



Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
Τμήμα Γεωλογίας
Τομέας Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας

ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΣΤΙΣ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΕΛΑΙΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΤΗΣ ΜΕΣΣΗΝΙΑΣ

Θεσσαλονίκη, 2025

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

Επιστημονική Ομάδα:

Δρ. Αναγνωστοπούλου Χριστίνα, Καθηγήτρια Κλιματολογίας

Δρ. Βελίκου Κονδυλία, Γεωλόγος

Δρ. Κάλφας Ηλίας, Γεωπόνος

Το παρόν έγγραφο μπορεί να αναφέρεται ως εξής:

Αναγνωστοπούλου Χ., Βελίκου Κ., και Κάλφας Η., 2025: ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΣΤΙΣ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΕΛΑΙΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΤΗΣ ΜΕΣΣΗΝΙΑΣ, 67σελ.

Anagnostopoulou C., Velikou K., and Kalfas H., 2025: The impact of climate change on olive cultivation, the case study of Messinia-Greece, 67p. (in Greek)

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα.....	ii
Κατάλογος Πινάκων.....	iii
Κατάλογος Εικόνων.....	iv
Κεφάλαιο 1.....	1
Εισαγωγή.....	1
Δεδομένα.....	8
Κεφάλαιο 2.....	15
Η αγροκλιματολογία της ελιάς.....	15
2.1. Ελιά.....	15
2.2. Θερμοκρασιακά χαρακτηριστικά της Μεσσηνίας.....	17
2.3. Υγρομετρικά χαρακτηριστικά της Μεσσηνίας.....	26
Κεφάλαιο 3.....	39
Βιοκλιματολογία της ελιάς.....	39
3.1. Η Εξατμισοδιαπνοή στην περιοχή της Μεσσηνίας.....	39
3.2. Καθαρές απαιτήσεις άρδευσης της ελιάς.....	47
3.3. Ημεροβαθμοί για το στάδιο της ανθοφορίας.....	51
3.4. Εχθροί και ασθένειες της ελιάς: Οι περιπτώσεις της ανθράκωσης, του κυκλοκόνιου, του δάκου και του πυρηνοτρήτη.....	58
Κεφάλαιο 4.....	80
Συμπεράσματα και μελλοντικές προοπτικές.....	80
4.1. Συμπεράσματα.....	80
4.2. Μελλοντική δουλειά.....	81
Βιβλιογραφία.....	84

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1. Τα κλιματικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν	9
Πίνακας 2. Στατιστική ανάλυση σε ετήσια και εποχιακή βάση των μέσων ημερήσιων θερμοκρασιών ERA5 για το μέσο πεδίο της Μεσσηνίας για την περίοδο αναφοράς 1981-2005	18
Πίνακας 3. Στατιστική ανάλυση σε ετήσια και εποχιακή βάση των μέσων ημερήσιων θερμοκρασιών SMHI για το μέσο πεδίο της Μεσσηνίας για την περίοδο αναφοράς 1981-1990 και τις τέσσερις μελλοντικές περιόδους σύμφωνα με τα σενάρια εκπομπών RCP4.5 και RCP8.5	19
Πίνακας 4. Μέσες μηνιαίες και ετήσιες θερμοκρασίες για την περίοδο αναφοράς 1981-1990 και για τις τέσσερις μελλοντικές περιόδους για τα σενάρια εκπομπών RCP4.5 και RCP8.5	22
Πίνακας 5. Στατιστική ανάλυση των μέσων ετήσιων και εποχιακών βροχοπτώσεων ERA5 για το μέσο πεδίο της Μεσσηνίας για την περίοδο αναφοράς 1981-2005	27
Πίνακας 6. Στατιστική ανάλυση των μέσων βροχοπτώσεων SMHI για το μέσο πεδίο της Μεσσηνίας για την περίοδο αναφοράς 1981-1990 και τις τέσσερις μελλοντικές περιόδους σύμφωνα με τα σενάρια εκπομπών RCP4.5 και RCP8.5	31
Πίνακας 7. Μέσες μηνιαίες και ετήσιες βροχοπτώσεις για την περίοδο αναφοράς 1981-1990 και για τις τέσσερις μελλοντικές περιόδους για τα σενάρια εκπομπών RCP4.5 και RCP8.5	33
Πίνακας 8. Κατηγοριοποίηση των τιμών του δείκτη ARI	61
Πίνακας 9. Κατηγοριοποίηση των τιμών του δείκτη SORI	65
Πίνακας 10. Κατηγοριοποίηση των τιμών του δείκτη OFRI	70
Πίνακας 11. Κατηγοριοποίηση των τιμών του δείκτη OMRI	75

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1. α) Η ιστοσελίδα του ECMWF για την παροχή των κλιματικών δεδομένων reanalysis ERA5 και β) η ιστοσελίδα του Swedish Meteorological and Hydrological Institute για την παροχή των δεδομένων του περιοχικού κλιματικού μοντέλου SMHI 9

Εικόνα 2. Η περιοχή μελέτης και η θέση των σημείων πλέγματος του περιοχικού κλιματικού μοντέλου SMHI, καθώς και η αντιστοίχισή τους με τοποθεσίες της Μεσσηνίας 13

Εικόνα 3. Κρίσιμες θερμοκρασίες (κόκκινο χρώμα) και θερμοκρασίες ψύξης (μαύρο χρώμα) που επηρεάζουν τα διάφορα όργανα της ελιάς. Στα μαύρα πλαίσια αναφέρονται οι σημαντικές βλάβες που μπορεί να πάθε η ελιά ως αποτέλεσμα του ψυχρού στρες. (Petrucelli et al., 2022) 17

Εικόνα 4. Διακύμανση των μέσων ετήσιων θερμοκρασιών ERA5 για το μέσο πεδίο της Μεσσηνίας για την περίοδο αναφοράς 1981-2005 18

Εικόνα 5. Χωρική κατανομή των μηνιαίων θερμοκρασιών του περιοχικού κλιματικού μοντέλου SMHI για την περίοδο αναφοράς 1981-2005 20

Εικόνα 6. Οι μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες του μέσου πεδίου στη Μεσσηνία από το περιοχικό κλιματικό μοντέλο SMHI για α) το σενάριο εκπομπών RCP4.5 και β) το σενάριο εκπομπών RCP8.5, για τις μελλοντικές περιόδους (χρωματιστές ράβδοι) και για την περίοδο αναφοράς 1981-1990 (μαύρη γραμμή) 21

Εικόνα 7. Χωρική κατανομή των διαφορών της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας [(2031-2050) – (1981-2005)] για το σενάριο εκπομπών RCP4.5 23

Εικόνα 8. Χωρική κατανομή των διαφορών της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας [(2051-2070) – (1981-2005)] για το σενάριο εκπομπών RCP4.5 24

Εικόνα 9. Χωρική κατανομή των διαφορών της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας [(2031-2050) – (1981-2005)] για το σενάριο εκπομπών RCP8.5 25

Εικόνα 10. Χωρική κατανομή των διαφορών της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας [(2051-2070) – (1981-2005)] για το σενάριο εκπομπών RCP8.5 26

Εικόνα 11. Διακύμανση της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης ERA5 για το μέσο πεδίο της Μεσσηνίας για την περίοδο αναφοράς 1981-2005 28

Εικόνα 12. Τάσεις των μέσων εποχιακών βροχοπτώσεων ERA5 για το μέσο πεδίο της Μεσσηνίας κατά την περίοδο αναφοράς 1981-2005 28

Εικόνα 13. Διακυμάνσεις των μέσων εποχιακών βροχοπτώσεων ERA5 για το μέσο πεδίο της Μεσσηνίας κατά την περίοδο αναφοράς 1981-2005 29

Εικόνα 14. Διακυμάνσεις των μέσων εποχιακών βροχοπτώσεων ERA5 για το μέσο πεδίο της Μεσσηνίας κατά την περίοδο αναφοράς 1981-2005. Τα outliers περιγράφονται με κύκλους 30

