



Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
Τμήμα Γεωλογίας
Τομέας Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας

**ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ
ΑΛΛΑΓΗΣ ΣΤΙΣ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ
ΕΛΑΙΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΤΗΣ ΧΑΛΚΙΔΙΚΗΣ**

Θεσσαλονίκη, 2022

Η παρούσα έκθεση εκπονήθηκε από το Τμήμα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας του
Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης

Επιστημονική Ομάδα:

Δρ. Αναγνωστοπούλου Χριστίνα, Καθηγήτρια Κλιματολογίας

Δρ. Ηλίας Κάλφας, Γεωπόνος

MSc Ερρίκος Μανιός

Το παρόν έγγραφο μπορεί να αναφέρεται ως εξής:

Αναγνωστοπούλου Χ., Κάλφας Η., και Μανιός Ε. 2022: ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΣΤΙΣ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΕΛΑΙΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΤΗΣ ΧΑΛΚΙΔΙΚΗΣ, 67σελ.

Anagnostopoulou C., Kalfas H. and Manios E.: 2022: The impact of climate change on olive cultivation, the case study of Chalkidiki-Greece, 67p. (in Greek)

Περιεχόμενα

Κατάλογος Πινάκων.....	4
Κατάλογος Εικόνων	5
Εισαγωγή	8
Δεδομένα	13
1. Η αγροκλιματολογία της ελιάς.....	18
1.1 Ελιά.....	18
1.2 Θερμοκρασιακά χαρακτηριστικά της Χαλκιδικής.....	20
1.3 Υγρομετρικά χαρακτηριστικά της Χαλκιδικής.....	27
2. Βιοκλιματολογία της ελιάς.....	37
2.1 Η Εξατμισοδιαπνοή στη περιοχή της Χαλκιδικής.....	37
2.2 Καθαρές απαιτήσεις άρδευσης της ελιάς	45
2.3 Βαθμομονάδες ψύχους (chilling units) για τη διακοπή του λήθαργου των οφθαλμών της ελιάς	48
2.4 Εχθροί της ελιάς: η περίπτωση του πυρηνοτρύτη	55
3. Συμπεράσματα και μελλοντικές προοπτικές	61
3.1 Συμπεράσματα	61
3.2 Μελλοντική Δουλειά.....	62
Βιβλιογραφία	64

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1. Κλιματικοί δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στη μελέτη.....	13
Πίνακας 2 Κλιματική ανάλυση των μέσων ημερήσιων θερμοκρασιών των ERA5 για το μέσο πεδίο της Χαλκιδικής για τη χρονική περίοδο (1981-2021) για τα ετήσια δεδομένα και τις τέσσερις εποχές.....	20
Πίνακας 3 Κλιματική ανάλυση των μέσων ημερήσιων θερμοκρασιών των SMHI για το μέσο πεδίο της Χαλκιδικής για τη περίοδο αναφοράς (1981-1990) και τις τέσσερις μελλοντικές περιόδους σύμφωνα με το RCP4.5.	23
Πίνακας 4. Μέσες μηνιαίες και ετήσιες θερμοκρασίες για τη περίοδο αναφοράς (1981-1990) και τις τέσσερις μελλοντικές υποπεριόδους για τα κλιματικά σενάρια RCP4.5 και RCP8.5	25
Πίνακας 5 Κλιματική ανάλυση των μέσων ετήσιων και εποχιακών βροχοπτώσεων των ERA5 για το μέσο πεδίο της Χαλκιδικής για τη χρονική περίοδο (1981-2021).	27
Πίνακας 6 Κλιματική ανάλυση των μέσων βροχοπτώσεων των SMHI για το μέσο πεδίο της Χαλκιδικής για τη περίοδο αναφοράς (1981-1990) και τις τέσσερις μελλοντικές περιόδους σύμφωνα με το RCP4.5.	31
Πίνακας 7. Μέσες μηνιαίες και ετήσιες βροχοπτώσεις για τη περίοδο αναφοράς (1981-1990) και τις τέσσερις μελλοντικές υποπεριόδους για τα κλιματικά σενάρια RCP4.5 και RCP8.5	34
Πίνακας 8 Περίοδοι εμφάνισης πυρηνοτρύτη για τις τρεις γενιές	56
Πίνακας 9 Το Πλήθος των βαθμομονάδων για τις τρεις διαφορετικές γενεές του πυρηνοτρύτη για τη περίοδο αναφοράς και τις τέσσερις μελλοντικές δεκαετίες σύμφωνα με τα κλιματικά σενάρια RCP4.5 και RCP8.5.....	58

Κατάλογος Εικόνων

Σχήμα 1 Η ιστοσελίδα του EMCWF για τη παροχή των ERA5 κλιματικών δεδομένων (α) και η ιστοσελίδα του SMHI για τη παροχή των δεδομένων του περιοχικού κλιματικού μοντέλου SMHI (b)	14
Σχήμα 2. Η περιοχή μελέτης και οι θέσεις των κόμβων του περιοχικού κλιματικού μοντέλου SMHI.	17
Σχήμα 3. Κρίσιμες (με κόκκινο χρώμα) και θερμοκρασίες ψυξης (σε μαύρο χρώμα) για διάφορα όργανα της ελιάς. Στο μαύρο πλαίσιο, σημαντικές ζημιές που μπορεί να πάθει η ελιά ως αποτέλεσμα του ψυχρού στρες. (Petrucelli et al., 2022)	19
Σχήμα 4 Διακύμανση των μέσων ετήσιων θερμοκρασιών των ERA5 για το μέσο πεδίο της Χαλκιδικής για τη χρονική περίοδο (1981-2021)	21
Σχήμα 5 Μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες των ERA5 για το μέσο πεδίο της Χαλκιδικής (1981-2021).....	22
Σχήμα 6 Χωρική κατανομή των ετήσιων θερμοκρασιών του κλιματικού μοντέλου SMHI (α) περίοδο αναφοράς 1981-2005, (β) πρώτη υποπερίοδος 1981-1990 και (γ) δεύτερη υποπερίοδος 1991-2000.	22
Σχήμα 7. Η μέση μηνιαία θερμοκρασία του μέσου πεδίου στη Χαλκιδική για α) το πρώτο κλιματικό σενάριο (RCP4.5) και β) το δεύτερο κλιματικό σενάριο (RCP8.5) για τις διαφορετικές χρονικές περιόδους χρωματιστές ράβδους και την περίοδο αναφοράς 1981-1990 (μαύρη γραμμή), σύμφωνα με τα στοιχεία του κλιματικού μοντέλου SMHI.	24
Σχήμα 8. Χωρική κατανομή των διαφορών της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας του αέρα ανάμεσα στη περίοδο αναφοράς και τις τέσσερις μελλοντικές περιόδους για τα δύο κλιματικά σενάρια.....	26
Σχήμα 9 Διακύμανση της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης των ERA5 για το μέσο πεδίο της Χαλκιδικής για τη χρονική περίοδο (1981-2021)	28
Σχήμα 10 Τάσεις των μέσων εποχιακών βροχοπτώσεων των δεδομένων ERA5 για το μέσο πεδίο της Χαλκιδικής για τη χρονική περίοδο (1981-2021) α) Χειμώνας, Β) Άνοιξη C) Καλοκαίρι και D) Φθινόπωρο	28
Σχήμα 11 Διακυμάνσεις των μέσων εποχιακών βροχοπτώσεων των ERA5 για το μέσο πεδίο της Χαλκιδικής για τη χρονική περίοδο (1981-2021)	29
Σχήμα 12 Θηκογράμματα των μηνιαίων βροχοπτώσεων των δεδομένων ERA5 για το μέσο πεδίο της Χαλκιδικής (1981-2021). Με κύκλο παρουσιάζονται τα outliers	30
Σχήμα 13 Διακυμάνσεις των μέσων μηνιαίων βροχοπτώσεων των ERA5 για το μέσο πεδίο της Χαλκιδικής για τη χρονική περίοδο (1981-2021)	31
Σχήμα 14 Χωρική κατανομή των ετήσιων βροχοπτώσεων του κλιματικού μοντέλου SMHI (α) περίοδο αναφοράς 1981-2005, (β) πρώτη υποπερίοδος 1981-1990 και (γ) δεύτερη υποπερίοδος 1991-2000.	32
Σχήμα 15. Η μέση μηνιαία βροχόπτωση του μέσου πεδίου στη Χαλκιδική για α) το πρώτο κλιματικό σενάριο (RCP4.5) και β) το δεύτερο κλιματικό σενάριο (RCP8.5) για τις διαφορετικές	

χρονικές περιόδους χρωματιστές ράβδους και την περίοδο αναφοράς 1981-1990 (μαύρη γραμμή), σύμφωνα με τα στοιχεία του κλιματικού μοντέλου SMHI.....	33
Σχήμα 16 Χωρική κατανομή των μέσων ετήσιων βροχοπτώσεων (mm- πρώτη στήλη) και των διαφορών τους (%-δεύτερη στήλη) σε σχέση με τη περίοδο αναφοράς και τις τέσσερις μελλοντικές περιόδους για το κλιματικό σενάριο RCP4.5.....	35
Σχήμα 17 Χωρική κατανομή των μέσων ετήσιων βροχοπτώσεων (mm- πρώτη στήλη) και των διαφορών τους (%-δεύτερη στήλη) σε σχέση με τη περίοδο αναφοράς και τις τέσσερις μελλοντικές περιόδους για το κλιματικό σενάριο RCP8.5.....	36
Σχήμα 18 Εξατμισοδιαπνοή (ET _o) αναφοράς καλλιεργειών υπό κανονικές (ET _c) συνθήκες (FAO, https://www.fao.org/3/x0490e/x0490e04.htm)	39
Figure 19 Διάγραμμα κατανομή εξατμισοδιαπνοής (Allen, R.G. et al (1998)).....	40
Σχήμα 20 Τάσεις της μέσης μηνιαίας Εξατμισοδιαπνοής των δεδομένων SHMI για τη περίοδο ανάφοράς για το μέσο πεδίο της Χαλκιδικής για τη χρονική περίοδο (1981-2005) α) Μάιος, Β) Ιούνιος C) Ιούλιος και D) Αύγουστος.....	42
Σχήμα 21 Τάσεις της μέσης μηνιαίας Εξατμισοδιαπνοής των δεδομένων SHMI για το σενάριο RCP8.5 για το μέσο πεδίο της Χαλκιδικής για τη χρονική περίοδο (2031-2050) α) Μάιος, Β) Ιούνιος C) Ιούλιος και D) Αύγουστος.....	43
Σχήμα 22 Χωρική κατανομή της εξατμισοδιαπνοής για τους μήνες από Μάιο έως Αύγουστο, για τη περίοδο αναφοράς 1981-2005 (πρώτη στήλη) και τις δύο μελλοντικές περιόδους 2031-2040 (δεύτερη στήλη) και 2061-2070 (Τρίτη στήλη) σύμφωνα με το σενάριο RCP4.5.....	44
Σχήμα 23 Χωρική κατανομή της εξατμισοδιαπνοής για τους μήνες από Μάιο έως Αύγουστο, για τη περίοδο αναφοράς 1981-2005 (πρώτη στήλη) και τις δύο μελλοντικές περιόδους 2031-2040 (δεύτερη στήλη) και 2061-2070 (Τρίτη στήλη) σύμφωνα με το σενάριο RCP8.5.....	45
Σχήμα 24 Χωρική κατανομή των καθαρών απαιτήσεων άρδευσης σε νερό για το για τη περιοχή της Χαλκιδικής σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP4.5 (πρώτη στήλη) και οι σχετικές διαφορές σε ποσοστό (%) σε σχέση με τη περίοδο αναφοράς 1981-2005 (δεύτερη στήλη).	46
Σχήμα 25 Χωρική κατανομή των καθαρών απαιτήσεων άρδευσης σε νερό για το για τη περιοχή της Χαλκιδικής σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP8.5 (πρώτη στήλη) και οι σχετικές διαφορές σε ποσοστό (%) σε σχέση με τη περίοδο αναφοράς 1981-2005 (δεύτερη στήλη).	47
Σχήμα 26 Εκτίμηση βαθμομονάδων ψύξης σύμφωνα με το μοντέλο Chandler μοντέλο για την μελλοντική περίοδο, για το σενάριο RCP4.5 (πορτοκαλί μπάρα) και το σενάριο RCP8.5 (μπλε μπάρα). Η πράσινη μπάρα αναφέρεται στις βαθμομονάδες ψύχους της περιόδου αναφοράς.	51
Σχήμα 27 Εκτίμηση βαθμομονάδων ψύξης σύμφωνα με το μοντέλο Utach μοντέλο για την μελλοντική περίοδο, για το σενάριο RCP4.5 (πορτοκαλί μπάρα) και το σενάριο RCP8.5 (μπλε μπάρα). Η πράσινη μπάρα αναφέρεται στις βαθμομονάδες ψύχους της περιόδου αναφοράς	52
Σχήμα 28 Χωρική κατανομή των βαθμομονάδων ψύχους σύμφωνα με το μοντέλο Chandler μοντέλο για την μελλοντική περίοδο, για το σενάριο RCP4.5 (πρώτη στήλη) και το σενάριο RCP8.5 (δεύτερη στήλη).....	53
Σχήμα 29 Χωρική κατανομή των βαθμομονάδων ψύχους σύμφωνα με το μοντέλο Utach μοντέλο για την μελλοντική περίοδο, για το σενάριο RCP4.5 (πρώτη στήλη) και το σενάριο RCP8.5 (δεύτερη στήλη).	54

Σχήμα 30 Η μεταβολή του πλήθους βαθμομονάδων ανάμεσα στη περίοδο αναφοράς 1981-2005 και τις τέσσερις μελλοντικές περιόδους. Ο πρώτος-εξωτερικός κύκλος αναφέρεται στην ανθόβια γενεά, ο δεύτερος κύκλος στην καρπόβια γενεά και ο τρίτος κύκλος (εσωτερικός) στην φυλλόβια γενεά.....	57
Σχήμα 31. Αθροιστικές βαθμοημέρες ανάπτυξης πυρηνοτρύτη για τις τρεις γενιές του στην περιοχή της Χαλκιδικής για την περίοδο αναφοράς (μωβ) και τη μελλοντική περίοδο (κίτρινο), σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP8.5.....	59
Σχήμα 32. Αθροιστικές βαθμοημέρες ανάπτυξης πυρηνοτρύτη για τις τρεις γενιές του στην περιοχή της Χαλκιδικής για την περίοδο αναφοράς (μωβ) και τη μελλοντική περίοδο (κίτρινο), σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP4.5.....	60

Εισαγωγή

Η φυτική παραγωγή είναι ευαίσθητη στην κλιματική μεταβλητότητα και, ως εκ τούτου, επηρεάζεται άμεσα από την κλιματική αλλαγή. Η αύξηση της θερμοκρασίας και του CO₂ και τα μεταβαλλόμενα ποσά κατακρημνίσεων μπορεί να οδηγήσουν σε σημαντική μείωση της φυτικής παραγωγής. Επίσης, οι ξηρασίες, οι ακραίοι καύσωνες και οι πλημμύρες που προκαλούνται από τις έντονες βροχοπτώσεις αυξήθηκαν τις τελευταίες δεκαετίες. Η ενίσχυση της φυτικής παραγωγής για την κάλυψη της αυξανόμενης ζήτησης λόγω του αυξανόμενου πληθυσμού, στο πλαίσιο των απειλών της κλιματικής αλλαγής, αποτελεί πρόκληση. Απαιτείται μεγαλύτερη προσοχή στην έρευνα προσαρμογής και μετριασμού για την ελαχιστοποίηση των δυσμενών επιπτώσεων. Η προσαρμογή σε ακραίες κλιματικές καταστάσεις αλλά και στη διακύμανση του κλίματος θα μπορούσε να μειώσουν την ευπάθεια στη μακροπρόθεσμη κλιματική αλλαγή. Ορισμένες καλές, αλλά και απλές, πρακτικές προσαρμογής που θα μπορούσαν να συμβάλουν στην αντιμετώπιση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στις καλλιέργειες, είναι: α) η χρήση ποικιλιών ανθεκτικών στο θερμικό στρες, β) η προσαρμογή των ημερομηνιών φύτευσης, γ) η βελτίωση των πρακτικών διατήρησης και διαχείρισης του νερού, δ) η χρήση αποτελεσματική άρδευση και διαχείριση λιπασμάτων και ε) διαφοροποίηση των καλλιεργειών.

Η Μεσόγειος χαρακτηρίζεται από υγρούς χειμώνες και ζεστά, ξηρά καλοκαίρια. Πρόκειται για ένα μεταβατικό στάδιο μεταξύ του υγρού κλίματος της κεντρικής και βόρειας Ευρώπης και του άνυδρου/ημι-άνυδρου κλίματος της Βόρειας Αφρικής. Μια σχετικά μικρή τροποποίηση του παγκόσμιου κλίματος μπορεί να προκαλέσει ουσιαστικές αλλαγές στο μεσογειακό κλίμα (Giorgi and Lionello, 2008). Οι ετήσιες τάσεις των βροχοπτώσεων διαφέρουν μεταξύ της Βόρειας Ευρώπης (υγρότερες συνθήκες) και της Νότιας Ευρώπης (ξηρότερες συνθήκες), αντανakλώντας ένα μοτίβο αντίθεσης των τάσεων των μέσων βροχοπτώσεων μεταξύ μεγάλων και μικρών γεωγραφικών πλατών (Hulme et al. 1998). Η γεωργία είναι ευαίσθητη στις αλλαγές του κλίματος (μέσες τιμές και ακραία φαινόμενα). Στην Ευρώπη, έχει προκύψει από έρευνες ότι οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στη γεωργία και τη δασοκομία θα είναι σοβαρότερες στις νότιες και ανατολικές περιοχές από ό,τι στη βορειοδυτική Ευρώπη, επιδεινώνοντας τα τρέχοντα οικονομικά και κοινωνικά προβλήματα (Bindi et al. 1996). Οι συνολικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στη γεωργία θα εξαρτηθούν τελικά από τις φαινολογικές απαιτήσεις των φυτών και τη χωρική διακύμανση, την εποχικότητα και το μέγεθος της αύξησης της θερμοκρασίας (Butterfield et al. 2000; McCarthy 2001).

Οι επιπτώσεις των ανωμαλιών και των μεταβολών των ετήσιων βροχοπτώσεων ποικίλλει για τις καλλιέργειες των διαφόρων μεσογειακών περιοχών (Saadi et al., 2015). Στη Μεσόγειο, η μείωση των βροχοπτώσεων φαίνεται να σχετίζεται περισσότερο με τις χειμερινές-εαρινές καλλιέργειες από ό,τι για τις θερινές. Η αποτελέσματα του πιο απαισιόδοξου σεναρίου για την κλιματική αλλαγή (RCP8.5) αποκαλύπτει σημαντικούς περιορισμούς στις κατάλληλες εκτάσεις καλλιέργειας (da Silva et al. 2017b, Ramos et al. 2018).

Σε παγκόσμιο επίπεδο, η καλλιέργεια της ελιάς περιορίζεται περίπου μεταξύ των παραλλήλων 30° έως 45° (Therios, 2009). Αυτή η ζώνη γεωγραφικού πλάτους υποδηλώνει ότι οι κλιματικές συνθήκες αποτελούν βασικό παράγοντα για την καλλιέργεια της ελιάς και για τον κύκλο ανάπτυξής της, ενώ η σχέση μεταξύ κλίματος και ελαιοκαλλιέργειας αναγνωρίστηκε πολύ νωρίς. Ο Θεόφραστος (όπως αναφέρει ο Πλίνιος ο Πρεσβύτερος [Plin. Nat. 15. 1]), για παράδειγμα, προσδιόρισε τα γεωγραφικά της όρια, αναφέροντας ότι η ελιά έπρεπε να καλλιεργείται σε απόσταση όχι μεγαλύτερη από 300 στάδια (53 χλμ.) από τις ακτές της Μεσογείου. Ο Πλίνιος ο Πρεσβύτερος παρατήρησε ότι τα κλιματικά όρια επιβάλλονταν από την ευαισθησία του φυτού στις χαμηλές θερμοκρασίες, στον παγετό του χειμώνα και στις εξαιρετικά υψηλές θερμοκρασίες του καλοκαιριού ("Fabianus negat provenire in frigidissimis oleam neque in calidissimis"- ο Φαβιανός δήλωσε ότι η ελιά δεν αναπτύσσεται ούτε σε πολύ ψυχρά ούτε σε πολύ θερμά κλίματα [Plin. Nat. 15. 2]). Στην πραγματικότητα, ένα ελαιόδεντρο συνήθως δεν μπορεί να αντέξει θερμοκρασίες κάτω από -8 °C για περισσότερο από μία εβδομάδα (Pallioti and Bongì, 1996). Οι πολύ υψηλές θερινές θερμοκρασίες μπορεί επίσης να περιορίσουν τις αποδόσεις του, δηλαδή οι μέγιστες θερμοκρασίες άνω των ~30 °C (Koubouris et al., 2009) και ο φωτοσυνθετικός ρυθμός του όταν υπερβαίνει τους 40 °C (Mancuso and Azzarello, 2002). Μια ολοκληρωμένη κλιματολογική ανάλυση στη λεκάνη της Μεσογείου έδειξε ότι οι περιοχές καλλιέργειας της ελιάς περιορίζονται σήμερα από τις θερμοκρασίες του ψυχρότερου (μέση μηνιαία θερμοκρασία Ιανουαρίου) και του θερμότερου μήνα (μέση μηνιαία θερμοκρασία Ιουλίου), όπου οι βέλτιστες μηνιαίες μέσες θερμοκρασίες για την καλλιέργειά της επικεντρώνονται στους ~7 °C τον Ιανουάριο και στους ~25 °C τον Ιούλιο (Moriondo et al., 2013).

Η θερμοκρασία δρα ως ο κύριος παράγοντας της φαινολογίας του ελαιόδεντρου, ρυθμίζοντας την διαφοροποίηση των οφθαλμών κατά το λήθαργο. Η υποβολή των οφθαλμών σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση της ανθοφορίας, η δε διάρκεια και το επίπεδο των χαμηλών θερμοκρασιών καθώς και η ποικιλία καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό το ποσοστό των οφθαλμών που θα σχηματίσουν ταξιανθίες. Η επίδραση των χαμηλών θερμοκρασιών στους οφθαλμούς χαρακτηρίζεται ως εαρινοποίηση (winter chilling). Η διαφοροποίηση επιτυγχάνεται μετά τη συσσώρευση επαρκών μονάδων ψύχους κατά τη διάρκεια του χειμώνα (chilling units). Η μετάβαση μεταξύ της περιόδου ανάπτυξης και της περιόδου ανάπαυσης (rest period) ενεργοποιείται από θερμοκρασίες κάτω των 14,4°C. Η

συμπλήρωση στις απαιτήσεις ψύξης παίζει σημαντικό ρόλο στον καθορισμό της ανθοφορίας της ελιάς (Ayerza and Sibbett, 2001) δεδομένου ότι η συσσωρευμένη έκθεση σε χαμηλές θερμοκρασίες επιτρέπει στα φυτά να ρυθμίσουν σωστά την παραγωγή ταξιανθιών όταν εμφανιστούν θερμότερες θερμοκρασίες. Κατά συνέπεια, τα ελαιόδεντρα που φυτεύονται σε τροπικές συνθήκες δεν παράγουν συνήθως καρπούς, κυρίως λόγω της έλλειψης επαρκούς συσσώρευσης ψύξης (chilling accumulation) (Ayerza and Sibbett, 2001). Οι Rallo και Martin (1991) και οι De Melo-Abreu κ. ά. (2004) αναφέρουν ότι η καλύτερη ωριαία θερμοκρασία για τη συσσώρευση ψύξης είναι λίγο πάνω από τους 7 °C (συσσώρευση θερμοκρασιών κάτω από 7,2/7,3 °C), ενώ η βασική θερμοκρασία για τη συσσώρευση θερμικών μονάδων κυμαίνεται μεταξύ 8 και 9,2 °C.

Ένας άλλος πολύ σημαντικός κλιματικός παράγοντας είναι οι βροχοπτώσεις. Περίπου το 90% των ελαιόδεντρων που καλλιεργούνται στη λεκάνη της Μεσογείου καλλιεργούνται κυρίως σε ξηροθερμικές συνθήκες (Gómez et al., 2001; Gomez-Rico et al., 2007). Παρόλο που τα ελαιόδεντρα είναι δέντρα ανθεκτικά στην ξηρασία, η εξάπλωσή τους μειώνεται σε κλιματικές ζώνες όπου οι ετήσιες βροχοπτώσεις είναι χαμηλότερες από 350 mm (Ponti et al., 2014) καθώς η διαθεσιμότητα του νερού εξακολουθεί να θεωρείται σημαντικός πόρος για τη βελτίωση των τελικών αποδόσεων. Για το λόγο αυτό, οι ελαιοπαραγωγοί εφαρμόζουν διαχειριστικές πρακτικές, όπως αραιές φυτεύσεις και έντονο κλάδεμα, για να αποφύγουν τη σοβαρή υδατική καταπόνηση. Το γεγονός αυτό αναδεικνύει τον καθοριστικό ρόλο που διαδραματίζουν οι βροχοπτώσεις στην οικονομική βιωσιμότητα της καλλιέργειας αυτής, η οποία επιδεινώνεται από τα συνήθως ξηρά καλοκαίρια στις περιοχές καλλιέργειάς της (Moriondo et al., 2015). Ως εκ τούτου, οι παραγωγοί εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την αποτελεσματική χρήση των χειμερινών και εαρινών βροχοπτώσεων για την παραγωγικότητα των οπωρώνων τους. Ωστόσο, οι ιδιότητες του εδάφους, όπως η υδατοϊκανότητα του εδάφους, διαδραματίζουν επίσης σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη του ελαιόδεντρου. Παρά το γεγονός ότι η ελιά είναι καλά προσαρμοσμένη σε εδάφη χαμηλής γονιμότητας, οι καλύτερες συνθήκες για τα ελαιόδεντρα είναι τα βαθιά και γόνιμα εδάφη με μέτρια περιεκτικότητα σε νερό (Therios, 2009).

Η ηλιακή ακτινοβολία, η σχετική υγρασία και ο άνεμος, είναι κλιματικοί παράγοντες που επηρεάζουν επίσης την παραγωγικότητα των ελαιώνων. Ειδικότερα, οι περιοχές με ισχυρούς ανέμους δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται για την καλλιέργεια της ελιάς, καθώς οι ψυχροί και υγροί άνεμοι κατά τη διάρκεια της άνοιξης μειώνουν τη γονιμοποίηση των λουλουδιών και την ανάπτυξη των καρπών (Therios, 2009). Αντίθετα, οι θερμοί άνεμοι κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού προκαλούν πτώση των καρπών, ενώ οι ξηροί άνεμοι φαίνεται να οδηγούν σε πρόωπη ωρίμανση και συρρίκνωση των καρπών (Therios, 2009). Επιπλέον, δεδομένου ότι ο άνεμος παίζει σημαντικό ρόλο στην επικονίαση της ελιάς, οι ξηροί και θερμοί άνεμοι μπορεί να βλάψουν τους γυρεόκοκκους. Σε αυτή την κατεύθυνση, η ανάπτυξη της ελιάς είναι πολύ

ευαίσθητη στις κλιματικές και καιρικές συνθήκες και, ως εκ τούτου, είναι εκτεθειμένη και ευάλωτη στην κλιματική αλλαγή. Ως εκ τούτου, είναι επιτακτική ανάγκη να προσδιοριστεί η έκταση των πιθανών επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στην εν λόγω καλλιέργεια.

Πρόσφατες μελέτες που εφαρμόστηκαν σε ελαιόδεντρα έδειξαν ότι η καλλιέργεια αυτή μπορεί να επηρεαστεί σημαντικά από την κλιματική αλλαγή (Orlandi et al., 2005), ιδίως στα μεσογειακού τύπου κλίματα (Orlandi et al., 2010). Για παράδειγμα, η άνοδος της θερμοκρασίας μπορεί να έχει ισχυρό αντίκτυπο στην καλλιέργεια αυτή. Η αναμενόμενη αύξηση των θερμοκρασιών μπορεί να αυξήσει τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου (Pérez-López et al., 2008). Αυτό θα οδηγήσει επίσης σε αλλαγές στους φαινολογικούς χρόνους, ιδίως στην ανθοφορία, με δυνητικά επιζήμιες επιπτώσεις (Avalio et al., 2012; Aguilera et al., 2015). Επιπλέον, οι υψηλότερες θερμοκρασίες και η αυξημένη εξατμισοδιαπνοή επιταχύνουν επίσης την ωρίμανση των καρπών, γεγονός που απαιτεί πρόωμη συγκομιδή, αν και σε χαμηλότερα επίπεδα ωριμότητας (Dag et al., 2014). Η αύξηση των θερμοκρασιών θα μπορούσε επίσης να οδηγήσει σε μείωση των συνθηκών ψύξης (Gabaldón-Leal et al., 2017). Η ανεπαρκής ψύξη οδηγεί σε χαμηλή καρπόδεση με δυσμενείς συνέπειες στην τελική απόδοση, καθώς ορισμένες ποικιλίες ελιάς παράγουν παραμορφωμένους ανθοφόρους οφθαλμούς και καρπούς υπό αυτές τις συνθήκες (Torres et al., 2017).

Εκτός από την αύξηση της θερμοκρασίας, η διαθεσιμότητα του νερού αποτελεί επίσης κρίσιμος παράγοντας για την παραγωγή ελιάς (Iglesias and Garrote, 2015). Σήμερα, η ξηρασία θεωρείται βασικός περιοριστικός παράγοντας για τη γεωργική παραγωγικότητα (Brito et al., 2019). Παρόλο που τα ελαιόδεντρα είναι δέντρα ανθεκτικά στην ξηρασία, η υδατική καταπόνηση μπορεί να οδηγήσει σε ένα ευρύ φάσμα αρνητικών επιπτώσεων (Arampatzis et al 2018), όπως χαμηλή ανθοφορία και καρπόδεση, χαμηλή φυλλική επιφάνεια, περιορισμένη φωτοσύνθεση, αποβολή ανθέων και αποκοπή τμημάτων. Οι Fraga κ.ά. (2020a), σε μια μελέτη για το Alentejo (την κύρια ελαιοπαραγωγική περιοχή της Πορτογαλίας), απεικόνισαν μειώσεις στις βροχοπτώσεις (-80 έως -90 mm) και στην πραγματική εξατμισοδιαπνοή (-50 έως -70 mm) μετά από δύο μελλοντικά σενάρια (RCP4.5 και RCP8.5). Οι προβλέψεις αυτές μπορεί να οδηγήσουν σε γενική μείωση των αποδόσεων μέχρι το 2080 λόγω των αυξημένων συνθηκών υδατικής καταπόνησης. Οι επιπτώσεις αυτές είναι ιδιαίτερα σημαντικές.

