ήδη εμφανίσει προβλήματα επιβίωσης. Τα διαδοχικά θερμά και ξηρά καλοκαίρια θα αυξήσουν ακόμη περισσότερο τον κίνδυνο πυρκαγιάς, προκαλώντας μεγαλύτερα προβλήματα στην ελάτη που αναγεννάται δύσκολα σε ψιλές επιφάνειες, ιδιαίτερα έπειτα από πυρκαγιές. Η ελάτη, σε ευνοϊκές θέσεις, θα αναπτυχθεί και θα σχηματίζει ανομήλικες, μάλλον υποκηπευτές συστάδες. Στις βόρειες εκθέσεις, όπου επικρατούν νεαρές συστάδες ελάτης έπειτα από αναγέννηση σε διάκενα, αναμένεται αύξηση των συστάδων και δημιουργία ανομήλικων κηπευτοειδών δομών με μεγαλύτερο ή μικρότερο βαθμό προσβολής από ιξό (*Viscum album*). Η μίξη με μαύρη πεύκη ενδέχεται να είναι μεγαλύτερη σε σχέση με το σενάριο μη μεταβολής των κλιματικών παραμέτρων. Ο υπόροφος από πουρνάρι και άρκευθο αναμένεται να είναι πυκνότερος και να καταλαμβάνει μεγαλύτερη έκταση.

Στο σενάριο αύξησης της θερμοκρασίας (+1°C) με ταυτόχρονη αύξηση των βροχοπτώσεων (+10%), προβλέπεται η επικράτηση μιας πιο ασταθούς ατμόσφαιρας με περισσότερες αλλά έντονες βροχοπτώσεις που θα διατηρούν τον περιοδικό τους χαρακτήρα λόγω Μεσογειακού κλίματος. Το γεγονός αυτό θα έχει ως συνέπεια τη δημιουργία χειμαρρικών φαινομένων και την περαιτέρω διάβρωση των ήδη φτωχών ασβεστολιθικών εδαφών της Πάρνηθας. Υπό την εξέλιξη του εν λόγω κλιματικού σεναρίου, έως το έτος 2050 αναμένεται η επικράτηση ξηροθερμικών αλλά και υγρών θερινών περιόδων κατά τις οποίες τα δέντρα θα υποβληθούν σε διακυμάνσεις υδατικού στρες. Η αναγέννηση της ελάτης κάτω από την κόμη της μαύρης πεύκης αναμένεται να επεκταθεί και σε μέρη που έως σήμερα δεν έχει καταφέρει να εγκατασταθεί. Η αύξηση των βροχοπτώσεων, ιδιαίτερα κατά τους θερινούς μήνες, θα βοηθήσει την ελάτη, η οποία ως σκιοφύτο είδος, θα γίνει ανταγωνιστικότερη σε σχέση με τα φωτόφυτα είδη όπως το πουρνάρι, η άρκευθος και η μαύρη πεύκη (η τελευταία αναμένεται να επικρατήσει στον υπόροφο). Ο κίνδυνος πυρκαγιάς, λόγω των αυξημένων βροχοπτώσεων, δεν αναμένεται να είναι υψηλότερος από τον έως σήμερα καταγεγραμμένο, ωστόσο οι πυρκαγιές θα συνεχίσουν να διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην εξέλιξη και αναγέννηση της ελάτης. Προς το τέλος της περιόδου 2010-2050, η μαύρη πεύκη θα φθάσει στον περίτροπο χρόνο της και πιθανόν θα αρχίσει να αντιμετωπίζει προβλήματα επιβίωσης (εάν δεν παρθούν κατάλληλα δασοκομικά και διαχειριστικά μέτρα). Η αναγεννημένη στον υπόροφο ελάτη θα έχει αναπτυχθεί και θα σχηματίζει ανομήλικες, μάλλον υποκηπευτές συστάδες. Στις βόρειες εκθέσεις, όπου επικρατούν νεαρές συστάδες ελάτης έπειτα από αναγέννηση σε διάκενα, αναμένεται αύξηση των συστάδων και δημιουργία ανομήλικων κηπευτοειδών δομών με μεγαλύτερο ή μικρότερο βαθμό προσβολής από ιξό (*Viscum album*). Η μίξη με μαύρη πεύκη και ο υπόροφος από πουρνάρι και άρκευθο ενδέχεται να παρατηρηθούν εντονότερα σε σταθμούς όπου κυριαρχούν τα αβαθή εδάφη.

Για την εκτίμηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στη βλάστηση των περιοχών μελέτης πραγματοποιήθηκε σύγκριση των τιμών θερμοκρασίας και βροχόπτωσης (οι οποίες είναι γραμμικά συσχετισμένες με το υψόμετρο, από Κατσαβούνη κ.ά. 2013) με τους δείκτες του Ellenberg για τη θερμοκρασία και την υγρασία εδάφους. Με αυτόν τον τρόπο, προκύπτει μία ένδειξη της αναμενόμενης αλλαγής των δεικτών του Ellenberg βάσει των σεναρίων κλιματικής αλλαγής.

Η άμεση ανάλυση διαβάθμισης βάσει των δεικτών του Ellenberg για τη θερμοκρασία και την υγρασία (Εικ. 11) έδειξε ότι αύξηση της θερμοκρασίας έστω και κατά 1°C θα επιφέρει πιθανότατα σημαντική μείωση του χώρου δυνητικής εξάπλωσης και των τριών μονάδων βλάστησης των δασών ελάτης που καταγράφηκαν στην Πάρνηθα. Η μείωση της δυνητικής εξάπλωσης των δασών ελάτης ως απόκριση ακόμη και τόσο

μικρής θερμοκρασιακής μεταβολής προκύπτει εξαιτίας του μικρού υψομετρικού και άρα θερμοκρασιακού εύρους των επιφανειών στην περιοχή. Σημαντική είναι, επίσης, και η μείωση της δυνητικής εξάπλωσης των μονάδων βλάστησης που αντιστοιχεί στη μείωση των βροχοπτώσεων κατά 10 ή 20%. Συνεπώς, στην περίπτωση της Πάρνηθας και δεδομένου ότι η 2η και 3η μονάδα βλάστησης αντιπροσωπεύουν στάδια υποβάθμισης δασών ελάτης (χειρότερες ποιότητες τόπου), η αύξηση της θερμοκρασίας ή/και η μείωση των βροχοπτώσεων μπορεί να θέσει σε αυξημένο κίνδυνο εξαφάνισης τα δάση ελάτης της περιοχής. Οι οριακές συνθήκες ανάπτυξης της ελάτης στις δύο αυτές μονάδες βλάστησης φαίνονται από τη χλωριδική τους σύνθεση, η οποία χαρακτηρίζεται από είδη μη δασικών κοινοτήτων, καθώς και από το αρκετά μικρό (περίπου 10μ.) ανώτερο ύψος των ατόμων της ελάτης που υπολείπεται από αυτό της 1ης μονάδας βλάστησης (καλύτερη ποιότητα τόπου).



Εικόνα 11. Διάγραμμα άμεσης ανάλυσης διαβάθμισης βάσει των δεικτών θερμοκρασίας και υγρασίας για τον Εθνικό Δρυμό Πάρνηθας. Οι ζώνες γκρι χρώματος που είναι κάθετες στον οριζόντιο άξονα αντιπροσωπεύουν την αύξηση της θερμοκρασίας έως 1°C, ενώ οι ζώνες που είναι κάθετες στον κάθετο άξονα τη διαφοροποίηση των βροχοπτώσεων έως ±20%.

Το κυρίαρχο είδος της βλάστησης που μελετήθηκε στην Πάρνηθα είναι η κεφαλληνιακή ελάτη (*Abies cephalonica*). Η κεφαλληνιακή ελάτη είναι σχετικά ξηρανθεκτικό και θερμόφιλο είδος. Σύμφωνα με τον Aussenac (2002), η κεφαλληνιακή ελάτη αναπτύσσεται σε ύψιγγες περιοχές με χαμηλό σχετικά ύψος κατακρημνισμάτων (700-800mm). Μπορεί να αναπτυχθεί σε περιοχές με μέση ετήσια θερμοκρασία 7.5 έως 16°C. Αύξηση της θερμοκρασίας, χωρίς ταυτόχρονη αύξηση των κατακρημνισμάτων, πιθανώς, θα οδηγήσει σε εξαφάνιση των δασών της κεφαλληνιακής ελάτης στα μικρότερα υψόμετρα. Επιπλέον, το εν λόγω είδος ελάτης, ως είδος που εκπτύει τους οφθαλμούς του αρκετά νωρίς την άνοιξη, είναι ιδιαίτερα ευαίσθητο σε όψιμους παγετούς (Aussenac 2002). Συνεπώς, ακραία καιρικά φαινόμενα ως αποτέλεσμα της κλιματικής αλλαγής (για παράδειγμα, εμφάνιση παγετών την άνοιξη), μπορεί επίσης να επιδράσουν αρνητικά στην εξάπλωση της κεφαλληνιακής ελάτης.

Ως ξηρανθεκτικό είδος, η κεφαλληνιακή ελάτη διαθέτει ένα πασσαλώδες ριζικό σύστημά της, το οποίο φθάνει σε σχετικά μεγάλο βάθος εδάφους. Με αυτόν τον τρόπο, το είδος είναι προσαρμοσμένο να αντέχει σε παρατεταμένη περίοδο ξηρασίας κατά τους θερινούς μήνες, αφού οι βαθιές ρίζες εκμεταλλεύονται τα υψηλότερα επίπεδα υγρασίας των βαθύτερων στρωμάτων του εδάφους (Aussenac 2002). Επιπλέον, η γρήγορη κατά βάθος αύξηση της ρίζας στα αρτίφυτρα του είδους, αυξάνει τις πιθανότητες επιβίωσής τους (Aussenac 2002, Politi *et al.* 2009). Παρόλα αυτά, η ξηρασία φαίνεται να αποτελεί τον κύριο περιοριστικό παράγοντα της εξάπλωσης της κεφαλληνιακής ελάτης κατά τις τελευταίες πέντε δεκαετίες, καθώς ευρεία φαινόμενα θνησιμότητας ατόμων ελάτης έχουν παρατηρηθεί έπειτα από συνεχόμενες ξηρές χρονιές (Raftoyannis *et al.* 2008). Συνεπώς, η κλιματική αλλαγή και η επιμήκυνση της ξηρής περιόδου αναμένεται να αυξήσει τα φαινόμενα μείωσης της εξάπλωσης της ελάτης.

3.4. Η νέκρωση της κεφαλληνιακής ελάτης (*Abies cephalonica*) στον Ανατολικό Ταΰγετο

3.4.1. Γενικά για τον Ανατολικό Ταΰγετο

Στον Ανατολικό Ταΰγετο, η κεφαλληνιακή ελάτη βρίσκεται στα νοτιότερα θερμοόρια της εξάπλωσής της. Πρόκειται για ενδημικό είδος, το οποίο εμφανίζεται μόνο στη χώρα μας, και ειδικότερα στην Κεφαλονιά (όρος Αίνος) από όπου και πήρε το όνομά της, στην Εύβοια, στη Στερεά Ελλάδα (Παρνασσός, Οίτη) και στην Πελοπόννησο. Ο πληθυσμός της στον Ταΰγετο αναμένεται να έχει σημαντική γενετική ποικιλότητα και διαφοροποίηση, λόγω της έντονης γεωμορφολογίας της νότιας Πελοποννήσου. Ο Ταΰγετος, σε αντίθεση με την Πάρνηθα, έχει περισσότερο ποικίλο ανάγλυφο και μεγαλύτερο υψόμετρο, προσφέροντας έτσι μεγαλύτερη έκταση δυνητικής εξάπλωσης-μετανάστευσης της ελάτης λόγω κλιματικής αλλαγής (Τσιριπίδης 2011).