Εικόνα 15. Μέσες μηνιαίες βροχοπτώσεις ERA5 για το μέσο πεδίο της Μεσσηνίας για την περίοδο αναφοράς 1981-2005	30
Εικόνα 16. Χωρική κατανομή των μηνιαίων βροχοπτώσεων του περιοχικού κλιματικού μοντέλου SMHI για την περίοδο αναφοράς 1981-2005	32
Εικόνα 17. Η μέση μηνιαία βροχόπτωση του μέσου πεδίου στη Μεσσηνία από το περιοχικό κλιματικό μοντέλο SMHI για α) το σενάριο εκπομπών RCP4.5 και β) το σενάριο εκπομπών RCP8.5, για τις μελλοντικές περιόδους (χρωματιστές ράβδοι) και για την περίοδο αναφοράς 1981-1990 (μαύρη γραμμή)	34
Εικόνα 18. Χωρική κατανομή των διαφορών της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης [(2031-2050) – (1981-2005)] για το σενάριο εκπομπών RCP4.5	35
Εικόνα 19. Χωρική κατανομή των διαφορών της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης [(2051-2070) – (1981-2005)] για το σενάριο εκπομπών RCP4.5	36
Εικόνα 20. Χωρική κατανομή των διαφορών της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης [(2031-2050) – (1981-2005)] για το σενάριο εκπομπών RCP8.5	37
Εικόνα 21. Χωρική κατανομή των διαφορών της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης [(2051-2070) – (1981-2005)] για το σενάριο εκπομπών RCP8.5	38
Εικόνα 22. Εξατμισοδιαπνοή (ET _o) αναφοράς καλλιεργειών υπό κανονικές (ET _c) συνθήκες (FAO, https://www.fao.org/3/x0490e/x0490e04.htm)	42
Εικόνα 23. Διάγραμμα κατανομής εξατμισοδιαπνοής (Allen, R.G. et al (1998))	43
Εικόνα 24. Χωρική κατανομή της εξατμισοδιαπνοής του περιοχικού κλιματικού μοντέλου SMHI για τους μήνες Απρίλιο έως Σεπτέμβριο για την περίοδο αναφοράς 1981-2005	44
Εικόνα 25. Χωρική κατανομή των διαφορών εξατμισοδιαπνοής [(2031-2050) – (1981-2005)] για το σενάριο εκπομπών RCP4.5	45
Εικόνα 26. Χωρική κατανομή των διαφορών εξατμισοδιαπνοής [(2051-2070) – (1981-2005)] για το σενάριο εκπομπών RCP4.5	46
Εικόνα 27. Χωρική κατανομή των διαφορών εξατμισοδιαπνοής [(2031-2050) – (1981-2005)] για το σενάριο εκπομπών RCP8.5	46
Εικόνα 28. Χωρική κατανομή των διαφορών εξατμισοδιαπνοής [(2051-2070) – (1981-2005)] για το σενάριο εκπομπών RCP8.5	47
Εικόνα 29. Χωρική κατανομή των διαφορών των καθαρών απαιτήσεων άρδευσης σε νερό για την περιοχή της Μεσσηνίας για τους μήνες Απρίλιο έως Σεπτέμβριο [(2031-2050) – (1981-2005)] για το σενάριο εκπομπών RCP4.5.....	48
Εικόνα 30. Χωρική κατανομή των διαφορών των καθαρών απαιτήσεων άρδευσης σε νερό για την περιοχή της Μεσσηνίας για τους μήνες Απρίλιο έως Σεπτέμβριο [(2051-2070) – (1981-2005)] για το σενάριο εκπομπών RCP4.5.....	49

Εικόνα 31. Χωρική κατανομή των διαφορών των καθαρών απαιτήσεων άρδευσης σε νερό για την περιοχή της Μεσσηνίας για τους μήνες Απρίλιο έως Σεπτέμβριο [(2031-2050) – (1981-2005)] για το σενάριο εκπομπών RCP8.5.....	49
Εικόνα 32. Χωρική κατανομή των διαφορών των καθαρών απαιτήσεων άρδευσης σε νερό για την περιοχή της Μεσσηνίας για τους μήνες Απρίλιο έως Σεπτέμβριο [(2051-2070) – (1981-2005)] για το σενάριο εκπομπών RCP8.5.....	50
Εικόνα 33. Εκτιμώμενη ημέρα άνθισης σε διαφορετικές περιοχές της Μεσσηνίας για τις περιόδους αναφοράς 1981-1990 και 1991-2000, καθώς και για τις τέσσερις μελλοντικές περιόδους για τα σενάρια εκπομπών RCP4.5 και RCP8.5.....	56
Εικόνα 34. Εκτιμώμενη ημέρα άνθισης σε διαφορετικές περιοχές της Μεσσηνίας για τις περιόδους αναφοράς 1981-1990 και 1991-2000, καθώς και για τις τέσσερις μελλοντικές περιόδους για τα σενάρια εκπομπών RCP4.5 και RCP8.5.....	57
Εικόνα 35. Χωρική κατανομή του αριθμού των ημερών με υψηλό κίνδυνο μόλυνσης από ανθράκωση (ARI 0.61 – 0.8) για την περίοδο αναφοράς 1981-2005 σύμφωνα με το περιοχικό κλιματικό μοντέλο SMHI	62
Εικόνα 36. Χωρική κατανομή των ποσοστιαίων διαφορών του αριθμού των ημερών με υψηλό κίνδυνο μόλυνσης από ανθράκωση (ARI 0.61 – 0.8) για τις τέσσερις μελλοντικές περιόδους [future – reference] για το σενάριο εκπομπών RCP4.5	63
Εικόνα 37. Χωρική κατανομή των ποσοστιαίων διαφορών του αριθμού των ημερών με υψηλό κίνδυνο μόλυνσης από ανθράκωση (ARI 0.61 – 0.8) για τις τέσσερις μελλοντικές περιόδους [future – reference] για το σενάριο εκπομπών RCP7.5	64
Εικόνα 38. Χωρική κατανομή του αριθμού των ημερών με υψηλό κίνδυνο μόλυνσης από κυκλοκόνιο ($0.6 \leq \text{SORI} < 0.8$) για την περίοδο αναφοράς 1981-2005 σύμφωνα με το περιοχικό κλιματικό μοντέλο SMHI	66
Εικόνα 39. Χωρική κατανομή των ποσοστιαίων διαφορών του αριθμού των ημερών με υψηλό κίνδυνο μόλυνσης από κυκλοκόνιο ($0.6 \leq \text{SORI} < 0.8$) για τις τέσσερις μελλοντικές περιόδους [future – reference] για το σενάριο εκπομπών RCP4.5	67
Εικόνα 40. Χωρική κατανομή των ποσοστιαίων διαφορών του αριθμού των ημερών με υψηλό κίνδυνο μόλυνσης από κυκλοκόνιο ($0.6 \leq \text{SORI} < 0.8$) για τις τέσσερις μελλοντικές περιόδους [future – reference] για το σενάριο εκπομπών RCP8.5	68
Εικόνα 41. Χωρική κατανομή του αριθμού των ημερών με υψηλό κίνδυνο προσβολής από δάκο (OFRI 0.61 – 0.8) για την περίοδο αναφοράς 1981-2005 σύμφωνα με το περιοχικό κλιματικό μοντέλο SMHI.....	71
Εικόνα 42. Χωρική κατανομή των ποσοστιαίων διαφορών του αριθμού των ημερών με υψηλό κίνδυνο προσβολής από δάκο (OFRI 0.61 – 0.8) για τις τέσσερις μελλοντικές περιόδους [future – reference] για το σενάριο εκπομπών RCP4.5	72
Εικόνα 43. Χωρική κατανομή των ποσοστιαίων διαφορών του αριθμού των ημερών με υψηλό κίνδυνο προσβολής από δάκο (OFRI 0.61 – 0.8) για τις τέσσερις μελλοντικές περιόδους [future – reference] για το σενάριο εκπομπών RCP8.5	73

Εικόνα 44. Χωρική κατανομή του αριθμού των ημερών με υψηλό κίνδυνο προσβολής από πυρηνοτρήτη (OMRI 0.61 – 0.8) για την περίοδο αναφοράς 1981-2005 σύμφωνα με το περιοχικό κλιματικό μοντέλο SMHI76

Εικόνα 45. Χωρική κατανομή των ποσοσטיαίων διαφορών του αριθμού των ημερών με υψηλό κίνδυνο προσβολής από πυρηνοτρήτη (OMRI 0.61 – 0.8) για τις τέσσερις μελλοντικές περιόδους [future – reference] για το σενάριο εκπομπών RCP4.5.....78

Εικόνα 46. Χωρική κατανομή των ποσοσטיαίων διαφορών του αριθμού των ημερών με υψηλό κίνδυνο προσβολής από πυρηνοτρήτη (OMRI 0.61 – 0.8) για τις τέσσερις μελλοντικές περιόδους [future – reference] για το σενάριο εκπομπών RCP8.5.....79

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

Η φυτική παραγωγή είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη στις μεταβολές του κλίματος, γεγονός που την καθιστά άμεσα εκτεθειμένη στις συνέπειες της κλιματικής αλλαγής. Η αύξηση της θερμοκρασίας, η συγκέντρωση του CO₂ στην ατμόσφαιρα και οι μεταβολές στα επίπεδα των βροχοπτώσεων μπορούν να προκαλέσουν σημαντική μείωση στην φυτική παραγωγή. Παράλληλα, τα φαινόμενα ξηρασίας, οι ακραίοι καύσωνες και οι πλημμύρες που σχετίζονται με έντονες βροχοπτώσεις έχουν αυξηθεί αισθητά τις τελευταίες δεκαετίες, επιβαρύνοντας το πρόβλημα. Η ενίσχυση της φυτικής παραγωγής, προκειμένου να καλυφθούν οι αυξανόμενες ανάγκες ενός διαρκώς αυξανόμενου πληθυσμού, αποτελεί μια ολοένα και αυξανόμενη πρόκληση. Ως εκ τούτου, απαιτείται έντονη εστίαση στην έρευνα για στρατηγικές προσαρμογής και μετριασμού, ώστε να μειωθούν οι δυσμενείς συνέπειες. Η προσαρμογή στις ακραίες κλιματικές συνθήκες, καθώς και στη διακύμανση του κλίματος, είναι καθοριστικές για τη μείωση της ευπάθειας στη μακροπρόθεσμη κλιματική αλλαγή. Ορισμένες πρακτικές που μπορούν να συμβάλουν στην προσαρμογή και την αντιμετώπιση των επιπτώσεων περιλαμβάνουν:

- **Χρήση ανθεκτικών ποικιλιών** που αντέχουν στο θερμικό στρες και τις δύσκολες συνθήκες
- **Προσαρμογή των ημερομηνιών φύτευσης** ώστε να εναρμονιστούν με τις μεταβαλλόμενες κλιματικές συνθήκες
- **Βελτίωση στη διαχείριση και διατήρηση του νερού**, μέσω τεχνικών που μειώνουν τη σπατάλη και διασφαλίζουν την αποδοτική χρήση του
- **Αποτελεσματική άρδευση και διαχείριση λιπασμάτων** που μειώνουν τις περιβαλλοντικές πιέσεις και βελτιστοποιούν την παραγωγή

- **Διαφοροποίηση καλλιεργειών**, ώστε να μειωθεί η εξάρτηση από συγκεκριμένα καλλιεργούμενα είδη και να ενισχυθεί η ανθεκτικότητα του αγροτικού συστήματος.