Άλλες μελέτες υποδηλώνουν μείωση της καταλληλότητας των σημερινών ελαιώνων στη νότια Ευρώπη, λόγω της υπερβολικής θερμότητας και της υδατικής καταπόνησης (Tanasijević et al., 2014; Rodríguez Sousa et al., 2020). Οι μελέτες αυτές δείχνουν ότι οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής μπορεί να είναι πολύ ετερογενείς, δεδομένου ότι το μέγεθός τους μπορεί να είναι αρκετά διαφορετικό από τη μία περιοχή στην άλλη. Για παράδειγμα, μια μελέτη των Ponti et al. (2014) , σχετικά με μελλοντικές κλιματικές προβλέψεις, ανέφερε υψηλές οικονομικές απώλειες

για τις μικρές ελαιοκαλλιέργειες στην Ιταλία και την Ελλάδα, ενώ για ορισμένες άλλες περιοχές της Ευρώπης, οι συγγραφείς αυτοί ανέφεραν αύξηση της παραγωγικότητας.

Οι Fraga et al. (2020b), χρησιμοποιώντας ένα σύνολο περιοχικών κλιματικών μοντέλων σε συνδυασμό με ένα δυναμικό μοντέλο καλλιέργειας για ελαιόδεντρα, ανέδειξαν τις ετερόνομες επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην απόδοση στη νότια Ευρώπη. Οι μελέτες αυτές υποδεικνύουν την ανάγκη για εκτιμήσεις των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής σε περιφερειακό και τοπικό επίπεδο, καθώς οι τοπικές ιδιαιτερότητες των κλιματικών συνθηκών μπορεί να επηρεάσουν τα αποτελέσματα. Ωστόσο, όλες αυτές οι μελέτες συμφωνούν ότι η κλιματική αλλαγή θα επηρεάσει αρνητικά τις αποδόσεις των ελαιόδεντρων σε ορισμένες από τις θερμότερες και ξηρότερες περιοχές της λεκάνης της Μεσογείου. Μια άλλη πτυχή της κλιματικής αλλαγής σχετίζεται με τις επιπτώσεις των παρασίτων και των ασθενειών. Στην πραγματικότητα, μελέτες αναφέρουν ότι η κλιματική αλλαγή επηρεάζει ήδη τις μεσογειακές περιοχές και ενισχύει την ευαισθησία των τοπικών ποικιλιών ελιάς σε ορισμένες ασθένειες (Scortichini, 2020).

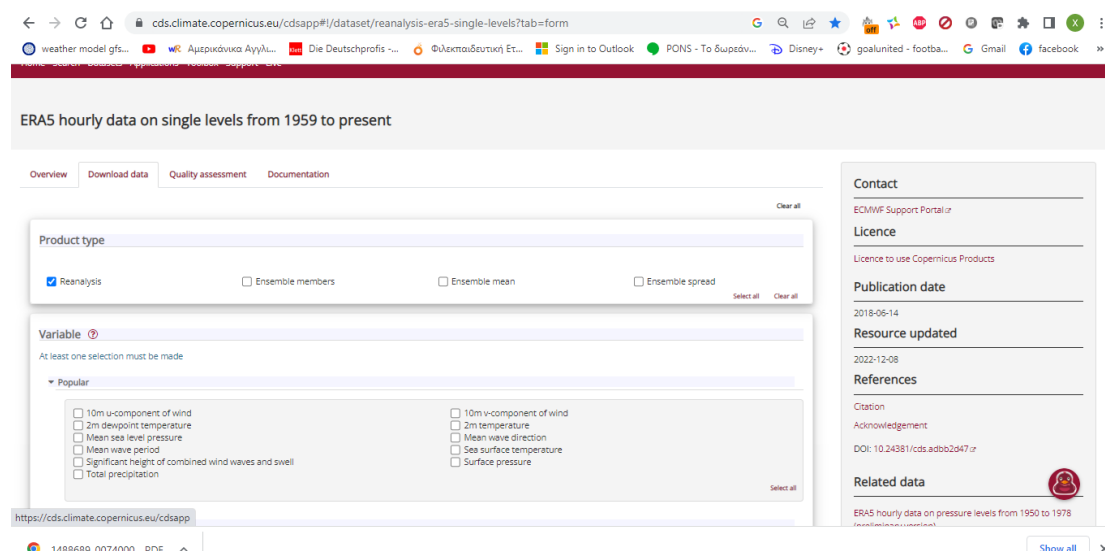
Δεδομένα

Στη μελέτη χρησιμοποιήθηκαν ωριαίες τιμές κλιματικών δεδομένων με σκοπό την ανάλυση των επιπτώσεων της κλιματικής μεταβολής στις ελαιοκαλλιέργειες της Χαλκιδικής. Τα δεδομένα προέρχονται από δύο βάσεις δεδομένων, τα δεδομένα Re-analysis ERA5 και τα δεδομένα του περιοχικού κλιματικού μοντέλου SMHI. Τα κλιματικά δεδομένα καλύπτουν την χρονική περίοδο αναφοράς από το 1981 έως το 2021 και τέσσερις μελλοντικές χρονικές περιόδους: 2031-2040, 2041-2050, 2051-2060 και 2061 έως 2070 και καλύπτουν τη περιοχή της Χαλκιδικής. (Πίνακας 1, Σχήμα 1). Τα κλιματικά δεδομένα του μοντέλου SMHI αναλύθηκαν χρησιμοποιώντας το μέσο πεδίο του πλέγματος του μοντέλου στις σημαντικότερες περιοχές ελαιοκαλλιέργειας.

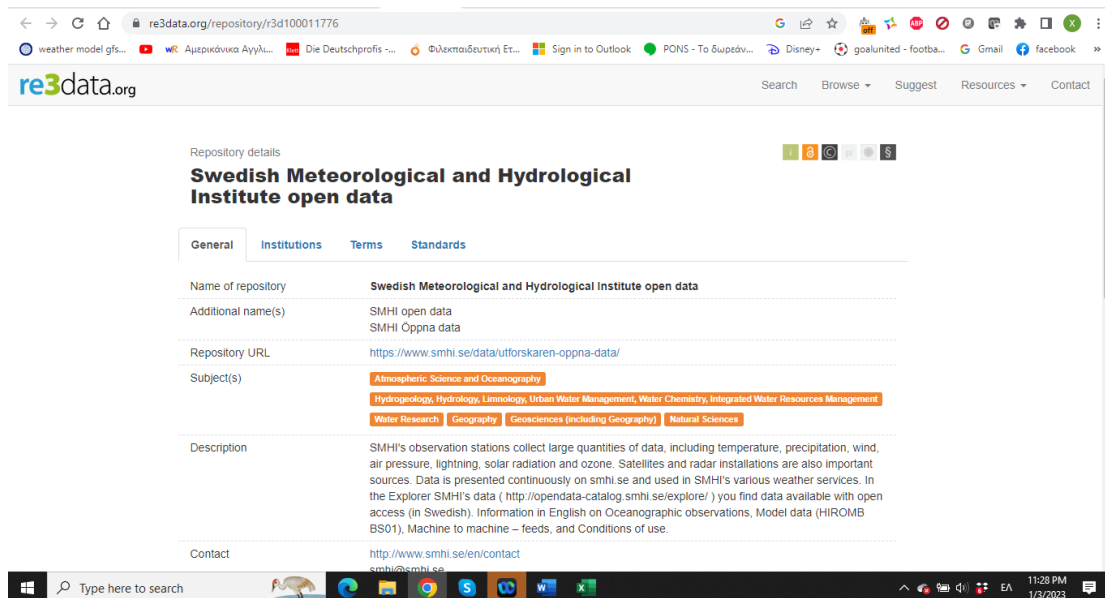
Πίνακας 1. Κλιματικοί δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στη μελέτη

Data	Area 1	Longitude/latitude central point Area 1	Reference
ERA5	Chalkidiki	22.5°E/24.5°E 39.5 °N/40.7 °N	Hersbach et al., 2020
SMHI	Chalkidiki	22.5°E/24.5°E 39.5 °N/40.7 °N	Swedish Meteorological and Hydrological Institute open data, 2021 https://www.re3data.org/repository/r3d100011776

(a)



(b)



Σχήμα 1 Η ιστοσελίδα του EMCWF για τη παροχή των ERA5 κλιματικών δεδομένων (α) και η ιστοσελίδα του SMHI για τη παροχή των δεδομένων του περιοχικού κλιματικού μοντέλου SMHI (β)

Τα Re-analysis κλιματικά δεδομένα είναι διαθέσιμα στην σελίδα του EMCWF (Σχήμα 1, <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-single-levels?tab=form>). Τα ERA5 δεδομένα είναι τα δεδομένα Re-analysis ECMWF πέμπτης γενιάς για το παγκόσμιο κλίμα για τα τελευταία 40 με 70 χρόνια. Τα δεδομένα είναι διαθέσιμα από το έτος 1950 και έχουν αντικαταστήσει τα re-analysis δεδομένα 4^{ης} γενιάς ERA-Interim. Για την επίτευξη των στόχων της παρούσας μελέτης αξιοποιήθηκαν τα ωριαία δεδομένα reanalysis ERA5 -οριζόντια χωρική ανάλυση 0.25°- των κλιματικών παραμέτρων της θερμοκρασίας, της βροχόπτωσης, της ταχύτητας του επιφανειακού ανέμου, της θερμοκρασίας σημείου δρόσου και των ακτινοβολιών μεγάλου και μικρού μήκους (longwave shortwave radiation), όπως παρέχονται από την βάση δεδομένων C3S (Copernicus Climate Change Service) για το χρονικό διάστημα 1981-2021, στην περιοχή της ηπειρωτικής και παραθαλάσσιας Χαλκιδικής.

Το Ευρωπαϊκό Κέντρο Μεσοπρόθεσμων Μετεωρολογικών Προγνώσεων (ECMWF), στο πλαίσιο του C3S (Copernicus Climate Change Service), παράγει τα δεδομένα reanalysis ERA5. Η βάση δεδομένων ERA5 ξεκίνησε να λειτουργεί το 2016 και βασίζεται στο προγνωστικό σύστημα (IFS) Cy41r2, το οποίο λειτουργούσε επιχειρησιακά εκείνο το χρονικό διάστημα. Διατίθενται δεδομένα με οριζόντια χωρική ανάλυση 31 χιλιομέτρων (~0,25°), κατακόρυφη χωρική ανάλυση 137 επιπέδων με ανώτερο ατμοσφαιρικό στρώμα στο 1 Pa. Πρόκειται για σαφώς βελτιωμένη χωρική ανάλυση σε σχέση με τον προκάτοχό του (ERA-Interim), που τα δεδομένα παρέχονταν με 79 χιλιόμετρα οριζόντια και κατακόρυφα σε 60

επίπεδα, με ανώτερο στρώμα στα 10 Pa. Επίσης, η εξαγωγή δεδομένων σε ωριαία βάση, ενώ προγενέστερα η συχνότητα κυμαινόταν από τρεις ώρες, για δεδομένα πρόγνωσης, έως έξι ώρες, για δεδομένα αναλύσεων.

Τα Reanalysis δεδομένα συνδυάζουν δεδομένα μοντέλων με παρατηρήσεις από όλο τον κόσμο σε ένα παγκοσμίως πλήρες και συνεχές σύνολο δεδομένων χρησιμοποιώντας τους νόμους της φυσικής. Η μέθοδος αυτή, που ονομάζεται αφομοίωση δεδομένων, βασίζεται στη μέθοδο που χρησιμοποιείται από τα μεγάλα Ευρωπαϊκά κέντρα αριθμητικής πρόγνωσης καιρού, όπου κάθε 12 ώρες (πχ ECMWF) η αρχική πρόγνωση συνδυάζεται με τις πραγματικές διαθέσιμες παρατηρήσεις και παράγεται μία βελτιωμένη εκτίμηση της συνοπτικής κατάστασης της ατμόσφαιρας, που ονομάζεται ανάλυση. Στη συνέχεια εκδίδεται ανανεωμένη και βελτιωμένη πρόγνωση καιρού. Τα Reanalysis δεδομένα λειτουργούν με τον αντίστοιχο τρόπο, αλλά σε μειωμένη ανάλυση για να επιτρέψει την παροχή ενός συνόλου δεδομένων που εκτείνεται αρκετές δεκαετίες πίσω. Η επανανάλυση δεν έχει τον περιορισμό της έκδοσης έγκαιρων προβλέψεων, οπότε υπάρχει περισσότερος χρόνος για τη συλλογή παρατηρήσεων και, όταν πηγαίνουμε πιο πίσω στο χρόνο, για να επιτρέψουμε την πρόσληψη βελτιωμένων εκδόσεων των αρχικών παρατηρήσεων, οι οποίες όλες ωφελούν την ποιότητα του προϊόντος επανανάλυσης.

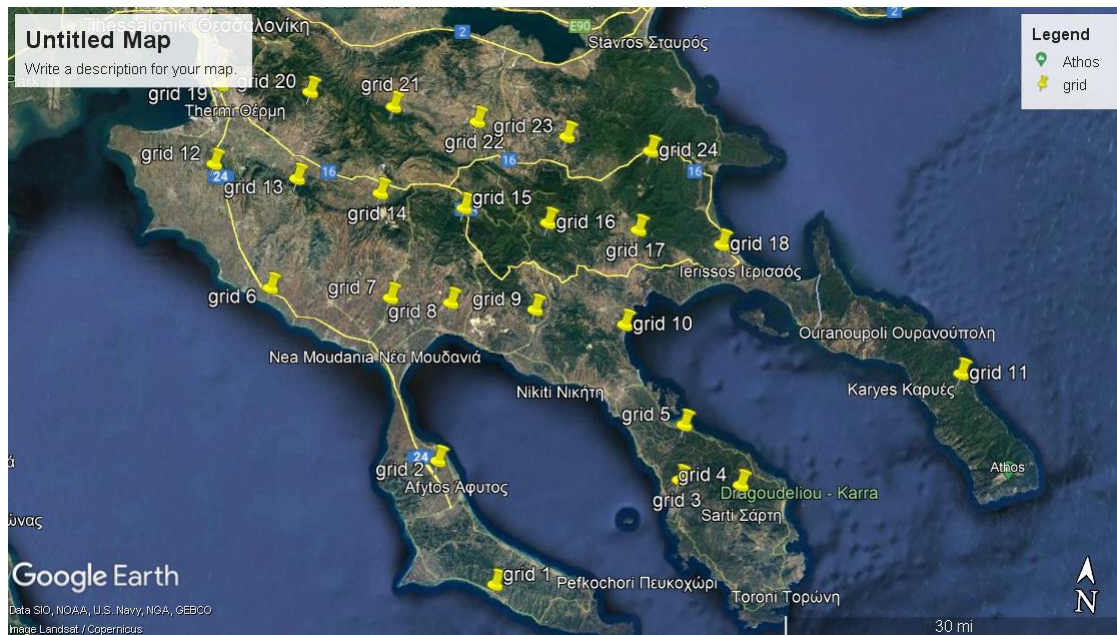
Αντίστοιχα, για την ίδια περιοχή μελέτης, χρησιμοποιήθηκαν τα ωριαία και ημερήσια δεδομένα του περιοχικού μοντέλου RCA4SHMI (στο κείμενο θα αναφέρεται ως SMHI μοντέλο) με μοντέλο «οδηγό» (Driving Global Coupled Model) το μοντέλο γενικής κυκλοφορίας MPI-M-MPI-ESM-LR, κατά την παρελθοντική χρονική περίοδο 1981-2005 και την μελλοντική περίοδο αναφοράς 2031-2070, για τα κλιματικά σενάρια RCP4.5 και RCP8.5.

Τα μοντέλα γενικής κυκλοφορίας (GCMs) είναι αριθμητικά μοντέλα, τα οποία αντιπροσωπεύουν τις φυσικές διεργασίες στην ατμόσφαιρα, τους ωκεανούς, την κρυόσφαιρα και την επιφάνεια του εδάφους (<https://www.ipcc-data.org/>). Ο προσδιορισμός των τοπικών κλιμάτων επιτυγχάνεται με την αλληλεπίδραση ανάμεσα σε διαδικασίες πλανητικής και τοπικής κλίμακας. Τα μοντέλα γενικής κυκλοφορίας (GCMs) χρησιμοποιούνται για την προσομοίωση του κλίματος και των κλιματικών αλλαγών σε διαφορετικές χρονικές και χωρικές κλίμακες, καθώς αντιπροσωπεύουν τις παρελθοντικές αλλαγές στο κλίμα και τα μελλοντικά χαρακτηριστικά του κλίματος. Τα GCMs περιγράφουν το κλίμα μέσα από ένα τρισδιάστατο πλέγμα που καλύπτει την υδρόγειο. Συνήθως έχουν χωρική ανάλυση μεταξύ 250 και 600 km, 10 έως 20 κατακόρυφα επίπεδα στην ατμόσφαιρα και πολλές φορές έως και 30 επίπεδα στους ωκεανούς. Ωστόσο, η χωρική ανάλυση τους είναι χαμηλή και χαρακτηρίζεται ανεπαρκής για τον προσδιορισμό του τοπικού κλιματικού

συστήματος σε περιοχές όπου η τοπογραφία παίζει σημαντικό ρόλο και κατά συνέπεια οι σημαντικές διεργασίες υψηλής κλίμακας δεν μπορούν να προσομοιωθούν ικανοποιητικά. Εναλλακτικά, πολλές φυσικές διεργασίες λαμβάνουν χώρα σε μικρότερη κλίμακα και δεν μπορούν να προσομοιωθούν επαρκώς από τα μοντέλα γενικής κυκλοφορίας. Για το λόγο αυτό, είναι απαραίτητο να πραγματοποιούνται οι προσομοιώσεις των διαφόρων κλιματικών παραμέτρων σε υψηλότερη χωρική ανάλυση. Ένας τρόπος για την επίτευξη της καλύτερης χωρικής ανάλυσης είναι ο δυναμικός υποβιβασμός κλίμακας των μοντέλων γενικής κυκλοφορίας (GCMs) σε περιοχικά κλιματικά μοντέλα.

Τα περιοχικά κλιματικά μοντέλα (RCMs) είναι αριθμητικά κλιματικά προγνωστικά μοντέλα, τα οποία για να λειτουργήσουν χρησιμοποιούν συγκεκριμένες πλευρικές, ωκεάνιες και ατμοσφαιρικές συνθήκες που προέρχονται από μοντέλα γενικής κυκλοφορίας (GCMs) ή από βάσεις δεδομένων που βασίζονται σε παρατηρήσεις (reanalysis). Προσομοιώνουν τις ατμοσφαιρικές και επιφανειακές διαδικασίες, ενώ λαμβάνουν υπόψη τοπογραφικά δεδομένα υψηλής ανάλυσης, τις αντιθέσεις ξηράς και θάλασσας, τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας και άλλες συνιστώσες του γήινου συστήματος. Καθώς τα περιοχικά κλιματικά μοντέλα καλύπτουν μια συγκεκριμένη περιοχή, οι οριακές τιμές πρέπει να καθορίζονται ρητά (αναφέρονται ως οριακές συνθήκες) από τα αποτελέσματα ενός μοντέλου γενικής κυκλοφορίας ή από δεδομένα reanalysis. Τα RCMs για να λειτουργήσουν χρησιμοποιούν τις αρχικές συνθήκες και κινούνται στα πλευρικά ατμοσφαιρικά και κατώτερα επιφανειακά όρια με συνθήκες χρονικών μεταβλητών. Έτσι, τα περιοχικά κλιματικά μοντέλα υποβαθμίζουν την κλίμακα των μοντέλων γενικής κυκλοφορίας για να προσομοιώσουν τη μεταβλητότητα του κλίματος με τοπικές βελτιώσεις (<https://glossary.ametsoc.org/>).

Το RCA4 αναπτύχθηκε από το Σουηδικό Μετεωρολογικό και Υδρολογικό Ινστιτούτο (SMHI) στο πλαίσιο της πρωτοβουλίας CORDEX. Τα δεδομένα του SMHI παρέχονται σε χωρική ανάλυση 0.110 (~12 km) για την περιοχή της Ευρώπης, ενώ η κατακόρυφη χωρική του ανάλυση αποτελείται από 40 επίπεδα.



Σχήμα 2. Η περιοχή μελέτης και οι θέσεις των κόμβων του περιοχικού κλιματικού μοντέλου SMHI.

Οι προβλεπόμενες μεταβολές της θερμοκρασίας για τον 21ο αιώνα με τη χρήση αντιπροσωπευτικών κλιματικών σεναρίων (Representative Concentration Pathways -RCPs) 4.5 και 8.5 Wm^{-2} αναλύονται για τη περιοχή της Χαλκιδικής. Τα RCPs είναι σενάρια που περιλαμβάνουν χρονοσειρές εκπομπών και συγκεντρώσεων των θερμοκηπικών αερίων (GHGs), των αερολυμάτων και των χημικά ενεργών αερίων, καθώς και χρήσεις γης / κάλυψη γης (Kim et al., 2013, Zhang et al., 2017). Η λέξη «αντιπροσωπευτικός» σημαίνει ότι κάθε RCP παρέχει μόνο ένα από τα πολλά πιθανά σενάρια που θα οδηγούσαν στα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά εξαναγκασμένης ακτινοβολίας. Ο όρος σενάριο/διαδρομή τονίζει ότι όχι μόνο τα μακροπρόθεσμα επίπεδα συγκέντρωσης παρουσιάζουν ενδιαφέρον, αλλά και ότι η πορεία είναι σημαντική για να επιτευχθεί αυτό το αποτέλεσμα (IPCC, 2016). Το RCP8.5 είναι το πιο απαισιόδοξο σενάριο, το οποίο στη διαδρομή του (pathway) η ακτινοβολία φτάνει σε τιμές μεγαλύτερες από 8.5 W m^{-2} μέχρι το 2100 και συνεχίζει να αυξάνεται για κάποιο χρονικό διάστημα (το αντίστοιχο RCM υποθέτει σταθερές εκπομπές μετά το 2100 και σταθερές συγκεντρώσεις μετά το 2250) (https://www.ipcc-data.org/guidelines/pages/glossary/glossary_r.html).

Κεφάλαιο 1

1. Η αγροκλιματολογία της ελιάς

1.1 Ελιά

Η περιβαλλοντική καταλληλότητα μιας περιοχής για την εγκατάσταση της ελαιοκαλλιέργειας μπορεί να εκτιμηθεί με βάση τις ιστορικές χρονοσειρές (τουλάχιστον 30 ετών) των τοπικών κλιματικών δεδομένων (θερμοκρασίες, βροχόπτωση, άνεμος, ομίχλη κ.λπ.), η φυσική και χημική ανάλυση του εδάφους και η έκθεση. Μια χρήσιμη ένδειξη μπορεί να παρασχεθεί από τη βλαστική και παραγωγική κατάσταση των ελαιώνων που ενδεχομένως υπάρχουν κοντά στις τοποθεσίες φυτείας.

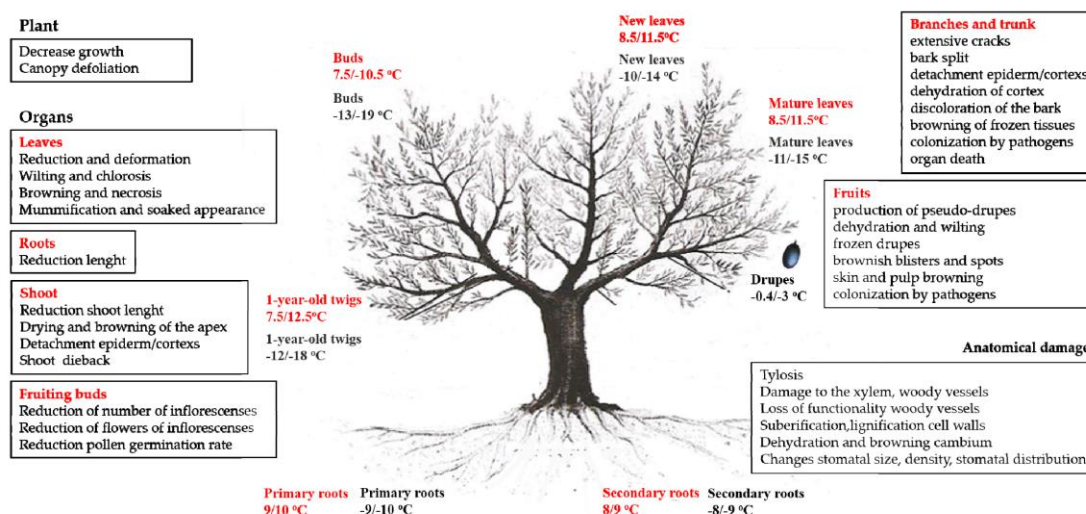
Για την αξιολόγηση των κλιματικών παραγόντων, πρέπει να ληφθούν υπόψη οι ακόλουθες κλιματικές παράμετροι:

Χειμερινές θερμοκρασίες

1. Οι χειμερινές θερμοκρασίες πρέπει να λαμβάνονται υπόψη για την αποφυγή ζημιών στα φυτά, δεν πρέπει να πέφτουν κάτω από τους -6 -7°C (θερμοκρασίες που μπορεί να βλάψουν τα φύλλα), ειδικά αν οι χαμηλές αυτές θερμοκρασίες θα παραμείνουν για παραμείνουν για μικρό χρονικό διάστημα. Όπου οι θερμοκρασίες πέφτουν συχνά κάτω από -14 -15°C (περισσότερο από μία φορά κάθε 10-15 χρόνια), έστω και για περιορισμένο χρονικό διάστημα, η φύτευση του ελαιώνα δεν συνιστάται, διότι τέτοιες θερμοκρασίες θα μπορούσαν να προκαλέσουν σοβαρή ζημιά σε ολόκληρο το εναέριο τμήμα του το δέντρο. Ειδικά στην περίπτωση της ελιάς δεδομένου ότι είναι αειθαλές είδος πράγμα που σημαίνει ότι καθόλη τη διάρκεια του έτους κυκλοφορούν οι χυμοί και το δέντρο είναι δραστήριο οι θερμοκρασίες του χειμώνα δεν θα πρέπει να κατεβαίνουν περισσότερο των -3°C διότι από εκεί και κάτω υπάρχει σοβαρός κίνδυνος πρόκλησης ζημιών λόγω παγετού.

2. Η ταυτόχρονη παρουσία χιονιού, ομίχλης ή ανέμου μπορεί να επιδεινώσει τις επιπτώσεις του παγετού.

3. Από την άλλη πλευρά, πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι οι χειμερινές περιόδους με τιμές θερμοκρασίας μεταξύ 0 και +7°C είναι απαραίτητες για τη βέλτιστη διαφοροποίηση των ανθοφόρων οφθαλμών και, ως εκ τούτου, για την απόκτηση άφθονης άνθισης.
4. Επιπλέον, οι χαμηλές θερμοκρασίες του χειμώνα μπορεί να συμβάλουν στη σημαντική μείωση της πληθυσμούς ορισμένων παρασίτων και παθογόνων του ελαιόδεντρου (μύκητες, μύγα της ελιάς, μαύρη φολίδα, δάκος της ελιάς κλπ.).
5. Η απαίτηση σε ψύχος που χρειάζεται για τη διαφοροποίηση των οφθαλμών μπορεί να διαφέρει σημαντικά μεταξύ των διαφορετικών ποικιλιών, από 50-60 ώρες σε θερμοκρασίες κάτω από +4°C για τις περισσότερες ποικιλίες, έως και πάνω από 1. 000 ώρες σε συγκεκριμένες περιπτώσεις.
6. Μια περιοχή μπορεί να θεωρηθεί κατάλληλη για ελαιοπαραγωγή εάν οι κίνδυνοι των όψιμων (Απρίλιος-Μάιος) ή/και των πρώιμων (φθινοπωρινοί) παγετών είναι μηδενικοί ή πολύ περιορισμένοι (όχι περισσότεροι από ένας παγετός κάθε 10-15 χρόνια). Σε περιοχές όπου υπάρχει κίνδυνος για φθινοπωρινούς παγετούς, είναι προτιμότερο να ολοκληρώνεται η συγκομιδή νωρίς, ώστε να ελαχιστοποιείται ο παγετός των καρπών ζημιές, οι οποίες θα μπορούσαν να προκαλέσουν σοβαρό αισθητηριακό ελάττωμα στο λάδι ("παγωμένο").



Σχήμα 3. Κρίσιμες (με κόκκινο χρώμα) και θερμοκρασίες ψυξης (σε μαύρο χρώμα) για διάφορα όργανα της ελιάς. Στο μαύρο πλαίσιο, σημαντικές ζημιές που μπορεί να πάθει η ελιά ως αποτέλεσμα του ψυχρού στρες. (Petrucelli et al., 2022)

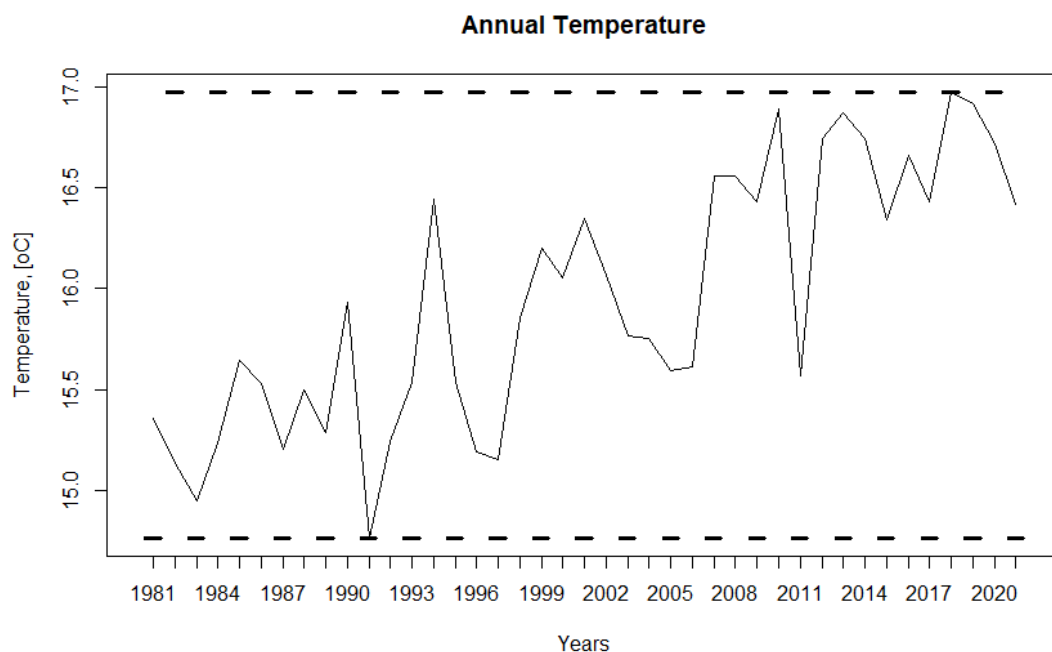
Εκτός από τις χαμηλές θερμοκρασίες, θα πρέπει επίσης να ληφθούν υπόψη οι δυσμενείς επιπτώσεις των υπερβολικά υψηλών θερμοκρασιών. Η φωτοσύνθεση της ελιάς γενικά αναστέλλεται σε θερμοκρασίες υψηλότερες από 35°C. Επίσης, πολύ συχνά οι υψηλές θερμοκρασίες σχετίζονται με καρπόπτωση όταν αυτές συνδυάζονται και με ανοβρία.