3.4.2. Παρούσα κατάσταση

Όπως όλα τα είδη της ελάτης, η κεφαλληνιακή ελάτη αποδείχθηκε είδος ευπαθές στην κλιματική αλλαγή. Σποραδικές ξηράνσεις, εξασθενημένων σχετικά ατόμων, από προσβολή φλοιοφάγων εντόμων πάντοτε υπήρχαν, ωστόσο, οι προσβολές αυτές δεν έπαιρναν στο παρελθόν επιδημικές διαστάσεις. Τα έτη 1987 και 1988 επικράτησαν στη χώρα μας ακραίες συνθήκες υψηλών θερμοκρασιών (45-48°C) και ξηρασίας έπειτα από μία σχετικά μακρά περίοδο μειωμένων βροχοπτώσεων (επί πέντε σχεδόν έτη). Το 1989 παρατηρήθηκε επιδημική προσβολή από φλοιοφάγα έντομα τόσο της κεφαλληνιακής όσο, σε μικρότερο βαθμό, και της υβριδογενούς ελάτης σε όλη σχεδόν τη χώρα. Στον Ταΰγετο και σε άλλες περιοχές της Πελοποννήσου υπολογίζεται πως το ποσοστό των ατόμων ελάτης που νεκρώθηκαν από την προσβολή των φλοιοφάγων εντόμων ανήλθε σε 20-30% (Εικ. 12). Η προσβολή των εντόμων θεωρήθηκε δευτερογενής. Πρωτογενής αιτία ήταν η επικράτηση ακραίων συνθηκών (υψηλές θερμοκρασίες και ξηρασία), οι οποίες προκάλεσαν εξασθένηση των δέντρων μέσω της καταστροφής μέρους του επιδόλαιου ριζικού συστήματος.



Εικόνα 12. Νέκρωση κεφαλληνιακής ελάτης (*Abies cephalonica*) στο Όρος Ταΰγετος.

Στο πλαίσιο του έργου, βρέθηκε πως η νέκρωση της κεφαλληνιακής ελάτης οφείλεται στην επιδημική έξαρση του είδους *Pityokteines spinidens*, ενός εξαιρετικά επικίνδυνου φλοιοφάγου εντόμου. Όπως αναφέρθηκε, η επικράτηση του εν λόγω είδους οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στις αλλαγές των κλιματικών παραμέτρων, δηλαδή, στην αύξηση της θερμοκρασίας και στη μείωση των βροχοπτώσεων που παρατηρήθηκαν στην περιοχή μελέτης. Ωστόσο, στο ελατόδασος του Ταΰγετου, τα υψηλά ποσοστά εμφάνισης του ωφέλιμου εντόμου *Thanasimus formicarius* (φυσικός θηρευτής του *P. spinidens*) σε συνδυασμό με την υψηλή εντομο-βιοποικιλότητα καταδεικνύουν ένα μάλλον σταθερό οικοσύστημα που βρίσκεται σε κατάσταση ισορροπίας και, ως εκ τούτου, μπορεί να αντισταθεί σε μια ενδεχόμενη πληθυσμιακή αύξηση των επιβλαβών φλοιοφάγων εντόμων (Αβτζής 2010).

Από άποψη φυτοκοινωνιολογίας, στην περιοχή του Ταΰγετου διακρίθηκαν τρεις μονάδες βλάστησης που αντιπροσωπεύουν δύο ποιότητες τόπου. Η μονάδα βλάστησης στη χειρότερη ποιότητα τόπου εμφανίζεται σε χαμηλότερα υψόμετρα σε σχέση με τις δύο άλλες μονάδες. Η κύρια περιβαλλοντική βαθμίδα που βρέθηκε στα δάση κεφαλληνιακής ελάτης στον Ταΰγετο εκφράζει τη γονιμότητα και υγρασία του εδάφους, καθώς και τις μέσο- και μικρο-κλιματικές συνθήκες. Επιπλέον, βρέθηκε και μια δευτερεύουσα περιβαλλοντική βαθμίδα που συσχετίζεται με το ποσοστό εδαφοκάλυψης του δεντρώδους ορόφου και πιθανώς με τον βαθμό διαταραχής των συστάδων κεφαλληνιακής ελάτης. Τα δάση κεφαλληνιακής ελάτης στην περιοχή εμφανίζουν αρκετά υψηλή φυτοποικιλότητα, τόσο βάσει του αριθμού ειδών που φιλοξενούν, όσο και βάσει της διαφοροποίησης μεταξύ των τριών μονάδων βλάστησης. Ένας από τους σημαντικότερους κινδύνους που απειλεί τα δάση κεφαλληνιακής ελάτης στον Ταΰγετο είναι οι δασικές πυρκαγιές. Σημαντικές αρνητικές επιπτώσεις στα οικοσυστήματα της περιοχής και στα δάση κεφαλληνιακής ελάτης έχουν ήδη προκληθεί από τις φωτιές του 1998 και 2007 (Τσιριπίδης 2011).

Από άποψη οικοφυσιολογίας, στο Βόρειο τμήμα, κοντά στην κορυφή «Μαλεβός», παρατηρήθηκαν συστάδες μαύρης πεύκης, ομήλικες και μικτές με κεφαλληνιακή ελάτη ή και καστανιά, η οποία είναι προϊόν ανθρώπινης επέμβασης. Ως γνωστόν η καστανιά είναι είδος ταχυαυξές με μεγάλη πρεμνοβλαστική ικανότητα (όταν υλοτομείται πρεμνοβλαστώνει έντονα και μπορεί να ανταγωνιστεί και να επικρατήσει ακόμη και επί ισχυρά σκιοφυτών ειδών όπως είναι η ελάτη). Η αναγέννηση παρουσιάζεται πλούσια σε κεφαλληνιακή ελάτη στο στάδιο της πυκνοφυτείας και της νεοφυτείας, και ακολουθούν πλατύφυλλα είδη όπως η καστανιά και το πουνράρι. Η ελάτη είναι καλά εγκαταστημένη στον υπόροφο των δασών της μαύρης πεύκης με δυναμική επικράτησής της, έπειτα την ολοκλήρωση του κύκλου ζωής της μαύρης πεύκης. Στα τμήματα του δάσους που βρίσκονται στα ορεινά επάνω από την περιοχή του Μυστρά (κεντρικό τμήμα) υπάρχουν μικτές ανομήλικες συστάδες ελάτης και μαύρης πεύκης με δομή που πλησιάζει την κηπευτή. Οι νεκρώσεις ελάτης που καταγράφηκαν παρουσιάζουν μεγάλες διακυμάνσεις. Η αναγέννηση της ελάτης είναι πλούσια, καταδεικνύοντας τη δυναμική της παρά το γεγονός ότι βρίσκεται στα νοτιότερα όρια της εξάπλωσής της στην Ελλάδα. Ως σκιοφυτό είδος μπορεί και αντέχει τον ανταγωνισμό με τη μαύρη πεύκη, η οποία ως φωτόφιλο είδος δεν μπορεί να αντιμετωπίσει την ανταγωνιστική ελάτη και η αναγέννησή της είναι περιορισμένη και με προοπτική να δώσει τη θέση της στην ελάτη. Νοτιότερα, στα τμήματα δάσους που βρίσκονται πάνω από τον οικισμό Καστάνια, τα δάση ελάτης είναι χαμηλής ποιότητας, αναπτύσσονται επάνω σε μητρικό πέτρωμα από σκληρό ασβεστόλιθο και σε πολύ αβαθή και διαβρωμένα εδάφη. Τα δέντρα είναι κακόμορφα με αρκετή παρουσία ιξού στην κόμη τους. Το συνολικό νεκρό ξύλο (ιστάμενο και κατακείμενο)

αντιπροσωπεύει το 36% του συνολικού όγκου, ποσοστό αρκετά μεγάλο σε σχέση με άλλα τμήματα του δάσους βορειότερα. Υπάρχουν ενδείξεις ότι το νεκρό ξύλο δεν απομακρύνεται από το δάσος. Η αναγέννηση ελάτης είναι πλούσια, παρόλο που η βόσκηση από γιδοπρόβατα είναι εμφανής. Στα σημεία του δάσους που έχουν προκύψει από πρόσφατες πυρκαγιές παρατηρήθηκε ότι το δάσος έχει αναγεννηθεί μερικώς από μαύρη πεύκη και λίγη ελάτη και ότι όλη η περιοχή στον όροφο των θάμνων είναι καλυμμένη από ένα πυκνό στρώμα από σκληρόφυλλα πλατύφυλλα είδη. Παρόλο που αυτό το πολύ πυκνό επίπεδο βλάστησης φαίνεται να δρα αρνητικά στην αναγέννηση δέντρων όπως η μαύρη πεύκη και η ελάτη, στον όροφο των νεοφύτων (κάτω από τον πυκνό όροφο των θάμνων) σημειώθηκε ικανοποιητική παρουσία θαλερών νεοφύτων μαύρης πεύκης, ελάτης, αριάς και πουρναριού τα οποία αναπτύσσονται προστατευόμενα από τον πυκνό όροφο των θάμνων. Όπως προαναφέρθηκε, ο Ταΰγετος αποτελεί το νοτιότερο όριο εξάπλωσης της ελάτης στον Ελλαδικό χώρο αλλά οι διαθέσιμες βροχοπτώσεις φαίνεται ότι δημιουργούν ευνοϊκότερες συνθήκες για την αύξηση της ελάτης σε σχέση με την Πάρνηθα (καθώς το μέσο ετήσιο ύψος βροχής στον Ταΰγετο είναι υψηλότερο από αυτό της Πάρνηθας). Ανθρωπογενείς επιδράσεις όπως βοσκή και πυρκαγιές επηρέασαν τη σημερινή μορφή των συστάδων στον Ταΰγετο. Παρά την ανησυχητική άνοδο των θερμοκρασιών στην περιοχή (ιδιαίτερα των ελάχιστων θερμοκρασιών), φαίνεται ότι η ελάτη είναι σε σχετικά καλή κατάσταση και το δυναμικό αναγέννησής της φαίνεται ότι μπορεί να δώσει υγιείς συστάδες ελάτης στο μέλλον. Το φαινόμενο των νεκρώσεων που εμφανίζεται σε διάρκεια χρόνου, όπως φαίνεται από τα ποσοστά του νεκρού ιστάμενου και κατακείμενου όγκου ξύλου, δεν είναι απειλητικό για την ύπαρξη του δάσους. Είναι πιθανόν το φαινόμενο να συνεχίσει να υπάρχει ανάλογα με τις κλιματικές συνθήκες που θα εμφανίζονται (Ραδόγλου & Σπύρογλου 2011).