Η υιοθέτηση αυτών των πρακτικών δύναται να συμβάλει στην ενίσχυση της ανθεκτικότητας των καλλιεργειών και στην αντιμετώπιση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής.

Το κλίμα της Μεσογείου χαρακτηρίζεται από υγρούς χειμώνες και ζεστά, ξηρά καλοκαίρια, λειτουργώντας ως μεταβατική ζώνη ανάμεσα στο υγρό κλίμα της Κεντρικής και Βόρειας Ευρώπης και στο άνυδρο ή ημι-άνυδρο κλίμα της Βόρειας Αφρικής. Αυτή η ιδιαίτερη γεωγραφική και κλιματική θέση καθιστά τη Μεσόγειο ευαίσθητη σε μικρές αλλαγές του παγκόσμιου κλίματος, οι οποίες μπορούν να προκαλέσουν σημαντικές τροποποιήσεις στο τοπικό κλίμα (Giorgi and Lionello, 2008). Οι ετήσιες τάσεις των βροχοπτώσεων εμφανίζουν έντονες διαφοροποιήσεις, με τη Βόρεια Ευρώπη να καταγράφει υγρότερες συνθήκες και τη Νότια Ευρώπη να πλήττεται από αυξανόμενη ξηρασία. Αυτό το μοτίβο αντίθετων τάσεων αντικατοπτρίζει τις διαφορές στις μέσες βροχοπτώσεις μεταξύ των μεγάλων και των μικρών γεωγραφικών πλατών (Hulme et al., 1998). Η γεωργία, ως τομέας ευαίσθητος στις κλιματικές αλλαγές, τόσο στις μέσες τιμές όσο και στα ακραία φαινόμενα, αναμένεται να επηρεαστεί δυσανάλογα στις διαφορετικές περιοχές της Ευρώπης. Έρευνες έχουν δείξει ότι οι συνέπειες της κλιματικής αλλαγής στη γεωργία και τη δασοκομία θα είναι εντονότερες στις νότιες και ανατολικές περιοχές σε σύγκριση με τη βορειοδυτική Ευρώπη. Αυτό θα μπορούσε να επιδεινώσει τα ήδη υπάρχοντα οικονομικά και κοινωνικά προβλήματα στις πιο ευάλωτες περιοχές (Bindi et al., 1996). Οι συνολικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στη γεωργία εξαρτώνται από τις ειδικές απαιτήσεις κάθε καλλιέργειας, τη γεωγραφική διασπορά, την εποχικότητα και το μέγεθος της αύξησης της θερμοκρασίας (Butterfield et al., 2000; McCarthy, 2001). Έτσι, η προσαρμογή και ο σχεδιασμός των γεωργικών πρακτικών καθίστανται ζωτικής σημασίας για τη μείωση των κινδύνων και την εξασφάλιση βιώσιμης παραγωγής σε ένα μεταβαλλόμενο κλίμα. Σύμφωνα με τις προβλέψεις του πιο απαισιόδοξου σεναρίου για την κλιματική αλλαγή (RCP8.5), οι περιορισμοί στις

κατάλληλες εκτάσεις για καλλιέργεια γίνονται ιδιαίτερα εμφανείς, με σημαντικές επιπτώσεις στη γεωργική παραγωγή και την επισιτιστική ασφάλεια (da Silva et al., 2017b; Ramos et al., 2018).

Η καλλιέργεια της ελιάς, σε παγκόσμιο επίπεδο, περιορίζεται γεωγραφικά μεταξύ των παραλλήλων 30° και 45° (Therios, 2009). Αυτή η ζώνη υποδεικνύει ότι οι κλιματικές συνθήκες αποτελούν καθοριστικό παράγοντα για την καλλιέργεια της ελιάς και τον κύκλο ανάπτυξής της. Η αλληλεπίδραση μεταξύ του κλίματος και της ελαιοκαλλιέργειας αναγνωρίστηκε ήδη από την αρχαιότητα. Συγκεκριμένα, ο Θεόφραστος, όπως αναφέρει ο Πλίνιος ο Πρεσβύτερος (Plin. Nat. 15.1), όρισε τα γεωγραφικά όρια της ελαιοκαλλιέργειας, προτείνοντας ότι η ελιά έπρεπε να καλλιεργείται σε απόσταση έως 300 σταδίων (περίπου 53 χλμ.) από τις ακτές της Μεσογείου. Επιπλέον, ο Πλίνιος παρατήρησε ότι τα κλιματικά όρια της καλλιέργειας εξαρτόνταν από την ευαισθησία της ελιάς στις χαμηλές θερμοκρασίες του χειμώνα και τις ακραίες θερμοκρασίες του καλοκαιριού. Όπως αναφέρει χαρακτηριστικά: "Η ελιά δεν αναπτύσσεται ούτε σε πολύ ψυχρά ούτε σε πολύ θερμά κλίματα" (Plin. Nat. 15.2). Η ευαισθησία της ελιάς στις θερμοκρασίες είναι γνωστή και σήμερα. Οι θερμοκρασίες κάτω από -8°C για περισσότερο από μία εβδομάδα είναι συχνά καταστροφικές για το δέντρο (Palliotti and Bongì, 1996). Παράλληλα, οι πολύ υψηλές θερμοκρασίες το καλοκαίρι μπορούν να περιορίσουν την παραγωγή, με τις αποδόσεις να μειώνονται όταν οι μέγιστες θερμοκρασίες υπερβαίνουν τους ~30°C (Koubouris et al., 2009), ενώ ο φωτοσυνθετικός ρυθμός μειώνεται δραματικά πάνω από τους 40°C (Mancuso and Azzarello, 2002). Μια αναλυτική κλιματολογική μελέτη για τη λεκάνη της Μεσογείου υποδεικνύει ότι οι περιοχές καλλιέργειας της ελιάς καθορίζονται κυρίως από τις θερμοκρασίες του ψυχρότερου (Ιανουάριος) και του θερμότερου (Ιούλιος) μήνα. Οι ιδανικές μηνιαίες μέσες θερμοκρασίες για την ελιά εντοπίζονται στους ~7°C για τον Ιανουάριο και στους ~25°C για τον Ιούλιο (Morigiundo et al., 2013). Αυτό το εύρος θερμοκρασιών διαμορφώνει τις ιδανικές συνθήκες για την ανάπτυξη και την παραγωγικότητα του ελαιόδεντρου.

Η θερμοκρασία αποτελεί τον κυριότερο παράγοντα που επηρεάζει τη φαινολογία του ελαιόδεντρου, καθορίζοντας τη διαδικασία διαφοροποίησης των

οφθαλμών κατά την περίοδο του λήθαργου. Η έκθεση των οφθαλμών σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες είναι απαραίτητη για την ανθοφορία, ενώ η διάρκεια και το επίπεδο αυτών των θερμοκρασιών, σε συνδυασμό με την ποικιλία της ελιάς, επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό το ποσοστό των οφθαλμών που θα σχηματίσουν ταξιανθίες. Αυτή η επίδραση των χαμηλών θερμοκρασιών χαρακτηρίζεται ως εαρινοποίηση. Η διαφοροποίηση των οφθαλμών επιτυγχάνεται με τη συσσώρευση επαρκών μονάδων ψύχους (chilling units accumulation) κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Η μετάβαση μεταξύ της ενεργής ανάπτυξης και της περιόδου ανάπαυσης ενεργοποιείται από θερμοκρασίες κάτω των 14.4°C. Η ικανοποίηση των απαιτήσεων ψύξης παίζει καθοριστικό ρόλο στην έναρξη της ανθοφορίας, καθώς η συσσωρευμένη έκθεση σε χαμηλές θερμοκρασίες επιτρέπει στα φυτά να προετοιμαστούν κατάλληλα για την παραγωγή ταξιανθιών όταν επικρατήσουν θερμότερες συνθήκες (Ayerza and Sibbett, 2001). Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι τα ελαιόδεντρα που καλλιεργούνται σε τροπικές περιοχές συνήθως δεν παράγουν καρπούς, λόγω της έλλειψης επαρκούς συσσώρευσης ψύχους (chilling accumulation) (Ayerza and Sibbett, 2001). Σύμφωνα με τους Rallo και Martin (1991) και τους De Melo-Abreu et al. (2004), η ιδανική θερμοκρασία για τη συσσώρευση ψύχους είναι λίγο πάνω από τους 7°C (συσσώρευση θερμοκρασιών κάτω από 7.2-7.3°C). Η βασική θερμοκρασία για τη συσσώρευση θερμικών μονάδων κυμαίνεται μεταξύ 8°C και 9.2°C, γεγονός που υπογραμμίζει τη σημασία της σωστής θερμοκρασιακής διαχείρισης για την επιτυχία της καλλιέργειας.