1.2 Θερμοκρασιακά χαρακτηριστικά της Χαλκιδικής

Οι μέσες μηνιαίες και εποχιακές θερμοκρασίες για όλους τους κόμβους καθώς και για το μέσο πεδίο αυτών υπολογίστηκαν για τη μελέτη της ενδοετήσιας μεταβλητότητας των θερμοκρασιακών παραμέτρων στην περιοχή της Χαλκιδικής. Όλοι οι κόμβοι παρουσιάζουν παρόμοια στατιστικά χαρακτηριστικά των μέσων θερμοκρασιών αποδεικνύοντας ότι το μέσο πεδίο (Ensemble) αντιπροσωπεύει την περιοχή της Χαλκιδικής. Κατά μέσο όρο η θερμοκρασία στη Χαλκιδική για τη περίοδο 1981 -2021 είναι σχεδόν 16°C (15.94°C, Πίνακας 2) με εύρος μέσων ετήσιων θερμοκρασιών από -4.5°C έως 33.10 °C. Χαρακτηριστική είναι η αύξηση τάση της ετήσιας θερμοκρασίας (Σχήμα 4) με τις θερμοκρασίες στην αρχή της περιόδου να φτάνει τους 15°C και στο τέλος της περιόδου τους 17°C. Η Χαλκιδική, ακολουθώντας το τυπικό Μεσογειακό κλίμα, εμφανίζει ψυχρότερη εποχή το χειμώνα (7.1°C) και θερμότερη εποχή το καλοκαίρι (25.2°C). Επίσης το φθινόπωρο (16.8°C) είναι θερμότερο σχεδόν δυόμιση βαθμούς σε σχέση με την Άνοιξη (14.4°C). Στο Σχήμα 5 παρουσιάζεται η μηνιαία κατανομή των θερμοκρασιών για την περίοδο μελέτης. Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων, φαίνεται καθαρά ότι ο Σεπτέμβριος είναι αρκετά θερμότερος από το Μάιο και συμπεριλαμβάνεται στη θερμή περίοδο του έτους. Επίσης, τη τελευταία δεκαετία ξεχωρίζει ο θερμός Οκτώβριος του 2012 και ο ψυχρός Ιανουάριος του 2017.

Πίνακας 2 Κλιματική ανάλυση των μέσων ημερήσιων θερμοκρασιών των ERA5 για το μέσο πεδίο της Χαλκιδικής για τη χρονική περίοδο (1981-2021) για τα ετήσια δεδομένα και τις τέσσερις εποχές.

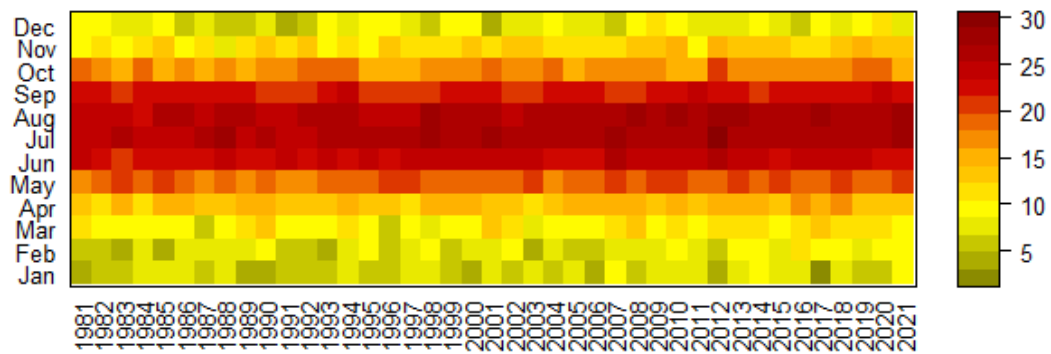
ΜΕΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	ΕΤΗΣΙΑ 1981-2021	ΧΕΙΜΩΝΑΣ 1981-2021	ΑΝΟΙΞΗ 1981-2021	ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ 1981-2021	ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ 1981-2021
MIN.	-4.50	4.8	12.1	23.1	15.1
1ST QUANTILE	9.70	6.4	13.7	24.5	16.4
MEDIAN	15.70	7.0	14.6	25.3	16.8
MEAN	15.94	7.1	14.4	25.2	16.8
3RD QUANTILE	22.70	7.9	15.0	25.9	17.4
MAX.	33.10	9.8	16.7	27.32	19.1
SD	7.55	1.1	0.95	0.89	0.90
SKEWNESS	-0.04	0.02	-0.15	-0.11	0.32
KURTOSIS	1.91	2.5	2.95	2.85	3.13



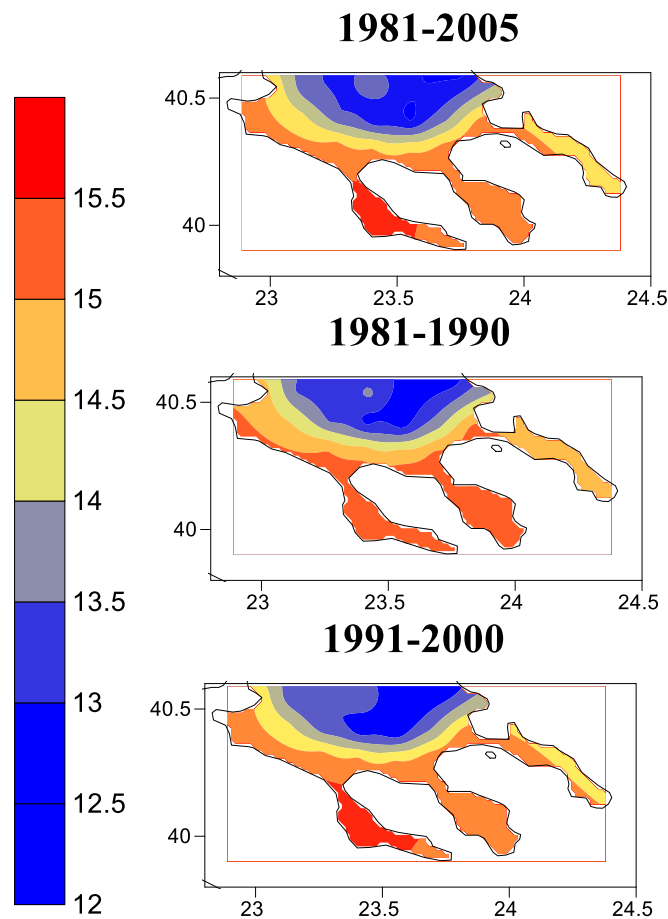
Σχήμα 4 Διακύμανση των μέσων ετήσιων θερμοκρασιών των ERA5 για το μέσο πεδίο της Χαλκιδικής για τη χρονική περίοδο (1981-2021)

Από την χωρική κατανομή των ετήσιων θερμοκρασιών του περιοχικού κλιματικού μοντέλου SMHI προκύπτει ότι οι μέσες ετήσιες τιμές των θερμοκρασιών είναι πολύ κοντά στα πραγματικά δεδομένα. Ειδικότερα, το μοντέλο μπορεί να διαχωρίσει την ηπειρωτική -ορεινή περιοχή από τις παραθαλάσσιες περιοχές, επίσης μπορεί να ξεχωρίσει τις διαφορετικές συνθήκες που παρατηρούνται στις τρεις χερσονήσους της Χαλκιδικής, με αποτέλεσμα το μοντέλο να μπορεί να θεωρηθεί αντιπροσωπευτικό για την περιοχή της Χαλκιδικής. Από την ανάλυση των χαρτών προκύπτει ότι υπάρχει μία σταδιακή αύξηση της θερμοκρασίας από την ηπειρωτική περιοχή της Χαλκιδικής προς τις παραθαλάσσιες περιοχές. Στην πρώτη υποπερίοδο αναφοράς (1981-1990) οι δύο πρώτες χερσονήσοι της Χαλκιδικής εμφανίζουν παρόμοια θερμοκρασιακό καθεστώς στην επόμενη όμως δεκαετία η εικόνα αλλάζει με τη χερσόνησο της Κασσάνδρας να είναι θερμότερη, γεγονός που επηρέασε και την συνολική εικόνα (1981-2005).

Μέσες Μηνιαίες Θερμοκρασίες, [Celsius/μήνα]



Σχήμα 5 Μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες των ERA5 για το μέσο πεδίο της Χαλκιδικής (1981-2021)

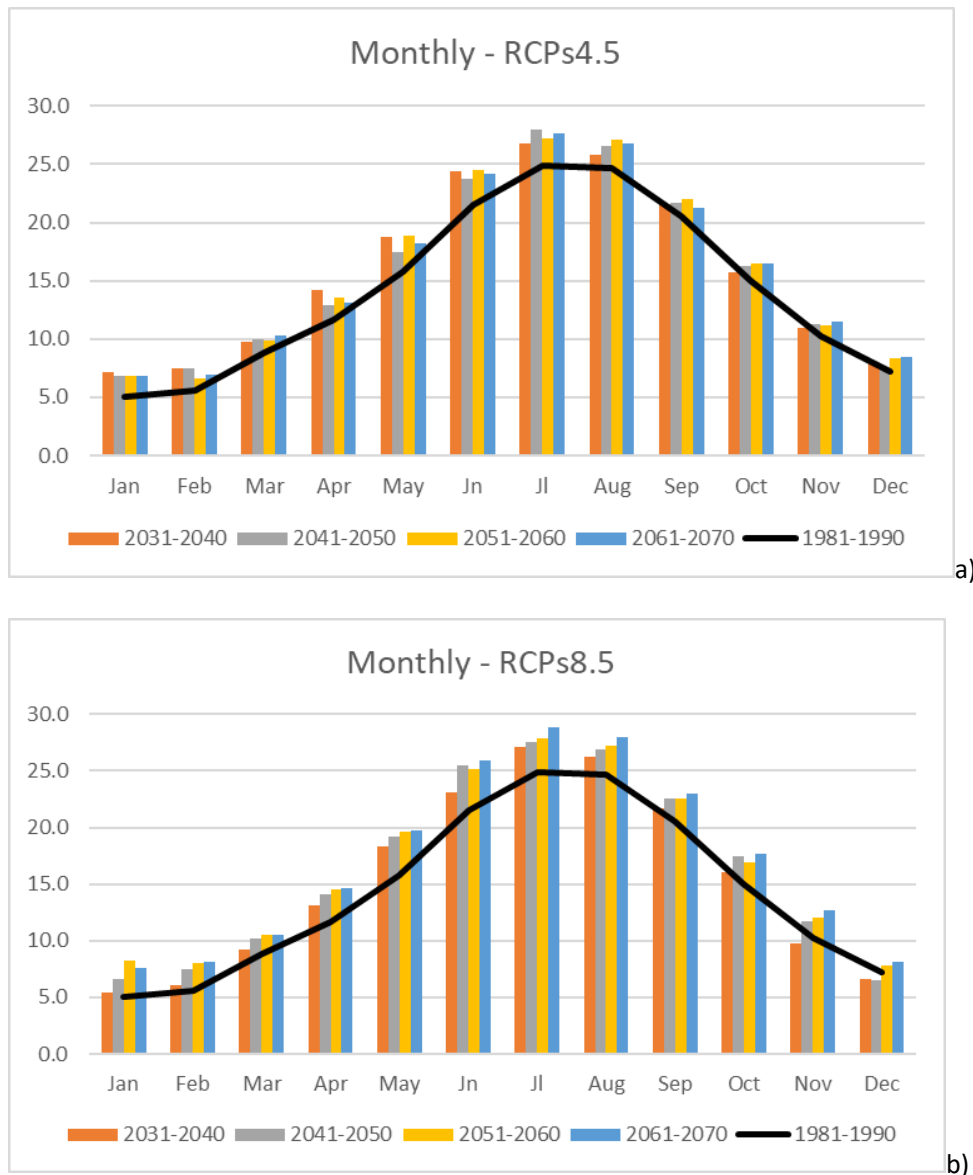


Σχήμα 6 Χωρική κατανομή των ετήσιων θερμοκρασιών του κλιματικού μοντέλου SMHI (α) περίοδο αναφοράς 1981-2005, (β) πρώτη υποπερίοδος 1981-1990 και (γ) δεύτερη υποπερίοδος 1991-2000.

Πίνακας 3 Κλιματική ανάλυση των μέσων ημερήσιων θερμοκρασιών των SMHI για το μέσο πεδίο της Χαλκιδικής για τη περίοδο αναφοράς (1981-1990) και τις τέσσερις μελλοντικές περιόδους σύμφωνα με το RCP4.5.

	1981-1990	2031-2040	2041-2050	2051-2060	2061-2070
MIN.	-4.5	-3.8	-0.5	-4.5	-4.3
1ST QUANTILE	9.7	9.7	9.6	9.6	9.7
MEDIAN	15.7	15.0	14.8	15.0	15.0
MEAN	15.9	15.9	15.9	16.1	16.0
3RD QUANTILE	22.7	22.8	22.6	23.3	22.7
MAX.	33.1	33.6	35.9	34.4	34.4
B) RCP8.5	1981-1990	2031-2040	2041-2050	2051-2060	2061-2070
MIN.	-4.5	-2.8	-4.0	-0.1	-3.1
1ST QUANTILE	9.7	8.4	9.6	10.2	10.3
MEDIAN	15.7	14.6	15.8	15.7	16.2
MEAN	15.9	15.3	16.4	16.7	17.1
3RD QUANTILE	22.7	22.2	23.8	23.9	24.2
MAX.	33.1	32.4	34.5	35.8	34.8

Από τα αποτελέσματα του περιοχικού κλιματικού μοντέλου (Πίνακας 3) για τα δύο κλιματικά σενάρια που επιλέχθηκαν να μελετηθούν προκύπτει ότι η μέση ημερήσια θερμοκρασία είναι ίση με 15,9°C και προβλέπεται να αυξηθεί περίπου 1.2°C σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP8.5 κατά την τελευταία χρονική περίοδο (2061-2070) και αντίστοιχα περίπου 0.2°C στο RCP4.5 (Πίνακας 3). Η μέση μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία στην περιοχή της Χαλκιδικής αναμένεται να φθάσει τους 35.8°C (RCP8.5)/ 35.9(RCP4.5) κατά τη περίοδο 2051-2060 /2041-2050, ενώ η αντίστοιχη θερμοκρασία για την περίοδο αναφοράς είναι σχεδόν 33°C. Επιπλέον, η ημερήσια ελάχιστη μέση θερμοκρασία στην περιοχή της Χαλκιδικής θα αυξηθεί από -4.5°C (περίοδος αναφοράς) κοντά στους 0°C (RCP8.5 2051-2060) και -0.5(RCP4.5 2041-2050).



Σχήμα 7. Η μέση μηνιαία θερμοκρασία του μέσου πεδίου στη Χαλκιδική για α) το πρώτο κλιματικό σενάριο (RCP4.5) και β) το δεύτερο κλιματικό σενάριο (RCP8.5) για τις διαφορετικές χρονικές περιόδους χρωματιστές ράβδους και την περίοδο αναφοράς 1981-1990 (μαύρη γραμμή), σύμφωνα με τα στοιχεία του κλιματικού μοντέλου SMHI.

Η μέση ετήσια θερμοκρασία για το μέσο πεδίο της Χαλκιδικής από 14.3°C προβλέπεται να αυξηθεί σχεδόν 2 °C σύμφωνα με το σενάριο RCP4.5 έως το τέλος της περιόδου μελέτης και αντίστοιχα 3 °C και να φτάσει στους 17.1 °C σύμφωνα με το σενάριο RCP8.5. Ο Πίνακας 4 παρουσιάζει τη μέση μηνιαία θερμοκρασία για το μέσο πεδίο τη Χαλκιδικής για τη περίοδο αναφοράς (1981-1990) και τις τέσσερις μελλοντικές περιόδους σύμφωνα με τα δύο κλιματικά σενάρια. Η μέση θερμοκρασία δείχνει την τυπική κατανομή της θερμοκρασίας της Μεσογείου. Οι θερμότεροι μήνες είναι ο Ιούλιος (24.9° C-περίοδος αναφοράς) και Αύγουστος (24,7°C), και οι δύο ψυχρότεροι μήνες είναι ο Ιανουάριος (5.1°C) και ο Φεβρουάριος (5.5°C). Η θερμή περίοδος του έτους φαίνεται να επεκτείνεται σε

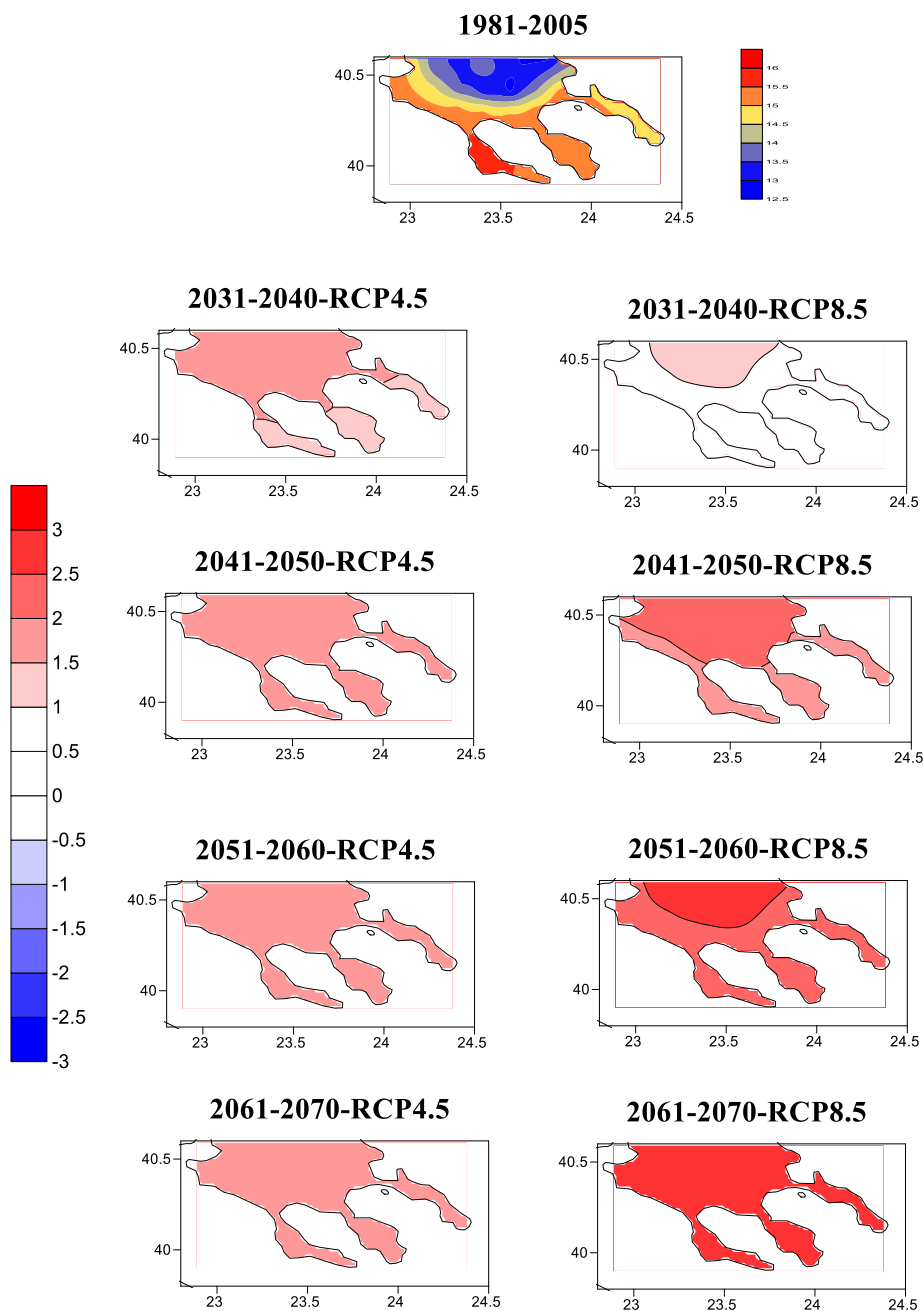
περισσότερους μήνες για τις δύο μελλοντικές περιόδους. Η θερμοκρασία αυξάνεται με βραδύτερο ρυθμό σύμφωνα με το πρώτο σενάριο (μέσος όρος Ιουλίου =27,7°C) και ταχύτερα σύμφωνα με το σενάριο RCP8.5 (μέσος όρος Ιουλίου = 28.8°C). Αντίστοιχα, η μέση θερμοκρασία για τους ψυχρούς μήνες αυξάνεται από σχεδόν 1.5°C (RCP4.5) σε 2,5°C(RCP8.5).

Πίνακας 4. Μέσες μηνιαίες και ετήσιες θερμοκρασίες για τη περίοδο αναφοράς (1981-1990) και τις τέσσερις μελλοντικές υποπεριόδους για τα κλιματικά σενάρια RCP4.5 και RCP8.5

	Περίοδος	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μάι	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπτ	Οκτ	Νοε	Δεκ	Έτος
	1981-90	5.1	5.5	8.8	11.7	15.8	21.5	24.9	24.7	20.6	15.1	10.2	7.2	14.3
RCP4.5	2031-40	7.2	7.5	9.7	14.2	18.8	24.4	26.8	25.8	21.6	15.7	10.9	8.0	15.9
	2041-50	6.8	7.5	10.0	12.9	17.5	23.8	27.9	26.6	21.7	16.2	11.3	7.6	15.9
	2051-60	6.9	6.6	9.9	13.6	18.8	24.5	27.3	27.1	22.0	16.5	11.2	8.3	16.1
	2061-70	6.8	7.0	10.3	13.2	18.2	24.2	27.7	26.8	21.3	16.4	11.5	8.4	16.0
RCP8.5	2031-40	5.4	6.1	9.2	13.1	18.3	23.1	27.1	26.2	21.7	16.0	9.8	6.6	15.3
	2041-50	6.6	7.5	10.2	14.0	19.2	25.5	27.6	26.9	22.5	17.5	11.7	6.5	16.4
	2051-60	8.2	8.0	10.5	14.5	19.6	25.1	27.9	27.2	22.5	16.9	12.0	7.8	16.7
	2061-70	7.5	8.1	10.5	14.6	19.8	25.9	28.8	28.0	23.0	17.7	12.7	8.2	17.1

Γενικά, η μηνιαία θερμοκρασία στο μέσο πεδίο της Χαλκιδικής θα κυμαίνεται από 5°C έως σχεδόν 29,0°C (Σχήμα 7, Πίνακας 4). Ανεξάρτητα από το σενάριο, φαίνεται ότι η θερινή περίοδος θα εμφανίσει μία σημαντική αύξηση ενώ στη περίπτωση του χειμώνα δεν είναι τόσο ομοιόμορφα τα αποτελέσματα. Ειδικότερα, παρατηρείται σταδιακή αύξηση της διακύμανσης της θερμοκρασίας, η οποία είναι εντονότερη κατά τους θερμούς μήνες [από 24.9°C (περίοδος αναφοράς) σε 27.7°C (RCP4.5-2061-70) και 28.8 (RCP8.5-2061-70)] σε σύγκριση με τους χειμερινούς μήνες [από 5,1°C (περίοδος αναφοράς) σε 6.8°C (RCP4.5-2061-70) και 7.5 °C (RCP8.5-2061-70)].

Από την χωρική ανάλυση των διαφορών της ετήσιας θερμοκρασίας μεταξύ της περιόδου αναφοράς και τις τέσσερις μελλοντικές περιόδους (Σχήμα 8) προκύπτει ότι για το σενάριο RCP4.5 θα υπάρξει μία πιο ομοιόμορφη αύξηση της θερμοκρασίας σε όλες τις περιοχές της Χαλκιδικής της τάξης των 1.5°C με 2.0°C. Στη περίπτωση του πιο απαισιόδοξου σεναρίου RCP8.5 η αύξηση θα αρχίσει από την ηπειρωτική-ορεινή περιοχή και θα επεκταθεί σταδιακά με το πέρασμα των ετών προς τις τρεις χερσονήσους της Χαλκιδικής. Στο τέλος της περιόδου μελέτης 2061-2070 φαίνεται ότι η θερμοκρασιακή διαφορά θα φτάσει τους 2.5 έως 3.0°C.



Σχήμα 8. Χωρική κατανομή των διαφορών της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας του αέρα ανάμεσα στη περίοδο αναφοράς και τις τέσσερις μελλοντικές περιόδους για τα δύο κλιματικά σενάρια.

1.3 Υγρομετρικά χαρακτηριστικά της Χαλκιδικής

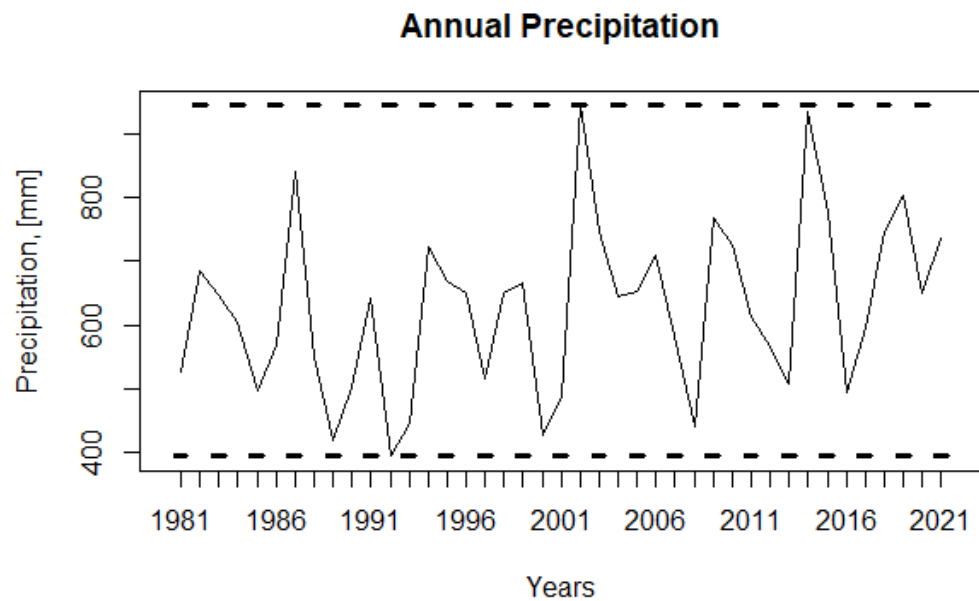
Το κύριο υγρομετρικό χαρακτηριστικό του Μεσογειακού κλίματος είναι οι υγροί χειμώνες και τα ξηρά καλοκαίρια. Οι έντονες κλιματικές διακυμάνσεις των τελευταίων ετών στη περιοχή της Μεσογείου επηρεάζονται από μία πρωτοφανή θέρμανση. Η μειούμενη συχνότητα εμφάνισης των βροχοπτώσεων σε συνδυασμό με την αυξανόμενη ένταση των βροχοπτώσεων και την αυξημένη ζήτηση των υδάτινων πόρων (λόγω τουρισμού – και γεωργικών καλλιεργειών) αποτελούν ένα αντιπροσωπευτικό παράδειγμα του μελλοντικού κλίματος στη Λεκάνη της Μεσογείου. Στις προβλέψεις για την κλιματική αλλαγή, ο μειούμενος αριθμός των βαρομετρικών χαμηλών που ευθύνονται για τις ετήσιες βροχοπτώσεις της περιοχής έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της μεταβλητότητας των υδάτινων πόρων από έτος σε έτος. Συγκεκριμένα, η Χαλκιδική, μαζί με τις άλλες περιοχές του μεσογειακού κλίματος, γίνεται πιο υποτροπική. Η συχνότητα των βροχοπτώσεων αυξάνεται κυρίως το φθινόπωρο, ενώ οι έντονες βροχοπτώσεις γίνονται κατά προτίμηση πιο ακραίες το φθινόπωρο και στις αρχές του χειμώνα.

Πίνακας 5 Κλιματική ανάλυση των μέσων ετήσιων και εποχιακών βροχοπτώσεων των ERA5 για το μέσο πεδίο της Χαλκιδικής για τη χρονική περίοδο (1981-2021).