Από άποψη εδαφολογίας, τα εδάφη της περιοχής θεωρούνται γενικώς ως αβαθή. Στην περιοχή επικρατούν τα αμμοπηλώδη εδάφη με ισχυρή δομή. Στις πυκνές συστάδες ελάτης στην επιφάνεια του εδάφους έχει σχηματισθεί δασικός τάπητας πάχους 2-3 εκ. που προστατεύει σημαντικά το έδαφος από τη διάβρωση. Τα εδάφη της περιοχής όπου επικρατεί ο σχιστόλιθος έχουν μέσο βάθος 30-40 εκ. Αντίθετα, στις περιοχές στις οποίες το μητρικό υλικό είναι ο ασβεστόλιθος (περιοχές που βρίσκονται στο νοτιότερο όριο εξάπλωσης της ελάτης), το εδαφικό υλικό περιορίζεται στις καρστικές κοιλάτιδες. Στις περιοχές αυτές η επιβίωση της ελάτης στηρίζεται κυρίως στη δυνατότητα εκμετάλλευσης του εδαφικού υλικού που βρίσκεται στις καρστικές κοιλάτιδες. Τα εδάφη που προέρχονται από μητρικό υλικό σχιστολίθων είναι όξινα ενώ αντίθετα αυτά που προέρχονται από μητρικό υλικό ασβεστολίθου είναι αλκαλικά. Τα περισσότερα εδάφη θεωρούνται καλά εφοδιασμένα με οργανική ουσία και θρεπτικά στοιχεία. Ωστόσο, λόγω της μεγάλης περιεκτικότητας σε σκελετικό υλικό, η ποσότητα των θρεπτικών στοιχείων που είναι διαθέσιμη για την ανάπτυξη των φυτών είναι περιορισμένη. Σε ορισμένες θέσεις, η ποσότητα του διαθέσιμου νερού του εδάφους φαίνεται ότι είναι μικρότερη από τις απαιτήσεις των φυτών με αποτέλεσμα αυτά να βρίσκονται κάτω από συνθήκες έλλειψης εδαφικής υγρασίας κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού. Σε πολλές περιοχές τα εδάφη έχουν καλλιεργηθεί παλαιότερα με αποτέλεσμα να έχουν υποστεί μεγάλη υποβάθμιση. Υπάρχουν ίχνη παλαιών βαθμίδων επί των οποίων έχει αναπτυχθεί δασική βλάστηση. Γενικότερα, παρατηρείται μια σταδιακή βελτίωση των εδαφικών συνθηκών στις καλλιεργούμενες παλαιότερα περιοχές. Η βελτίωση αυτή τεκμηριώνεται από τη σταδιακή δημιουργία δασικού τάπητα (σε περιοχές που δεν διαβρώνονται). Στην περιοχή του Ταΰγετου οι ξηράνσεις της ελάτης παρατηρούνται σε θέσεις στις οποίες η αποθηκευτική ικανότητα σε νερό του εδάφους είναι γενικά μικρή (Αλιφραγκής 2011).

3.4.3. Εκτίμηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής

Με την αξιοποίηση των ανωτέρω διαθέσιμων κλιματικών στοιχείων υπολογίστηκε ο βιοκλιματικός όροφος της περιοχής του Ταΰγετου. Ο τελευταίος εκφράζεται με το ομβροθερμικό πηλίκιο (Q_2), το οποίο υπολογίστηκε βάσει της εξίσωσης των Emberger (1945) που ακολουθεί:

$$Q_2 = \frac{1000 \cdot P}{\left(\frac{M + m}{2}\right) \cdot (M - m)}$$

όπου,

P = η συνολική μέση ετήσια βροχόπτωση σε mm για την διάρκεια της χρονοσειράς

M = η μέση τιμή των μέγιστων θερμοκρασιών του θερμότερου μήνα του έτους σε απόλυτους βαθμούς °K (T° σε βαθμούς Κελσίου +273,16)

m = η μέση τιμή των ελάχιστων θερμοκρασιών του ψυχρότερου μήνα του έτους σε απόλυτους βαθμούς °K (T° σε βαθμούς Κελσίου +273,16).

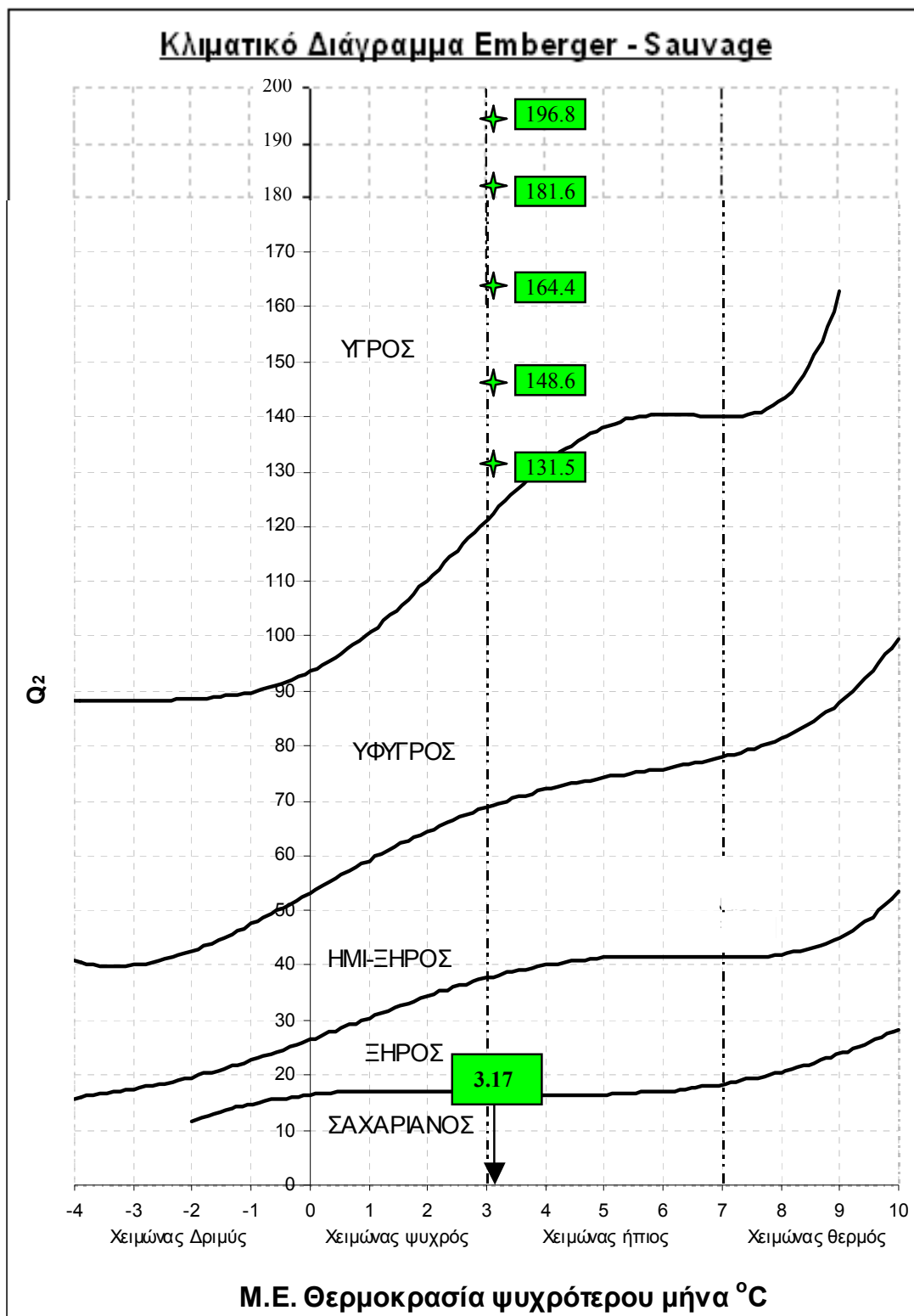
Σε γενικές γραμμές όσο μικρότερος είναι ο δείκτης Q_2 , τόσο ξηρότερο είναι το κλίμα.

Με βάση μετεωρολογικά δεδομένα του ενός σταθμού της περιοχής (Βαμβακούς) για την περίοδο 1962-2002, ο υφιστάμενος βιοκλιματικός όροφος του Ταΰγετου βρέθηκε ύφυγρος ($Q_2 = 98,9$).

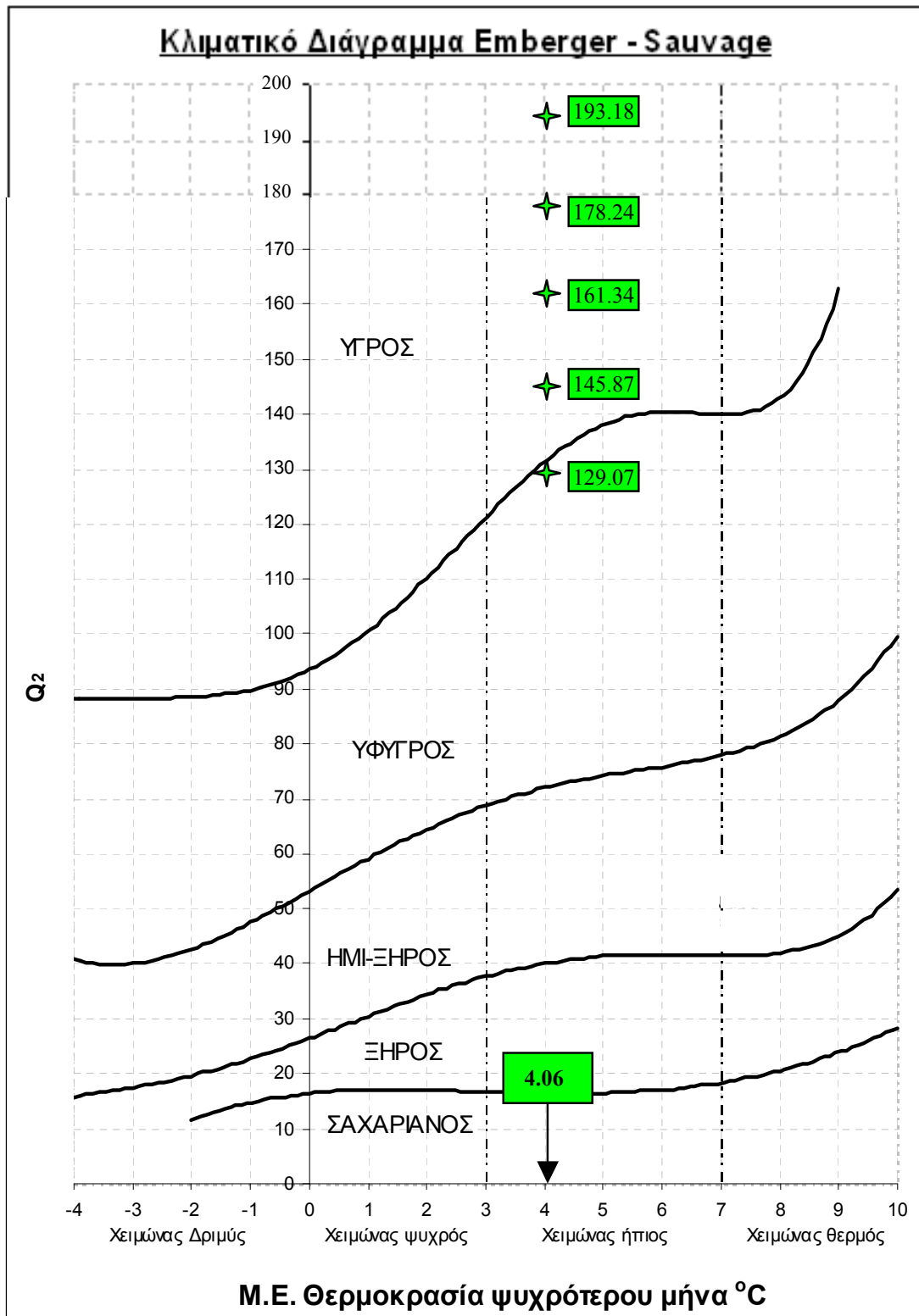
Στη συνέχεια, για κάθε ένα από τα τρία υποθετικά σενάρια μεταβολής της θερμοκρασίας τοποθετήθηκε ο μετεωρολογικός σταθμός με βάση τις συντεταγμένες Q_2 και m , στο κλιματικό διάγραμμα του Emberger που έχει τροποποιηθεί από τον Sauvage (1961) (Εικ. 13, 14 και 15). Από τα κατωτέρω διαγράμματα προκύπτει ότι η ξηρή περίοδος για τον Ταΰγετο θα διαρκέσει περίπου τρεις μήνες στο υποθετικό σενάριο μη μεταβολής της θερμοκρασίας, τέσσερις μήνες στο σενάριο μεταβολής της θερμοκρασίας κατά 1 °C και πέντε μήνες στο σενάριο μεταβολής της θερμοκρασίας κατά 2 °C (Πιν. 3).