Ένας από πολύ σημαντικός κλιματικός παράγοντας για την ελαιοκαλλιέργεια είναι οι βροχοπτώσεις. Περίπου το 90% των ελαιόδεντρων που καλλιεργούνται στη Μεσόγειο αναπτύσσονται κυρίως σε ξηροθερμικές συνθήκες (Gómez et al., 2001; Gomez-Rico et al., 2007). Αν και τα ελαιόδεντρα είναι γενικά ανθεκτικά στην ξηρασία, η εξάπλωσή τους περιορίζεται σε περιοχές όπου οι ετήσιες βροχοπτώσεις είναι μικρότερες από 350mm (Ponti et al., 2014), καθώς η διαθεσιμότητα νερού εξακολουθεί να θεωρείται ένας σημαντικός παράγοντας για τη βελτίωση των αποδόσεων. Για να περιορίσουν τις επιπτώσεις της ξηρασίας, οι ελαιοπαραγωγοί υιοθετούν διαχειριστικές πρακτικές όπως αραιές φυτεύσεις και

έντονο κλάδεμα, προκειμένου να μειώσουν την υδατική καταπόνηση των δέντρων. Αυτό επισημαίνει τον κρίσιμο ρόλο που παίζουν οι βροχοπτώσεις στην οικονομική βιωσιμότητα της ελαιοκαλλιέργειας, ειδικά όταν τα ξηρά καλοκαίρια στις περιοχές καλλιέργειας επιδεινώνουν την κατάσταση (Moriondo et al., 2015). Οι παραγωγοί εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την αποτελεσματική αξιοποίηση των χειμερινών και εαρινών βροχοπτώσεων, προκειμένου να διασφαλίσουν την παραγωγικότητα των ελαιώνων τους. Ωστόσο, η ποιότητα του εδάφους αποτελεί επίσης σημαντικό παράγοντα για την ανάπτυξη των ελαιόδεντρων. Παρά το γεγονός ότι η ελιά είναι καλά προσαρμοσμένη σε εδάφη χαμηλής γονιμότητας, τα καλύτερα αποτελέσματα επιτυγχάνονται σε βαθιά και γόνιμα εδάφη με μέτρια υδατοϊκανότητα (Therios, 2009).

Η ηλιακή ακτινοβολία, η σχετική υγρασία και οι άνεμοι αποτελούν σημαντικούς κλιματικούς παράγοντες που επηρεάζουν την παραγωγικότητα των ελαιώνων. Ειδικότερα, περιοχές που εκτίθενται σε ισχυρούς ανέμους δεν είναι κατάλληλες για την καλλιέργεια ελιάς, καθώς οι ψυχροί και υγροί άνεμοι την άνοιξη περιορίζουν τη γονιμοποίηση των λουλουδιών και την ανάπτυξη των καρπών (Therios, 2009). Αντιθέτως, οι θερμοί άνεμοι το καλοκαίρι οδηγούν σε πτώση των καρπών, ενώ οι ξηροί άνεμοι φαίνεται να επιταχύνουν την ωρίμανση και συρρίκνωση των καρπών (Therios, 2009). Επιπλέον, δεδομένου ότι η επικονίαση της ελιάς επηρεάζεται σημαντικά από τον άνεμο, οι ξηροί και θερμοί άνεμοι ενδέχεται να βλάψουν τους γυρεόκοκκους, επηρεάζοντας αρνητικά τη γονιμοποίηση. Συνολικά, η ανάπτυξη της ελιάς είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη στις κλιματικές και καιρικές συνθήκες, καθιστώντας την ευάλωτη στην κλιματική αλλαγή. Ως εκ τούτου, καθίσταται επιτακτική η ανάγκη για τον εντοπισμό και την εκτίμηση των πιθανών επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στην ελαιοκαλλιέργεια, προκειμένου να αναληφθούν κατάλληλες δράσεις για την προσαρμογή και τη βιωσιμότητά της στο μέλλον.

Πρόσφατες μελέτες σχετικά με τα ελαιόδεντρα έχουν καταδείξει ότι η καλλιέργεια ελιάς μπορεί να επηρεαστεί σημαντικά από την κλιματική αλλαγή (Orlandi et al., 2005), ιδιαίτερα στα μεσογειακά κλίματα (Orlandi et al., 2010). Ειδικότερα, η άνοδος της θερμοκρασίας μπορεί να έχει έντονες επιπτώσεις στην

καλλιέργεια. Η αναμενόμενη αύξηση των θερμοκρασιών αναμένεται να επεκτείνει τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου (Pérez-López et al., 2008), αλλά θα μπορούσε επίσης να προκαλέσει σημαντικές αλλαγές στους φαινολογικούς χρόνους, κυρίως στην ανθοφορία, με πιθανά αρνητικό αντίκτυπο (Avalio et al., 2012; Aguilera et al., 2015). Επιπλέον, οι υψηλότερες θερμοκρασίες και η αυξημένη εξατμισοδιαπνοή θα επιταχύνουν την ωρίμανση των καρπών, κάτι που θα απαιτούσε πιο πρώιμη συγκομιδή, αλλά με χαμηλότερο βαθμό ωριμότητας (Dag et al., 2014). Η αύξηση των θερμοκρασιών ενδέχεται να προκαλέσει και μείωση των συνθηκών ψύξης, γεγονός που οδηγεί σε ανεπαρκή ψύξη κατά την περίοδο του χειμώνα (Gabalión-Leal et al., 2017). Η έλλειψη επαρκούς ψύξης μπορεί να οδηγήσει σε μειωμένη καρπώδεση, με αρνητικές συνέπειες για τη συνολική απόδοση (παραμορφωμένοι ανθοφόροι οφθαλμοί και καρποί σε ορισμένες ποικιλίες ελιάς) (Torres et al., 2017).

Η διαθεσιμότητα του νερού αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για την παραγωγή ελιάς (Iglesias and Garrote, 2015), και η ξηρασία θεωρείται πλέον βασικός περιοριστικός παράγοντας για τη γεωργική παραγωγικότητα (Brito et al., 2019). Παρά το γεγονός ότι τα ελαιόδεντρα είναι ανθεκτικά στην ξηρασία, η υδατική καταπόνηση μπορεί να προκαλέσει ένα ευρύ φάσμα αρνητικών επιπτώσεων στην καλλιέργεια, όπως χαμηλή ανθοφορία και καρπώδεση, μειωμένη φωτοσύνθεση, αποβολή ανθέων και αποκοπή τμημάτων, καθώς και περιορισμένη φυλλική επιφάνεια (Arampatzis et al., 2018). Μια μελέτη για την περιοχή του Alentejo από τους Fraga et al. (2020a), που είναι η κύρια ελαιοπαραγωγική περιοχή της Πορτογαλίας, κατέδειξε ότι οι μειώσεις στις βροχοπτώσεις (-80 έως -90 mm) και στην πραγματική εξατμισοδιαπνοή (-50 έως -70 mm) μπορεί να οδηγήσουν σε γενική μείωση των αποδόσεων μέχρι το 2080 σύμφωνα με δύο μελλοντικά σενάρια εκπομπών (RCP4.5 και RCP8.5). Οι αυξημένες συνθήκες υδατικής καταπόνησης αναμένονται να έχουν σοβαρές συνέπειες για την παραγωγή, καθώς η ανεπάρκεια νερού καθιστά δύσκολη τη σωστή ανάπτυξη των δέντρων και την καρποφορία τους. Οι επιπτώσεις αυτές είναι ιδιαίτερα σημαντικές, δεδομένου ότι η αποτελεσματική διαχείριση του νερού είναι κρίσιμη για τη βιωσιμότητα της ελαιοκαλλιέργειας στο μέλλον.

Οι κλιματικές επιπτώσεις στην ελαιοκαλλιέργεια φαίνεται να διαφέρουν σημαντικά από περιοχή σε περιοχή. Ορισμένες μελέτες, όπως αυτές των Tanasijevic et al. (2014) και Rodríguez Sousa et al. (2020), δείχνουν ότι η υπερβολική θερμότητα και η υδατική καταπόνηση στη νότια Ευρώπη μπορούν να μειώσουν την καταλληλότητα των ελαιώνων σε αυτές τις περιοχές, θέτοντας σε κίνδυνο τη βιωσιμότητα των καλλιεργειών. Οι κλιματικές συνθήκες που σχετίζονται με την υπερβολική ζέστη και την έλλειψη νερού δημιουργούν σοβαρές προκλήσεις για την παραγωγή και τη διαχείριση των ελαιώνων. Ωστόσο, άλλες μελέτες, όπως αυτή των Ponti et al. (2014), αναφέρουν ότι οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής μπορεί να είναι ετερογενείς, με διαφορετικά αποτελέσματα για τις διάφορες περιοχές. Ειδικότερα, σημειώνουν ότι οι μικρές ελαιοκαλλιέργειες σε χώρες όπως η Ιταλία και η Ελλάδα αναμένεται να υποστούν υψηλές οικονομικές απώλειες λόγω των αλλαγών στο κλίμα, ενώ άλλες περιοχές της Ευρώπης ενδέχεται να δουν αύξηση στην παραγωγικότητα, χάρη σε ευνοϊκότερες συνθήκες. Αυτές οι διαφοροποιημένες επιπτώσεις δείχνουν την ανάγκη για μια πιο εξατομικευμένη προσέγγιση στην αντιμετώπιση των προκλήσεων που προκαλεί η κλιματική αλλαγή στην ελαιοκαλλιέργεια, λαμβάνοντας υπόψη τις τοπικές συνθήκες και τις ανάγκες των παραγωγών.