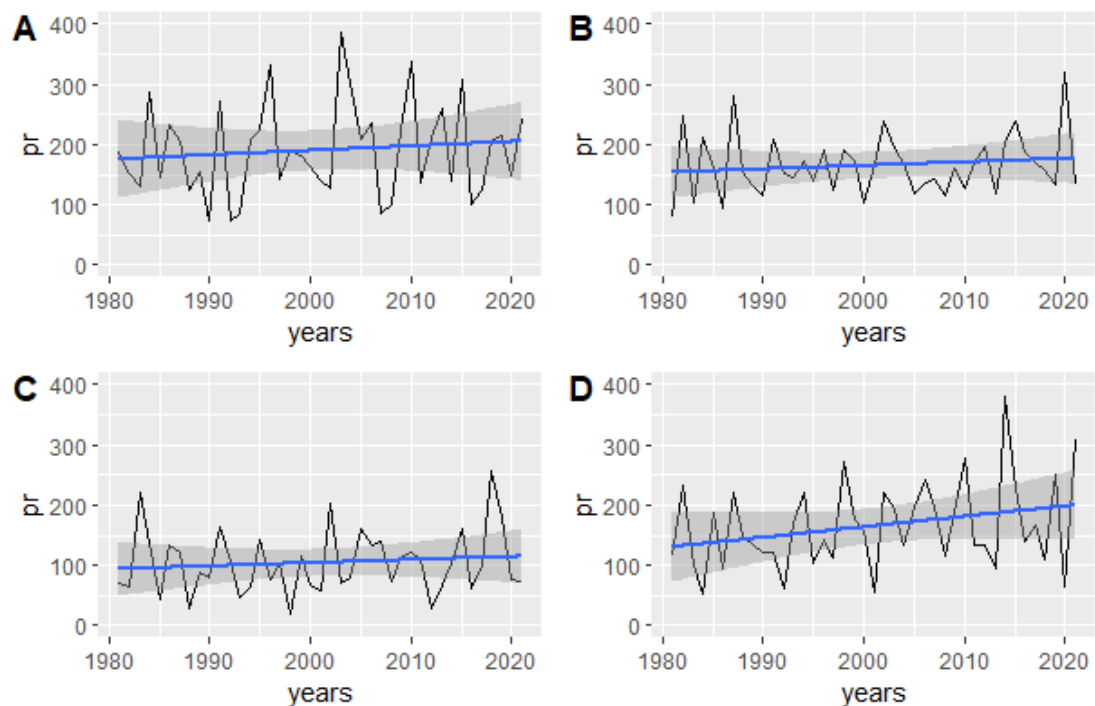
ΜΕΣΗ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ	ΕΤΗΣΙΑ 1981-2021	ΧΕΙΜΩΝΑΣ 1981-2021	ΑΝΟΙΞΗ 1981-2021	ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ 1981-2021	ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ 1981-2021
MEAN	627.8	190.5	165.4	104.1	165.3
SD	134.7	77.0	50.9	52.9	72.3
MAX.	945.9	386.3	320.7	258.5	379.0
MIN	392.5	73.3	79.9	18.0	52.9

Οι μέσες μηνιαίες και εποχιακές βροχοπτώσεις για όλους τους κόμβους καθώς και για το μέσο πεδίο αυτών υπολογίστηκαν για τη μελέτη των βροχοπτώσεων στην περιοχή της Χαλκιδικής. Ειδικότερα η μέση ετήσια βροχόπτωση για τη περίοδο 1981 -2021, για το μέσο πεδίο στη περιοχή της Χαλκιδικής είναι της τάξης των 630mm (Πίνακας 5). Το 30% (190mm) των ετήσιων βροχοπτώσεων πέφτει την χειμερινή περίοδο και το 15% στη θερινή περίοδο, η υπόλοιπη βροχόπτωση κατανέμεται εξίσου στις δύο μεταβατικές εποχές. Η μέγιστη τιμή ετήσιας βροχόπτωσης για το μέσο πεδίο της Χαλκιδικής έφτασε τα 945.9mm, ενώ στα πιο υγρά έτη η μέση βροχόπτωση του χειμώνα έφτασε τη τιμή των 386.3mm και το φθινόπωρο τα 379mm. Αντίστοιχα, στα πιο ξηρά έτη, η βροχόπτωση τη θερινή περίοδο έλαβα τη τιμή μόλις 18mm ενώ το φθινόπωρο μόλις το 1/3 της μέσης φθινοπωρινής βροχόπτωσης

(Πίνακας 5). Η απόλυτη μέγιστη ημερήσια βροχόπτωση για το μέσο πεδίο της Χαλκιδικής φτάνει τα 65mm το ένα δέκατο σχεδόν την μέσης ετήσιας βροχόπτωσης.

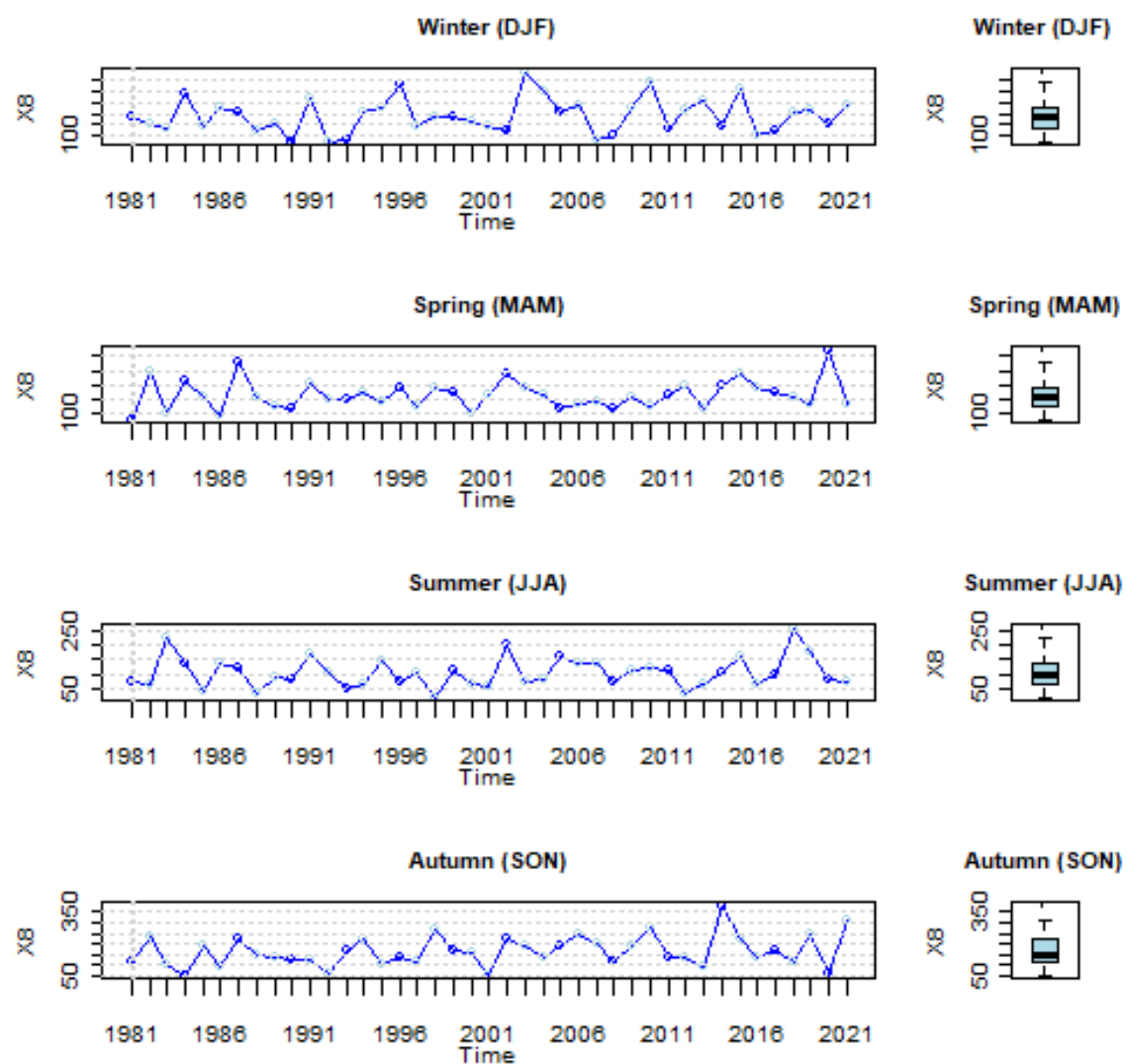


Σχήμα 9 Διακύμανση της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης των ERA5 για το μέσο πεδίο της Χαλκιδικής για τη χρονική περίοδο (1981-2021)



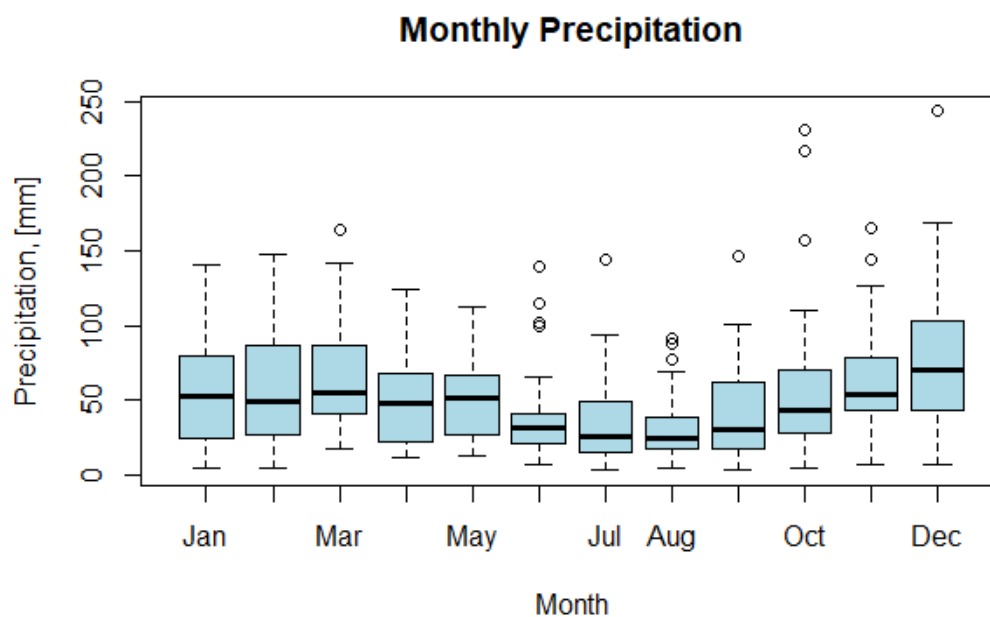
Σχήμα 10 Τάσεις των μέσων εποχιακών βροχοπτώσεων των δεδομένων ERA5 για το μέσο πεδίο της Χαλκιδικής για τη χρονική περίοδο (1981-2021) α) Χειμώνας, Β) Άνοιξη Γ) Καλοκαίρι και Δ) Φθινόπωρο

Η ετήσια βροχόπτωση για τη περιοχή της Χαλκιδικής παρουσιάζει έντονη διακύμανση με μία μικρή αυξητική τάση η οποία όμως δεν είναι στατιστικά σημαντική (Σχήμα 9). Από το σχήμα φαίνεται καθαρά ότι τα τελευταία χρόνια (μετά το 2000) καταγράφηκαν κάποια εξαιρετικά υγρά έτη τα οποία βοήθησαν για να δημιουργηθεί η μικρή αυξητική τάση. Από την μελέτη των εποχικών διακυμάνσεων (Σχήμα 11) είναι φανερό ότι η εποχή με τη μεγαλύτερη και σημαντικότερη τάση είναι το φθινόπωρο (Σχήμα 10). Αντίστοιχα, τα δύο σημαντικά μέγιστα των ετήσιων βροχοπτώσεων σύμφωνα με το Σχήμα φαίνεται το μεν πρώτο να σχετίζεται με μέγιστο του Χειμώνα (αρχή του αιώνα) και το δεύτερο να σχετίζεται με μέγιστο του φθινοπώρου (τα μέσα της δεύτερης δεκαετίας του αιώνα).



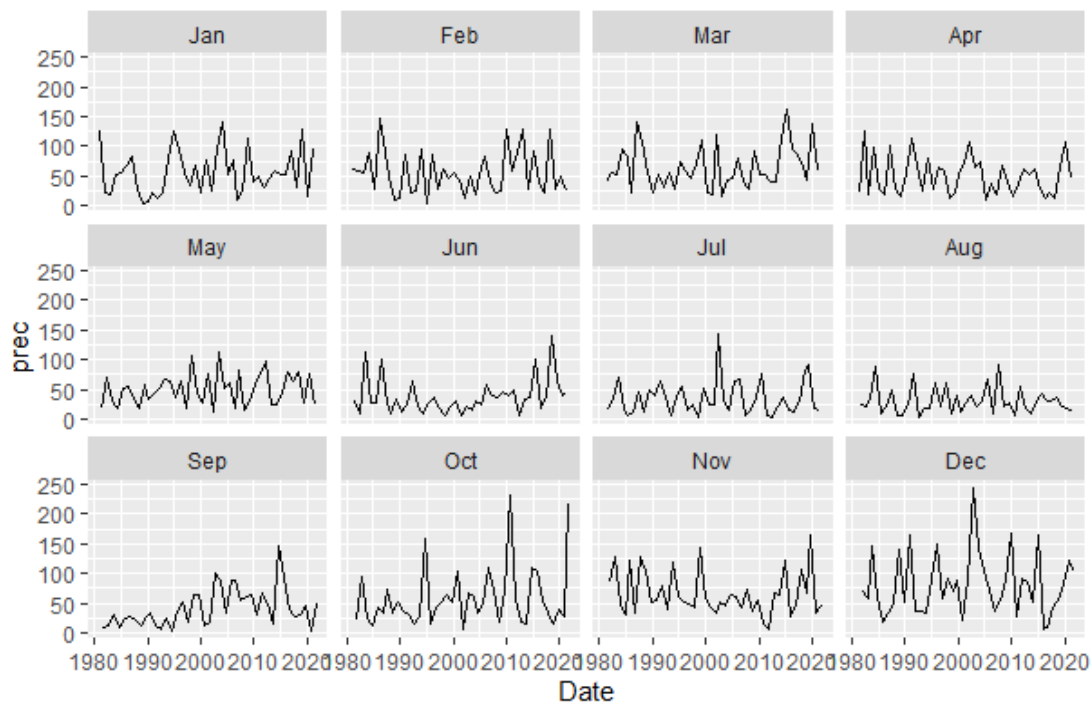
Σχήμα 11 Διακυμάνσεις των μέσων εποχιακών βροχοπτώσεων των ERA5 για το μέσο πεδίο της Χαλκιδικής για τη χρονική περίοδο (1981-2021)

Χαρακτηριστική είναι η εικόνα των θηκογραμμάτων για τις μηνιαίες βροχοπτώσεις του μέσου πεδίου της Χαλκιδικής (Σχήμα 12). Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων, φαίνεται καθαρά ότι ο Δεκέμβριος είναι ο υγρότερος μήνας και οι μήνες Ιούλιος και Αύγουστος είναι οι ξηρότεροι. Οι θερινοί μήνες με εξαίρεση τον Ιούλιο παρουσιάζουν μικρή διακύμανση βροχοπτώσεων και οι περισσότερες τιμές είναι κοντά στη μέση τιμή (μικρό πλαίσιο- Σχήμα 12). Ο Οκτώβριος και ο Δεκέμβριος είναι οι δύο μήνες που εμφανίζουν τις πιο ακραίες τιμές (outliers), αλλά τους καλοκαιρινούς μήνες έχουμε περισσότερες ακραίες τιμές (Σχήμα 12). Από το Σχήμα 13, προκύπτει ότι το Σεπτέμβριο παρατηρείται μία σημαντική αύξηση των βροχοπτώσεων τη τελευταία εικοσαετία και ο Οκτώβριος είναι ο μήνας με τις περισσότερες έντονες διακυμάνσεις (ακραίες βροχοπτώσεις) που έχουν ως αποτέλεσμα την συνολική αύξηση της βροχόπτωσης τη φθινοπωρινή περίοδο.



Σχήμα 12 Θηκογράμματα των μηνιαίων βροχοπτώσεων των δεδομένων ERA5 για το μέσο πεδίο της Χαλκιδικής (1981-2021). Με κύκλο παρουσιάζονται τα outliers

Από την χωρική κατανομή των ετήσιων βροχοπτώσεων του περιοχικού κλιματικού μοντέλου SMHI προκύπτει ότι η Χαλκιδική χωρίζεται σε δύο βροχομετρικές περιοχές (Σχήμα 14), την δυτική περιοχή της Χαλκιδικής και τις χερσονήσους της Κασσάνδρας και της Σιθωνίας που χαρακτηρίζεται από ξηρότερη από την κανονική βροχόπτωση περιοχή (καφέ χρώμα) και την ηπειρωτική και βόρειοανατολική περιοχή της Χαλκιδικής που είναι υγρότερη από την κανονική βροχόπτωση (πράσινο χρώμα).

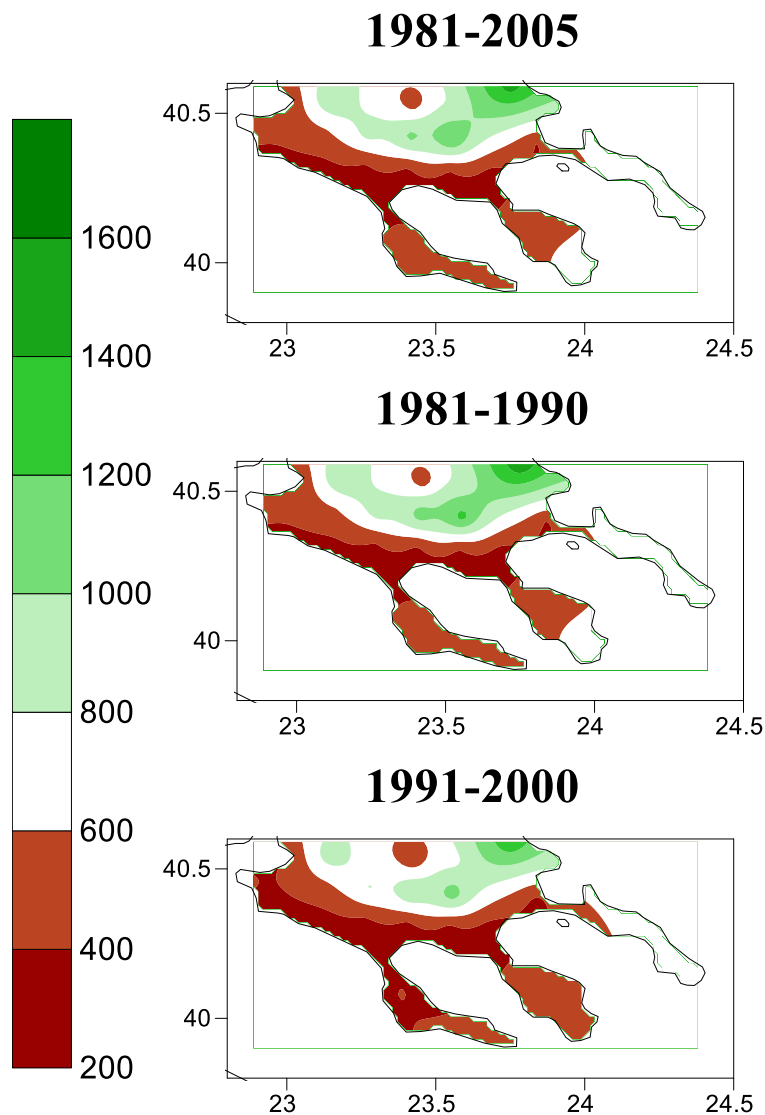


Σχήμα 13 Διακυμάνσεις των μέσων μηνιαίων βροχοπτώσεων των ERA5 για το μέσο πεδίο της Χαλκιδικής για τη χρονική περίοδο (1981-2021)

Από την ανάλυση των χαρτών προκύπτει ότι υπάρχει μία μικρή επέκταση και ενίσχυση των ξηρότερων περιοχών κατά την δεύτερη δεκαετία της περιόδου αναφοράς. Στην πρώτη δεκαετία (1981-1990) οι δύο πρώτες χερσόνησοι της Χαλκιδικής εμφανίζουν παρόμοιο βροχομετρικό καθεστώς με τις πιο ξηρές περιοχές να βρίσκονται στην αρχή των χερσονήσων ενώ στην επόμενη δεκαετία η εικόνα αλλάζει με τη χερσόνησο της Κασσάνδρας να είναι πολύ ξηρότερη.

Πίνακας 6 Κλιματική ανάλυση των μέσων βροχοπτώσεων των SMHI για το μέσο πεδίο της Χαλκιδικής για τη περίοδο αναφοράς (1981-1990) και τις τέσσερις μελλοντικές περιόδους σύμφωνα με το RCP4.5.

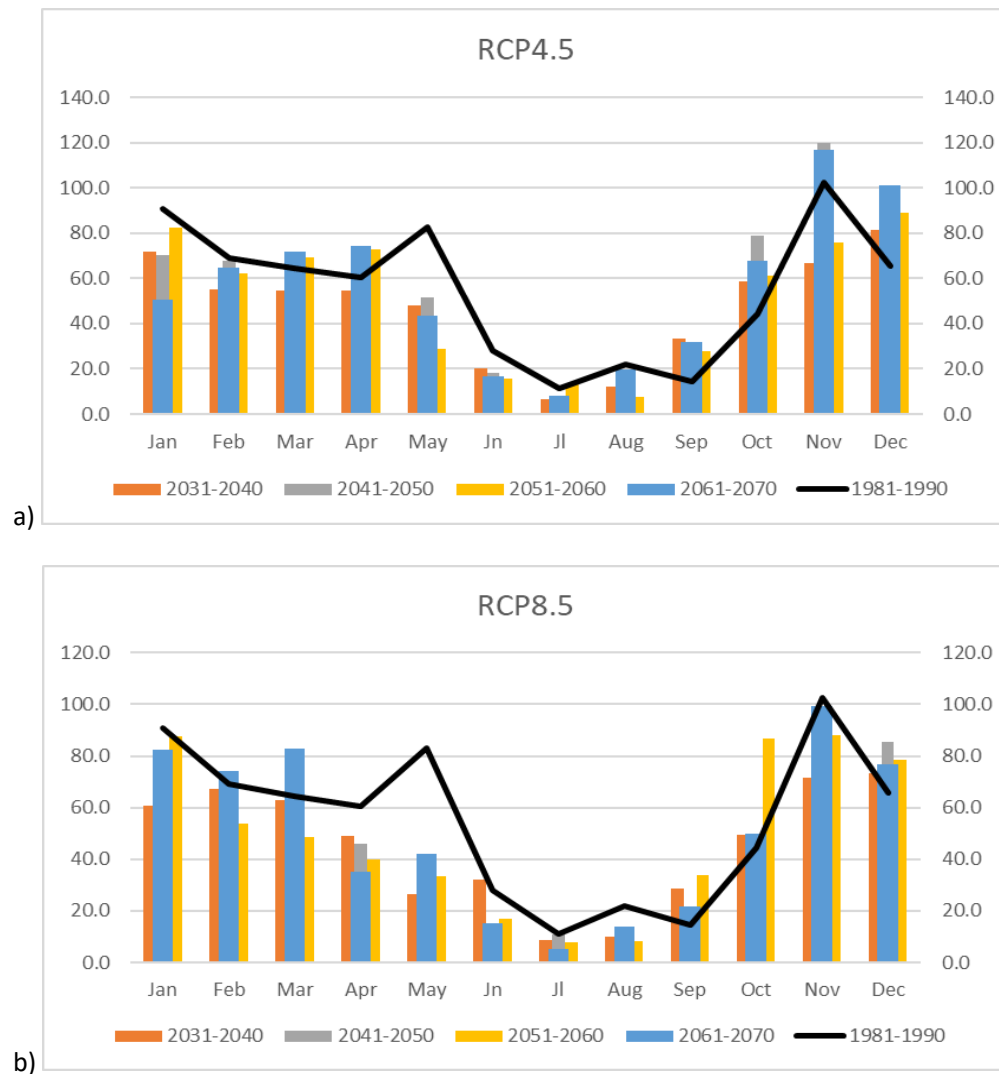
A) RCP4.5		1981-2005	1981-1990	2031-2040	2041-2050	2051-2060	2061-2070
MIN.		377	478.2	362.5	519.6	501.7	445.1
MEAN		642	656.1	563.5	644.1	607.0	666.9
MAX.		833	793.1	920.4	841.1	698.1	942.7
SD		131	109.8	204.9	107.2	76.5	160.6
B) RCP8.5			1981-1990	2031-2040	2041-2050	2051-2060	2061-2070
MIN.		377	478.2	308.2	222.9	417.0	357.3
MEAN		642	656.1	540.0	515.6	583.5	598.8
MAX.		833	793.1	759.0	703.8	743.8	747.0
SD		131	109.8	134.0	163.4	110.5	115.5



Σχήμα 14 Χωρική κατανομή των ετήσιων βροχοπτώσεων του κλιματικού μοντέλου SMHI (α) περίοδο αναφοράς 1981-2005, (β) πρώτη υποπερίοδος 1981-1990 και (γ) δεύτερη υποπερίοδος 1991-2000.

Από τα αποτελέσματα του περιοχικού κλιματικού μοντέλου προκύπτει ότι για την περίοδο αναφοράς η μέση βροχόπτωση στη περιοχή της Χαλκιδικής είναι 642mm, μόνο 15mm το χρόνο (2% διαφορά) μεγαλύτερη από τις πραγματικές τιμές της βροχόπτωσης στην περιοχή (Πίνακας 5, Πίνακας 6). Επίσης, το μοντέλο πετυχαίνει την ελάχιστη βροχόπτωση στην περίοδο αναφοράς αλλά υποεκτιμά τη μέγιστη βροχόπτωση κατά 12%. Η μέση ετήσια βροχόπτωση για τη περίοδο 1981-1990 για το μέσο πεδίο της Χαλκιδικής από 656mm προβλέπεται να μειωθεί κατά 100mm την επόμενη δεκαετία (2031-2040) αλλά στην συνέχεια σταθεροποιείται κοντά στη μέση βροχόπτωση σύμφωνα με το σενάριο RCP4.5.

Αντίθετα, σύμφωνα με το σενάριο RCP8.5, η ετήσια βροχόπτωση του μέσου πεδίου της Χαλκιδικής φαίνεται να παρουσιάζει ελάττωση που κυμαίνεται από 9% έως και 20% ανάλογα με την μελλοντική δεκαετία (Πίνακας 6).



Σχήμα 15. Η μέση μηνιαία βροχόπτωση του μέσου πεδίου στη Χαλκιδική για α) το πρώτο κλιματικό σενάριο (RCP4.5) και β) το δεύτερο κλιματικό σενάριο (RCP8.5) για τις διαφορετικές χρονικές περιόδους χρωματιστές ράβδους και την περίοδο αναφοράς 1981-1990 (μαύρη γραμμή), σύμφωνα με τα στοιχεία του κλιματικού μοντέλου SMHI.

Ο Πίνακας 7 και το Σχήμα 15 παρουσιάζουν τη μέση μηνιαία βροχόπτωση για το μέσο πεδίο τη Χαλκιδικής για τη περίοδο αναφοράς (1981-1990) και τις τέσσερις μελλοντικές περιόδους σύμφωνα με τα δύο κλιματικά σενάρια. Η μέση βροχόπτωση δείχνει την τυπική κατανομή της βροχόπτωσης της Μεσογείου. Η κατανομή της μηνιαίας βροχόπτωσης παρουσιάζει δύο μέγιστα ένα το Νοέμβριο και το δεύτερο μέγιστο το Μάιο. Οι βροχοπτώσεις του Νοεμβρίου συνδέονται άμεσα τις υφέσεις που παρατηρούνται εκείνη τη

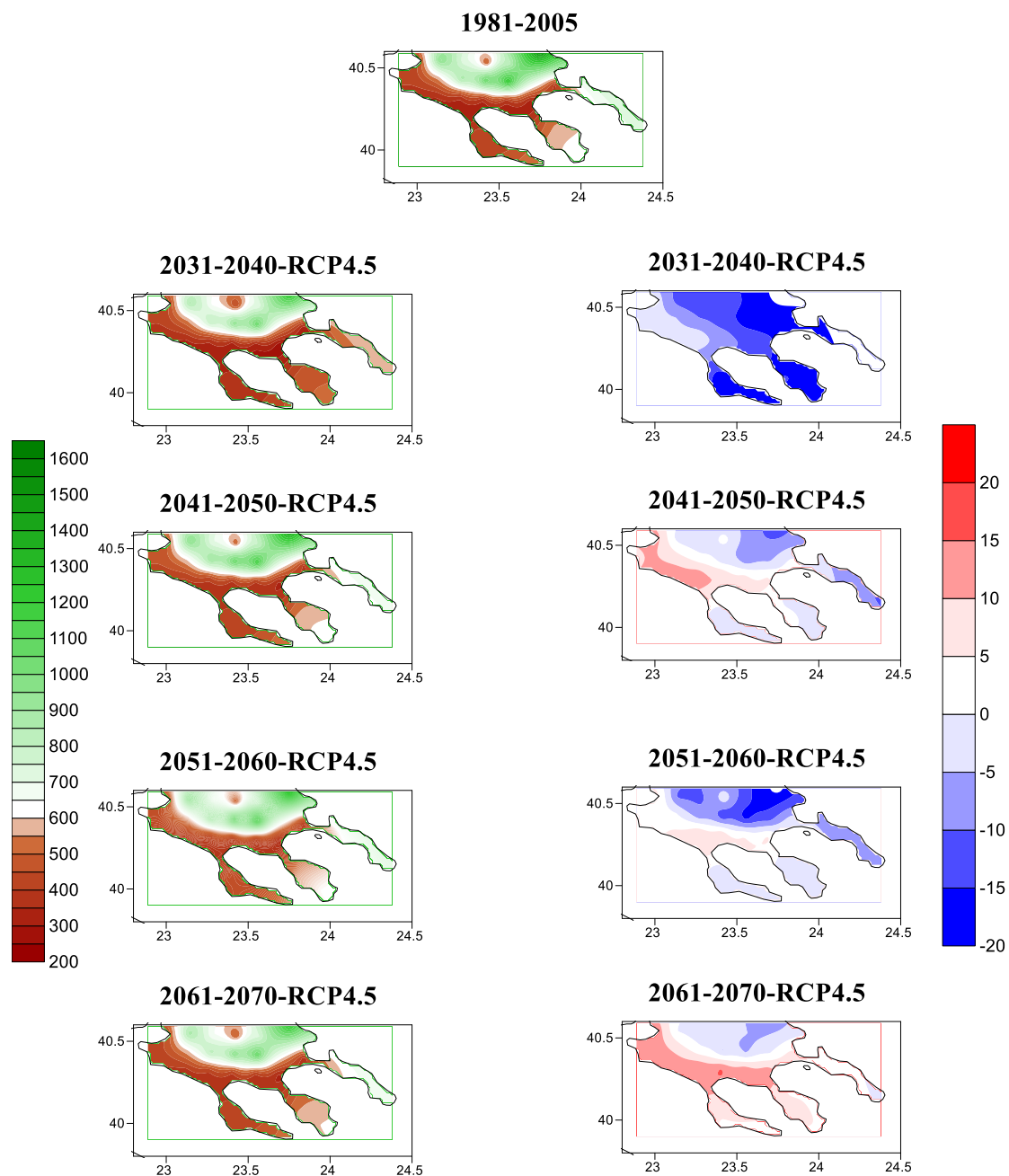
χρονική περίοδο στη περιοχή της Χαλκιδικής, ενώ οι βροχοπτώσεις του Μαΐου είναι αποτέλεσμα θερμικής αστάθειας και καταιγιδοφόρων νεφών που επικρατούν στην περιοχή της Χαλκιδικής στο τέλος της άνοιξης με αρχή καλοκαιριού. Οι υγρότεροι μήνες είναι ο Νοέμβριος (102.5mm-περίοδος αναφοράς) και Ιανουάριος (91 mm), και οι δύο ξηρότεροι μήνες είναι ο Ιούλιος (11.1 mm) και ο Αύγουστος (22 mm).