Από τον ανωτέρω πίνακα προκύπτει πως η πορεία της υγείας του δάσους του Ανατολικού Ταΰγετου θα συνεχίσει να παρουσιάζει σαφή ανάκαμψη. Η δομή και υγεία των φυτοκοινωνιών της ελάτης και της μαύρης πεύκης συνεχίζουν να βελτιώνονται. Η εν λόγω ανάκαμψη σε ό,τι αφορά τον βιοκλιματικό όροφο και το ομβροθερμικό πηλίκιο Q_2 αναμένεται να συνεχισθεί, και μάλιστα σε ορισμένες περιπτώσεις με εντατικούς ρυθμούς. Από το σύνολο των 15 υποθετικών σεναρίων, σε δύο περιπτώσεις η κατάσταση θα συνεχίσει στα ικανοποιητικά επίπεδα που διανύει. Στις υπόλοιπες 13 υποθέσεις σεναρίων, ο βιοκλιματικός όροφος βελτιώνεται, διασφαλίζοντας την υγεία, και συνεπώς την αντοχή των δέντρων απέναντι στα δευτερογενώς βλαπτικά φλοιοφάγα έντομα.

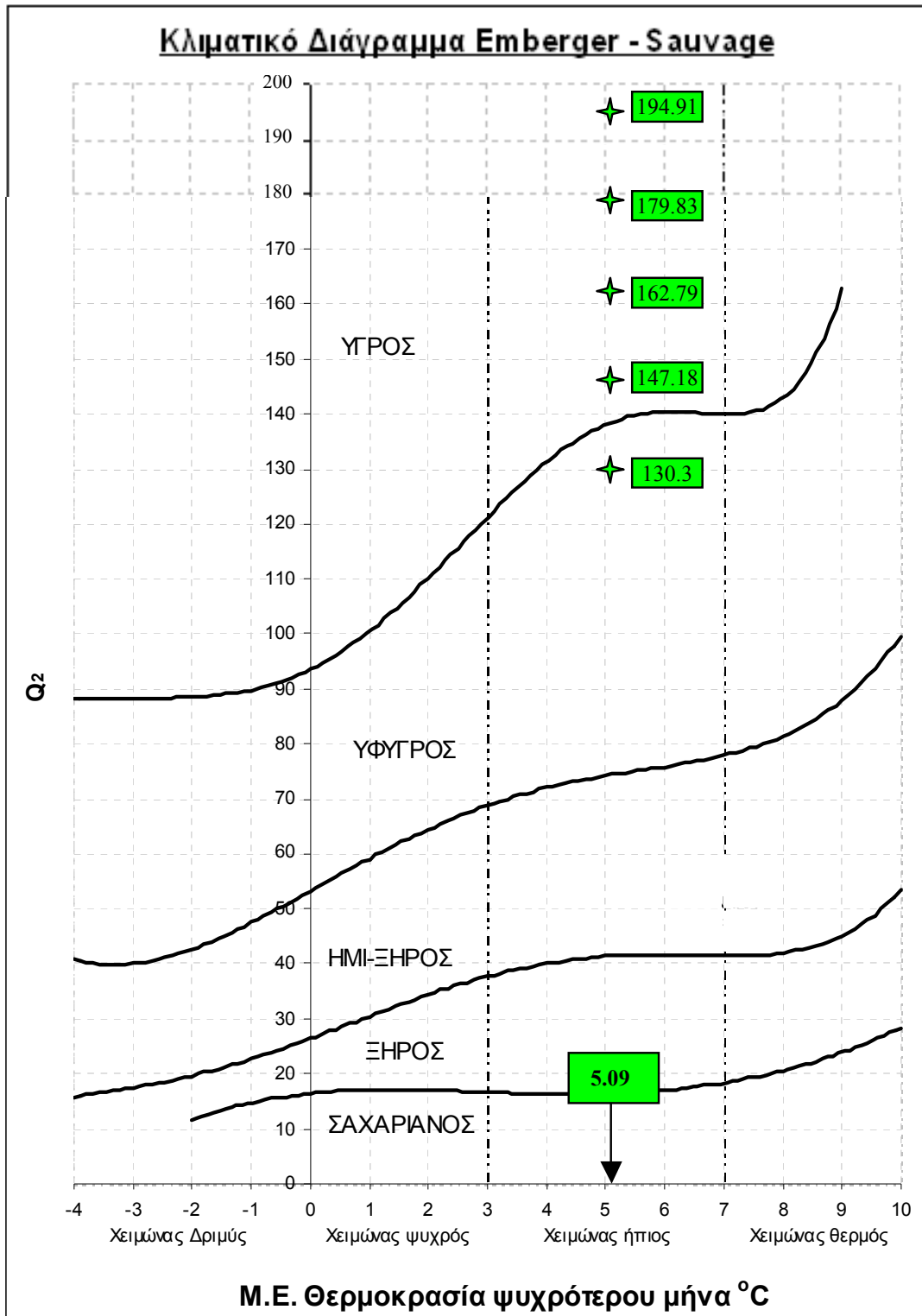
Συμπερασματικά, η επεξεργασία των σεναρίων των υποθετικών κλιματικών αλλαγών για το χρονικό διάστημα 2010-2050 επιτρέπει τη διατύπωση της υπόθεσης ότι, κατά τη διάρκεια της συγκεκριμένης χρονοσειράς, αναμένεται να ενισχυθεί η οικολογική ισορροπία του οικοσυστήματος. Αυτό σημαίνει ότι η κεφαλληνιακή ελάτη, η οποία βρίσκεται στο άριστο της εξάπλωσής της θα συνεχίσει την επεκτατική εγκατάστασή της στις γυμνές και καμένες εκτάσεις. Επίσης, σύμφωνα πάντα με τα ανωτέρω υποθετικά σενάρια, θα συνεχισθεί η εγκατάστασή της στις μερικώς δασοσκεπείς εκτάσεις όπου ήδη εμφανίζεται και τέλος θα ενισχυθεί η είσοδος της στις συστάδες της μαύρης πεύκης (Αβτζής 2011α).



Εικόνα 13. Κλιματικό Διάγραμμα Emberger-Sauvage χωρίς καμία μεταβολή των συνθηκών θερμοκρασίας για την περιοχή του Ταΰγκετου, κατά τη διάρκεια της χρονοσειράς (2010-2050).



Εικόνα 14. Κλιματικό Διάγραμμα Emberger-Sauvage με αύξηση θερμοκρασίας κατά 1°C για την περιοχή του Ταΰγετου, κατά τη διάρκεια της χρονοσειράς (2010-2050).



Εικόνα 15. Κλιματικό Διάγραμμα Emberger-Sauvage με αύξηση θερμοκρασίας κατά 2°C για την περιοχή του Ταΰγκετου, κατά τη διάρκεια της χρονοσειράς (2010-2050).

Πίνακας 3. Μεταβολές της τιμής Q₂ (βιο-κλιματικός όροφος) στον Ταύγετο κατά την περίοδο της χρονοσειράς 2010-2050, σε σύγκριση με την υφιστάμενη τιμή.

Μεταβολές στο Μ.Ο. του ετήσιου ύψους βροχής / θερμοκρασίας	ΥΦΥΓΡΟΣ (Q ₂ =98,9)	ΥΦΥΓΡΟΣ (Q ₂ =98,9)	ΥΦΥΓΡΟΣ (Q ₂ =98,9)
	0°C	1°C	2°C
-20% βροχή	131,5 ΥΓΡΟΣ	129,9 ΥΦΥΓΡΟΣ	130,3 ΥΦΥΓΡΟΣ
-10% βροχή	148,6 ΥΓΡΟΣ	145,87 ΥΓΡΟΣ	147,18 ΥΓΡΟΣ
Καμία μεταβολή	164,4 ΥΠΕΡΥΓΡΟΣ	161,34 ΥΓΡΟΣ	162,79 ΥΓΡΟΣ
+10% βροχή	181,6 ΥΠΕΡΥΓΡΟΣ	178,24 ΥΠΕΡΥΓΡΟΣ	179,83 ΥΠΕΡΥΓΡΟΣ
+20% βροχή	196,8 ΥΠΕΡΥΓΡΟΣ	193,18 ΥΠΕΡΥΓΡΟΣ	194,91 ΥΠΕΡΥΓΡΟΣ