Οι Fraga et al. (2020b), με την χρήση ενός συνδυασμού διαφορετικών περιοχικών κλιματικών μοντέλων και μοντέλων καλλιέργειας για τα ελαιόδεντρα, επεσήμαναν τη σημασία της εξέτασης των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής σε περιφερειακό και τοπικό επίπεδο. Τα αποτελέσματα της μελέτης αυτής δείχνουν ότι, αν και οι γενικές τάσεις δείχνουν αρνητικές επιπτώσεις στην παραγωγή ελαιόδεντρων σε περιοχές με υψηλές θερμοκρασίες και ξηρασία, οι τοπικές διαφορές στις κλιματικές συνθήκες μπορούν να δημιουργήσουν ετερόνομες επιπτώσεις. Αυτό υπογραμμίζει την ανάγκη για πιο εξειδικευμένες και τοπικά προσαρμοσμένες εκτιμήσεις για να κατανοήσουμε καλύτερα τις συνέπειες της κλιματικής αλλαγής. Ένα ακόμα σημαντικό στοιχείο που πρέπει να ληφθεί υπόψη είναι η επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην εξάπλωση παρασίτων και ασθενειών που προσβάλλουν τα ελαιόδεντρα. Μελέτες, όπως εκείνη του Scortichini (2020), δείχνουν ότι η αλλαγή του κλίματος ενισχύει την ευαισθησία

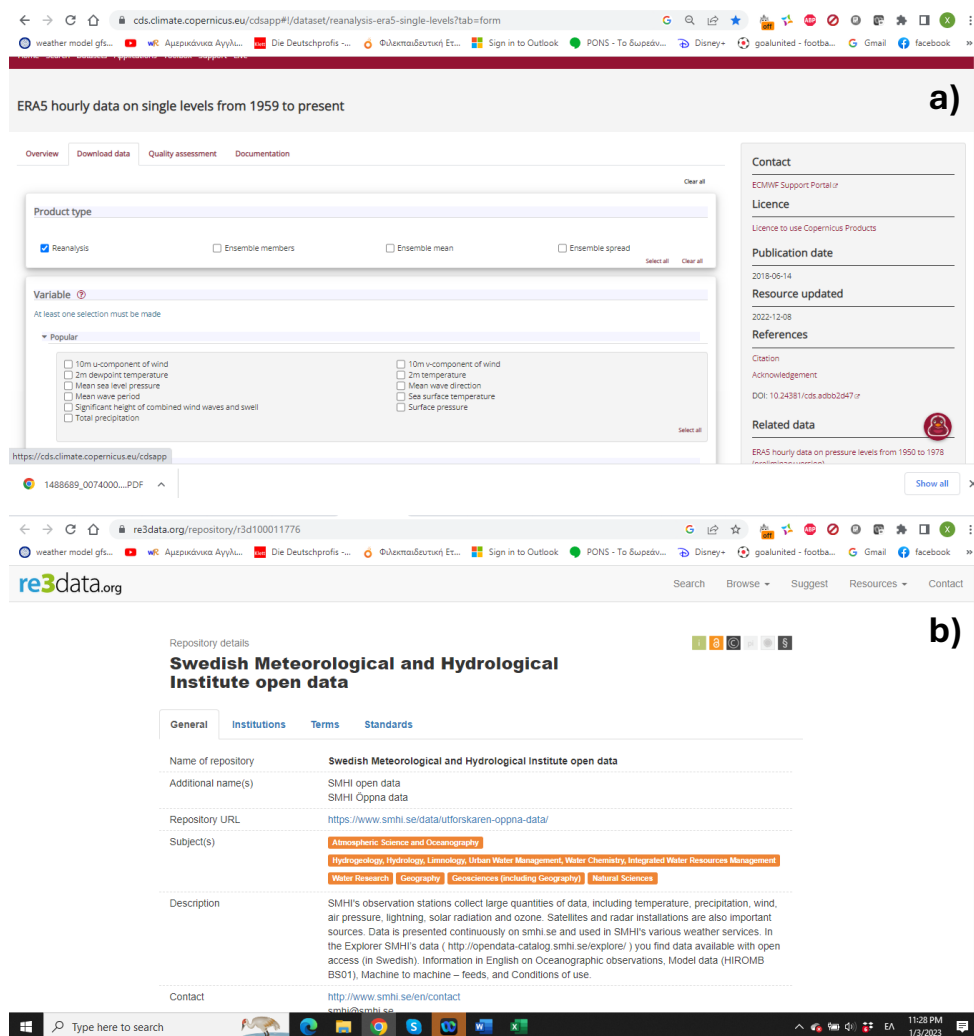
των τοπικών ποικιλιών ελιάς σε ασθένειες και παράσιτα. Οι αλλαγές στη θερμοκρασία και την υγρασία, που σχετίζονται με την κλιματική αλλαγή, δημιουργούν ευνοϊκές συνθήκες για την ανάπτυξη ορισμένων παθογόνων οργανισμών, όπως βακτήρια και μύκητες, οι οποίοι μπορεί να προκαλέσουν σοβαρές ζημιές στους ελαιώνες και να μειώσουν τις αποδόσεις. Αυτό δείχνει ότι η κλιματική αλλαγή δεν επηρεάζει μόνο τις φυσικές συνθήκες που είναι κρίσιμες για την ανάπτυξη των ελαιόδεντρων, αλλά και τη σχέση των καλλιεργειών με τον επιβλαβή οργανικό κόσμο, επισημαίνοντας την ανάγκη για ολοκληρωμένες στρατηγικές διαχείρισης που να περιλαμβάνουν την αντιμετώπιση παρασίτων και ασθενειών.

Δεδομένα

Στην έρευνα αυτή χρησιμοποιήθηκαν κλιματικά δεδομένα σε ωριαία χρονική κλίμακα με στόχο την ανάλυση των επιπτώσεων της κλιματικής μεταβολής στις ελαιοκαλλιέργειες της Μεσσηνίας. Χρησιμοποιήθηκαν δύο διαφορετικές βάσεις δεδομένων, τα δεδομένα reanalysis ERA5 που είναι διαθέσιμα στην ιστοσελίδα του ECMWF (<https://cds.climate.copernicus.eu/datasets/reanalysis-era5-single-levels?tab=overview>) και τα δεδομένα του περιοχικού κλιματικού μοντέλου SMHI (Εικόνα 1). Τα κλιματικά δεδομένα καλύπτουν την περίοδο αναφοράς 1981-2005, η οποία επιλέχθηκε για να είναι αντιπροσωπευτική των αλλαγών που συμβαίνουν στο κλίμα της περιοχής, καθώς και τέσσερις μελλοντικές περιόδους (2031-2040, 2041-2050, 2051-2060 και 2061-2070). Η μελέτη καλύπτει τον ηπειρωτικό κορμό της περιοχής της Μεσσηνίας (Πίνακας 1).

Τα δεδομένα ERA5 αποτελούν τα δεδομένα reanalysis πέμπτης γενιάς του ECMWF, παρέχοντας υψηλής ποιότητας κλιματικά δεδομένα για τις τελευταίες 4 έως 7 δεκαετίες. Διατίθενται από το 1950 και έχουν αντικαταστήσει τα δεδομένα reanalysis ERA-Interim τέταρτης γενιάς. Στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης, χρησιμοποιήθηκαν ωριαία δεδομένα ERA5 που περιλαμβάνουν βασικές κλιματικές παραμέτρους και συγκεκριμένα την θερμοκρασία του αέρα, την βροχόπτωση, την ταχύτητα του επιφανειακού ανέμου, την θερμοκρασία σημείου

δρόσου, καθώς και την ακτινοβολία μεγάλου και μικρού μήκους κύματος. Τα δεδομένα αυτά διαθέτουν οριζόντια χωρική ανάλυση 0.25°. Τα δεδομένα αντλήθηκαν από τη βάση C3S (Copernicus Climate Change Service) και αφορούν την περίοδο 1981-2005 για την ευρύτερη περιοχή της ηπειρωτικής και παράκτιας Μεσσηνίας.



Εικόνα 1. α) Η ιστοσελίδα του ECMWF για την παροχή των κλιματικών δεδομένων reanalysis ERA5 και β) η ιστοσελίδα του Swedish Meteorological and Hydrological Institute για την παροχή των δεδομένων του περιοχικού κλιματικού μοντέλου SMHI

Πίνακας 1. Τα κλιματικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν

Data	Area	Longitude/ Latitude	Reference
ERA5	Messinia	21.6°E/22.3°E 36.7°N/37.5°N	Hersbach et al., 2020
SMHI	Messinia	21.6°E/22.3°E 36.7°N/37.5°N	Swedish Meteorological and Hydrological Institute open data, 2021 https://www.re3data.org/repository/r3d100011776

Το Ευρωπαϊκό Κέντρο Μεσοπρόθεσμων Μετεωρολογικών Προγνώσεων (ECMWF), στο πλαίσιο της υπηρεσίας Copernicus Climate Change Service (C3S), είναι υπεύθυνο για την παραγωγή των δεδομένων reanalysis ERA5. Η βάση δεδομένων ERA5 τέθηκε σε λειτουργία το 2016 και βασίζεται στο προγνωστικό σύστημα IFS (Integrated Forecasting System) Cy41r2. Σε σχέση με τον προκατόχό του, ERA-Interim, το ERA5 προσφέρει σημαντικά βελτιωμένη ανάλυση, τόσο οριζόντια όσο και κατακόρυφα. Συγκεκριμένα, διαθέτει οριζόντια χωρική ανάλυση 31 χιλιομέτρων ($\sim 0.25^\circ$) και κατακόρυφη ανάλυση 137 επιπέδων, με το ανώτερο ατμοσφαιρικό στρώμα να φτάνει στο 1 Pa. Αντίθετα, το ERA-Interim είχε χαμηλότερη ανάλυση, με 79 χιλιόμετρα οριζόντια και 60 κατακόρυφα επίπεδα, με ανώτερο στρώμα στα 10 Pa. Επιπλέον, ένα από τα σημαντικά πλεονεκτήματα του ERA5 είναι η παροχή δεδομένων σε ωριαία βάση, ενώ στα προηγούμενα δεδομένα reanalysis η χρονική ανάλυση ήταν περιορισμένη, κυμαινόμενη από τρεις ώρες για τα δεδομένα πρόγνωσης έως έξι ώρες για τα δεδομένα ανάλυσης.