Πίνακας 7. Μέσες μηνιαίες και ετήσιες βροχοπτώσεις για τη περίοδο αναφοράς (1981-1990) και τις τέσσερις μελλοντικές υποπεριόδους για τα κλιματικά σενάρια RCP4.5 και RCP8.5

	Περίοδος	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαι	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπτ	Οκτ	Νοε	Δεκ	Έτος
	1981-90	91.0	69.1	64.5	60.7	82.9	28.0	11.1	22.0	14.4	44.3	102.5	65.6	656.1
RCP4.5	2031-40	71.9	55.3	54.7	54.7	47.9	20.1	6.4	12.3	33.3	58.7	66.7	81.5	563.5
	2041-50	70.2	68.0	56.7	64.9	51.6	18.0	5.8	13.1	18.8	78.7	120.0	78.3	644.1
	2051-60	82.7	62.4	69.1	72.8	29.0	15.9	13.5	7.7	28.0	61.1	75.7	89.1	607.0
	2061-70	50.5	64.7	71.8	74.5	43.6	16.5	8.0	19.7	31.9	67.7	116.7	101.4	666.9
RCP8.5	2031-40	60.5	67.3	62.8	49.1	26.4	32.2	8.6	10.1	28.8	49.4	71.4	73.4	540.0
	2041-50	82.0	63.2	48.4	45.9	31.8	13.4	10.8	8.6	10.0	45.4	70.6	85.5	515.6
	2051-60	87.5	53.6	48.7	40.1	33.5	16.9	7.7	8.3	33.8	86.7	88.2	78.6	583.5
	2061-70	82.3	74.1	83.0	35.0	42.1	15.1	5.2	14.1	21.7	49.8	99.4	76.9	598.8

Γενικά, η μηνιαία βροχόπτωση στο μέσο πεδίο της Χαλκιδικής φαίνεται να παρουσιάζει σημαντικές διαφοροποιήσεις στα επόμενα χρόνια (2031-2070), οι αλλαγές αυτές παρουσιάζουν μικρή διαφοροποίηση ανάλογα με το κλιματικό σενάριο. Αυτό που είναι χαρακτηριστικό είναι ότι οι βροχοπτώσεις τους μήνες Μάρτιο, Απρίλιο και Μάιο θα παρουσιάσουν ελάττωση ανάλογα με το σενάριο. Για παράδειγμα ο Απρίλιος έως το τέλος της περιόδου μελέτης, θα παρουσιάσει ελάττωση σχεδόν 40% (Πίνακας 7) σύμφωνα με το RCP8.5 ενώ για το σενάριο RCP4.5 θα παρουσιαστεί αύξηση της τάξης 22%. Αντίθετα, για το μήνα Μάιο και τα δυο σενάρια συμφωνούν ότι η βροχόπτωση θα μειωθεί σχεδόν κατά 50%. Χαρακτηριστική είναι όμως και η αύξηση τους φθινοπωρινούς μήνες Σεπτέμβριο και

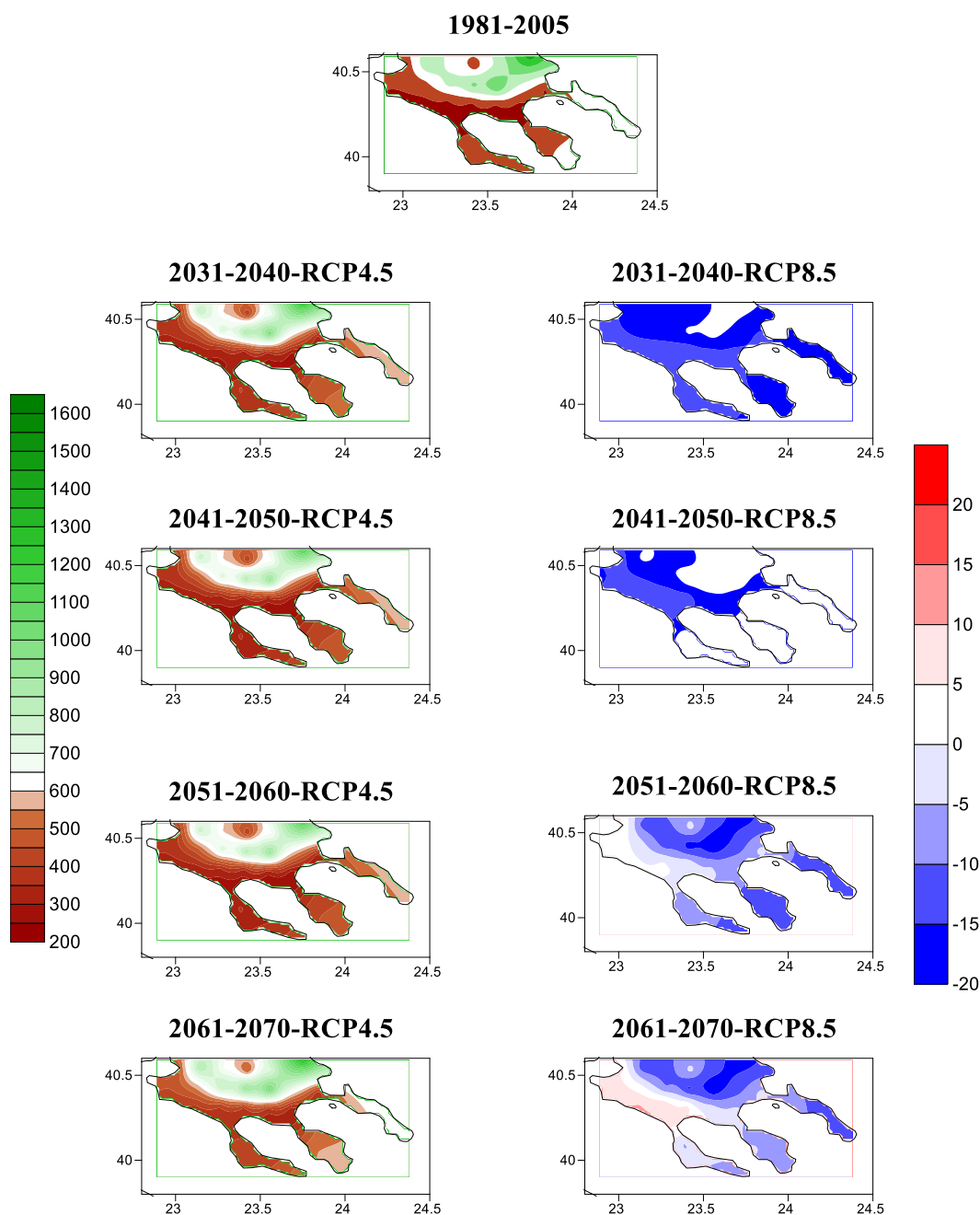
Οκτώβριο, με το σενάριο RCP4.5 να εμφανίζει τις μεγαλύτερες αυξήσεις πάνω από 100% για το μήνα Σεπτέμβριο και 50% για τον Οκτώβριο.



Σχήμα 16 Χωρική κατανομή των μέσων ετήσιων βροχοπτώσεων (mm- πρώτη στήλη) και των διαφορών τους (%-δεύτερη στήλη) σε σχέση με τη περίοδο αναφοράς και τις τέσσερις μελλοντικές περιόδους για το κλιματικό σενάριο RCP4.5.

Από την χωρική ανάλυση των διαφορών της ετήσιας βροχόπτωσης μεταξύ της περιόδου αναφοράς και τις τέσσερις μελλοντικές περιόδους (Σχήμα 16 και Σχήμα 17) προκύπτει ότι για το σενάριο RCP4.5 θα υπάρξει μία μικρή μη στατιστική αύξηση της βροχόπτωσης στις δυτικές και πιο ξηρές περιοχές της Χαλκιδικής σύμφωνα με το σενάριο RCP4.5. Στη πρώτη μελλοντική δεκαετία (Σχήμα 16) φαίνεται ότι θα παρατηρηθεί ελάττωση της βροχόπτωσης έως και 20%

στο μεγαλύτερο μέρος της κεντρική Χαλκιδικής και στις δύο πρώτες χερσονήσους. Η μείωση αυτή θα περιοριστεί στα βόρεια και ανατολικά στα επόμενα έτη.



Σχήμα 17 Χωρική κατανομή των μέσων ετήσιων βροχοπτώσεων (mm- πρώτη στήλη) και των διαφορών τους (%-δεύτερη στήλη) σε σχέση με τη περίοδο αναφοράς και τις τέσσερις μελλοντικές περιόδους για το κλιματικό σενάριο RCP8.5.

Στη περίπτωση του πιο απαισιόδοξου σεναρίου RCP8.5 (Σχήμα 17) η μείωση της βροχόπτωσης παρατηρείται σε ολόκληρη τη μελλοντική περίοδο, με τη διαφορά ότι στις δύο πρώτες δεκαετίες η μείωση (15-20%) εμφανίζεται κυρίως στις πιο ξηρές περιοχές της Χαλκιδικής (δυτικά και νότιοδυτικά) ενώ τις δύο τελευταίες δεκαετίες η μείωση (10-15%) επικεντρώνεται κυρίως στην ηπειρωτική Χαλκιδική και στα βόρεια ανατολικά.

Κεφάλαιο 2

2. Βιοκλιματολογία της ελιάς

Τα κύρια μεθοδολογικά στάδια περιλαμβάνουν: α) υπολογισμός της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς (ET₀)· β) εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής των καλλιεργειών (ET_c) και των καθαρών απαιτήσεων άρδευσης για διάφορα σενάρια άρδευσης· εκτίμηση του ET_c γ) υπολογισμός βαθμομονάδων ψύχους (chilling units) και δ) επίπτωση της κλιματικής αλλαγής στους φυσικούς εχθρούς της ελιάς: η περίπτωση του πυρηνοτρίτη.

Η αξιολόγηση των περιοχών που είναι κατάλληλες για ελαιοκαλλιέργεια έγινε χρησιμοποιώντας την προσέγγιση απαιτήσεων θερμοκρασίας που αναπτύχθηκε από τους Fischer et al. (2002) και είναι γνωστή ως μέθοδος Αγρο-Οικολογικής Ζώνης (AEZ). Κάθε κόμβος αξιολογήθηκε σύμφωνα με τα συγκεκριμένα κριτήρια για την καλλιέργεια της ελιάς και χαρακτηρίστηκε ως βέλτιστη, περιορισμένη ή μη κατάλληλη ζώνη. Τα προφίλ θερμοκρασίας, παρέχοντας ποσοτικοποίηση της εποχικότητας της θερμοκρασίας λαμβάνοντας υπόψη τα καθεστώτα θερμοκρασίας όλο το χρόνο, υπολογίστηκαν για κάθε κόμβο. Εκφράζονται ως ο αριθμός των ημερών που εμπίπτουν σε προκαθορισμένα διαστήματα θερμοκρασίας (πίνακας 1). Τα διαστήματα αυτά αποτελούνται από βαθμίδες 5 °C. Ένας πλήρης απολογισμός των χρονικών περιόδων των μεμονωμένων διαστημάτων θερμοκρασίας παρέχει ένα προφίλ θερμοκρασίας όλο το χρόνο.

2.1 Η Εξατμισοδιαπνοή στη περιοχή της Χαλκιδικής

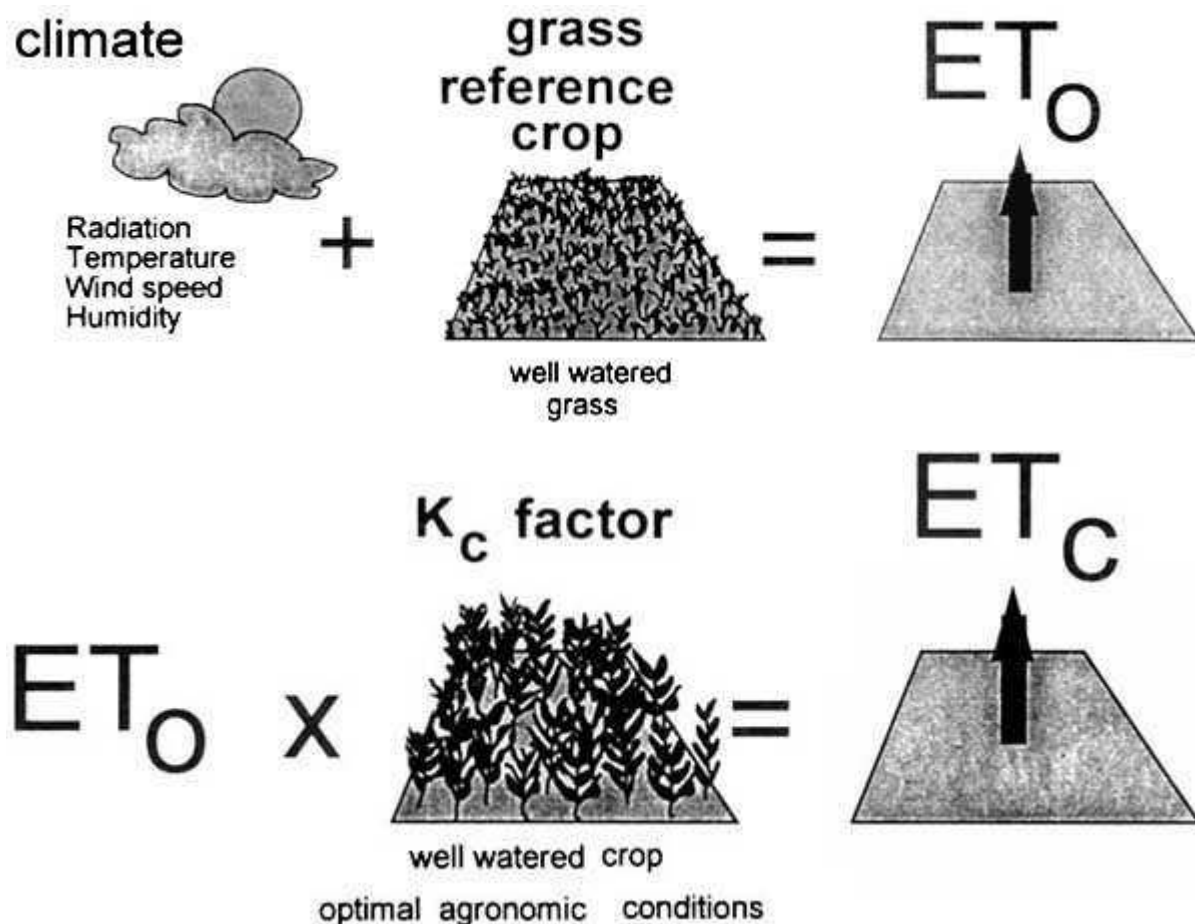
Για την εκτίμηση των υδρολογικών αναγκών των ελαιώνων στην περιοχή της Χαλκιδικής, υπολογίστηκε η εξατμισοδιαπνοή για την ιστορική περίοδο 1981-2005 αλλά και η εκτίμηση για την μελλοντική περίοδο 2031-2070 και για τα κλιματικά σενάρια RCP4.5 & RCP8.5, κατά τους μήνες Μάιο-Σεπτέμβριο.

Η εξάτμιση είναι η διαδικασία κατά την οποία το νερό μετατρέπεται σε υδρατμούς (εξάτμιση) και απομακρύνεται από την επιφάνεια εξάτμισης. Το νερό εξατμίζεται από διάφορες επιφάνειες, όπως λίμνες, ποτάμια, πεζοδρόμια, εδάφη αλλά και την βλάστηση.

Απαιτείται ενέργεια για την μεταβολή της φάσης του νερού από την υγρή στην αέρια. Η ενέργεια αυτή, είναι διαθέσιμη μέσω της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας και,

δευτερευόντως, εξαρτάται από την ατμοσφαιρική θερμοκρασία. Η κινητήρια δύναμη για την απομάκρυνση των υδρατμών από την επιφάνεια εξάτμισης είναι η διαφορά μεταξύ της τάσης υδρατμών στην επιφάνεια εξάτμισης και αυτής της περιβάλλουσας ατμόσφαιρας. Όσο εξελίσσεται η διαδικασία της εξάτμισης, ο αέρας πλησίον της επιφάνειας εξάτμισης προσεγγίζει, σταδιακά, το στάδιο του κορεσμού και η διαδικασία επιβραδύνεται και μπορεί να σταματήσει εάν ο υγρός αέρας δεν μεταφερθεί στην ατμόσφαιρα. Η αντικατάσταση του κορεσμένου αέρα με ξηρότερο αέρα εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ταχύτητα του ανέμου. Ως εκ τούτου, η ηλιακή ακτινοβολία, η θερμοκρασία του αέρα, η υγρασία του αέρα και η ταχύτητα του ανέμου είναι κλιματολογικές παράμετροι που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την αξιολόγηση της διαδικασίας εξάτμισης. Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν τη διαδικασία εξάτμισης είναι ο βαθμός σκίασης του θόλου της καλλιέργειας και η ποσότητα νερού που είναι διαθέσιμη στην επιφάνεια εξάτμισης. Οι συχνές βροχοπτώσεις, το πότισμα και το νερό που μεταφέρεται προς τα πάνω σε ένα έδαφος από έναν ρηχό υδροφόρο ορίζοντα βρέχουν την επιφάνεια του εδάφους. Όταν το έδαφος είναι σε θέση να παρέχει νερό αρκετά γρήγορα για να ικανοποιήσει τη ζήτηση εξάτμισης, η εξάτμιση από το έδαφος καθορίζεται μόνο από τις μετεωρολογικές συνθήκες. Ωστόσο, όταν το διάστημα μεταξύ βροχών και άρδευσης γίνεται μεγάλο και η ικανότητα του εδάφους να μεταφέρει την υγρασία στην επιφάνεια είναι μικρή, η περιεκτικότητα σε νερό στο φυτικό έδαφος πέφτει και η επιφάνεια του εδάφους στεγνώνει. Υπό αυτές τις συνθήκες, η περιορισμένη διαθεσιμότητα νερού ασκεί ελεγκτική επίδραση στην εξάτμιση του εδάφους. Ελλείψει οποιασδήποτε παροχής νερού στην επιφάνεια του εδάφους, η εξάτμιση μειώνεται γρήγορα και μπορεί να σταματήσει σχεδόν εντελώς μέσα σε λίγες ημέρες.

Η διαπνοή ορίζεται ως η διαδικασία της εξάτμισης του νερού που περιέχεται στους φυτικούς ιστούς και της απελευθέρωσης των ατμών στην ατμόσφαιρα. Οι καλλιέργειες χάνουν κυρίως το νερό τους μέσω των στομάτων των φύλλων. Πρόκειται για μικρά ανοίγματα στο φύλλο του φυτού από τα οποία περνούν αέρια και υδρατμοί. Το νερό, μαζί με ορισμένα θρεπτικά συστατικά, προσλαμβάνεται από τις ρίζες και μεταφέρεται μέσω του φυτού. Η εξάτμιση συμβαίνει μέσα στο φύλλο, δηλαδή στους μεσοκυττάριους χώρους, και η ανταλλαγή ατμών με την ατμόσφαιρα ελέγχεται από το στοματικό άνοιγμα. Σχεδόν όλο το νερό που απορροφάτε χάνεται με τη διαπνοή και μόνο μία μικρή ποσότητα αξιοποιείται από το φυτό.



Σχήμα 18 Εξατμισοδιαπνοή (ET_o) αναφοράς καλλιεργειών υπό κανονικές (ET_c) συνθήκες (FAO, <https://www.fao.org/3/x0490e/x0490e04.htm>)

Η διαπνοή, όπως και η άμεση εξάτμιση, εξαρτάται από την παροχή ενέργειας, την κλίση της τάσης υδρατμών και τον άνεμο. Ως εκ τούτου, οι κλιματικές παράμετροι της ακτινοβολίας, της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας, της υγρασίας και της ταχύτητας του ανέμου θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την αξιολόγηση της διαπνοής. Η περιεκτικότητα σε νερό του εδάφους και η ικανότητα του εδάφους να μεταφέρει νερό στις ρίζες καθορίζουν επίσης τον ρυθμό διαπνοής, όπως και η υπερχειλίση και η αλατότητα του νερού του εδάφους. Ο ρυθμός διαπνοής επηρεάζεται επίσης από τα χαρακτηριστικά της καλλιεργείας, τις περιβαλλοντικές πτυχές και τις καλλιεργητικές πρακτικές (Σχήμα 18). Διαφορετικά είδη φυτών μπορεί να έχουν διαφορετικούς ρυθμούς διαπνοής. Κατά την αξιολόγηση της διαπνοής θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη όχι μόνο ο τύπος της καλλιεργείας, αλλά και η ανάπτυξη, το περιβάλλον και η διαχείριση της καλλιεργείας.

Η εξάτμιση και η διαπνοή συμβαίνουν ταυτόχρονα και είναι δύσκολος ο διαχωρισμός τους. Εκτός από τη διαθεσιμότητα νερού στο επιφανειακό έδαφος, η εξάτμιση από ένα καλλιεργημένο έδαφος καθορίζεται κυρίως από το κλάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας που

φτάνει στην επιφάνεια του εδάφους. Αυτό το κλάσμα μειώνεται κατά την περίοδο ανάπτυξης καθώς η καλλιέργεια αναπτύσσεται και ο θόλος της καλλιέργειας σκιάζει όλο και περισσότερο την επιφάνεια του εδάφους. Όταν η καλλιέργεια είναι μικρή, το νερό χάνεται κυρίως από την εξάτμιση του εδάφους, αλλά μόλις η καλλιέργεια αναπτυχθεί καλά και καλύψει πλήρως το έδαφος, η διαπνοή γίνεται η κύρια διαδικασία.

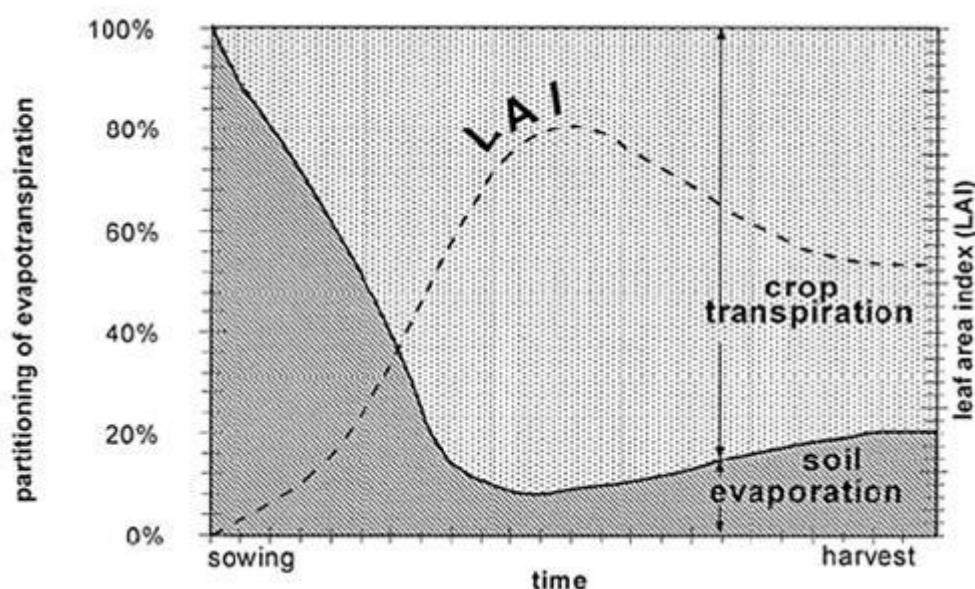


Figure 19 Διάγραμμα κατανομής εξατμισοδιαπνοής (Allen, R.G. et al (1998))

Στο Σχήμα 19 απεικονίζεται η κατανομή της εξατμισοδιαπνοής σε εξάτμιση και διαπνοή και απεικονίζεται σε αντιστοιχία με την επιφάνεια των φύλλων ανά μονάδα επιφάνειας εδάφους κάτω από αυτό. Κατά τη σπορά σχεδόν το 100% του ET προέρχεται από την εξάτμιση, ενώ στην πλήρη κάλυψη της καλλιέργειας περισσότερο από το 90% του ET προέρχεται από τη διαπνοή.

Μεγάλο πλήθος μεθόδων υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής, με την χρήση μετεωρολογικών δεδομένων, αναπτύχθηκαν τα τελευταία 50 χρόνια, από πολλούς ειδικούς και επιστήμονες ανά την υφήλιο. Πολλές μέθοδοι είναι εμπειρικές, ενώ άλλες εμπεριέχουν παραδοχές, οι οποίες γίνονται με γνώμονα τις εκάστοτε τοπικές κλιματικές ή γεωγραφικές ιδιαιτερότητες, καθιστώντας αδύνατο να εφαρμοστούν σε παγκόσμια κλίμακα. Αναδείχθηκε, λοιπόν, η ανάγκη να αναπτυχθούν συγκεκριμένες μέθοδοι υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής. Η μέθοδος Penman-Monteith του FAO διατηρείται ως η μόνη τυπική μέθοδος για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής καλλιέργειας αναφοράς (ETo) από μετεωρολογικά δεδομένα και περιγράφεται από την παρακάτω εξίσωση (1)

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34u_2)} \quad (1)$$

όπου:

ET_o: Εξατμισοδιαπνοή καλλιεργείας αναφοράς (χιλιοστόμετρα ανα ημέρα mm/day)

R_n: Ισοζύγιο ακτινοβολίας στην επιφάνεια της καλλιέργειας

G: Πυκνότητα ροής ενέργειας του εδάφους (MJ m⁻² day⁻¹)

T: Θερμοκρασία του αέρα σε ύψος 2m (°C)

u₂: Ταχύτητα ανέμου σε ύψος 2m (m s⁻¹)

e_s: Τάση υδρατμών στο σημείο κορεσμού (kPa)

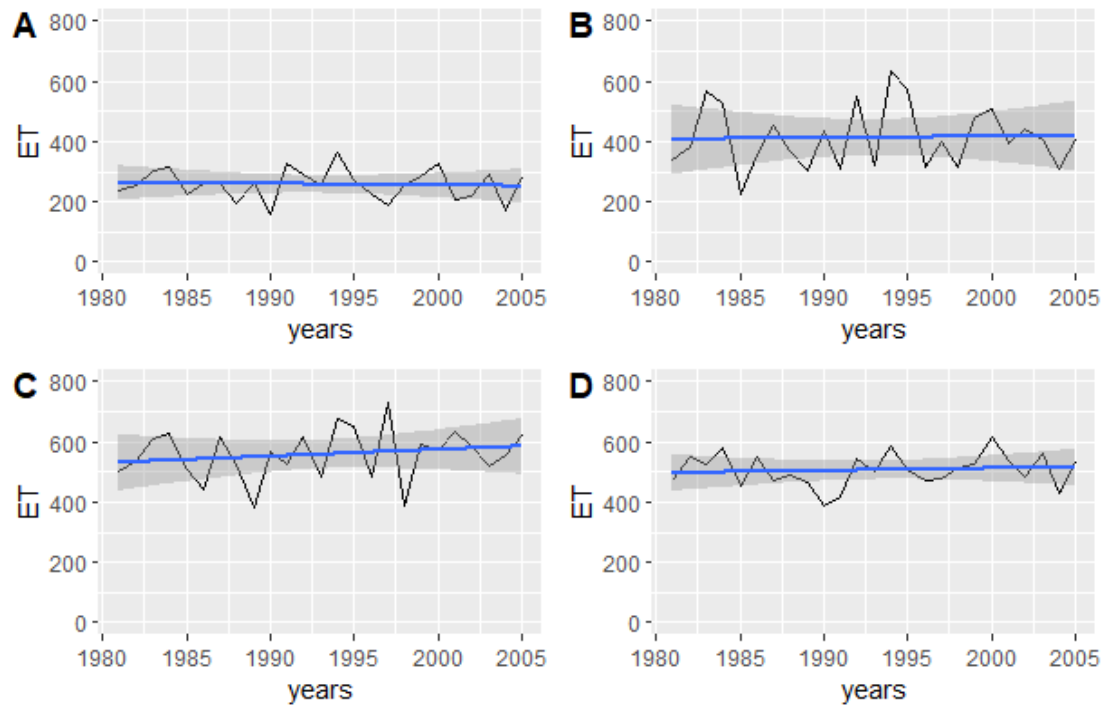
e_a: Πραγματική τάση υδρατμών (kPa)

e_s - e_a: Έλλειμα τάσης υδρατμών ως το σημείο κορεσμού (kPa)

Δ: Κλίση καμπύλης τάσης υδρατμών (kPa °C⁻¹)

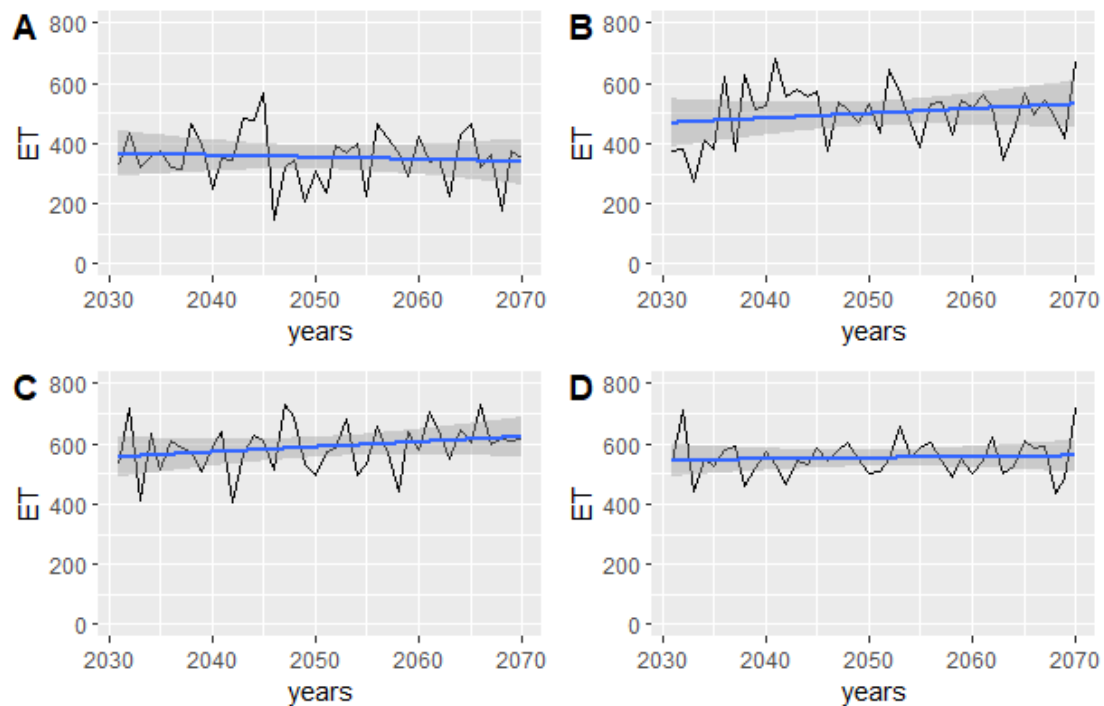
γ: Ψυχομετρική σταθερά (kPa °C⁻¹)

Η εξατμισοδιαπνοή, είναι ένας έμμεσος κλιματικός παράγοντας που επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις των διαφορετικών παραμέτρων που την επηρεάζουν. Η επίπτωση της κλιματικής αλλαγής με την αύξηση της θερμοκρασίας από τη μία μεριά αλλά και την μεταβολή της υγρασίας και του ανέμου από την άλλη έχει διαφορετική βαρύτητα στον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής. Από το σχήμα 20 φαίνεται ότι οι μήνες Ιούνιος και Ιούλιος είναι οι μήνες που εμφανίζουν την πιο έντονη διακύμανση, ενώ ο Μάιος και ο Αύγουστος δεν εμφανίζει σημαντικές διακυμάνσεις. Κατά τη διάρκεια της περιόδου αναφοράς φαίνεται ότι η εξατμισοδιαπνοή να μην παρουσιάζει κάποια σημαντική τάση αλλαγής, μόνο τον Ιούλιο φαίνεται να μία μικρή αυξητική τάση.