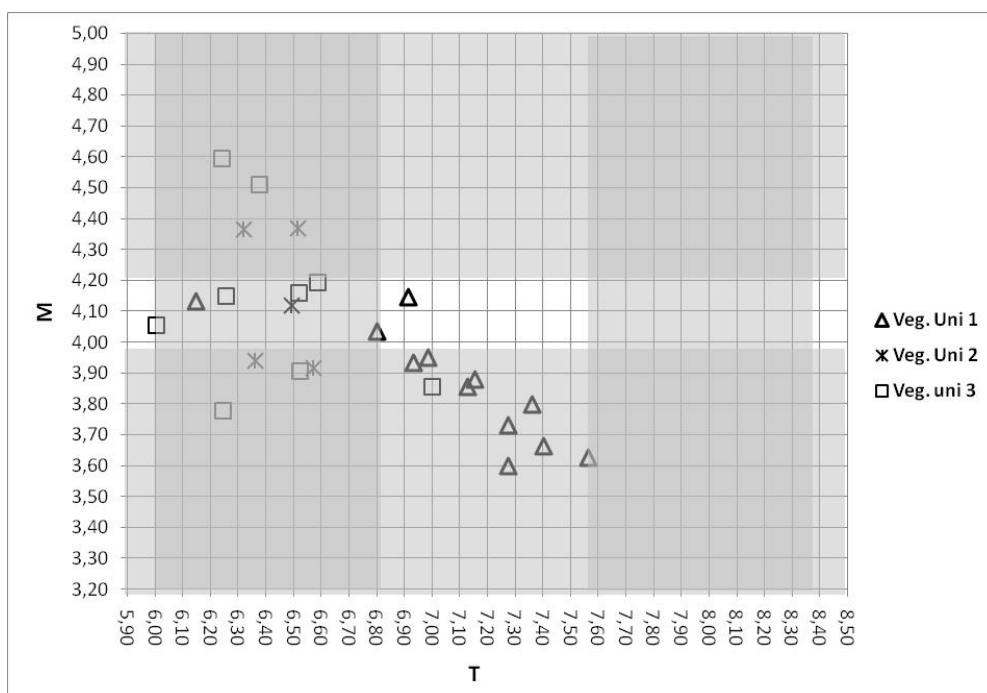
Στο υποθετικό σενάριο μη μεταβολής των κλιματικών παραμέτρων (θερμοκρασίας και βροχόπτωσης) για την περίοδο 2010-2050, στο Βόρειο τμήμα της περιοχής μελέτης (κοντά στην κορυφή Μαλεβός) αναμένεται περαιτέρω είσοδος και ανάπτυξη της ελάτης μέσα στις συστάδες της μαύρης πεύκης. Η καστανιά, επίσης, αναμένεται να επικρατήσει στις περιοχές όπου, ως προϊόν συγκεκριμένης διαχείρισης από τους κατοίκους, απαντά σε μίξη με τη μαύρη πεύκη. Όπως προαναφέρθηκε, η καστανιά παρουσιάζει συγκριτικό πλεονέκτημα σε σύγκριση με τα άλλα πλατύφυλλα είδη της περιοχής. Λόγω της πολύ μεγάλης πρεμνοβλαστικής ικανότητάς της καθίσταται πολύ ανταγωνιστική ακόμη και με πολύ σκιάφουτα είδη όπως η ελάτη ή τα σφενδάμια. Οι νεκρώσεις της καστανιάς από τον μύκητα που προκαλεί καρκίνο (*Cryphonectria parasitica*) δεν αναμένεται να είναι σημαντικές στο μέλλον διότι ο μύκητας βρίσκεται σε ύφεση λόγω υπομολυσματικού πληθυσμού του που έχει ήδη εγκατασταθεί στα δάση της χώρας μας (Perlerou & Diamandis 2010). Στα τμήματα του δάσους που βρίσκονται στα ορεινά επάνω από την περιοχή του Μυστρά (κεντρικό τμήμα), αναμένεται να αυξηθεί το ποσοστό της ελάτης στις μικτές συστάδες, με έντονες διακυμάνσεις του ξυλαποθέματος. Η βόσκηση, εφόσον συνεχισθεί, θα αποτελέσει ρυθμιστικό παράγοντα της αναγέννησης των συστάδων, ιδιαίτερα έπειτα από πυρκαγιές. Νοτιότερα, στα τμήματα δάσους που βρίσκονται πάνω από τον οικισμό Καστάνια και προς τη Μονή της Παναγιάς της Γιάτρισσας, όπου τα δάση ελάτης είναι χαμηλής ποιότητας, αναμένεται να συνεχισθούν οι ίδιες δομές. Λόγω της πολύ χαμηλής αύξησης και της βόσκησης, οι εν λόγω δομές θα δείχνουν στασιμότητα με κακόμορφα δέντρα, έντονη παρουσία ιξού στην ελάτη και πλούσιο υπόροφο από πουρνάρι και άρκευθο.

Στο περισσότερο δυσμενές σενάριο αύξησης της θερμοκρασίας (+1°C) και μείωσης των βροχοπτώσεων (-10%), έως το έτος 2050, αναμένεται αύξηση των ξηροθερμικών περιόδων με εντονότερα διαδοχικά θερμά και ξηρά καλοκαίρια. Οι εν λόγω κλιματικές συνθήκες θα υποβάλουν τα δέντρα σε έντονο υδατικό στρες, γεγονός το οποίο, σε συνδυασμό με το πολύ ρηχό έδαφος και το ασβεστολιθικό πέτρωμα, θα έχει ως αποτέλεσμα πληθυσμιακές εκρήξεις εντόμων και ως εκ τούτου αύξηση των νεκρώσεων στην ελάτη. Η ελάτη δεν θα μπορεί να αντέξει τις σκληρές αβιοτικές συνθήκες και αναμένεται να υποχωρήσει αυξάνοντας το γεωγραφικό πλάτος του νοτιότερου ορίου εξάπλωσής της στην Ελλάδα. Ο αυξημένος κίνδυνος πυρκαγιών, λόγω ακραίων θερμοκρασιών αναμένεται να επηρεάσει όλη την έκταση του Ανατολικού Ταύγετου. Ως αποτέλεσμα αναμένεται η επιδείνωση της διάβρωσης των εδαφών και η προοδευτική δημιουργία ορεινών λιβαδιών λόγω αποτυχίας της εγκατάστασης φυσικής αναγέννησης της ελάτης και της μαύρης πεύκης. Συγκεκριμένα, στο Βόρειο τμήμα της περιοχής αναμένεται περαιτέρω είσοδος και ανάπτυξη της ελάτης μέσα στις συστάδες μαύρης πεύκης. Η κασταριά, επίσης, αναμένεται να επικρατήσει στις περιοχές όπου απαντά σε μίξη με τη μαύρη πεύκη, ως προϊόν συγκεκριμένης διαχείρισης. Οι νεκρώσεις της κασταριάς από τον μύκητα που προκαλεί καρκίνο (*Cryphonectria parasitica*) δεν αναμένεται να είναι σημαντικές διότι ο μύκητας βρίσκεται σε ύφεση λόγω υπομολυσματικού πληθυσμού του που έχει ήδη εγκατασταθεί στα δάση της χώρας μας (Perlerou & Diamandis 2010). Στα τμήματα του δάσους που βρίσκονται στα ορεινά επάνω από την περιοχή του Μυστρά αναμένεται να αυξηθεί το ποσοστό της ελάτης στις μικτές συστάδες, με έντονες διακυμάνσεις του ξυλαποθέματος. Η βόσκηση, εφόσον συνεχισθεί, θα αποτελέσει σημαντικό ρυθμιστικό παράγοντα της αναγέννησης των συστάδων, ιδιαίτερα έπειτα από πυρκαγιές. Νοτιότερα, στα τμήματα δάσους που βρίσκονται πάνω από τον οικισμό Καστάνια και προς τη Μονή της Παναγιάς της Γιάτρισσας, τα δάση ελάτης είναι χαμηλής ποιότητας. Η μικρή μείωση των βροχοπτώσεων αναμένεται να γίνει περισσότερο αισθητή στις Νότιες περιοχές του Ανατολικού Ταύγετου. Εκεί, λόγω της χαμηλής αύξησης, της βόσκησης και των ακραίων θερμοκρασιών του καλοκαιριού που αναμένεται να συμβαίνουν συχνότερα και εντονότερα, θα αυξηθεί περισσότερο ο κίνδυνος νεκρώσεων αλλά και πυρκαγιών.

Στο σενάριο αύξησης της θερμοκρασίας (+1°C) με ταυτόχρονη αύξηση των βροχοπτώσεων (+10%), στο Βόρειο τμήμα της περιοχής αναμένεται να υπάρξει περαιτέρω είσοδος και ανάπτυξη της ελάτης μέσα στις συστάδες μαύρης πεύκης. Η κασταριά, επίσης, αναμένεται να επικρατήσει στις περιοχές όπου απαντά σε μίξη με τη μαύρη πεύκη, ως προϊόν συγκεκριμένης διαχείρισης. Οι νεκρώσεις της κασταριάς από τον μύκητα που προκαλεί καρκίνο (*Cryphonectria parasitica*) δεν αναμένεται να είναι σημαντικές διότι ο μύκητας βρίσκεται σε ύφεση λόγω υπομολυσματικού πληθυσμού του που έχει ήδη εγκατασταθεί στα δάση της χώρας μας (Perlerou & Diamandis 2010). Στα τμήματα του δάσους που βρίσκονται στα ορεινά επάνω από την περιοχή του Μυστρά αναμένεται να αυξηθεί το ποσοστό της ελάτης στις μικτές συστάδες με έντονες διακυμάνσεις του ξυλαποθέματος. Η βόσκηση, εφόσον συνεχισθεί, θα αποτελέσει ρυθμιστικό παράγοντα της αναγέννησης των συστάδων ιδιαίτερα έπειτα από πυρκαγιές. Νοτιότερα στα τμήματα δάσους που βρίσκονται πάνω από τον οικισμό Καστάνια και προς τη Μονή της Παναγιάς της Γιάτρισσας, τα δάση ελάτης είναι χαμηλής ποιότητας. Με την αύξηση των βροχοπτώσεων και με περισσότερο ευμετάβλητες τις κλιματικές συνθήκες αναμένεται να συνεχίσουν οι ίδιες δομές. Οι δομές αυτές, λόγω πολύ χαμηλής αύξησης και βόσκησης, θα δείχνουν στασιμότητα με κακόμορφα δέντρα, έντονη παρουσία ιξού στην ελάτη και πλούσιο υπόροφο από πουρνάρι και άρκευθο. Επίσης, θα υπάρχουν περισσότερα φαινόμενα διάβρωσης έπειτα από έντονες βροχοπτώσεις, ιδιαίτερα σε διάκενα του δάσους.

Για την εκτίμηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στη βλάστηση των περιοχών μελέτης πραγματοποιήθηκε σύγκριση των τιμών θερμοκρασίας και βροχοπτώσεως (οι οποίες είναι γραμμικά συσχετισμένες με το υψόμετρο, από Κατσαβούνη κ.ά. 2013) με τους δείκτες του Ellenberg για τη θερμοκρασία και την υγρασία εδάφους. Με αυτόν τον τρόπο, προκύπτει μία ένδειξη της αναμενόμενης αλλαγής των δεικτών του Ellenberg βάσει των σεναρίων κλιματικής αλλαγής.

Η άμεση ανάλυση διαβάθμισης βάσει των δεικτών του Ellenberg για τη θερμοκρασία και την υγρασία (Εικ. 16) έδειξε ότι αύξηση της θερμοκρασίας θα μπορούσε να μειώσει ή ακόμη και να απαλείψει τον δυνητικό χώρο εξάπλωσης της 2ης και 3ης μονάδας βλάστησης (που απαντούν στις καλύτερες ποιότητες τόπου), ενώ η 1η μονάδα βλάστησης (χειρότερη ποιότητα τόπου) θα επεκτεινόταν σε μεγαλύτερα υψόμετρα και πιθανώς θα εξαφανιζόταν από τα χαμηλότερα. Παρομοίως, μείωση των βροχοπτώσεων θα προκαλούσε συρρίκνωση του δυνητικού χώρου εξάπλωσης της 2ης και 3ης μονάδας βλάστησης και πιθανώς θα προκαλούσε αύξηση του υψομέτρου εμφάνισης της 1ης μονάδας. Τέλος, αύξηση των βροχοπτώσεων, θα επέφερε αύξηση της εξάπλωσης της 2ης και 3ης μονάδας βλάστησης στα μικρότερα υψόμετρα και μετατόπιση της 1ης μονάδας βλάστησης σε μικρότερα υψόμετρα.



Εικόνα 16. Διάγραμμα άμεσης ανάλυσης διαβάθμισης βάσει των δεικτών θερμοκρασίας και υγρασίας για τον Ανατολικό Ταΰγετο. Οι ζώνες γκρι χρώματος που είναι κάθετες στον οριζόντιο άξονα αντιπροσωπεύουν την αύξηση της θερμοκρασίας έως 2°C, ενώ οι ζώνες που είναι κάθετες στον κάθετο άξονα τη διαφοροποίηση των βροχοπτώσεων έως ±20%.

Τα κυρίαρχο είδος στη βλάστηση που μελετήθηκε στο όρος Ταΰγετος είναι το *Abies cephalonica*. Επιπλέον, στην 3η μονάδα βλάστησης, εμφανίζεται με μεγάλη κάλυψη και η μαύρη πεύκη (*Pinus nigra* ssp. *nigra*).