Τα δεδομένα Reanalysis είναι μια πολύ ισχυρή προσέγγιση για τη δημιουργία μακροχρόνιων σειρών κλιματικών δεδομένων, συνδυάζοντας παρατηρήσεις και μοντέλα για να παράγει μία αναδρομική εκτίμηση της ατμοσφαιρικής κατάστασης σε βάθος. Χρησιμοποιώντας τη διαδικασία της αφομοίωσης δεδομένων, οι εκτιμήσεις αυτές βελτιώνονται συνεχώς καθώς στην αρχική πρόγνωση προστίθεται νέα πληροφορία από παρατηρήσεις. Η βασική ιδέα πίσω από αυτήν την τεχνική είναι ότι, παρόλο που τα δεδομένα μοντέλων μπορεί να μην είναι τόσο ακριβή όσο οι άμεσες παρατηρήσεις, μπορούν να παρέχουν έναν αξιόπιστο οδηγό για την κατανόηση των κλιματικών συνθηκών σε περιοχές όπου δεν υπάρχουν άμεσες παρατηρήσεις ή οι παρατηρήσεις είναι περιορισμένες. Το σημαντικό πλεονέκτημα της μεθόδου Reanalysis είναι ότι, λόγω του ότι δεν χρειάζεται να παράγονται έγκαιρες προβλέψεις καιρού, μπορεί να επεξεργάζεται δεδομένα για πολύ παλιές χρονικές περιόδους. Αυτό επιτρέπει την αποτύπωση του κλίματος στο παρελθόν με μεγαλύτερη ακρίβεια. Τα δεδομένα Reanalysis, αν και έχουν περιορισμένη χωρική ανάλυση σε σχέση με τα προγνωστικά δεδομένα, καλύπτουν μια μεγάλη χρονική περίοδο και παρέχουν χρήσιμες πληροφορίες για τις κλιματικές συνθήκες του παρελθόντος, κάτι που είναι κρίσιμο για την εκτίμηση

των τάσεων και τη δημιουργία μοντέλων για μελλοντικές κλιματικές εξελίξεις. Τα εργαλεία και οι πλατφόρμες που χρησιμοποιούν Reanalysis δεδομένα, όπως το ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) και άλλοι αντίστοιχοι οργανισμοί, συμβάλλουν σημαντικά στην κατανόηση των κλιματικών διαδικασιών και στη λήψη αποφάσεων για το μέλλον.

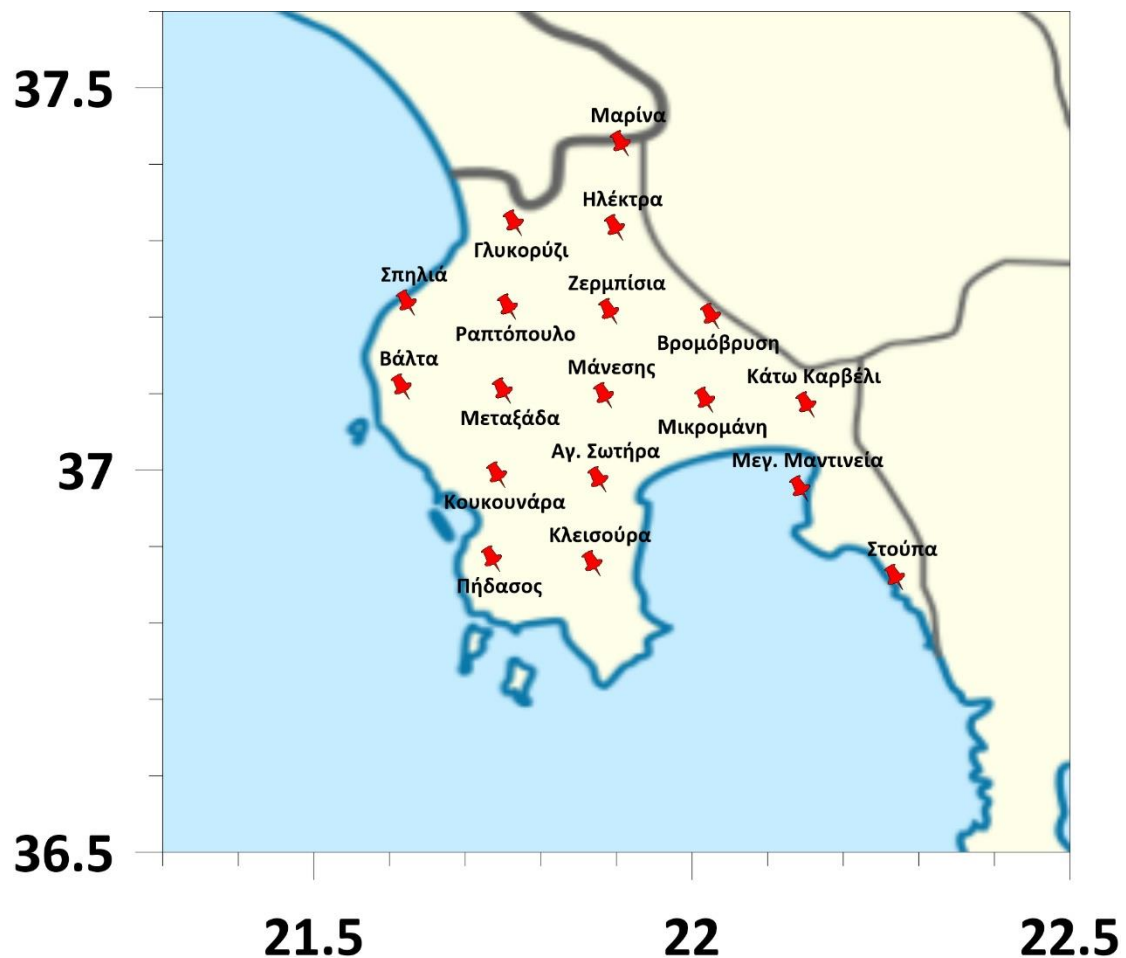
Επιπρόσθετα, για την ίδια περιοχή μελέτης, έγινε χρήση των ωριαίων και ημερήσιων δεδομένων των αντίστοιχων κλιματικών παραμέτρων που προέρχονται από το περιοχικό κλιματικό μοντέλο SMHI-RCA4. Το SMHI έχει ως «γονέα» (driving GCM) το μοντέλο γενικής κυκλοφορίας MPI-M-MPI-ESM-LR. Τα δεδομένα του μοντέλου καλύπτουν την περίοδο αναφοράς 1981-2005, καθώς και την μελλοντική περίοδο 2031-2070 για δύο σενάρια εκπομπών (RCP4.5 και RCP8.5).

Τα μοντέλα γενικής κυκλοφορίας (GCMs) είναι προηγμένα αριθμητικά μοντέλα που προσομοιώνουν τις φυσικές διεργασίες στην ατμόσφαιρα, τους ωκεανούς, την κρυόσφαιρα και την επιφάνεια του εδάφους, συμβάλλοντας στην κατανόηση του παγκόσμιου κλιματικού συστήματος (<https://www.ipcc-data.org/>). Η προσομοίωση των τοπικών κλιματικών συνθηκών επιτυγχάνεται μέσω της αλληλεπίδρασης διαδικασιών σε παγκόσμια και τοπική κλίμακα. Τα GCMs χρησιμοποιούνται για την ανάλυση παρελθοντικών κλιματικών μεταβολών και την πρόβλεψη μελλοντικών κλιματικών τάσεων σε διάφορες χρονικές και χωρικές κλίμακες. Αυτά τα μοντέλα περιγράφουν το κλίμα μέσω ενός τρισδιάστατου πλέγματος που καλύπτει ολόκληρο τον πλανήτη. Η χωρική ανάλυσή τους κυμαίνεται γενικά μεταξύ 250 και 600 km. Διαθέτουν 10 έως 20 κατακόρυφα επίπεδα στην ατμόσφαιρα, ενώ στους ωκεανούς τα επίπεδα μπορεί να φτάσουν έως και τα 30. Παρά τη συνεχή βελτίωση της ανάλυσής τους, τα GCMs εξακολουθούν να χαρακτηρίζονται από σχετικά αδρή χωρική ανάλυση, γεγονός που τα καθιστά ανεπαρκή για την ακριβή προσομοίωση των τοπικών κλιματικών χαρακτηριστικών, ιδιαίτερα σε περιοχές με έντονο τοπογραφικό ανάγλυφο. Επιπλέον, πολλές φυσικές διεργασίες που συμβαίνουν σε μικρότερη κλίμακα δεν μπορούν να αναπαρασταθούν επαρκώς. Για την επίτευξη μεγαλύτερης χωρικής ανάλυσης και την προσομοίωση των κλιματικών παραμέτρων με μεγαλύτερη

ακρίβεια, εφαρμόζεται η μέθοδος του δυναμικού υποβιβασμού κλίμακας (dynamical downscaling), κατά την οποία τα δεδομένα των GCMs μεταφέρονται σε περιοχικά κλιματικά μοντέλα (RCMs).