Σχήμα 20 Τάσεις της μέσης μηνιαίας Εξατμισοδιαπνοής των δεδομένων SHMI για τη περίοδο ανάφορας για το μέσο πεδίο της Χαλκιδικής για τη χρονική περίοδο (1981-2005) α) Μάιος, Β) Ιούνιος Γ) Ιούλιος και Δ) Αύγουστος

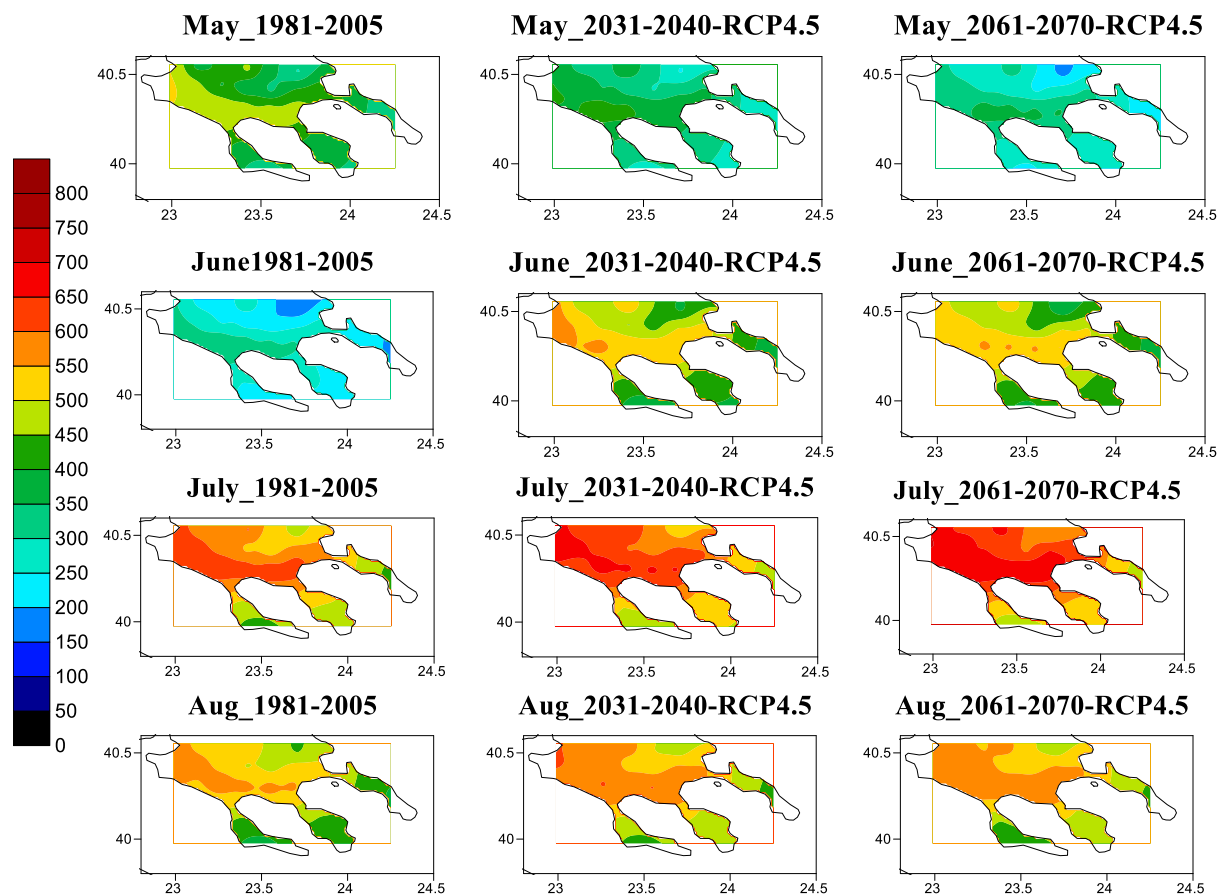
Στη περίπτωση των διακυμάνσεων της ET για τις μελλοντικές περιόδους φαίνεται ότι η εικόνα αυτή αλλάζει, με όλους τους μήνες να εμφανίζουν σημαντικές διακυμάνσεις (Σχήμα 21). Γεγονός που εξηγείται από τις σημαντικές αλλαγές στις κλιματικές παραμέτρους που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της ET. Από τη σύγκριση των δύο σχημάτων προκύπτει ότι σε όλους τους μήνες παρατηρείται αύξηση της μέσης μηνιαίας ET ενώ η εικόνα των τάσεων δεν αλλάζει. Ειδικότερα, για το Μάιο η μέση ET στη περίοδο αναφοράς και το μέσο πεδίο της Χαλκιδικής είναι της τάξης των 300mm, ενώ σύμφωνα με το σενάριο RCP8.5 η αντίστοιχη εξατμισοδιαπνοή αυξάνει από 50 έως και 100mm (ποσοστό 20-30%).



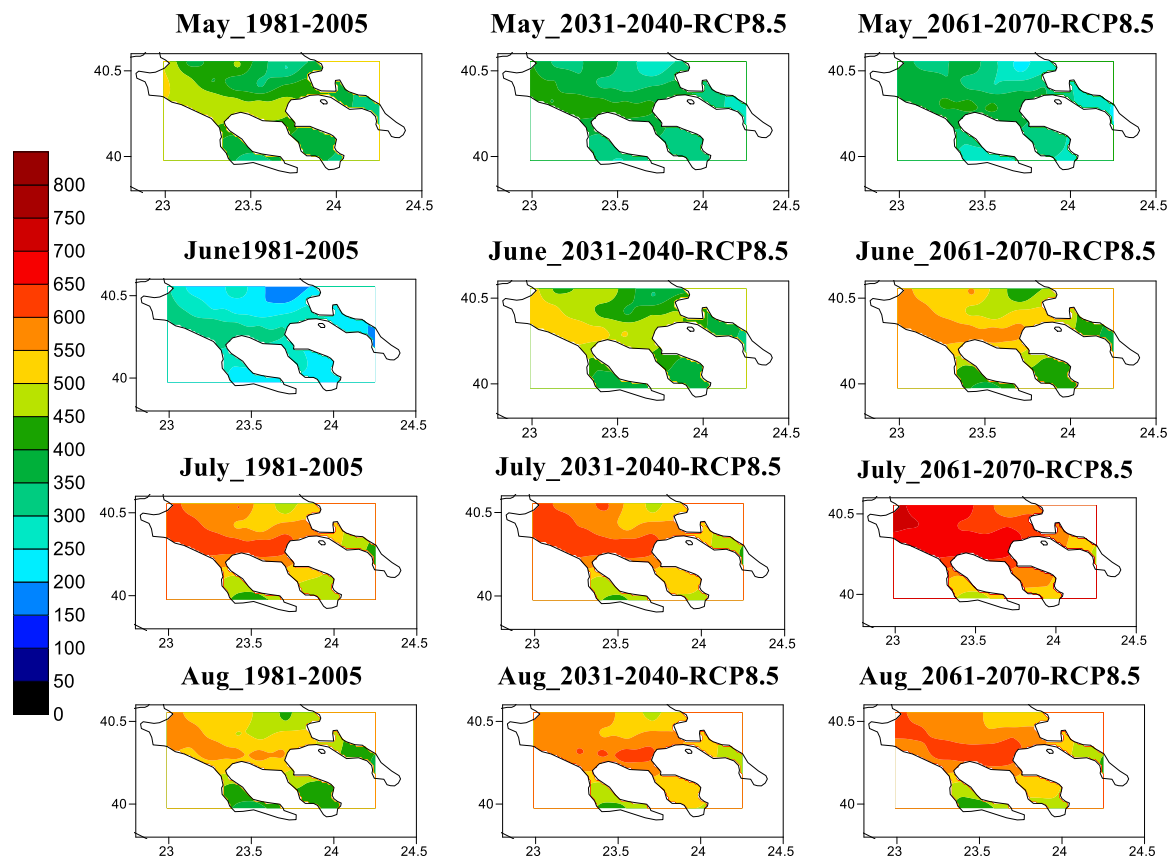
Σχήμα 21 Τάσεις της μέσης μηνιαίας Εξατμισοδιαπνοής των δεδομένων SHMI για το σενάριο RCP8.5 για το μέσο πεδίο της Χαλκιδικής για τη χρονική περίοδο (2031-2050) α) Μάιος, β) Ιούνιος γ) Ιούλιος και δ) Αύγουστος

Η χωρική κατανομή της μηνιαίας εξατμισοδιαπνοής (ΕΤ) παρουσιάζεται στα Σχήματα 22 και 23 για τη περίοδο αναφοράς και τις δύο μελλοντικές περιόδους (2031-2040 και 2061-2070). Έως και το τέλος της περιόδου μελέτης φαίνεται ότι η εξατμισοδιαπνοή θα αυξηθεί με διαφορετικό ρυθμό ανάλογα με το μήνα και το κλιματικό. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι σύμφωνα με το σενάριο RCP8.5, για το μήνα Μάιο, η εξατμισοδιαπνοή θα παρουσιάσει μία μέση αύξηση της τάξης του 40% σχεδόν σε ολόκληρη την περιοχή της Χαλκιδικής (Σχήμα 23). Τους θερινούς μήνες για το ίδιο σενάριο η αύξηση θα είναι της τάξης 10% εκτός από τον Ιούλιο που θα είναι λίγο μικρότερη. Οι αυξήσεις είναι αντίστοιχες με αυτές που θα καταγραφούν στην υπόλοιπη Μεσόγειο (Tanasijevic et al., 2014). Σε περιοχική κλίμακα, η μικρότερη αύξηση της ΕΤ είναι η ηπειρωτική περιοχή της Χαλκιδικής, όπου η ΕΤ στη περίοδο αναφοράς είναι μικρή. Η μεγαλύτερη αύξηση της ΕΤ προβλέφθηκε για τη περιοχή νότια της ηπειρωτικής Χαλκιδικής, στα σύνορα με τις Χερσονήσους της Κασσάνδρας και της Σιθωνίας περιοχές που καταγράφεται και η μέγιστη ελαιοκαλλιέργεια. Τα αποτελέσματα για το σενάριο RCP4.5 είναι αντίστοιχα με ελαφρά μικρότερες αυξήσεις (Σχήμα 22). Μια σχετικά μικρή διακύμανση των ΕΤ συμφωνεί με την υπόθεση ότι η αύξηση του CO₂ θα μπορούσε να μειώσει τη στοματική αγωγιμότητα, η οποία, με τη σειρά της, θα μπορούσε να μειώσει τη μεταφορά νερού στην ατμόσφαιρα και, συνεπώς, την εξατμισοδιαπνοή των καλλιεργειών (Kruijt et al., 2008). Ωστόσο, οι επιπτώσεις της αύξησης του CO₂

παρουσιάζουν κάποια αβεβαιότητα, καθώς οι επιπτώσεις της θερμοκρασίας στην αυξανόμενη εξατμισοδιαπνοή της ατμόσφαιρας θα μπορούσαν να είναι μεγαλύτερες από τις πιθανές επιπτώσεις της αύξησης του CO₂ (Lovelli et al., 2010, Pereira, 2011).



Σχήμα 22 Χωρική κατανομή της εξατμισοδιαπνοής για τους μήνες από Μάιο έως Αύγουστο, για τη περίοδο αναφοράς 1981-2005 (πρώτη στήλη) και τις δύο μελλοντικές περιόδους 2031-2040 (δεύτερη στήλη) και 2061-2070 (Τρίτη στήλη) σύμφωνα με το σενάριο RCP4.5

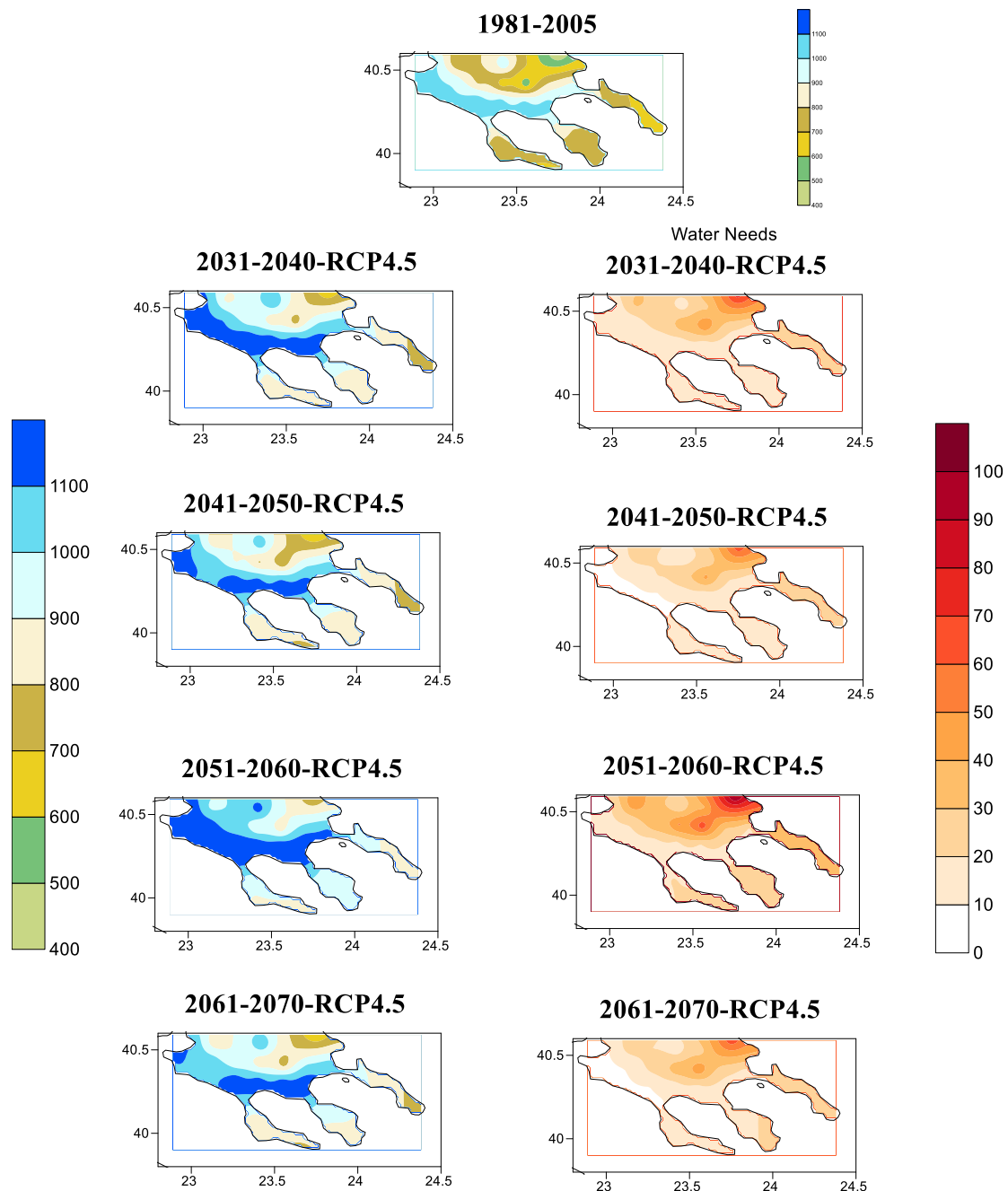


Σχήμα 23 Χωρική κατανομή της εξατμισοδιαπνοής για τους μήνες από Μάιο έως Αύγουστο, για τη περίοδο αναφοράς 1981-2005 (πρώτη στήλη) και τις δύο μελλοντικές περιόδους 2031-2040 (δεύτερη στήλη) και 2061-2070 (Τρίτη στήλη) σύμφωνα με το σενάριο RCP8.5

2.2 Καθαρές απαιτήσεις άρδευσης της ελιάς

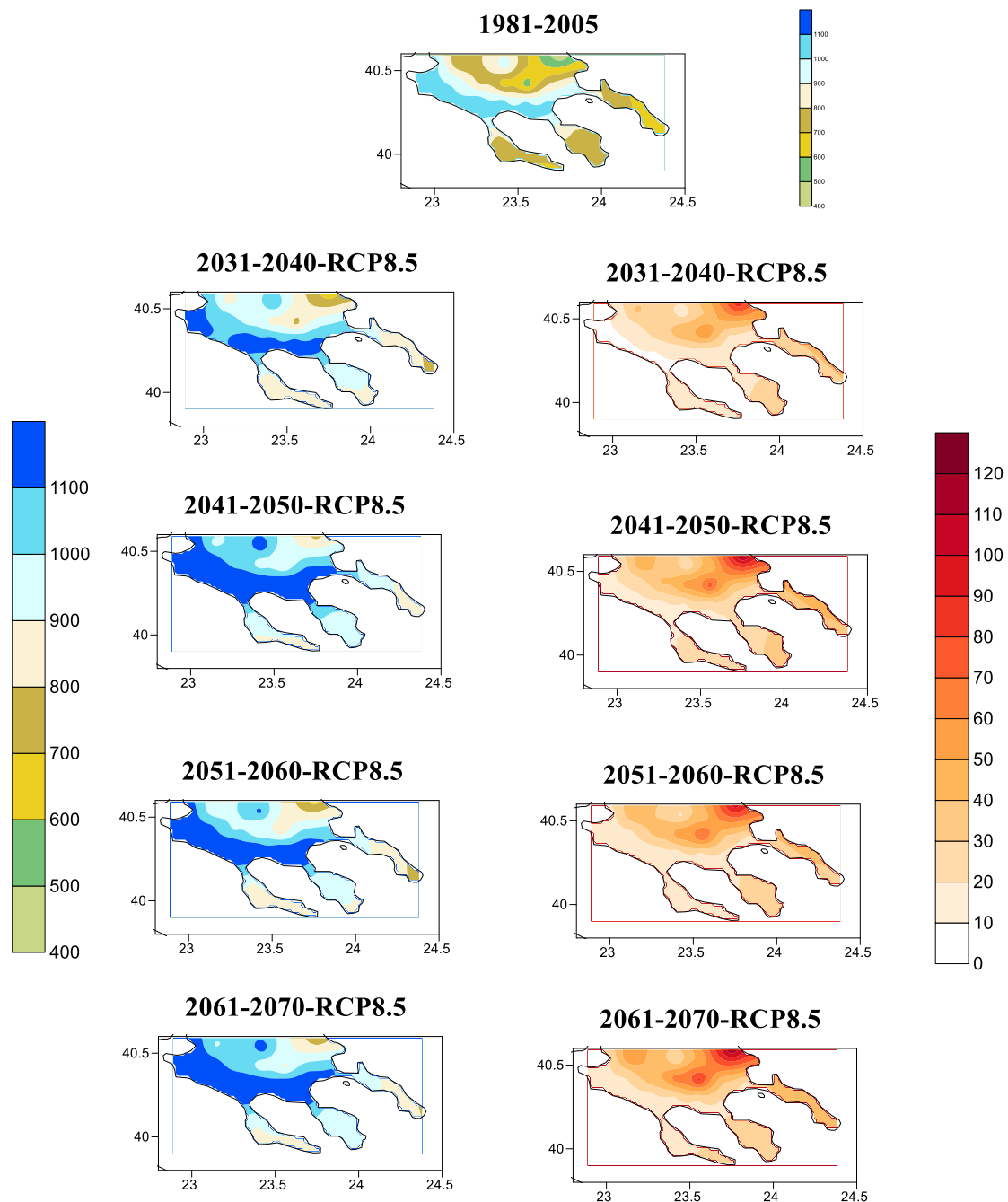
Παρά το γεγονός ότι τα ελαιόδεντρα είναι δέντρα ανθεκτικά στην ξηρασία (Connor et al., 2005), οι Tanasijevic et al.(2014) ισχυρίζονται ότι η υψηλότερη συχνότητα και σοβαρότητα των ξηρασιών στο μέλλον θα οδηγήσει σε μέση αύξηση 18.5% της ζήτησης άρδευσης στη Μεσόγειο και η καλλιέργεια ελιάς που χαρακτηρίζεται από συνθήκες που τροφοδοτούνται από βροχή μπορεί να μην είναι εφικτή υπό την κλιματική αλλαγή. Αντίστοιχα, για τη περιοχή της Πορτογαλίας οι Fraga et al. (2020c) δηλώνουν ότι, αν και οι υδάτινοι πόροι περιορίζονται υπό θερμότερα και ξηρότερα μελλοντικά κλίματα, η άρδευση μπορεί να είναι μια κατάλληλη στρατηγική προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή για τους ελαιοκαλλιεργητές. Οι Mairech et al. (2020), χρησιμοποιώντας μοντέλα άρδευσης, απέδειξαν ότι παρά την υψηλή κλιματική μεταβλητότητα που προβλέπεται στη λεκάνη της Μεσογείου, η ελλειμματική άρδευση μπορεί να θεωρηθεί βιώσιμη επιλογή διαχείρισης υπό τις παρούσες συνθήκες, μειώνοντας τις απαιτήσεις άρδευσης και αυξάνοντας την αποδοτικότητα της χρήσης νερού των καλλιεργειών. Σε ένα θερμότερο και ξηρότερο κλίμα,

όπως προβλέπεται για το μέλλον, οι μέγιστες ανάγκες σε νερό θα αυξηθούν, ειδικά στις νότιες περιοχές της Μεσογείου, οι αρδευόμενοι ελαιώνες για να μπορούν να αποδίδουν ικανοποιητικά, πρέπει να εφαρμόσουν κατάλληλες τεχνικές άρδευσης που να ικανοποιούνται από τις τρέχουσες ποσότητες νερού.



Σχήμα 24 Χωρική κατανομή των καθαρών απαιτήσεων άρδευσης σε νερό για το για τη περιοχή της Χαλκιδικής σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP4.5 (πρώτη στήλη) και οι σχετικές διαφορές σε ποσοστό (%) σε σχέση με τη περίοδο αναφοράς 1981-2005 (δεύτερη στήλη).

Η χωρική κατανομή των απαιτήσεων σε νερό της ελιάς στη περιοχή της Χαλκιδικής παρουσιάζονται στα Σχήματα 24 και 25 για τη περίοδο αναφοράς και τις μελλοντικές περιόδους για τα δύο κλιματικά σενάρια καθώς και η διαφορά μεταξύ των δύο. Οι μεγαλύτερες ανάγκες σε νερό παρατηρούνται στις νότιο-νοτιοδυτικές περιοχές της Χαλκιδικής που χαρακτηρίζονται έντονα από ξηρασία. Στις περιοχές αυτές οι ελαιώνες απαιτούν πολύ μεγάλη ποσότητα νερού, η οποία πιθανά στο μέλλον να μην είναι διαθέσιμη.



Σχήμα 25 Χωρική κατανομή των καθαρών απαιτήσεων άρδευσης σε νερό για το για τη περιοχή της Χαλκιδικής σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP8.5 (πρώτη στήλη) και οι σχετικές διαφορές σε ποσοστό (%) σε σχέση με τη περίοδο αναφοράς 1981-2005 (δεύτερη στήλη).

Οι ανάγκες σε νερό για την καλλιέργεια της ελιάς αναμένεται να αυξηθούν με ορίζοντα του 2070 παντού στη Χαλκιδική. Σύμφωνα με το σενάριο RCP8.5, σε ολόκληρη την περιοχή της Χαλκιδικής εκτιμάται μία συνολική αύξηση της τάξης των 150-250mm περίπου 25-35%, ανάλογα με τη μελλοντική δεκαετία. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι θα υπάρξει ανάγκη άρδευσης και σε περιοχές όπου στην περίοδο αναφοράς είχαν σχετική επάρκεια. Το βόρειο κεντρικό τμήμα της Χαλκιδικής παρουσιάζει τη μεγαλύτερη αύξηση του αναγκών νερού (έως 200 mm), ενώ στη νότια Χαλκιδική οι απαιτήσεις σε νερό θα αυξηθούν έως και 100-150 mm τη σεζόν. Παρόμοια αύξηση των απαιτήσεων νερού για την καλλιέργεια αναμένεται και με το σενάριο RCP4.5 λόγω της προβλεπόμενης αύξησης της θερμοκρασίας και μείωσης των βροχοπτώσεων στο μέλλον. Στις ελαιοκαλλιεργήσιμες περιοχές, οι απαιτήσεις σε νερό αναμένεται να είναι αρκετά μεγάλες έως το 2070 (έως 1100 mm), οι μεγαλύτερες σε σχέση με τις υπόλοιπες περιοχές στην Μεσόγειο. Ως εκ τούτου, η μελλοντική καλλιέργεια ελιών θα μπορούσε να εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη διαθεσιμότητα υδάτινων πόρων για άρδευση.

2.3 Βαθμομονάδες ψύχους (chilling units) για τη διακοπή του λήθαργου των οφθαλμών της ελιάς

Η πρόβλεψη της σταδιακής ανάπτυξης των ελαιόδεντρων είναι σημαντική για διάφορους σκοπούς: (α) την αξιολόγηση της θερμικής προσαρμογής σε νέα περιβάλλοντα χωρίς προηγούμενη εμπειρία ελαιοκαλλιέργειας. β) διαχείριση επιβλαβών οργανισμών, δεδομένου ότι ο κύκλος και οι επιπτώσεις των επιβλαβών οργανισμών συνδέονται με τη φαινολογική ανάπτυξη του δέντρου· γ) μοντέλα απόδοσης, δεδομένου ότι η απόδοση επηρεάζεται από τις περιβαλλοντικές συνθήκες κατά τη διάρκεια της ανθοφορίας και η κατανομή των υδατανθράκων στο δέντρο εξαρτάται από το φαινολογικό στάδιο· δ) διαχείριση καλλιεργειών: χρήση αγροχημικών προϊόντων, διαχείριση άρδευσης, προγραμματισμός κλαδέματος και συγκομιδής· ε) κίνδυνοι για την ανθρώπινη υγεία: πρόβλεψη της συγκέντρωσης γύρης στον αέρα.

Στην περιοχή της Χαλκιδικής, η ανθοφορία των ελιών καταγράφεται μεταξύ Απριλίου και Μαΐου. Οι ημερομηνίες ανθοφορίας της ελιάς που εκτιμήθηκαν σε αυτή την εργασία για το παρόν ταιριάζουν καλά με τα δεδομένα που αναφέρθηκαν σε προηγούμενες μελέτες για διάφορες τοποθεσίες στη Μεσόγειο (Tanasijevic et al., 2014)). Θα αναμένονταν ακριβέστερες εκτιμήσεις με τη χρήση τοπικών μοντέλων ανάπτυξης των καλλιεργειών, αλλά η επέκτασή τους σε ολόκληρη την περιοχή της Μεσογείου θα μπορούσε να είναι δύσκολη. Ωστόσο, οι δυνητικά κατάλληλες εκτάσεις και η διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου

φαίνεται γενικά να αντικατοπτρίζουν την πραγματικότητα και τα αποτελέσματα για το παρόν σενάριο έχουν δείξει ότι συγκρίνονται καλά με τα βιβλιογραφικά δεδομένα (Tanasijevic et al., 2014).

Ο λήθαργος είναι ένα φυσιολογικό φαινόμενο που προκύπτει από την προσαρμογή της πλειοψηφίας των δέντρων στα μεσαία γεωγραφικά πλάτη (Camproy et al. 2011), . Το κλίμα σε αυτές τις περιοχές χαρακτηρίζεται από έντονη εποχικότητα και εναλλασσόμενες ευνοϊκές και μη ευνοϊκές περιόδους για την ανάπτυξη των φυτών, σύμφωνα με τις θερμικές συνθήκες που επηρεάζονται από τις περιοδικές εποχές. Αυτή η συμπεριφορά σχετίζεται με την αντοχή στον παγετό και επιτρέπει στα φυτά να προστατεύουν τους φυτικούς και αναπαραγωγικούς ιστούς τους σε δυσμενείς συνθήκες, κυρίως χαμηλές θερμοκρασίες το χειμώνα (Luedeling, 2012). Άλλες περιοριστικές περιβαλλοντικές συνθήκες, όπως οι έντονες καλοκαιρινές ξηρασίες, μπορεί επίσης να ωθήσουν τα φυτά να ξεκινήσουν μια συγκεκριμένη λανθάνουσα περίοδο με διαφορετική βιολογική σημασία (Lang, 1987).

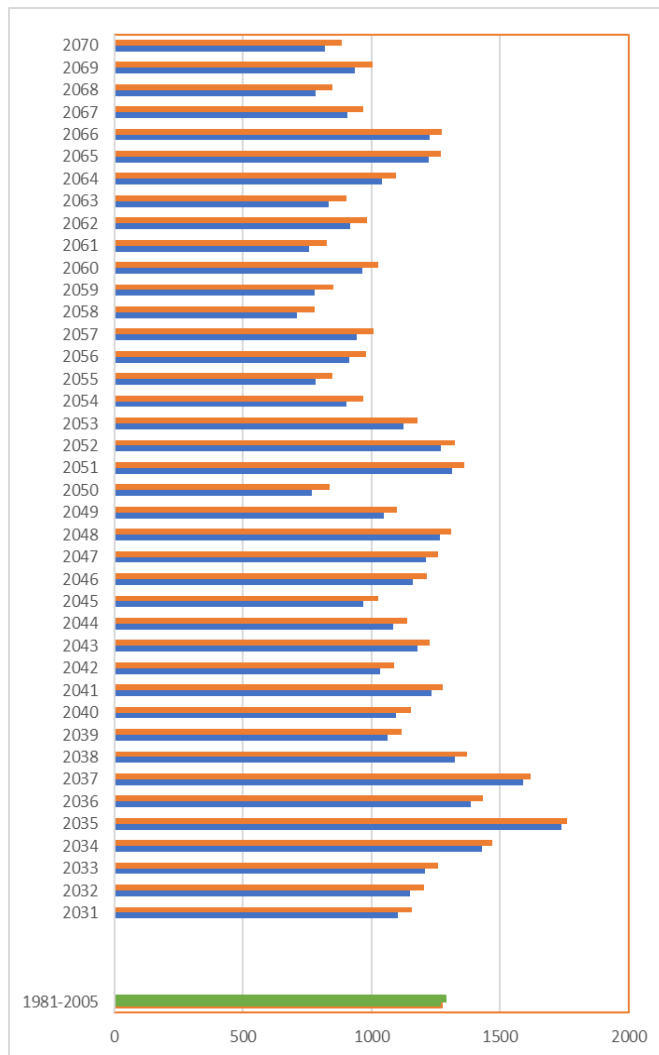
Το χειμώνα, τα ελαιόδεντρα απαιτούν ειδικές απαιτήσεις ψύξης για να διακόψουν τον λήθαργο των οφθαλμών (Orlandi et al., 2004). Η περίοδος κατά την οποία πληρούνται αυτές οι απαιτήσεις ψύξης είναι γνωστή ως ενδο-λήθαργος ή κύριος λήθαργος (endodormancy). Οι μονάδες ψύξης συσσωρεύονται κατά τη διάρκεια του κύριου λήθαργου μέχρι να επιτευχθεί ένα συγκεκριμένο όριο[16]. Σε αυτή τη φάση, οι ανθοφόροι οφθαλμοί είναι έτοιμοι να ενεργοποιήσουν την ανθοφορία και πρέπει να συγκεντρώσουν σχετικά θερμές θερμοκρασίες (απαιτήσεις θερμότητας) για να ξεκινήσουν τη μεταβολική τους ανάπτυξη, την εμφάνιση των μπουμπουκιών και την ανάπτυξη ταξιανθιών (περίοδος άνθισης και βλάστησης). Η συγκέντρωση χειμερινών ημερών ψύχους δεν μπορεί να παρατηρηθεί εύκολα χωρίς πειραματισμό, οπότε λίγα είναι γνωστά για το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα κατά το οποίο τα δέντρα συσσωρεύουν χειμερινές μονάδες ψύχους (Rallo and Martin, 1991) και τη σημασία της για τις περιόδους άνθισης και βλάστησης (Rajo et al., 2020).