Για την πιθανή επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην κεφαλληνιακή ελάτη στον Ταΰγετο ισχύουν τα ίδια με αυτά που έχουν αναφερθεί και ανωτέρω για την περιοχή της Πάρνηθας. Άλλωστε, βάσει της σύνθεσης της ελάτης σε τερπένια, ο πληθυσμός

ελάτης στον Ταΰγετο βρέθηκε φυλογενετικά συγγενικός με αυτόν της Πάρνηθας (Fady *et al.* 2002). Παρόλα αυτά, μια σημαντική διαφορά μεταξύ του δυνητικού τρόπου επίδρασης της κλιματικής αλλαγής στην ελάτη στα δύο όρη είναι το γεγονός ότι στην Πάρνηθα η ελάτη έχει μικρό υψομετρικό εύρος (υψομετρικό εύρος επιφανειών 231μ.), ενώ στον Ταΰγετο το υψομετρικό εύρος είναι σημαντικά μεγαλύτερο (603μ.). Επιπλέον, η ποικιλότητα φυσιογραφικών συνθηκών και το υψόμετρο του Ταΰγετου είναι σημαντικά μεγαλύτερο από τα αντίστοιχα της Πάρνηθας. Συνεπώς, ο δυνητικός χώρος εξάπλωσης της ελάτης στον Ταΰγετο, ως απόκριση στην κλιματική αλλαγή, είναι σημαντικά μεγαλύτερος από ότι στην Πάρνηθα, και για αυτόν τον λόγο η κλιματική αλλαγή αποτελεί σημαντικά μεγαλύτερη απειλή για τον πληθυσμό της Πάρνηθας. Εξάλλου, ο Bergmeier (2002) παρατήρησε στον Πάρνωνα (γειτονικό όρος του Ταΰγετου) εμφανείς ενδείξεις αυξημένης θνησιμότητας κεφαλληνιακής ελάτης κατά τη διάρκεια ξηρών ετών.

Η μαύρη πεύκη είναι ένα αρκετά θερμόφιλο και ξηρανθεκτικό είδος, το οποίο εισέρχεται στα δάση ελάτης ως αποτέλεσμα υποβάθμισης των τελευταίων (π.χ. εξαιτίας της βόσκησης ή των δασικών πυρκαγιών) (Rothmaler 1943, Dimopoulos 1996). Ωστόσο, σύμφωνα με τον Bergmeier (2002), η ελάτη είναι περισσότερο ανθεκτική από τη μαύρη πεύκη στην ξηρασία και για αυτόν τον λόγο η τελευταία εμφανίζεται στις κοινωνίες ελάτης των υγρότερων σταθμών. Στην περιοχή του Ταΰγετου, τα ευρήματα στο πλαίσιο του έργου επιβεβαιώνουν την άποψη του Bergmeier (2002), καθώς, όπως αναφέρθηκε ανωτέρω, η μαύρη πεύκη εμφανίζεται μόνο στην 3η μονάδα βλάστησης (πιο υγροί σταθμοί). Οι Agianoutsou *et al.* (2010) βρήκαν σημαντικά διαφορετικό δυναμικό αναγέννησης μεταξύ της ελάτης και της μαύρης πεύκης στον Ταΰγετο έπειτα από πυρκαγιά. Το γεγονός αυτό οδηγεί σε εποικισμό της μαύρης πεύκης σε περιοχές όπου πριν από την πυρκαγιά κυριαρχούσε η ελάτη, όταν αυτά τα δύο είδη συνυπάρχουν στην ευρύτερη περιοχή. Σύμφωνα με τους Linares & Tiscar (2010), στους νοτιότερους πληθυσμούς της *Pinus nigra* subsp. *salzmannii* στην Ισπανία, η κλιματική αλλαγή έχει προκαλέσει μείωση της αύξησης της βασικής επιφάνειας στους σταθμούς κακής ποιότητας και χαμηλού υψομέτρου.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο Δάσος Ρητίνης – Βρίας στα Πιέρια Όρη, παρατηρείται τάση αντικατάστασης της δασικής πεύκης από μικτές συστάδες μαύρης πεύκης και πλατύφυλλων ειδών (στα χαμηλότερα υψόμετρα) και από μικτές συστάδες μαύρης πεύκης και ελάτης (στα μεγαλύτερα υψόμετρα). Καθώς στην περιοχή, η δασική πεύκη βρίσκεται στα νοτιότερα όρια εξάπλωσής της, κυρίαρχο περιοριστικό παράγοντα φαίνεται να αποτελεί η θερμοκρασία. Αύξηση της θερμοκρασίας (κατά 1 ή 2°C) θα περιόριζε σημαντικά την εξάπλωση της δασικής πεύκης στα χαμηλότερα υψόμετρα και στις θερμότερες περιοχές εξάπλωσής της. Ωστόσο, η εμφάνιση της δασικής πεύκης τόσο στα Πιέρια Όρη όσο και στην υπόλοιπη Ελλάδα δεν σχετίζεται αποκλειστικά με τις κλιματικές συνθήκες, αλλά και με παλαιότερες διαταραχές και γενικά με την ιστορία χρήσεων γης. Στην περίπτωση που επιβεβαιωθεί το δυσμενέστερο για την περιοχή σενάριο κλιματικής αλλαγής (αύξηση θερμοκρασίας κατά 2°C σε συνδυασμό με μείωση των βροχοπτώσεων κατά 10 ή 20%), τότε θα ευνοηθεί η έξαρση του φαινομένου της συνδυασμένης δράσης του μύκητα *Peridermium pini* και των φλοιοφάγων εντόμων (complex disease). Ως αποτέλεσμα αναμένεται μεγάλο ποσοστό θνησιμότητας της δασικής πεύκης.

Στο Δάσος Ασπροποτάμου – Καλαμπάκας, το φαινόμενο της εισβολής των κωνοφόρων σε δάση πλατύφυλλων ειδών αναμένεται να συνεχίσει την πορεία του, ακόμη και στην περίπτωση μη μεταβολής των κλιματικών παραμέτρων. Ωστόσο, στην περίπτωση που επιβεβαιωθεί το σενάριο κατά το οποίο θα σημειωθεί αύξηση της θερμοκρασίας με ταυτόχρονη μείωση των βροχοπτώσεων, αναμένεται αρνητική επίδραση στο εύρος εξάπλωσης των κωνοφόρων ειδών (καθώς τα δέντρα θα υποφέρουν από υδατικό στρες, ενδέχεται να σημειωθούν νεκρώσεις εξαιτίας της δράσης επιβλαβών εντόμων). Ωστόσο, αυτό είναι ένα φαινόμενο που δεν φαίνεται να συνδέεται άμεσα με την αλλαγή του κλίματος, αλλά εξαρτάται και από τις διαχειριστικές πρακτικές που εφαρμόζονται στην περιοχή. Η καθοδική εισβολή της ελάτης (στα μικρότερα υψόμετρα) θα πρέπει πιθανώς να αποδοθεί στην εμπροσθοδρομική διαδοχή της βλάστησης λόγω μείωσης των διαταραχών.

Στον Εθνικό Δρυμό Πάρνηθας, η κατάσταση είναι ανησυχητική. Η πλειονότητα των σεναρίων κλιματικής αλλαγής αναμένεται να αποβεί επικίνδυνη για την υγεία της κεφαλληνιακής ελάτης καθώς θα ευνοήσει τις εξάρσεις των φλοιοφάγων εντόμων. Η κλιματική αλλαγή και η επιμήκυνση της ξηρής περιόδου αναμένεται να οδηγήσει σε μείωση της εξάπλωσης της ελάτης. Περαιτέρω, στην περίπτωση που λάβουν χώρα τα δυσμενή σενάρια κλιματικής αλλαγής (αύξηση της θερμοκρασίας ή/και μείωση των βροχοπτώσεων) αναμένεται μεγαλύτερος βαθμός προσβολής από ιξό (*Viscum album*) καθώς και μεγαλύτερος κίνδυνος πυρκαγιάς.

Στο Όρος Ανατολικός Ταΰγετος, ο βιοκλιματικός όροφος φαίνεται να βελτιώνεται, διασφαλίζοντας με αυτόν τον τρόπο την υγεία και την αντοχή της κεφαλληνιακής ελάτης ενάντια σε δευτερογενείς προσβολές επιβλαβών εντόμων. Το οικοσύστημα αναμένεται να συνεχίσει την πορεία ανάκαμψής του. Εξάλλου, η ποικιλότητα φυσιογραφικών συνθηκών και το μεγαλύτερο υψόμετρο του Ταΰγετου σε σχέση με το αντίστοιχο της Πάρνηθας συνεπάγεται ότι ο δυνητικός χώρος εξάπλωσης της κεφαλληνιακής ελάτης στον Ταΰγετο, ως απόκριση στην κλιματική αλλαγή, είναι σημαντικά μεγαλύτερος.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Aitken, S.N., Yeaman, S., Holliday, J.A., Wang, T., S. Curtis-McLane. (2008). Adaptation, migration or extirpation: climate change outcomes for tree populations. *Evolutionary Applications* 1: 95–111.
- Annala, E. (1969). Influence of temperature upon the development and voltinism of *Ips typographus* L. (Coleoptera: Scolytidae). *Ann. Zool. Fennica* 6: 161-208.
- Araujo, M.B., Cabeza, M., Thuiller, W., Hannah, L. & P.H. Williams. (2004). Would climate change drive species out of reserves? An assessment of existing reserve-selection methods. *Global Change Biol.* 10: 1618–1626.
- Archaux, F. & V. Wolters. (2006). Impact of summer drought on forest biodiversity: what do we know? *Ann. Forest Sci.* 63: 645–652.
- Arianoutsou, M., Christopoulou, A., Kazanis, D., Tountas, Th., Ganou, E., Bazos, I. & Y. Kokkoris. (2010). Effects of fire on high altitude coniferous forests of Greece. In: Viegas D.X. (Ed.), VI International Conference on Forest Fire Research.
- Aussenac, G. (2002). Ecology and ecophysiology of circum-Mediterranean firs in the context of climate change. *Ann. For. Sci.* 59: 823–832.
- Austaraa, Ø., Pettersen, H. & A. Bakke. (1977). Bovoltism in *Ips typographus* in Norway, and winter mortality in second generation. *Medd. Nor. Inst. Skogforsk* 33: 272-281.
- Beuker, E. (1994). Adaptation to climatic changes of the timing of bud burst in populations of *Pinus sylvestris* L. and *Picea abies* (L.) Karst. *Tree Physiology* 14: 961-970.
- Bender, M.A., Knutson, T.R., Tuleya, R.E., Sirutis, J.J., Vecchi, G.A., Garner, S.T. & I.M. Held. (2010). Modeled Impact of Anthropogenic Warming on the Frequency of Intense Atlantic Hurricanes, *Science* 327: 454-458.
- Benito Garzón, M., Sánchez de Dios, R. & H. Sainz Ollero. (2008). Effects of climate change on the distribution of Iberian tree species. *Appl. Veg. Sci.* 11: 169-178.
- Bergmeier, E. (2002). Plant communities and habitat differentiation in the Mediterranean coniferous woodlands of Mt. Parnon (Greece). *Folia Geobotanica* 37: 309-331.
- Bolli, J.C., Rigling, A. & H. Bugmann. (2007). The influence of changes in climate and land-use on regeneration dynamics of Norway spruce at the treeline in the swiss alps. *Silva Fenn.* 41: 55–70.
- Bolte, A., Ammer, A., Löf, M., Madsen, P., Nabuurs, G.-J., Schall, P., Spathelf, P. & J. Rock. (2009). Adaptive forest management in central Europe: Climate change impacts, strategies and integrative concept. *Scand. J. Forest Res.* 24(6): 473-482.
- Byers, J.A. (2004). A synthesis chemical ecology of bark beetles in a complex olfactory. In: Lieutier, F., Day, R.K., Battisti, A., Gregoire, J.C., Evans, F.H. (eds). *Bark and wood boring insects in living trees in Europe*. Springer, Berlin, pp 89–135.
- Camarero, J.J. & E. Gutierrez. (2004). Pace and pattern of recent treeline dynamics: response of ecotones to climatic variability in the Spanish Pyrenees. *Climatic Change* 63: 181–200.