Τα περιοχικά κλιματικά μοντέλα (RCMs) είναι εξειδικευμένα αριθμητικά προγνωστικά μοντέλα που λειτουργούν σε μικρότερες χωρικές κλίμακες, λαμβάνοντας υπόψη συγκεκριμένες πλευρικές, ωκεάνιες και ατμοσφαιρικές συνθήκες. Αυτές οι συνθήκες προέρχονται είτε από GCMs είτε από δεδομένα reanalysis, τα οποία βασίζονται σε παρατηρήσεις. Τα RCMs προσομοιώνουν τις ατμοσφαιρικές και επιφανειακές διεργασίες ενσωματώνοντας τοπογραφικά δεδομένα υψηλής ανάλυσης, τις αντιθέσεις ξηράς - θάλασσας, τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας και άλλες σημαντικές συνιστώσες του γήινου συστήματος. Δεδομένου ότι τα RCMs καλύπτουν μια συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή, απαιτούν τη ρητή καθορισμένη παροχή οριακών τιμών (γνωστές ως οριακές συνθήκες) από τα GCMs ή από δεδομένα reanalysis. Τα RCMs προσαρμόζουν τις αρχικές συνθήκες και εξελίσσουν τη μεταβλητότητα του κλίματος σε μικρότερες χωρικές κλίμακες, επιτρέποντας την προσομοίωση τοπικών κλιματικών χαρακτηριστικών με μεγαλύτερη ακρίβεια. Έτσι, μέσω της τεχνικής του υποβιβασμού κλίμακας, επιτυγχάνεται σημαντική βελτίωση στην περιγραφή των τοπικών κλιματικών μεταβολών (<https://glossary.ametsoc.org/>).

Το περιοχικό κλιματικό μοντέλο SMHI-RC4 δημιουργήθηκε από το Swedish Meteorological and Hydrological Institute (SMHI) στο πλαίσιο της πρωτοβουλίας CORDEX. Η χωρική ανάλυση των δεδομένων αυτού του περιοχικού κλιματικού μοντέλου είναι 0.11° (~12km) για την περιοχή της Ευρώπης, ενώ διαθέτει 40 κατακόρυφα επίπεδα. Στην Εικόνα 2 απεικονίζεται η περιοχή μελέτης, καθώς και τα σημεία πλέγματος του περιοχικού κλιματικού μοντέλου SMHI που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη και καλύπτουν την περιοχή της Μεσσηνίας. Κάθε σημείο πλέγματος αντιπροσωπεύει μια τοποθεσία της Μεσσηνίας, η οποία καταγράφεται στον χάρτη.



Εικόνα 2. Η περιοχή μελέτης και η θέση των σημείων πλέγματος του περιοχικού κλιματικού μοντέλου SMHI, καθώς και η αντιστοίχισή τους με τοποθεσίες της Μεσσηνίας

Οι προβλέψεις για τις μελλοντικές μεταβολές της θερμοκρασίας χρησιμοποιώντας τα σενάρια εκπομπών RCPs (Representative Concentration Pathways) παρέχουν σημαντικές πληροφορίες για την εκτίμηση των πιθανών επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής σε συγκεκριμένες περιοχές, όπως η Μεσσηνία. Τα RCPs είναι σενάρια που αναπτύχθηκαν από το Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) και περιλαμβάνουν χρονοσειρές εκπομπών και συγκεντρώσεων αερίων του θερμοκηπίου (GHGs), αερολυμάτων, χημικά ενεργών αερίων και αλλαγών στη χρήση της γης (Kim et al., 2013, Zhang et al., 2017). Κάθε σενάριο RCP αναπαριστά ένα ενδεχόμενο μέλλον για την κλιματική κατάσταση της Γης, λαμβάνοντας υπόψη τις ανθρωπογενείς εκπομπές και τις επιπτώσεις τους.

Το RCP4.5 είναι ένα σενάριο που περιλαμβάνει μακροπρόθεσμες εκπομπές θερμοκηπικών αερίων (GHG), βραχύβια είδη και χρήση γης σε παγκόσμιο οικονομικό πλαίσιο. Σταθεροποιεί το RF στα $4.5 W/m^2$ μέχρι το 2100 χωρίς να υπερβαίνει αυτή την τιμή τα προηγούμενα έτη. Η επιτακτική ανάγκη περιορισμού των εκπομπών για την επίτευξη του στόχου του RF οδηγεί σε αλλαγές στο ενεργειακό σύστημα που περιλαμβάνουν αλλαγές στην ηλεκτρική ενέργεια, μείωση των εκπομπών ενεργειακών τεχνολογιών και ανάπτυξη τεχνολογίας δέσμευσης άνθρακα και γεωλογικής αποθήκευσης (Thomson et al., 2011). Το σενάριο RCP8.5 συνδυάζει υποθέσεις για μεγάλη αύξηση πληθυσμού και σχετικά αργή οικονομική ανάπτυξη με μέτριους ρυθμούς τεχνολογικής αλλαγής και βελτίωσης έντασης ενέργειας, με αποτέλεσμα μακροπρόθεσμα να υπάρχει μεγάλη ζήτηση ενέργειας και εκπομπών θερμοκηπικών αερίων (GHG) χωρίς πολιτική για την αλλαγή του κλίματος. Οι εκπομπές θερμοκηπικών αερίων (GHG) και οι συγκεντρώσεις σε αυτό το σενάριο αυξάνουν σημαντικά με το χρόνο και οδηγούν σε ένα RF της τάξεως των $8.5 W/m^2$ μέχρι το τέλος του αιώνα (Riahi et al., 2011).

Η χρήση των RCPs για την ανάλυση των μεταβολών της θερμοκρασίας στην περιοχή της Μεσσηνίας επιτρέπει την εκτίμηση των μελλοντικών συνθηκών, βοηθώντας στη σχεδίαση στρατηγικών προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή, όπως είναι η προσαρμογή της γεωργίας και η διαχείριση των φυσικών πόρων. Για παράδειγμα, αν το RCP8.5 εφαρμοστεί στην περιοχή, αναμένονται σημαντικές αυξήσεις της θερμοκρασίας, οι οποίες θα μπορούσαν να επηρεάσουν αρνητικά την παραγωγή ορισμένων καλλιεργειών, όπως η ελιά, και να αυξήσουν την ανάγκη για διαχείριση του νερού και στρατηγικές προστασίας από ακραία καιρικά φαινόμενα. Είναι, λοιπόν, σημαντικό να ληφθούν υπόψη αυτές οι προβλέψεις για τη διαμόρφωση πολιτικών και στρατηγικών που θα μειώσουν τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην τοπική κλιματική κατάσταση και τις τοπικές κοινότητες.

Κεφάλαιο 2

Η αγροκλιματολογία της ελιάς

2.1. Ελιά

Η εγκατάσταση της ελαιοκαλλιέργειας σε μια περιοχή εξαρτάται από την περιβαλλοντική καταλληλότητα αυτής, η οποία μπορεί να εκτιμηθεί με βάση τα ιστορικά κλιματικά δεδομένα της εκάστοτε περιοχής (θερμοκρασίες, βροχόπτωση, άνεμος, ομίχλη κτλ) που καλύπτουν μια χρονοσειρά τουλάχιστον 30 ετών. Σημαντικό ρόλο παίζουν επίσης η φυσική και χημική ανάλυση του εδάφους, καθώς και η έκθεση. Επιπρόσθετα, χρήσιμη ένδειξη μπορεί να αποτελέσουν η βλαστική και παραγωγική κατάσταση των ελαιώνων που πιθανώς να υπάρχουν κοντά στην τοποθεσία φυτείας.

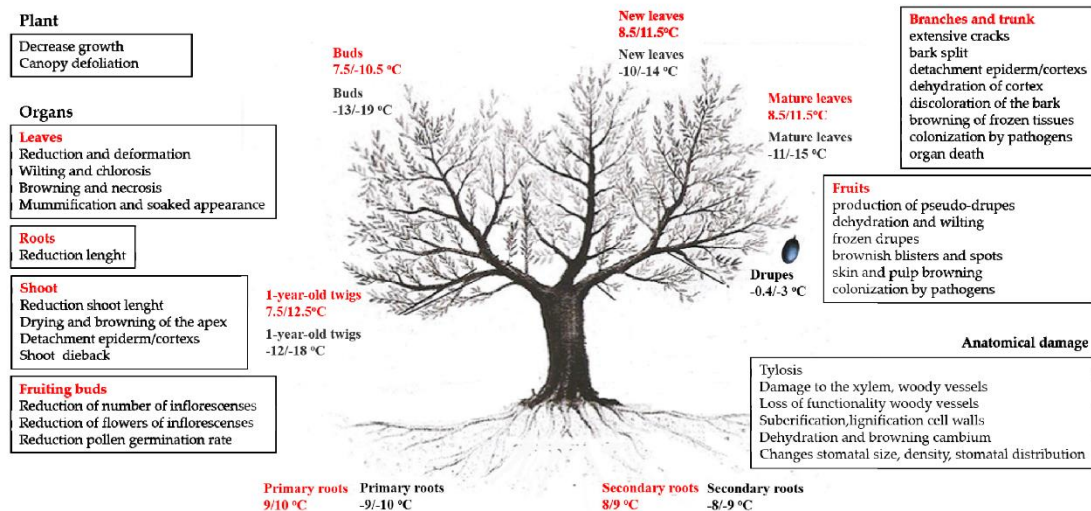
Για να αξιολογηθούν οι κλιματικοί παράγοντες που προσδιορίζουν την περιβαλλοντική καταλληλότητα μιας περιοχής, πρέπει να ληφθούν υπόψιν τα εξής (Εικόνα 3):

- Οι θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Για την αποφυγή ζημιών στα φυτά οι χειμερινές θερμοκρασίες δεν πρέπει να πέφτουν κάτω από τους -6 έως -7°C , καθώς χαμηλότερες θερμοκρασίες είναι επιβλαβείς για τα φύλλα και ιδιαίτερα εάν παραμένουν για μικρό χρονικό διάστημα. Σε περιπτώσεις όπου οι θερμοκρασίες πέφτουν συχνά (περισσότερο από μία φορά κάθε 10-15 χρόνια) κάτω από -14 με -15°C έστω και για μικρό χρονικό διάστημα – θερμοκρασίες που μπορούν να προκαλέσουν σοβαρές ζημιές στο ελαιόδεντρο – η φύτευση του ελαιώνα δεν συνιστάται. Ιδιαίτερα στην περίπτωση της ελιάς οι θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια του χειμώνα προτιμάται να μην πέφτουν κάτω των -3°C γιατί υπάρχει κίνδυνος πρόκλησης ζημιών λόγω παγετού, καθώς πρόκειται για αειθαλές είδος το

οποίο είναι δραστήριο και οι χυμοί του κυκλοφορούν σε όλη τη διάρκεια του έτους.