Η φωτοπερίοδος δεν έχει σημαντική επίδραση στην παραγωγή ταξιανθιών, αλλά απαιτούνται χαμηλές θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια του χειμώνα (Hackett and Hartmann, 1964). Η έκπτυξη των ανθών πραγματοποιείται στο τέλος του χειμώνα στους αφθαλμούς του προηγούμενου έτους και η απελευθέρωση του λήθαργου των ανθικών οφθαλμών συμβαίνει κάθε φορά που τα δέντρα έχουν εκτεθεί σε μια αρκετά μεγάλη περίοδο ψυχρών θερμοκρασιών (Pinney and Polito, 1989; FernandezEscobar et al., 1992). Οι Badr and Hartmann (1972) και Rallo and Martin (1991) έδειξαν ότι η χειμερινή ψύξη σχετίζεται με μια αλλαγή στην αναλογία μεταξύ ενδογενών γιββερελλίνων και ορισμένων αναστολέων

ανάπτυξης. Η απαίτηση ψύξης της ελιάς εξηγεί την απουσία ανθοφορίας σε θερμές χειμερινές περιοχές, καθιστώντας τις ακατάλληλες για την παραγωγή ελιάς. Η ατελής ψύξη καθυστερεί την απελευθέρωση συγκεκριμένων χημικών ουσιών και συνεπώς την πρώτη ανθοφορία και επεκτείνει την περίοδο ανθοφορίας (Barranco et al., 1994).

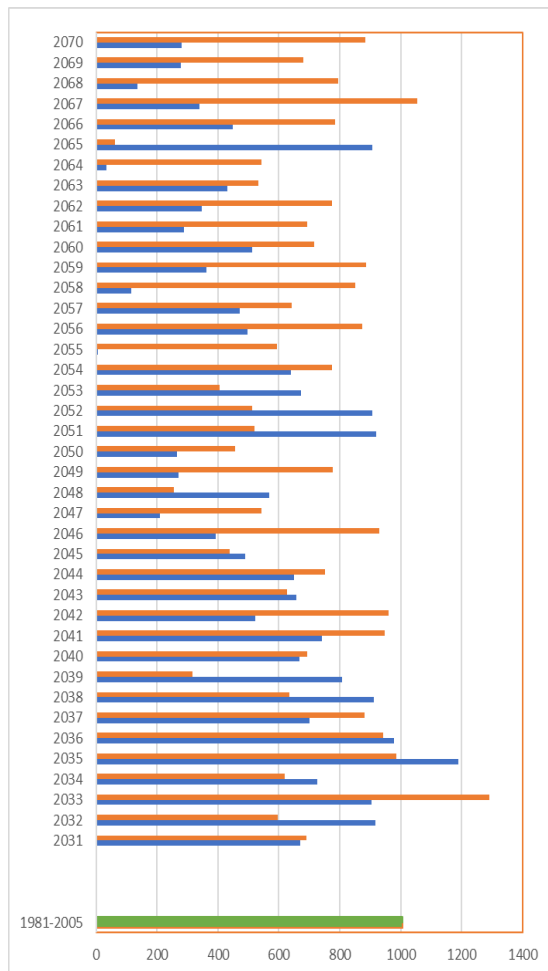
Η μορφολογική ανάπτυξη των ανθικών μπουμπουκιών ακολουθεί την επεξεργασία χαμηλής θερμοκρασίας που τους επιτρέπει να αναπτύσσονται σε υψηλότερες θερμοκρασίες. Μετά το διάλειμμα οφθαλμού, ο χρόνος ανθοφορίας μειώνεται καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία. Επίσης, οι υψηλές θερμοκρασίες συντομεύουν την περίοδο ανθοφορίας (Barranco et al., 1994). Στις περισσότερες ελαιοκομικές περιοχές αυτή η φάση συμβαίνει κατά τη διάρκεια της άνοιξης. Το ποσοστό των λουλουδιών που καρποφορούν είναι πολύ χαμηλό (λιγότερο από 5%) και σε ορισμένες ποικιλίες μπορεί να βελτιωθεί με διασταυρούμενη επικονίαση.

Δύο διαφορετικά μοντέλα υπολογισμού μονάδων ψύχους χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη. Το πρώτο ήταν το Chandler μοντέλο ωρών ψύξης (Chandler, 1942; Gabaldón-Leal et al., 2017) , το οποίο αθροίζει όλες τις ώρες με θερμοκρασίες μεταξύ 0 και 7,2 °C. Αυτή η προσέγγιση έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως στους υπολογισμούς ψύξης ελιάς. Το δεύτερο είναι το Utah μοντέλο, το οποίο καθορίζει την αποτελεσματικότητα της ψύξης σύμφωνα με διαφορετικά βάρη με βάση τα ωριαία όρια θερμοκρασίας. Το Utah μοντέλο δεν αποδίδει αθροιστική ψύξης σε θερμοκρασίες κάτω των 1,4 °C. Αποδίδει αθροιστική τιμή 0,5 για θερμοκρασίες μεταξύ 1,4 και 2,4 °C και μεταξύ 9,1 και 12,4 °C και αθροιστική τιμή 1 για θερμοκρασίες μεταξύ 2,4 και 9,1 °C. Το Utah μοντέλο αποδίδει μείωση για την αποτελεσματικότητα της ψύξης με βάση αρνητική αθροιστική τιμή -0,5 για θερμοκρασίες μεταξύ 15,9 και 18 °C και -1 για θερμοκρασίες άνω των 18 °C.



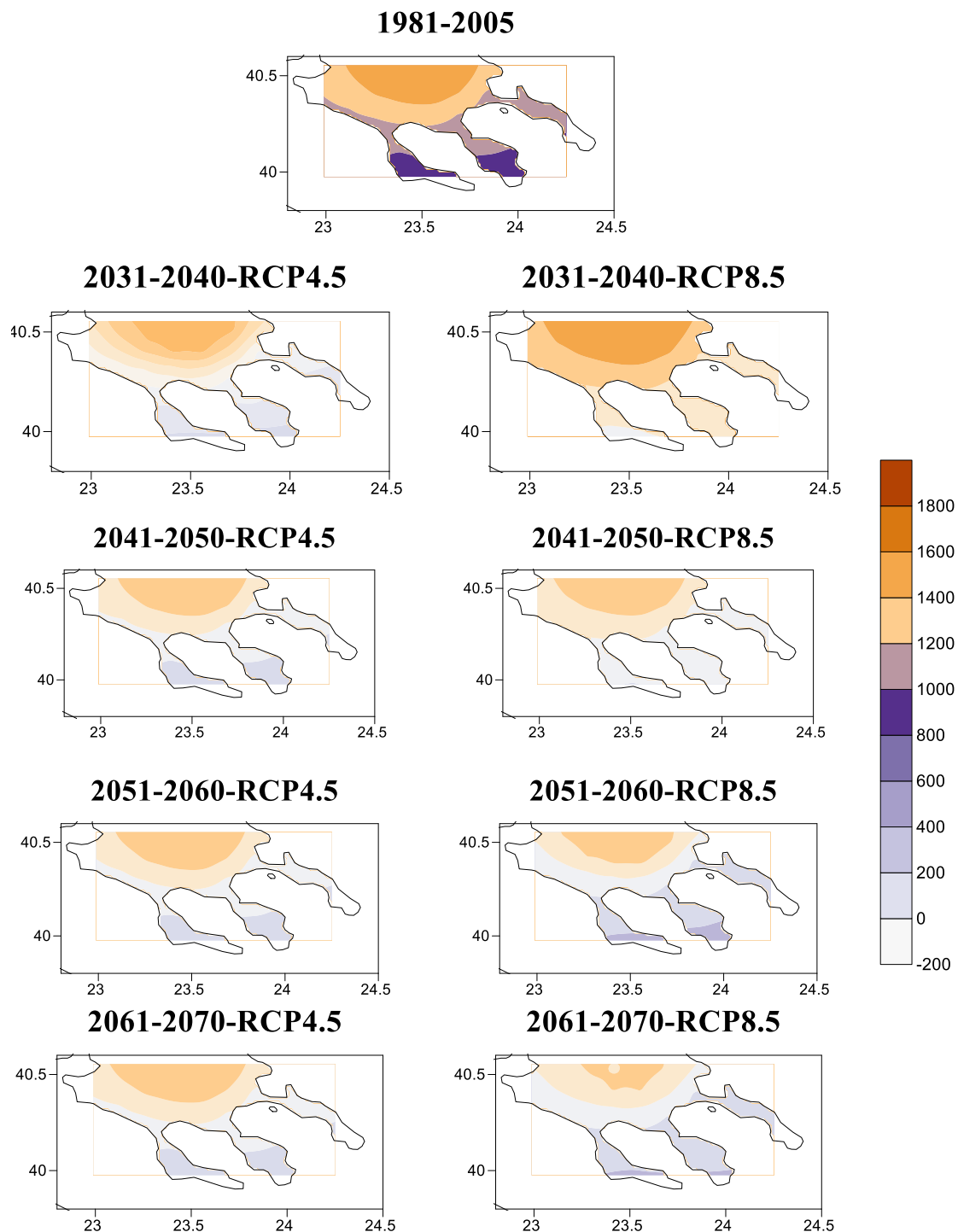
Σχήμα 26 Εκτίμηση βαθμομονάδων ψύξης σύμφωνα με το μοντέλο Chandler μοντέλο για την μελλοντική περίοδο, για το σενάριο RCP4.5 (πορτοκαλί μπάρα) και το σενάριο RCP8.5 (μπλε μπάρα). Η πράσινη μπάρα αναφέρεται στις βαθμομονάδες ψύχους της περιόδου αναφοράς.

Προβλέπεται μείωση των βαθμομονάδων ψύχους στις μελλοντικές δεκαετίες (Σχήμα 26 και 27) σε ολόκληρη την περιοχή της Χαλκιδικής που είναι κατάλληλη για ελαιοκαλλιέργεια λόγω της προβλεπόμενης αύξησης της θερμοκρασίας. Οι μονάδες ψύχους (chilling units) που έχουν εκτιμηθεί με το μοντέλο Chandler για το μέσο πεδίο της Χαλκιδικής φτάνει σχεδόν τις 1200 μονάδες (Σχήμα 26) κατά μέσο όρο. Τις επόμενες δεκαετίες φαίνεται καθαρά ότι λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας για την πλειονότητα των ετών δεν θα καταφέρουν να συγκεντρώσουν τις απαραίτητες βαθμομονάδες ψύχους για να μπορέσει να γίνει η διακοπή του λήθαργου των ανθικών οφθαλμών της ελιάς.



Σχήμα 27 Εκτίμηση βαθμομονάδων ψύξης σύμφωνα με το μοντέλο Utach μοντέλο για την μελλοντική περίοδο, για το σενάριο RCP4.5 (πορτοκαλί μπάρα) και το σενάριο RCP8.5 (μπλε μπάρα). Η πράσινη μπάρα αναφέρεται στις βαθμομονάδες ψύχους της περιόδου αναφοράς

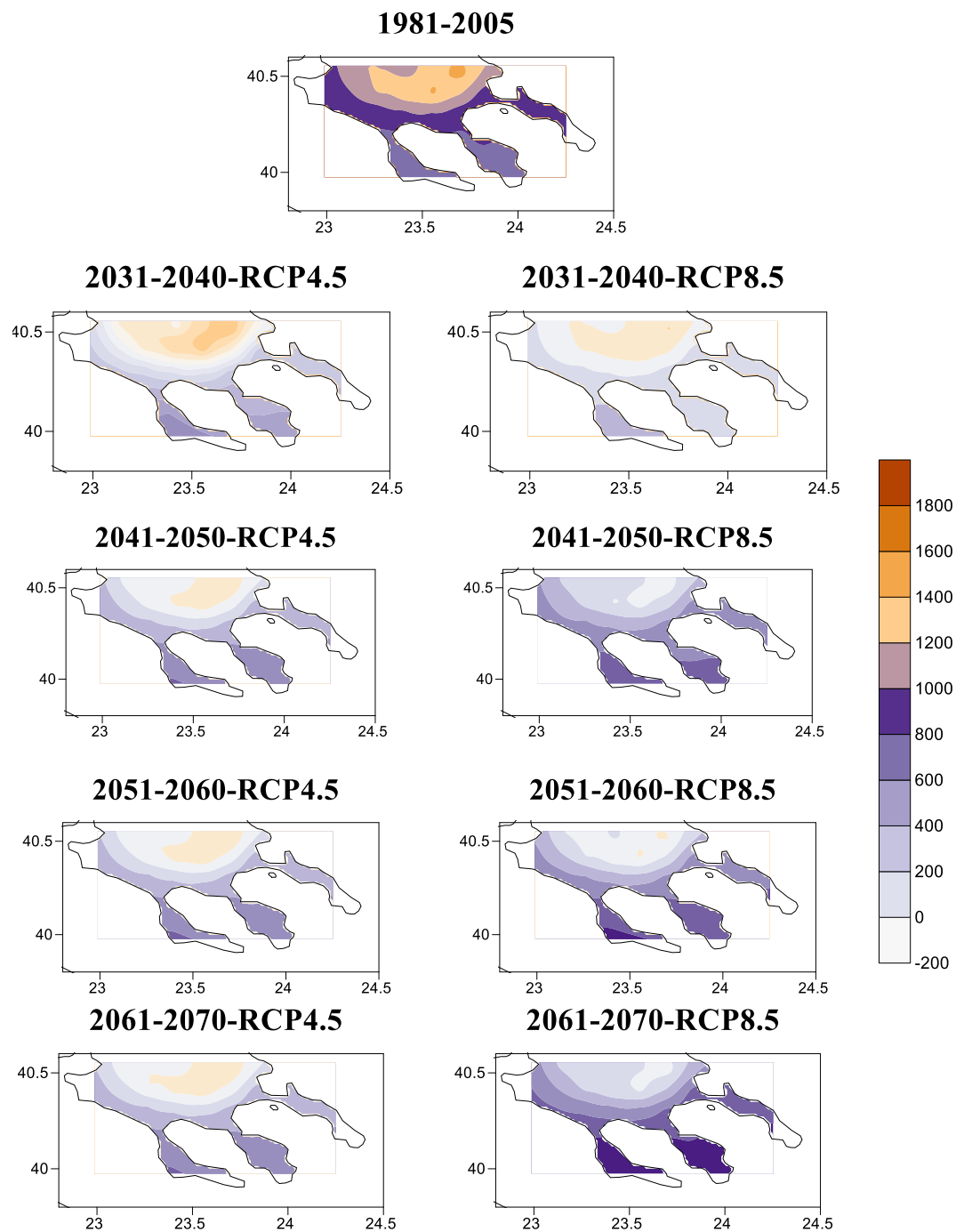
Είναι χαρακτηριστικό ότι οι βαθμομονάδες ψύχους στη τελευταία μελλοντική δεκαετία θα είναι πολύ κάτω από 1000 μονάδες, μία μείωση που αντιστοιχεί περίπου στο 35 με 40%. Τα αποτελέσματα είναι παρόμοια και για τα δύο κλιματικά σενάρια. Σύμφωνα με το Σχήμα 28 φαίνεται ότι σημαντικές μειώσεις θα παρουσιαστούν στην ηπειρωτική Χαλκιδική αλλά και τα όρια αυτής με τις Χερσόνησους της Κασσάνδρας και της Σιθωνίας. Παρόμοια εικόνα εμφανίζουν οι βαθμομονάδες ψύχους όταν υπολογιστούν με το μοντέλο Utach. Στη περίπτωση αυτή οι τιμές είναι λίγο πιο χαμηλές αλλά η διακύμανση και πτωτική τάση είναι παρόμοιες και για τα δύο μελλοντικά σενάρια (Σχήμα 27 και Σχήμα 29).



Σχήμα 28 Χωρική κατανομή των βαθμομονάδων ψύχους σύμφωνα με το μοντέλο Chandler μοντέλο για την μελλοντική περίοδο, για το σενάριο RCP4.5 (πρώτη στήλη) και το σενάριο RCP8.5 (δεύτερη στήλη)

Αξιοσημείωτη είναι η σημαντική μείωση των βαθμομονάδων ψύχους που προβλέπει το Utach μοντέλο για το πιο απαισιόδοξο μελλοντικό σενάριο (RCP8.5 Σχήμα 27), όπου παρατηρείται μείωση μεγαλύτερη από 50%. Ειδικότερα, παρατηρείται ότι οι μέγιστες τιμές του βαθμομονάδων ψύχους θα μειωθούν 30-40%, ενώ η μείωση στις ελάχιστες είναι ακόμα

πιο σημαντική και θα φτάσει έως και 100%. Οι μειώσεις στο RCP4.5 για τις ελάχιστες βαθμομονάδες ψύχους θα είναι 60-70%.



Σχήμα 29 Χωρική κατανομή των βαθμομονάδων ψύχους σύμφωνα με το μοντέλο Utach μοντέλο για την μελλοντική περίοδο, για το σενάριο RCP4.5 (πρώτη στήλη) και το σενάριο RCP8.5 (δεύτερη στήλη).

Σε περιοχές όπου δεν συμπληρώνονται όλες οι απαιτήσεις των ελαιόδεντρων σε χαμηλές θερμοκρασίες παρατηρείται ανεπαρκής διακοπή του λήθαργου με τα εξής αποτελέσματα: 1) Νέκρωση και πτώση οφθαλμών, 2) Παρατεταμένη έκπτυξη οφθαλμών, 3) Παρατεταμένη περίοδος άνθησης 4) Μειωμένη ανθοφορία, 5) Όχι καλά αναπτυγμένα ανθικά μέρη, 6)

Μειωμένη καρπόδεση, 7) Μειωμένη καρποφορία, 8) Υποβαθμισμένη ποιότητα καρπών (σχήμα – μέγεθος), 9) Ασθενική βλάστηση.

Τα δέντρα όχι μόνο δεν είναι παραγωγικά αλλά όταν η ανεπαρκής διακοπή του λήθαργου συμβαίνει για πολλά χρόνια, παρατηρείται σταδιακή εξασθένηση και νέκρωση των δέντρων.

2.4 Εχθροί της ελιάς: η περίπτωση του πυρηνοτρύτη

Οι σημαντικότεροι εχθροί της ελιάς είναι ο δάκος (*Bactrocera oleae*), ο πυρηνοτρύτης (*Prays oleae*) και το λεκάνιο (*Saissetia oleae*). Και τα τρία είναι διαδεδομένα ευρέως στην περιοχή της Μεσογείου προκαλώντας σημαντικές οικονομικές απώλειες.

Τα τελευταία χρόνια όλο και περισσότερα καταγράφονται στοιχεία για τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στα φυσικά και αγροοικοσυστήματα στη λεκάνη της Μεσογείου, μια περιοχή που είναι γνωστή για την ευαισθησία της στους καύσωνες και την ξηρασία. Η ελαιοκαλλιέργεια είναι μία από τις κύριες πηγές εισοδήματος για τη Μεσογειακή αγροοικονομία και θεωρείται ευαίσθητος δείκτης της κλιματικής αλλαγής λόγω της στενής σχέσης μεταξύ της βιολογίας της ελιάς και της θερμοκρασίας. Παρά την οικονομική σημασία της ελιάς, λίγες μελέτες είναι σήμερα διαθέσιμες σχετικά με τις συνέπειες που μπορεί να έχει η παγκόσμια θέρμανση στους εχθρούς της. Μεταξύ των κλιματικών παραμέτρων, η θερμοκρασία είναι η βασική που επηρεάζει τη σχέση μεταξύ της ελιάς και των πιο απειλητικών εχθρών της ελιάς και ιδιαίτερα του πυρηνοτρύτη.

Ειδικότερα, ο πυρηνοτρύτης ή σκώρος των ελιών φαίνεται να έχει την ίδια προέλευση με το ελαιόδενδρο. Ήταν γνωστός ως παράσιτο της ελιάς στους πρώιμους ιστορικούς χρόνους, όπως εμφανίζεται από τις περιγραφές στα αρχαία ελληνικά και ρωμαϊκά κείμενα. Υπάρχει σε όλες τις ελαιοκομικές χώρες της Μεσογείου.

Οι κλιματολογικές συνθήκες έχουν σημαντική επίδραση στην παρουσία του πυρηνοτρύτη. Τα αυγά και οι νεαρές προνύμφες είναι ιδιαίτερα τρωτά σε συνθήκες χαμηλής σχετικής υγρασίας και υψηλές θερμοκρασίες.

Με σχετική υγρασία μικρότερη από 60%, τα αυγά αφυδατώνονται μέσα σε μερικές ώρες, ανεξάρτητα από τη θερμοκρασία. Επίσης, οι νεαρές προνύμφες δεν επιβιώνουν σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 30°C.

Η παγκόσμια κλιματική αλλαγή μπορεί να επηρεάσει τη δυναμική του πληθυσμού των εντόμων καθώς και τις εστίες επιβλαβών οργανισμών (Marchi et al., 2016). Η ικανότητα του *Prays oleae*

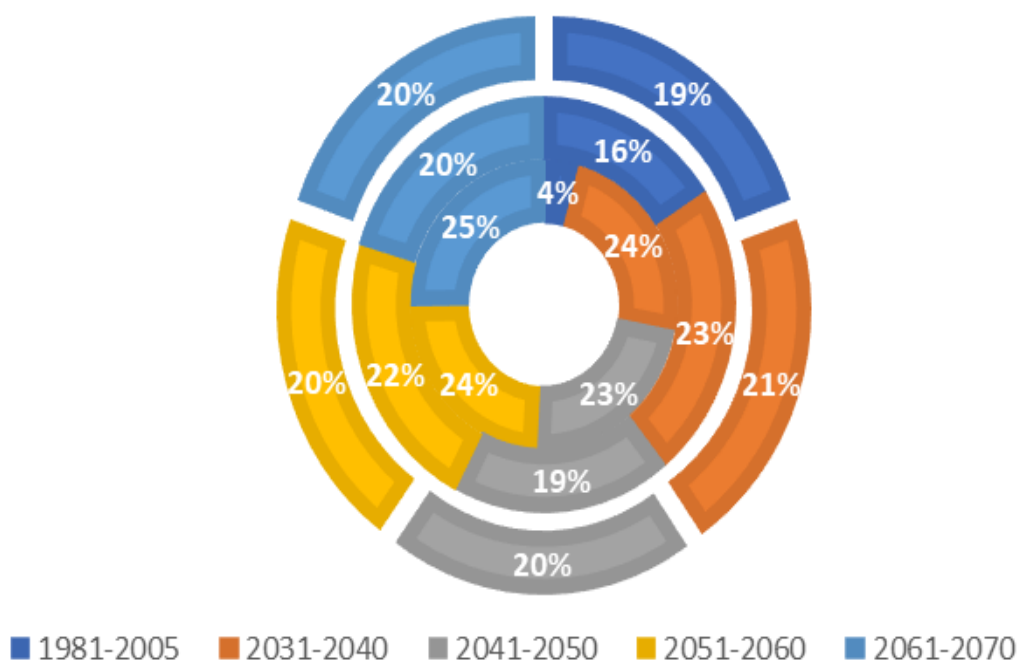
να πετάει για μεγάλες αποστάσεις και η κακή γνώση σχετικά με την παραγωγή διαχείμασης μπορεί να επηρεάσουν την παρακολούθηση του εντόμου και κατά συνέπεια την πρόβλεψη του κινδύνου προσβολής (Petacchi et al., 2014). Η χρήση κλιματικών μοντέλων πρόβλεψης είναι απαραίτητη για τη βελτίωση των στρατηγικών ελέγχου των παρασίτων, την αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και τη βελτίωση της ποιότητας των προϊόντων (Petacchi et al., 2014). Τα μοντέλα που βασίζονται σε μεγάλης διάρκειας δεδομένα, που αφορούν τόσο τη δυναμική του πληθυσμού των εντόμων όσο και τις κλιματικές παραμέτρους, είναι σημαντικά για την οργάνωση κατάλληλων στρατηγικών καταπολέμησης παρασίτων. Ακόμα κι αν το *Prays oleae* είναι ένα από τα κύρια παράσιτα της ελιάς παγκοσμίως, λίγες μελέτες έχουν γίνει επί του παρόντος σχετικά με την προγνωστική μοντελοποίηση της δυναμικής του πληθυσμού του πυρηνοτρήτη της ελιάς, ιδιαίτερα σε ένα σενάριο κλιματικής αλλαγής.

Για τη μελέτη της επίδρασης της κλιματικής αλλαγής, και ειδικότερα της αύξησης της θερμοκρασίας υπολογίστηκαν οι βαθμομονάδες για την ανθόβια γενιά του εντόμου, για την καρπόβια γενιά του εντόμου και τέλος για την φυλλόβια γενιά του εντόμου. Σύμφωνα με τα αρχεία του Περιφερειακού Κέντρου Προστασίας Φυτών Θεσσαλονίκης επιλέχθηκαν βασικές χρονικές περίοδοι για τις τρεις γενιές (Πίνακας 8). Κατώτερο όριο ανάπτυξης θεωρήθηκαν οι 11°C και ανώτερο όριο ανάπτυξης θεωρήθηκαν οι 30 °C

Πίνακας 8 Περίοδοι εμφάνισης πυρηνοτρυτή για τις τρεις γενιές

	Ανθόβια Γενιά	Καρπόβια γενιά	Φυλλόβια γενιά
Εμφάνιση	15/4	27/5	1/9
Κορύφωση	8/5	7/6	20/9

Από την μελέτη των βαθμομονάδων σε σχέση με τις διαφορετικές γενεές του πυρηνοτρυτή προέκυψαν πολύ ενδιαφέροντα συμπεράσματα. Η μεγαλύτερη μεταβολή σε σχέση με τη περίοδο αναφοράς παρατηρείται στη ανθόβια γενεά (Σχήμα 30, Πίνακας 9), όπου υπάρχει μία αύξηση μεγαλύτερη από 200% στις περισσότερες περιοχές της Χαλκιδικής. Η αύξηση αυτή υποδεικνύει την σημαντική αύξηση της θερμοκρασίας κατά την χειμερινή περίοδο καθώς και το πρώτο μισό της άνοιξης. Από την ανάλυση, προκύπτει ότι όλο και περισσότερες ημέρες βρίσκονται μέσα στα κρίσιμα όρια ανάπτυξης που επιλέχθηκαν. Αντίθετα, η μικρότερη μεταβολή παρατηρείται στην φυλλόβια γενεά (Σχήμα 30). Η αύξηση της θερμοκρασίας τη θερινή περίοδο φαίνεται να μην επηρεάζει σημαντικά την τρίτη γενιά του πυρηνοτρυτή, και αυτό γιατί πολλές ημέρες παρουσιάζουν θερμοκρασίες μεγαλύτερες από το ανώτερο όριο ανάπτυξης. Στις τέσσερις μελλοντικές περιόδους δεν φαίνεται σημαντική διαφοροποίηση, με τις τιμές να εξαρτώνται από τη δεκαετία μελέτης.