- Carlisle, A. & A.H.F. Brown. (1968). *Pinus sylvestris* L. *Journal of Ecology* 56: 269-307.
- Castro, J., Zamora, R., Hódar, J.A. & J.M. Gómez. (2004). Seedling establishment of a boreal tree species (*Pinus sylvestris*) at its southernmost distribution limit: consequences of being in a marginal Mediterranean habitat. *J. Ecol.* 92: 266–277.
- Christensen, J.H. , Hewitson, B., Busuioc, A., Chen, A., Gao, X., Held, R., Jones, R., Kolli, R.K., Kwon, W.K., Laprise, R., Magana Rueda, V., Mearns, L., Menendez, C.G., Räisänen, J., Rinke, A., Sarr, A., Whetton, P., Arritt, R., Benestad, R., Beniston, M., Bromwich, D., Caya, D., Comiso, J., de Elia, R. & K. Dethloff. (2007). Regional climate projections, *Climate Change, 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, University Press, Cambridge, Chapter 11, ISBN: 978-0-521-88009-1.
- Davis, M.B. & R.G. Shaw. (2001). Range shifts and adaptive responses to Quaternary climate change. *Science* 292: 673–679.
- de Dios V.R., Fischer, C. & C. Colinas. (2007). Climate change effects on mediterranean forests and preventive measures. *New Forests* 33:29–40.
- Dimopoulos, P., Georgiadis, T. & K. Sykora. (1996). Phytosociological research on the montane coniferous forests of Greece: Mount Killini (NE Peloponnisos - S Greece). *Folia Geobot. Phytotax.* 31: 169-195.
- Dobbertin, M., Mayer, P., Wohlgemuth, T., Feldmeyer-Christe, E., Graf, U., Zimmermann, N.E. & A. Rigling. (2005). The Decline of *Pinus sylvestris* L. Forests in the Swiss Rhone Valley - a Result of Drought Stress? *Phyton (Austria)* 45: 153-156.
- Dzonko, Z., Loster, S., Dubiel, E. & R. Drenovski. (1999). Syntaxonomic analysis of beechwoods in Macedonia (former Republic of Yugoslavia). *Phytocoenologia* 29: 153–175.
- Emberger, L. (1945). Une classification biogéographique des climats. *Rev. Trav. Fac. Sci. Montpellier, Bot.* 7: 3-43.
- EUFORGEN. (2009). Distribution map of Scots pine (*Pinus sylvestris*), www.euforgen.org. (ημερομηνία πρόσβασης: 15/11/2011).
- Fady, B., Arbez, M. & A. Marpeau. (2002). Geographic variability of terpene composition in *Abies cephalonica* Loudon and *Abies* species around the Aegean: hypotheses for their possible phylogeny from the Miocene. *Trees* 6: 162-171.
- Flannigan, M.D., Stocks, B.J. & B.M. Wotton. (2000). Climate change and forest fires. *Sci. Total Environ.* 262: 221-229.
- Gao, X.J., Pal, J.S. & F. Giorgi. (2006). Projected Changes in Mean and Extreme Precipitation Over the Mediterranean Region from a High Resolution Double Nested Rcm Simulation, *Geophysical Research Letters* 33.
- García, D., Zamora, R., Hódar, J.A. & J.M. Gómez. (1999). Age structure of *Juniperus communis* L. in the Iberian Peninsula: conservation of remnant populations in Mediterranean mountains. *Biol. Conserv.* 87: 215–220.

- Gian-Reto, W., Post, E., Convey, P., Menzel, A., Parmesan, C., Beebee, T.J.C., Fromentin, J.-M., Hoegh-Guldberg, O. and F. Bairlein. (2002). Ecological responses to recent climate change. *Nature* 416: 389-395.
- Giorgi, F. (2006). Climate Change Hot-Spots, *Geophysical Research Letters* 33.
- Grace, J., Berninger, F. & L. Nagy. (2002). Impacts of climate change on the tree line. *Annals of Botany* 90: 537-544.
- IPCC. (2001). Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C.A. Johnson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 881pp.
- IPCC. (2007). Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M. and Miller, H.L. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Hampe, A. & R.J. Petit. (2005). Conserving biodiversity under climate change: the rear edge matters. *Ecol. Lett.* 8: 461–467.
- Hansen, E.M. & J.B. Bentz. (2003). Comparison of reproductive capacity among univoltine, semivoltin, and re-emerged parent spruce beetles (Coleoptera: Scolytidae). *Canadian Entomologist* 135: 697-712.
- Heller, N.E. & E.S. Zavaleta. (2009). Biodiversity management in the face of climate change: A review of 22 years of recommendations. *Biol. Conserv.* 142: 14-32.
- Hemery, G.E. (2008). Forest management and silvicultural responses to projected climate change impacts on European broadleaved trees and forests. *Int. Forest Rev.* 10: 591–607.
- Hewitt, G.M. (2004). Genetic consequences of climatic changes in the Quaternary. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B* 359: 183–195.
- Honnay, O., Verheyen, K., Butaye, J., Jacquemyn, H., Bossuyt, B. & M. Hermy. (2002). Possible effects of habitat fragmentation and climate change on the range of forest plant species. *Ecol. Lett.* 5: 525–530.
- Horvat, I., Glavač, V. & H. Ellenberg. (1974). *Vegetation Südost-europas*. G. Fischer, Stuttgart, DE.
- Hulme, P.E. (2005). Adapting to climate change: is there scope for ecological management in the face of a global threat? *J. Appl. Ecol.* 42: 784–794.
- Iverson, L.R., Schwartz, M.W. & A.M. Prasad. (2004). How fast and far might tree species migrate in the eastern United States due to climate change? *Gl. Ecol. Biogeogr.* 13: 209–219.
- Jandl, R., Herman, F., Smidt, S., Butterbach-Bahl, K., Englisch, M., Katzensteiner, K., Lexer, M., Strelb, F. & S. Zechmeister-Boltenstern. (2008). Nitrogen dynamics of a mountain forest on dolomitic limestone – a scenario-based risk assessment. *Environ. Pollut.* 155: 512–516.

- Keith, S.A., Newton, A.C., Herbert, R.J.H., Morecroft, M.D. & C.E. Bealey. (2009). Nonanalogous community formation in response to climate change. *J. Nat. Conserv.* 17: 228–235.
- Klingström, A. (1972). *Melampsora ponitorqua* (Braun) Oostr. and *Peridermium pini* (Willd.) Kleb., inoculation problems and techniques. Proceedings NATO Conference.
In: http://www.fs.fed.us/rm/pubs_other/rmrs_1972_bingham_r001/rmrs_1972_bingham_r001_313_323.pdf
- Korner, C., Asshoff, R., Bignucolo, O., Hottenschwiler, S., Keel, S.G., Pelaez-Riedl, S., Pepin, S., Siegwolf, R.R.T.W. & G. Zotz. (2005). Carbon flux and growth in mature deciduous forest trees exposed to elevated CO₂. *Science* 309: 1360–1362.
- Lange, H., Økland, B. & P. Krokene. (2006). Thresholds in the life cycle of the spruce bark beetle under climate change. *Inter. Journal* 1648: 1-10.
- Lange, H., Økland, B. & P. Krokene. (2009). To be or twice to be? The life cycle development of the spruce bark beetle under climate change. In: Minai, A.A., Braha, D. & Bar-Yam (eds.): Unifying themes in complex systems, pp. 251-258. Proceedings of the 6th International Conference on Complex Systems. Springer Verlag.
- Linares, J.C. & P.A. Tíscar. (2010). Climate change impacts and vulnerability of the southern populations of *Pinus nigra* subsp. *salzmannii*. *Tree Physiology* 30: 795–806.
- Lindner, M. (2000). Developing adaptive forest management strategies to cope with climate change. *Tree Physiol.* 20: 299-307.
- Lindner, M., Maroschek, M., Netherer, S., Kremer, A., Barbati, A., Garcia-Gonzalo, J., Seidl, R., Delzon, S., Corona, P., Kolström, M., Lexer M.J. & M. Marchetti. 2010. Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems. *Forest Ecol. Manag.* 259: 698-709.
- Logan, J.A. and J.A. Powell. (2001). Model Analysis of Mountain Pine Beetle (Coleoptera: Scolytidae) Seasonality. *Environmental Entomology* 28 (6): 160-172.
- Magri, D., Vendramin, G.G., Comps, B., Dupanloup, I., Geburek, T., Gömöry, D., Latalova, M., Litt, T., Paule, L., Roure, J.M., Tantau, I., van der Knaap, W.O., Petit, R.J. & J-L. de Beaulieu. 2006. A new scenario for the quaternary history of European beech populations: paleobotanical evidence and genetic consequences. *New Phytol.* 171: 199–221.
- Markalas, S. (1992). Site and stand factors related to mortality rate in a fir forest after a combined incidence of drought and insect attack. *Forest Ecol. Manag.* 47: 367-374.
- Meyn, A., Taylor, S.W., Flannigan, M.D., Thonicke, K. & W. Cramer. (2010). Relationship between fire, climate oscillations, and drought in British Columbia, Canada, 1920–2000. *Global Change Biol.* 16: 977–989.
- Milad, M., Schaich, H., Bürgi, M. & W. Konold. (2011). Climate change and nature conservation in Central European forests: A review of consequences, concepts and challenges. *Forest Ecol. Manag.* 261: 829-843.