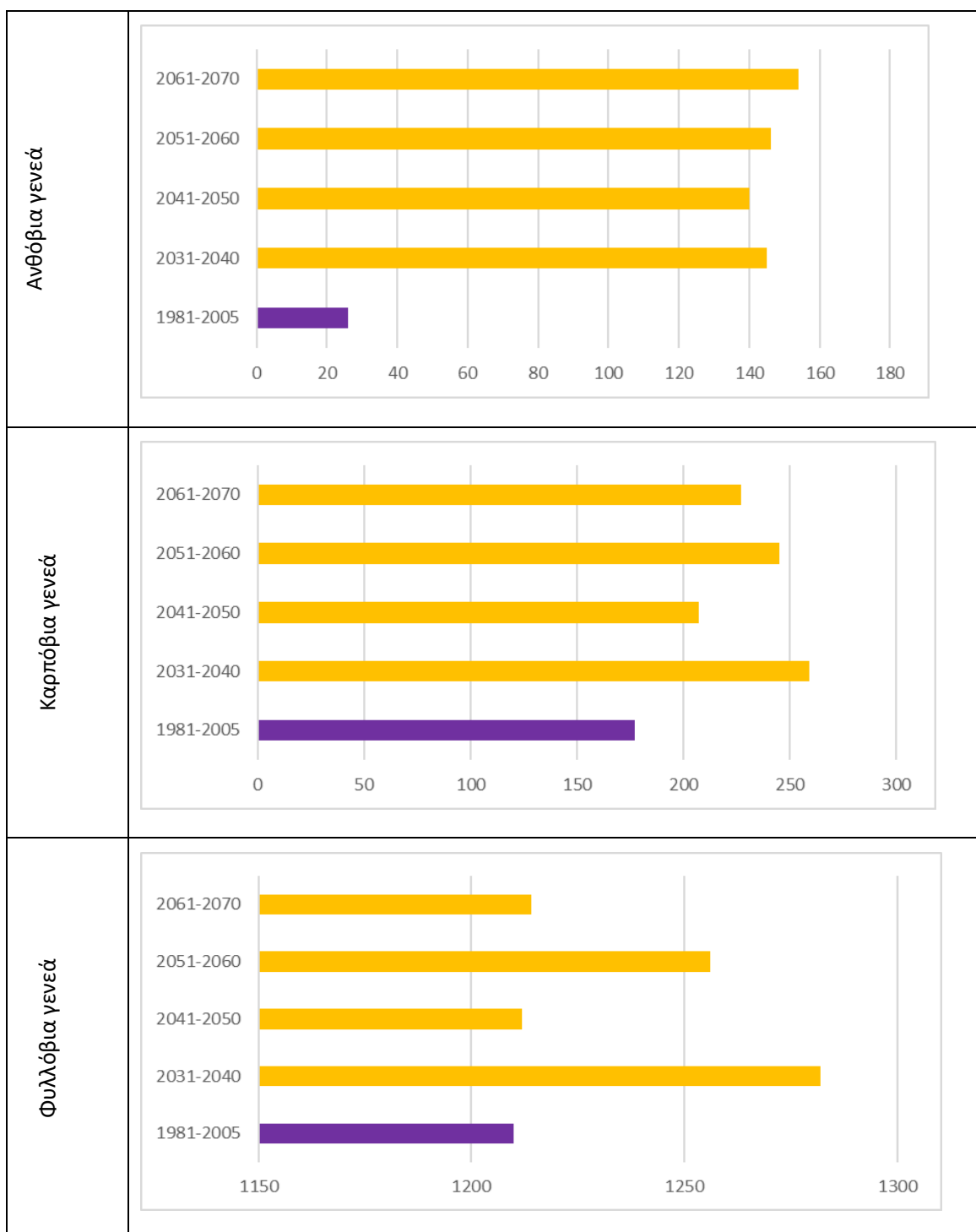
Σχήμα 30 Η μεταβολή του πλήθους βαθμομονάδων ανάμεσα στη περίοδο αναφοράς 1981-2005 και τις τέσσερις μελλοντικές περιόδους. Ο πρώτος-εξωτερικός κύκλος αναφέρεται στην ανθόβια γενεά, ο δεύτερος κύκλος στην καρπόβια γενεά και ο τρίτος κύκλος (εσωτερικός) στην φυλλόβια γενεά.

Σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP4.5, Σχήμα 32, φαίνεται καθαρά η σημαντική αύξηση των βαθμομονάδων για την ανθόβια γενεά, η αύξηση στη περίπτωση της καρπόβιας γενεάς είναι της τάξης του 40% ενώ η αύξηση στην φυλλόβια γενεά δεν ξεπερνά το 10%. Σε περίπτωση που θεωρηθεί ότι οι βαθμομονάδες για κάθε γενεά είναι σταθερές, τότε προκύπτει ότι για τη ανθόβια γενεά για το σενάριο RCP4.5 θα συγκεντρωθούν το πολύ σε 2 με 2.5μήνες, δηλαδή θα η πρώτη εμφάνιση θα είναι μέσα στο Μάρτιο. Αντίστοιχα, η δεύτερη γενεά φαίνεται να εμφανίζεται 8-10 ημέρες νωρίτερα, ενώ για τη τρίτη γενεά δεν παρατηρείται σημαντική διαφοροποίηση στις ημερομηνίες εμφάνισης. Επίσης, η κορύφωση εμφάνισης παρατηρείται πιο σύντομα.

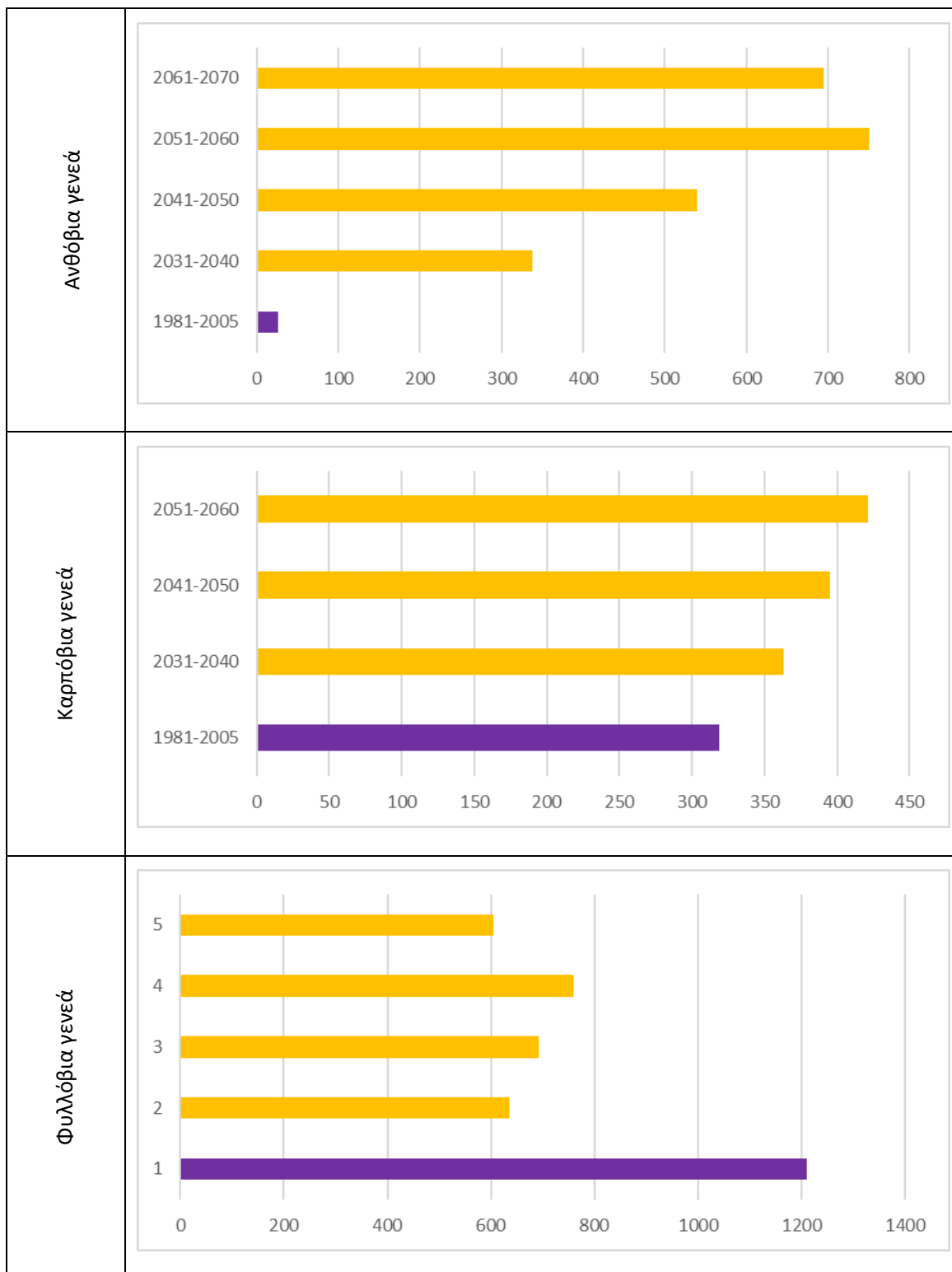
Πίνακας 9 Το Πλήθος των βαθμομονάδων για τις τρεις διαφορετικές γενεές του πυρηνοτρύτη για τη περίοδο αναφοράς και τις τέσσερις μελλοντικές δεκαετίες σύμφωνα με τα κλιματικά σενάρια RCP4.5 και RCP8.5

RCP4.5	ΕΜΦΑΝΙΣΗ	1981-1990	2031- 2040	2041- 2050	2051- 2060	2061- 2070
ΑΝΘΟΒΙΑ	1ST ΕΜΦΑΝΙΣΗ	26	145	140	146	154
	ΚΟΡΥΦΩΣΗ	89.5	176	146	162	157
ΚΑΡΠΟΒΙΑ	1ST ΕΜΦΑΝΙΣΗ	177	259	207	245	227
	ΚΟΡΥΦΩΣΗ	206	273	234	269	258
ΦΥΛΛΟΒΙΑ	1ST ΕΜΦΑΝΙΣΗ	1210	1282	1212	1256	1214
	ΚΟΡΥΦΩΣΗ	1304	1379	1321	1370	1311
RCP8.5	ΕΜΦΑΝΙΣΗ	1981-1990	2031- 2040	2041- 2050	2051- 2060	2061- 2070
ΑΝΘΟΒΙΑ	1ST ΕΜΦΑΝΙΣΗ	26	338	540	750	695
	ΚΟΡΥΦΩΣΗ	87	506	744	974	914
ΚΑΡΠΟΒΙΑ	1ST ΕΜΦΑΝΙΣΗ	177	319	363	395	421
	ΚΟΡΥΦΩΣΗ	204	191	186	226	241
ΦΥΛΛΟΒΙΑ	1ST ΕΜΦΑΝΙΣΗ	1210	635	693	761	605
	ΚΟΡΥΦΩΣΗ	1304	799	868	941	760

Η μεταβολή των βαθμομονάδων εμφάνισης του πυρηνοτρύτη για το σενάριο RCP8.5 παρουσιάζει διαφορετική εικόνα (Σχήμα 33). Οι μεγαλύτερη μεταβολή των θερμοκρασιών και οι υψηλότερες θερμοκρασίες που θα επικρατήσουν σύμφωνα με το σενάριο έχουν ως αποτέλεσμα να μειωθεί ο αριθμός των αθροιστικών βαθμοημερών, λόγω των πολλών ημερών με θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 30°C. Τα αποτελέσματα θα πρέπει να αξιολογηθούν, και να συνδυαστούν με πραγματικές μετρήσεις εμφάνισης των εντόμων για την καλύτερη ερμηνεία τους. Πειραματικές δοκιμές με διαφορετικές θερμοκρασιακά καθεστώτα θα βοηθούσαν στην καλύτερη κατανόηση της συμπεριφοράς των εχθρών της ελιάς.



Σχήμα 31. Αθροιστικές βαθμομέρες ανάπτυξης πυρηνοτρύτη για τις τρεις γενιές του στην περιοχή της Χαλκιδικής για την περίοδο αναφοράς (μωβ) και τη μελλοντική περίοδο (κίτρινο), σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP8.5



Σχήμα 32. Αθροιστικές βαθμομέρες ανάπτυξης πυρηνοτρύτη για τις τρεις γενιές του στην περιοχή της Χαλκιδικής για την περίοδο αναφοράς (μωβ) και τη μελλοντική περίοδο (κίτρινο), σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP4.5

Κεφάλαιο 3

3. Συμπεράσματα και μελλοντικές προοπτικές

3.1 Συμπεράσματα

Η παρούσα μελέτη σχεδιάστηκε για να προσδιορίσει τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στις ελαιοκαλλιέργειες στη περιοχή της Χαλκιδικής. Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται σε αυτήν την έρευνα είναι τα κλιματικά δεδομένα του περιοχικού κλιματικού μοντέλου, SMHI και για δύο κλιματικά σενάρια, το αισιόδοξο RCP4.5 και το απαισιόδοξο RCP8.5. Μερικά από τα πιο σημαντικά ευρήματα που προκύπτουν από αυτή τη μελέτη είναι:

- Η θερμοκρασία δείχνει τη χαρακτηριστική μεσογειακή κατανομή. Οι μέγιστες θερμοκρασίες παρατηρούνται το καλοκαίρι ενώ οι ελάχιστες θερμοκρασίες παρατηρούνται το χειμώνα. Παρατηρείται η αύξηση της μέσης θερμοκρασίας κατά 1.5-2°C σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP4.5. Η αντίστοιχη αύξηση για το κλιματικό σενάριο RCP8.5 είναι περίπου 3°C.
- Υπάρχει μεταβολή του βροχομετρικού καθεστώτος στη περιοχή της Χαλκιδικής, με τις πιο ηπειρωτικές περιοχές να υφίστανται τις μεγαλύτερες μεταβολές.
- Οι ανάγκες σε νερό για την ελαιοκαλλιέργεια στη Χαλκιδική είναι σημαντικές. Οι κύριες περιοχές ελαιοκαλλιέργειας βρίσκονται στις πιο ξηροθερμικές περιοχές της Χαλκιδικής με τις απαιτήσεις για άρδευση να είναι μεγάλες.
- Μη αρδευόμενες καλλιέργειες ελιάς δεν θα μπορούν να διατηρηθούν στην περιοχή της Χαλκιδικής.
- Η μείωση της βροχόπτωσης σε πιο βόρειες και ηπειρωτικές περιοχές θα έχει ως πιθανό αποτέλεσμα να μειώσει τα αποθέματα νερού στην περιοχή άρα και τις αρδευτική ικανότητα της κάθε περιοχής.
- Όλο και πιο συχνά, οι ελαιοκαλλιέργειες θα βρίσκονται σε συνθήκες θερμικού stress, γεγονός που θα έχει αρνητική συνέπεια στην ποιότητα του καρπού.

- Η αύξηση της θερμοκρασίας, ειδικότερα τη χειμερινή περίοδο, φαίνεται να επηρεάζει την έκπτυξη των ανθοφόρων οφθαλμών. Τη χειμερινή περίοδο όλο και λιγότερες ημέρες θα έχουν χαμηλές θερμοκρασίες, αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα να μην είναι να δυνατό να συλλεχθούν οι απαραίτητες βαθμομονάδες ψύχους για την διακοπή του λήθαργου και την ανθοφορία της ελιάς.
- Η μειωμένη ανθοφορία θα έχει ως αποτέλεσμα την μείωση του αριθμού των ελιών ανά δέντρο αλλά και της ποιότητας του λαδιού.
- Οι αθροιστικές βαθμομονάδες που επιδρούν στην εμφάνιση των εχθρών της ελιάς, και ειδικότερα του πυρηνοτρύτη, φαίνεται ότι θα αυξηθούν. .
- Η ποιότητα της φυτικής παραγωγής θα αλλάξει σημαντικά κατά τους κύριους εαρινούς και καλοκαιρινούς μήνες.

Όλοι αυτοί οι παράγοντες συμβάλλουν σε λιγότερο παραγωγικές συγκομιδές και πολύ μικρότερος οικονομικό κέρδος.

3.2 Μελλοντική Δουλειά

Η γεωργία είναι μία από τις κύριες οικονομικο-κοινωνικές παραμέτρους που αναμφισβήτητα επηρεάζεται άμεσα από το κλίμα και προβλέπεται να επηρεαστεί σημαντικά από την κλιματική αλλαγή στο μέλλον. Η συνεπής αξιολόγηση της παραγωγικότητας των καλλιεργειών σε παγκόσμια κλίμακα είναι απαραίτητη για την αξιολόγηση των πιθανών επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής και τον προσδιορισμό των τρωτών σημείων του συστήματος και των πιθανών στρατηγικών προσαρμογής.

Η λεκάνη της Μεσογείου θεωρείται «hotspot» της κλιματικής αλλαγής, καθώς οι μελλοντικές προβλέψεις υποδηλώνουν σημαντικές τάσεις αύξησης της θερμοκρασίας και αύξηση των διαδοχικών ξηρών ημερών, οδηγώντας σε συνολική αύξηση της ξηρασίας. Στο πλαίσιο αυτό, η κλιματική αλλαγή μπορεί να αποτελέσει ιδιαίτερη πρόκληση για τους ελαιοκαλλιεργητές. Τα αυξανόμενα στοιχεία για ουσιαστική κλιματική αλλαγή τις επόμενες δεκαετίες καθιστούν επιτακτική την ανάγκη λήψης μέτρων προσαρμογής.

Ένα εφικτό μέτρο προσαρμογής είναι ένας συνδυασμός χρήσης ποικιλιών με πρώιμες ημερομηνίες ανθοφορίας και ρυθμιζόμενη ελλειμματική άρδευση. Ωστόσο, για να

αντιμετωπιστούν αποτελεσματικά οι προβλεπόμενες αλλαγές, οι βραχυπρόθεσμες και μακροπρόθεσμες στρατηγικές αξίζουν πολύ μεγαλύτερη προσοχή στη μελλοντική έρευνα. Αν και το δυναμικό προσαρμογής των διαφόρων στρατηγικών για την αντιμετώπιση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής εξακολουθεί να είναι ασαφές, μπορούν να είναι ιδιαίτερα επωφελείς για τον γεωργικό τομέα στο σύνολό του

Για την προσαρμογή της ελαιοκαλλιέργειας στην κλιματική αλλαγή, προτείνεται οι αναλύσεις να γίνουν ανά ποικιλία σε συνδυασμό με φαινολογικά στάδια της ελιάς τόσο στη περιοχή της Χαλκιδικής αλλά και σε άλλες περιοχές της Ελλάδας. Αυτό θα δώσει την δυνατότητα στο εντοπισμό ποικιλιών που να είναι ανθεκτικές στις μελλοντικές κλιματικές συνθήκες. Οι βιοκλιματικοί δείκτες είναι ένα χρήσιμο εργαλείο χωροθέτησης, καθορίζοντας την ικανότητα μιας περιοχής να παράγει καλλιέργειες. Επίσης, η επέκταση της μελέτης και σε άλλους φυσικούς εχθρούς της ελιάς θα βοηθούσε στον καλύτερο και αποδοτικότερο προγραμματισμό της ελαιοκαλλιέργειας στη περιοχή.

Η λεπτομερής κλιματική ανάλυση ανά περιοχή μπορεί να γίνει χρησιμοποιώντας στατιστικά ή δυναμικά κλιματικά δεδομένα υποβιβασμού κλίμακας της βάσης δεδομένων περιοχικών κλιματικών μοντέλων. Μια βάση δεδομένων υψηλής χωρικής ανάλυσης θα παρέχει μια πιο λεπτομερή αγρο-κλιματική ανάλυση, συμβάλλοντας στην εξεύρεση περισσότερων επιλογών προσαρμογής και μετριασμού που θα μπορούσαν να αντιμετωπίσουν τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής.

Βιβλιογραφία

- Aguilera, F.; Fornaciari, M.; Ruiz-Valenzuela, L.; Galán, C.; Msallem, M.; Dhiab, A.B.; de la Guardia, C.D.; del Mar Trigo, M.; Bonofiglio, T.; Orlandi, F. Phenological models to predict the main flowering phases of olive (*Olea europaea* L.) along a latitudinal and longitudinal gradient across the Mediterranean region. *Int. J. Biometeorol.* 2015, 59, 629–641.
- Allen, R.G. et al (1998) Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements, FAO Irrigation and Drainage Paper 56.
- Arampatzis, G.; Hatzigiannakis, E.; Pisinaras, V.; Kourgialas, N.; Psarras, G.; Kinigopoulou, V.; Panagopoulos, A.; Koubouris, G. Soil water content and olive tree yield responses to soil management, irrigation, and precipitation in a hilly Mediterranean area. *J. Water Clim. Chang.* 2018, 9, 672–678.
- Avolio, E.; Orlandi, F.; Bellecci, C.; Fornaciari, M.; Federico, S. Assessment of the impact of climate change on the olive flowering in Calabria (southern Italy). *Theor. Appl. Climatol.* 2012, 107, 531–540.
- Ayerza, R.; Sibbett, G.S. Thermal adaptability of olive (*Olea europaea* L.) to the Arid Chaco of Argentina. *Agric. Ecosyst. Environ.* 2001, 84, 277–285.
- Bindi M, Fibbi L, Gozzini B, Orlandini S, Miglietta F (1996) Modelling the impact of future climate scenarios on yield and yield variability on grapevine. *Clim Res* 7:213–224.
- Brito, C.; Dinis, L.-T.; Moutinho-Pereira, J.; Correia, C.M. Drought Stress Effects and Olive Tree Acclimation under a Changing Climate. *Plants* 2019, 8, 232.
- Butterfield RE, Gawith MJ, Harrison PA, Lonsdale KJ, Orr J (2000) Modelling climate change impacts on wheat, potato and grapevine in Great Britain. *Climate Change, Climate Variability and Agriculture in Europe: An Integrated Assessment*, Research Report 21 (2000): 367–390.
- Campoy, J.A.; Ruiz, D.; Egea, J. Dormancy in temperate fruit trees in a global warming context: A review. *Sci. Hortic.* 2011, 130, 357–372.
- Chandler, William Henry, et al. Deciduous orchards. *Deciduous orchards.*, 1942
- Connor, D.J.; Fereres, E. The Physiology of Adaptation and Yield Expression in Olive. In *Horticultural Reviews*; John Wiley & Sons, Inc.: Hoboken, NJ, USA, 2005; pp. 155–229
- da Silva, R. S., Kumar, L., Shabani, F., & Picanço, M. C. (2018). An analysis of sensitivity of CLIMEX parameters in mapping species potential distribution and the broad-scale changes observed with minor variations in parameters values: an investigation using open-field *Solanum lycopersicum* and *Neoleucinodes elegantalis* as an example. *Theoretical and applied climatology*, 132(1-2), 135-144.
- Dag, A.; Harlev, G.; Lavee, S.; Zipori, I.; Kerem, Z. Optimizing olive harvest time under hot climatic conditions of Jordan Valley, Israel. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 2014, 116, 169–176.

- De Melo-Abreu, J.P.; Barranco, D.; Cordeiro, A.M.; Tous, J.; Rogado, B.M.; Villalobos, F.J. Modelling olive flowering date using chilling for dormancy release and thermal time. *Agric. Meteorol.* 2004, 125, 117–127.
- FAO (2018) *Aqua Crop, Reference Manual*, Food and Agriculture Organization of the United Nations, 87p
- Fraga, H.; Pinto, J.G.; Santos, J.A. Olive tree irrigation as a climate change adaptation measure in Alentejo, Portugal. *Agric. Water Manag.* 2020a
- Fraga, H.; Pinto, J.G.; Viola, F.; Santos, J.A. Climate change projections for olive yields in the Mediterranean Basin. *Int. J. Clim.* 2020ba, 40, 769–781.
- Fraga, Helder, et al. "Mediterranean olive orchards under climate change: A review of future impacts and adaptation strategies." *Agronomy* 11.1 (2020c): 56.
- Gabaldón-Leal, C.; Ruiz-Ramos, M.; de la Rosa, R.; León, L.; Belaj, A.; Rodríguez, A.; Santos, C.; Lorite, I.J. Impact of changes in mean and extreme temperatures caused by climate change on olive flowering in southern Spain. *Int. J. Clim.* 2017, 37, 940–957.
- Giorgi F., P. Lionello (2008) Climate change projections for the Mediterranean region *Global Planet. Change*, 63 (2–3), 90–104.
- Giorgi, F., Coppola, E., Solmon, F., Mariotti, L., Sylla, M. B., Bi, X., ... & Brankovic, C. (2012). RegCM4: model description and preliminary tests over multiple CORDEX domains. *Climate Research*, 52, 7–29.
- Gómez, J.A.; Giráldez, J.V.; Fereres, E. Rainfall interception by olive trees in relation to leaf area. *Agric. Water Manag.* 2001, 49, 65–76.
- Gomez-Rico, A.; Salvador, M.D.; Moriana, A.; Perez, D.; Olmedilla, N.; Ribas, F.; Fregapane, G. Influence of different irrigation strategies in a traditional Cornicabra cv. olive orchard on virgin olive oil composition and quality. *Food Chem.* 2007, 100, 568–578.
- Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Hirahara, S., Horányi, A., Muñoz-Sabater, J., ... & Thépaut, J. N. (2020). The ERA5 global reanalysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 146(730), 1999–2049.
- Hulme M, Osborn TJ, Johns TC (1998) Precipitation sensitivity to global warming: comparison of observations with HadCM2 simulations. *Geophys Res Lett* 25(17):3379–3382.
- Iglesias, A.; Garrote, L. Adaptation strategies for agricultural water management under climate change in Europe. *Agric. Water Manag.* 2015, 155, 113–124.
- IPCC (2016) Available on line <https://www.ipcc.ch/2016/04/14/ipcc-agrees-special-reports-ar6-workplan/>
- Kim, J., Choi, J., Choi, C., & Park, S. (2013). Impacts of changes in climate and land use/land cover under IPCC RCP scenarios on streamflow in the Hoeya River Basin, Korea. *Science of the Total Environment*, 452, 181–195.
- Koubouris, G.C.; Metzdakis, I.T.; Vasilakakis, M.D. Impact of temperature on olive (*Olea europaea* L.) pollen performance in relation to relative humidity and genotype. *Environ. Exp. Bot.* 2009, 67, 209–214.

- Kruijt B., J.-P.M. Witte, C.M.J. Jacobs, T. Kroon (2008) Effects of rising atmospheric CO₂ on evapotranspiration and soil moisture: a practical approach for the Netherlands *J. Hydrol.*, 349, pp. 257-267
- Lang, G.A. Endo-, para-, and ecodormancy: Physiological terminology and classification for dormancy research. *HortScience* 1987, 22, 371–377.
- Lovelli S., M. Perniola, T. Di Tommaso, D. Ventrella, M. Moriondo, M. Amato Effects of rising atmospheric CO₂ on crop evapotranspiration in a Mediterranean area *Agric. Water Manage.*, 97 (2010), pp. 1287-1292.
- Luedeling, E. Climate change impacts on winter chill for temperate fruit and nut production: A review. *Sci. Hortic.* 2012, 144, 218–229. [Google Scholar] [CrossRef][Green Version]
- Mairech, H.; López-Bernal, Á.; Moriondo, M.; Dibari, C.; Regni, L.; Proietti, P.; Villalobos, F.J.; Testi, L. Is new olive farming sustainable? A spatial comparison of productive and environmental performances between traditional and new olive orchards with the model OliveCan. *Agric. Syst.* 2020, 181, 102816.
- Mancuso, S.; Azzarello, E. Heat tolerance in olive. *Adv. Hortic. Sci.* 2002, 16, 125–130.
- Moriondo, M.; Ferrise, R.; Trombi, G.; Brilli, L.; Dibari, C.; Bindi, M. Modelling olive trees and grapevines in a changing climate. *Environ. Model. Softw.* 2015, 72, 387–401.
- Moriondo, M.; Trombi, G.; Ferrise, R.; Brandani, G.; Dibari, C.; Ammann, C.M.; Lippi, M.M.; Bindi, M. Olive trees as bio-indicators of climate evolution in the Mediterranean Basin. *Glob. Ecol. Biogeogr.* 2013, 22, 818–833.
- Orlandi, F.; Garcia-Mozo, H.; Ezquerro, L.V.; Romano, B.; Dominguez, E.; Galan, C.; Fornaciari, M. Phenological olive chilling requirements in Umbria (Italy) and Andalusia (Spain). *Plant Biosyst. Int. J. Deal. Asp. Plant Biol.* 2004, 138, 111–116.
- Orlandi, F.; Garcia-Mozo, H.; Galán, C.; Romano, B.; de la Guardia, C.D.; Ruiz, L.; del Mar Trigo, M.; Dominguez-Vilches, E.; Fornaciari, M. Olive flowering trends in a large Mediterranean area (Italy and Spain). *Int. J. Biometeorol.* 2010, 54, 151–163.
- Orlandi, F.; Ruga, L.; Romano, B.; Fornaciari, M. Olive flowering as an indicator of local climatic changes. *Appl. Climatol.* 2005, 81, 169–176.
- Pallioti, A.; Bongi, G. Freezing injury in the olive leaf and effects of mefluidide treatment. *J. Hortic. Sci.* 1996, 71, 57–63.
- Pereira L.S. (2011) Challenges on water resources management when searching for sustainable adaptation to climate change focusing agriculture *Eur. Water*, 34 (2011), pp. 41-54
- Pérez-López, D.; Ribas, F.; Moriana, A.; Rapoport, H.F.; De Juan, A. Influence of temperature on the growth and development of olive (*Olea europaea* L.) trees. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 2008, 83, 171–176.
- Petrucelli, Raffaella, Giorgio Bartolini, Tommaso Ganino, Samanta Zelasco, Luca Lombardo, Enzo Perri, Mauro Durante, and Rodolfo Bernardi. 2022. "Cold Stress, Freezing Adaptation, Varietal Susceptibility of *Olea europaea* L.: A Review" *Plants* 11, no. 10: 1367. <https://doi.org/10.3390/plants11101367>

- Ponti, L.; Gutierrez, A.P.; Ruti, P.M.; Dell'Aquila, A. Fine-scale ecological and economic assessment of climate change on olive in the Mediterranean Basin reveals winners and losers. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 2014, 111, 5598–5603.
- Rallo, L.; Martin, G.C. The role of chilling and releasing olive floral buds from dormancy. *HortScience* 1991, 26, 1058–1062.
- Ramos, R. S., Kumar, L., Shabani, F., & Picanço, M. C. (2018). Mapping global risk levels of *Bemisia tabaci* in areas of suitability for open field tomato cultivation under current and future climates. *PloS one*, 13(6), e0198925.
- Rodríguez Sousa, A.A.; Barandica, J.M.; Aguilera, P.A.; Rescia, A.J. Examining Potential Environmental Consequences of Climate Change and Other Driving Forces on the Sustainability of Spanish Olive Groves under a Socio-Ecological Approach. *Agriculture* 2020, 10, 509.
- Rojo, J.; Orlandi, F.; Ben Dhiab, A.; Lara, B.; Picornell, A.; Oteros, J.; Msallem, M.; Fornaciari, M.; Pérez-Badia, R. Estimation of Chilling and Heat Accumulation Periods Based on the Timing of Olive Pollination. *Forests* 2020, 11, 835. <https://doi.org/10.3390/f11080835>
- Saadi, S., Todorovic, M., Tanasijevic, L., Pereira, L. S., Pizzigalli, C., & Lionello, P. (2015). Climate change and Mediterranean agriculture: Impacts on winter wheat and tomato crop evapotranspiration, irrigation requirements and yield. *Agricultural Water Management*, 147, 103-115.
- Scortichini, M. (2020). Predisposing factors for “olive quick decline syndrome” in Salento (Apulia, Italy). *Agronomy*, 10(9), 1445.
- Tanasijevic, L.; Todorovic, M.; Pereira, L.S.; Pizzigalli, C.; Lionello, P. Impacts of climate change on olive crop evapotranspiration and irrigation requirements in the Mediterranean region. *Agric. Water Manag.* 2014, 144, 54–68.
- Therios, I.N. *Olives*; CABI: Oxfordshire, UK, 2009.
- Torres, M.; Pierantozzi, P.; Searles, P.; Rousseaux, M.C.; García-Inza, G.; Miserere, A.; Bodoira, R.; Contreras, C.; Maestri, D. Olive Cultivation in the Southern Hemisphere: Flowering, Water Requirements and Oil Quality Responses to New Crop Environments. *Front. Plant. Sci.* 2017, 8, 1830.
- Zhang, X., Xiong, Z., Zhang, X., Shi, Y., Liu, J., Shao, Q., & Yan, X. (2017). Simulation of the climatic effects of land use/land cover changes in eastern China using multi-model ensembles. *Global and Planetary Change*, 154, 1-9.