- Moser, B., Temperli, C., Schneiter, G. & T. Wohlgemuth. (2010). Potential shift in tree species composition after interaction of fire and drought in the Central Alps. *Eur. J Forest Res.* 129: 625–633.
- Mucina, L. (1997). Conspectus of classes of European vegetation. *Folia Geobotanica and Phytotaxonomica* 32: 117-172.
- Ndlovu, L.S. (1994). *Weather Data Generation and its Use in Estimating Evapotranspiration*. Ph.D., Washington State University.
- Nitschke, C.R. & J.L. Innes. (2008a). A tree and climate assessment tool for modelling ecosystem response to climate change. *Ecol. Model.* 210: 263–277.
- Noss, R.F. (2001). Beyond Kyoto: Forest Management in a Time of Rapid Climate Change. *Conserv. Biol.* 15: 578-590.
- Norby, R.J., DeLucia, E.H., Gielen, B., Calfapietra, C., Giardina, C.P., King, J.S., Ledford, J., McCarthy, H.R., Moore, D.J.P. & R. Ceulemans. (2005). Forest response to elevated CO₂ is conserved across a broad range of productivity. *Proc Natl Acad Sci USA* 102: 18052–18056.
- Ohlson, D.W., McKinnon, G.A. & K.G. Hirsch. (2005). A structured decision-making approach to climate change adaptation in the forest sector. *The Forestry Chronicle* 81: 97-103.
- Økland, B. & O.N. Bjornstad. 2006. A resource depletion model for forest insect outbreaks. *Ecology* 87(2): 283-290.
- Økland B., Krokene, P. & H. Lange. (2007). Climate change and population dynamics of the spruce bark beetle in Scandinavia. IUFRO Meeting: Natural enemies and other multi-scale influences on forest insects. Vienna.
- Pasagiannis, G. (2000). Study of the genetic variability of twelve natural populations of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in Greece using biochemical technics. PhD thesis, Univ. of Thessaloniki, 163 pp.
- Parmesan, C. & G. Yohe. (2003). A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature* 421: 37–42.
- Peñuelas, J. & M. Boada. (2003). A global change-induced biome shift in the Montseny mountains (NE Spain). *Global Change Biol.* 9: 131–140.
- Peñuelas, J., Ogaya, R., Boada, M. & A. Jump. (2007). Migration, invasion and decline: changes in recruitment and forest structure in a warming-linked biome shift in Catalonia (NE Spain). *Ecography* 30: 830–838.
- Perlerou, Ch. & S. Diamandis. (2010). Spread of introduced hypovirulence vs. natural hypovirulence in chestnut blight. *Acta Horticulturae* 866: 393-398.
- Petit, R.J., Aguinalalde, I., de Beaulieu, J.L., Bittkau, C., Brewer, S., Cheddadi, R. *et al.* (2003). Glacial refugia: hotspots but not melting pots of genetic diversity. *Science* 300: 1563–1565.
- Politi, P.I., Arianoutsou, M. & G.P. Stamou. (2009). Patterns of *Abies cephalonica* seedling recruitment in Mount Aenos National Park, Cephalonia, Greece.
- Prato, T. (2008). Conceptual framework for assessment and management of ecosystem impacts of climate change. *Ecol. Complex* 5: 329-338.

- Raftoyannis, Y., Spanos, I. & K. Radoglou. (2008). The decline of Greek fir (*Abies cephalonica* Loudon): Relationships with root condition, *Plant Biosystems* 142: 386-390.
- Raus, Th. (1995). The boreal and central European element in the forest flora of Greece. *Bocconea* 5: 63-76.
- Rebetez, M. & M. Dobbertin. (2004). Climate change may already threaten Scots pine stands in the Swiss Alps. *Theor. Appl. Climatol.* 79: 1–9.
- Robledo-Arnuncio, J.J., Collada C., Alía, R. & L. Gil. (2005). Genetic structure of montane isolates of *Pinus sylvestris* L. in a Mediterranean refugial area. *Journal of Biogeography* 32: 595–605.
- Rothmaler, W. (1943). Die Waldverhältnisse im Peloponnes. *Intersylva* 3: 329-342.
- Richardson, C.W. (1981). Stochastic Simulation of Daily Precipitation, Temperature, and Solar Radiation. *Water Resources Research*, 17(1): 182-190.
- Sauvage, Ch. (1961). Recherches géobotaniques sur les suberaies marocaines. Tr. Inst. Sci. Cher. Ser. Botanique 21, Rabat.
- Scott, D., Malcom, J. & C.J. Lemieux. (2002). Climate change and biome representation in Canada's National Park system: implications for system planning and park mandates. *Global Ecol. Biogeogr.* 11: 475–484.
- Theurillat, J.-P., Felber, F., Geissler, P., Gobat, J.-M., Fierz, M., Fischlin, A., Kupfer, P., Schussel, A., Velluti, C., Zaho, G.-F. & J. Williams. (1998). Sensitivity of plant and soil ecosystems of the Alps to climate change. In: Cebon, P., Dahinden, U., Davies, H.C., Imboden, D., Jaeger, C.C. (Eds.), *Views from the Alps: Regional Perspectives on Climate Change*. MIT Press, Cambridge, MA, pp. 225–308.
- Semenov, M.A. and E.M. Barrow. (1997). Use of a Stochastic Weather Generator in the Development of Climate Change Scenarios. *Climatic Change*, 35: 397-414.
- Schuler, A. (2004). Charakterarten mitteleuropäischer Pflanzengesellschaften an ihrer verbreitungsgranze in Griechenland – Eine Studie zum ökologischen und syntaxonomischen Verhalten am Arealrand. *Botanika Chronika* 17: 1-168.
- Sullivan, M. (2010). CPHST Pest Datasheet for *Cronartium flaccidum*. USDA-APHISPPQ-CPHST.
- Thomas, E.R., Dennis, P.F., Bracegirdle, T.J. & C. Franzke. (2009). Ice Core Evidence for Significant 100-Year Regional Warming on the Antarctic Peninsula. *Geophysical Research Letters* 36.
- Thomas, C.D., Bodsworth, E.J., Wilson, R.J., Simmons, A.D., Davies, Z.G., Musche, M. *et al.* (2001). Ecological and evolutionary processes at expanding range margins. *Nature* 411: 577–581.
- Vucetich, J.A. & T.A. Waite. (2003). Spatial patterns of demography and genetic processes across the species range: null hypotheses for landscape conservation genetics. *Conserv. Gen.* 4: 639–645.
- Young, M.D.B. (2002). *Development and Application of PARCHED-THIRST: A User-Friendly Agrohydrological Model for Dry land Cropping System*. Ph.D. Thesis, Newcastle Upon Tyne, University of Newcastle Upon Tyne, 230 p.

- Young, M.D.B. and J.W. Gowing. (1996). *The PARCHED-THIRST Model – User Guide (Version 1.0)*. University of Newcastle Upon Tyne, U.K., 109 p.
- Zanis, P., Douvis, C., Kapsomenakis, I., Kioutsoukis, I., Melas, D. & J. Pal. (2009). A Sensitivity Study of the Regional Climate Model (Regcm3) to the Convective Scheme With Emphasis in Central Eastern and Southeastern Europe. *Theoretical and Applied Climatology* 97: 327-337.
- Zeng, X.M., Liu, J.B., Ma, Z.G., Song, S.A., Xi, C.L. & H.J. Wang. (2010). Study on the Effects of Land Surface Heterogeneities in Temperature and Moisture on Annual Scale Regional Climate Simulation. *Advances in Atmospheric Sciences* 27: 151-163.
- Αβτζής, Ν. (2010). Περιγραφή προηγούμενων τάσεων και υφιστάμενης κατάστασης από άποψη υγείας του δάσους (ξήρανση ατόμων ελάτης εξαιτίας των εντόμων) στον Εθνικό Δρυμό Πάρνηθας και στον Ανατολικό Ταΰγετο. Έργο LIFE08 ENV/GR/000554 «Προσαρμογή της διαχείρισης των δασών στην κλιματική αλλαγή στην Ελλάδα».
- Αβτζής, Ν. (2011α). Αξιολόγηση της επίδρασης των μελλοντικών κλιματικών αλλαγών στην υγεία των δασών (προσβολές από έντομα) στον Εθνικό Δρυμό Πάρνηθας και στον Ανατολικό Ταΰγετο. Έργο LIFE08 ENV/GR/000554 «Προσαρμογή της διαχείρισης των δασών στην κλιματική αλλαγή στην Ελλάδα».
- Αλιφραγκής, Δ. (2011). Περιγραφή υφιστάμενης κατάστασης των δασικών εδαφών στα τέσσερα δασικά οικοσυστήματα του έργου. Έργο LIFE08 ENV/GR/000554 «Προσαρμογή της διαχείρισης των δασών στην κλιματική αλλαγή στην Ελλάδα».
- Αλιφραγκής, Δ. (2012). Προτάσεις μέτρων προσαρμογής της δασικής διαχείρισης στα τέσσερα δασικά οικοσυστήματα του έργου. Έργο LIFE08 ENV/GR/000554 «Προσαρμογή της διαχείρισης των δασών στην κλιματική αλλαγή στην Ελλάδα».
- Διαμαντής, Στ., Πετλέρου, Χ. & Δ. Αβτζής. (2010). Περιγραφή προηγούμενων τάσεων και υφιστάμενης κατάστασης από άποψη υγείας (νέκρωση ατόμων δασικής πεύκης εξαιτίας προσβολών από μύκητες και έντομα) στο δάσος Ρητίνης-Βρίας στα Πιέρια Όρη. Έργο LIFE08 ENV/GR/000554 «Προσαρμογή της διαχείρισης των δασών στην κλιματική αλλαγή στην Ελλάδα».
- Διαμαντής, Στ. & Δ. Αβτζής. (2011). Αξιολόγηση της επίδρασης των μελλοντικών κλιματικών αλλαγών στην υγεία του δάσους Ρητίνης-Βρίας στα Πιέρια Όρη (προσβολές από μύκητες και έντομα). Έργο LIFE08 ENV/GR/000554 «Προσαρμογή της διαχείρισης των δασών στην κλιματική αλλαγή στην Ελλάδα».
- Κατσαβούνη, Σ., Χ. Δουλγέρης & Δ. Παπαδήμος (συντονιστές έκδοσης). (2013). Χρονοσειρές μετεωρολογικών δεδομένων χωρικά κατανεμημένες στα τέσσερα δασικά οικοσυστήματα του Έργου LIFE+ AdaptFor. Ελληνικό Κέντρο Βιοτόπων-Υγροτόπων (EKBY). Θέρμη. 461 σελ.
- Λατσούδης, Π. (2007). Οικολογικός απολογισμός της καταστροφικής πυρκαγιάς του Ιουνίου 2007 στην Πάρνηθα. Σεπτέμβριος 2007. WWF Ελλάς, Αθήνα. 26 σελ. (Αδημοσίευτη εργασία).
- Ραδόγλου, Κ. & Γ. Σπύρογλου. (2011). Περιγραφή προηγούμενων τάσεων και υφιστάμενης κατάστασης οικοφυσιολογίας των τεσσάρων δασικών οικοσυστημάτων του έργου. Έργο LIFE08 ENV/GR/000554 «Προσαρμογή της διαχείρισης των δασών στην κλιματική αλλαγή στην Ελλάδα».

- Ραδόγλου, Κ. & Γ. Σπύρογλου. (2013α). Αξιολόγηση της επίδρασης των μελλοντικών κλιματικών αλλαγών στην οικοφυσιολογία των τεσσάρων δασικών οικοσυστημάτων του έργου. Έργο LIFE08 ENV/GR/000554 «Προσαρμογή της διαχείρισης των δασών στην κλιματική αλλαγή στην Ελλάδα».
- Τσιριπίδης, Ι. (2011). Περιγραφή προηγούμενων τάσεων και υφιστάμενης κατάστασης βλάστησης στα τέσσερα δασικά οικοσυστήματα του έργου. Έργο LIFE08 ENV/GR/000554 «Προσαρμογή της διαχείρισης των δασών στην κλιματική αλλαγή στην Ελλάδα».
- Τσιριπίδης, Ι. (2012α). Αξιολόγηση της επίδρασης των μελλοντικών κλιματικών αλλαγών στη βλάστηση των τεσσάρων δασικών οικοσυστημάτων του έργου. Έργο LIFE08 ENV/GR/000554 «Προσαρμογή της διαχείρισης των δασών στην κλιματική αλλαγή στην Ελλάδα».
- Χρυσοπολίτου Βασιλική και Σ. Ντάφης (συντονιστές έκδοσης). (2012). Έκθεση αξιολόγησης της προηγούμενης και υφιστάμενης κατάστασης των τεσσάρων δασικών οικοσυστημάτων του έργου LIFE+ AdaptFor. Ελληνικό Κέντρο Βιοτόπων-Υγροτόπων (EKBY). Θέρμη. 93 σελ + παραρτήματα.