- Οι επιπτώσεις του παγετού μπορούν να επιδεινωθούν από την ταυτόχρονη παρουσία χιονιού, ομίχλης ή ανέμου.
- Αξίζει να σημειωθεί ότι οι χαμηλές θερμοκρασίες κατά τη χειμερινή περίοδο μπορούν να συμβάλουν στη σημαντική ελάττωση του πληθυσμού εχθρών και παθογόνων του ελαιόδεντρου, όπως είναι ο δάκος, οι μύκητες κτλ.
- Κατά τη διάρκεια του χειμώνα, θερμοκρασίες που κυμαίνονται μεταξύ 0 και +7°C είναι απαραίτητες για τη βέλτιστη διαφοροποίηση των ανθοφόρων οφθαλμών που έχει ως αποτέλεσμα την ικανοποιητική άνθιση.
- Η απαίτηση για ψύχος ώστε να διαφοροποιηθούν οι οφθαλμοί διαφέρει σημαντικά ανάμεσα στις διάφορες ποικιλίες φυτών. Για πολλές ποικιλίες, ο απαιτούμενος χρόνος έκθεσης σε θερμοκρασίες κάτω από +4°C κυμαίνεται από 50 έως 60 ώρες. Ωστόσο, υπάρχουν εξειδικευμένες περιπτώσεις όπου η ανάγκη για ψύχος μπορεί να ξεπεράσει ακόμα και τις 1000 ώρες, αναδεικνύοντας τη μεγάλη ποικιλομορφία στις φυσιολογικές απαιτήσεις των φυτών ανάλογα με την ποικιλία.
- Μια περιοχή θεωρείται κατάλληλη για ελαιοπαραγωγή όταν οι κίνδυνοι από όψιμους (Απρίλιος-Μάιος) ή πρώιμους (φθινοπωρινούς) παγετούς είναι είτε ανύπαρκτη είτε εξαιρετικά περιορισμένη, με συχνότητα που δεν ξεπερνά έναν παγετό κάθε 10-15 χρόνια. Σε περιοχές όπου υπάρχει αυξημένος κίνδυνος φθινοπωρινών παγετών, είναι προτιμότερο η συγκομιδή να ολοκληρώνεται έγκαιρα, μειώνοντας έτσι την πιθανότητα ζημιών στους καρπούς. Οι ζημιές αυτές μπορούν να επηρεάσουν αρνητικά την ποιότητα του παραγόμενου ελαιόλαδου, προκαλώντας αισθητά ελαττώματα, όπως το χαρακτηριστικό άρωμα και γεύση.
- Εκτός από τις χαμηλές θερμοκρασίες, είναι σημαντικό να ληφθούν υπόψη και οι αρνητικές επιπτώσεις των υπερβολικά υψηλών θερμοκρασιών. Η φωτοσύνθεση της ελιάς, βασική διαδικασία για την ανάπτυξη και την παραγωγικότητά της, γενικά αναστέλλεται όταν οι θερμοκρασίες

ξεπερνούν τους 35°C. Επιπλέον, οι παρατεταμένες υψηλές θερμοκρασίες συχνά συνδέονται με την πτώση των καρπών, ιδιαίτερα όταν συνοδεύονται από συνθήκες ξηρασίας, γεγονός που μπορεί να μειώσει σημαντικά την απόδοση και την ποιότητα της παραγωγής.



Εικόνα 3. Κρίσιμες θερμοκρασίες (κόκκινο χρώμα) και θερμοκρασίες ψύξης (μαύρο χρώμα) που επηρεάζουν τα διάφορα όργανα της ελιάς. Στα μαύρα πλαίσια αναφέρονται οι σημαντικές βλάβες που μπορεί να πάθε η ελιά ως αποτέλεσμα του ψυχρού στρες. (Petrucci et al., 2022)

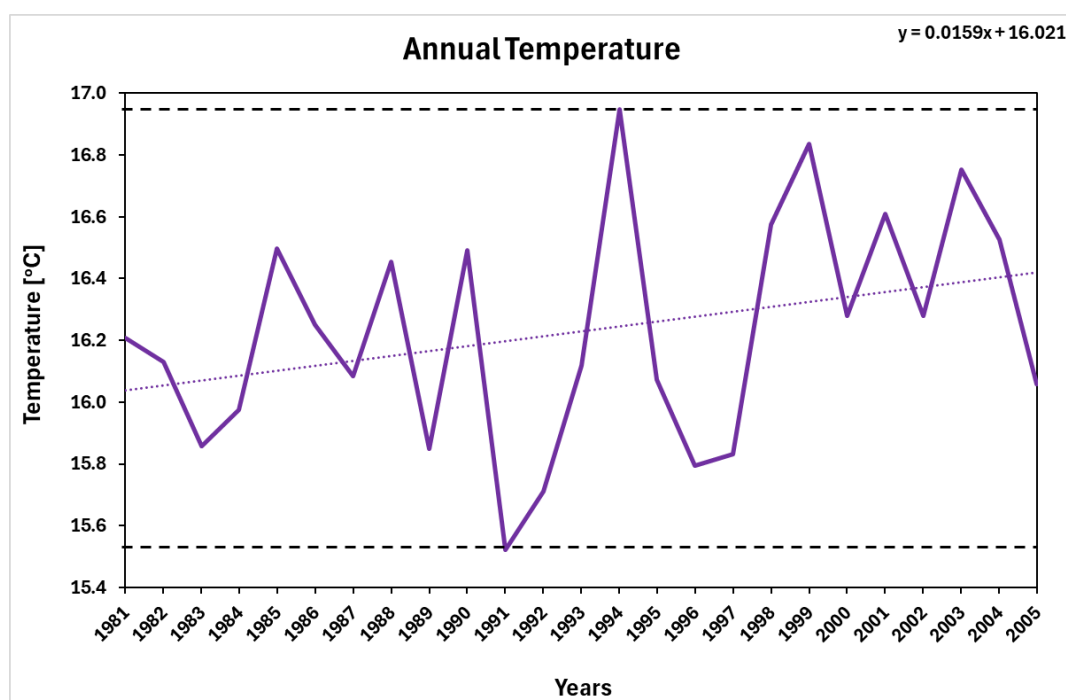
2.2. Θερμοκρασιακά χαρακτηριστικά της Μεσσηνίας

Η ενδοετήσια μεταβλητότητα των θερμοκρασιών στην περιοχή της Μεσσηνίας μελετήθηκε με υπολογισμό και χρήση των μέσων μηνιαίων και εποχιακών θερμοκρασιών για όλα σημεία πλέγματος και για το μέσο πεδίο αυτών. Παρατηρούνται παρόμοια στατιστικά χαρακτηριστικά στις μέσες θερμοκρασίες όλων των κόμβων που καλύπτουν την περιοχή μελέτης, αποδεικνύοντας ότι το μέσο πεδίο αντιπροσωπεύει την περιοχή της Μεσσηνίας. Η μέση θερμοκρασία στη Μεσσηνία την περίοδο αναφοράς 1981-2005 είναι περίπου 16°C, ενώ το εύρος των μέσων ετήσιων θερμοκρασιών κυμαίνεται μεταξύ 8°C και 25.9°C (Πίνακας 2). Χαρακτηριστική είναι η ανοδική τάση της ετήσιας θερμοκρασίας, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 4, με το 1994 να παρουσιάζει την υψηλότερη μέση ετήσια θερμοκρασία. Η Μεσσηνία χαρακτηρίζεται από το τυπικό Μεσογειακό κλίμα, με τον χειμώνα να είναι η ψυχρότερη εποχή (9.3°C) και το καλοκαίρι η

θερμότερη (23.9°C), ενώ το φθινόπωρο παρουσιάζεται έως και 4°C πιο θερμό από την άνοιξη (17.7°C έναντι 13.9°C αντίστοιχα).

Πίνακας 2. Στατιστική ανάλυση σε ετήσια και εποχιακή βάση των μέσων ημερήσιων θερμοκρασιών ERA5 για το μέσο πεδίο της Μεσσηνίας για την περίοδο αναφοράς 1981-2005

ΜΕΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	ΕΤΗΣΙΑ 1981-2005	ΧΕΙΜΩΝΑΣ 1981-2005	ΑΝΟΙΞΗ 1981-2005	ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ 1981-2005	ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ 1981-2005
MIN.	8.0	8.0	9.2	20.0	11.5
1 ST QUANTILE	10.2	8.7	11.0	23.2	14.3
MEDIAN	15.4	9.0	13.3	24.3	17.6
MEAN	16.2	9.3	13.9	23.9	17.7
3 RD QUANTILE	21.9	9.7	16.4	24.9	21.2
MAX.	25.9	11.4	19.9	25.9	23.5
SD	5.9	0.8	3.2	1.5	3.6
SKEWNESS	0.16	1.01	0.26	-0.96	-0.14
KURTOSIS	-1.48	0.34	-1.19	-0.10	-1.36



Εικόνα 4. Διακύμανση των μέσων ετήσιων θερμοκρασιών ERA5 για το μέσο πεδίο της Μεσσηνίας για την περίοδο αναφοράς 1981-2005

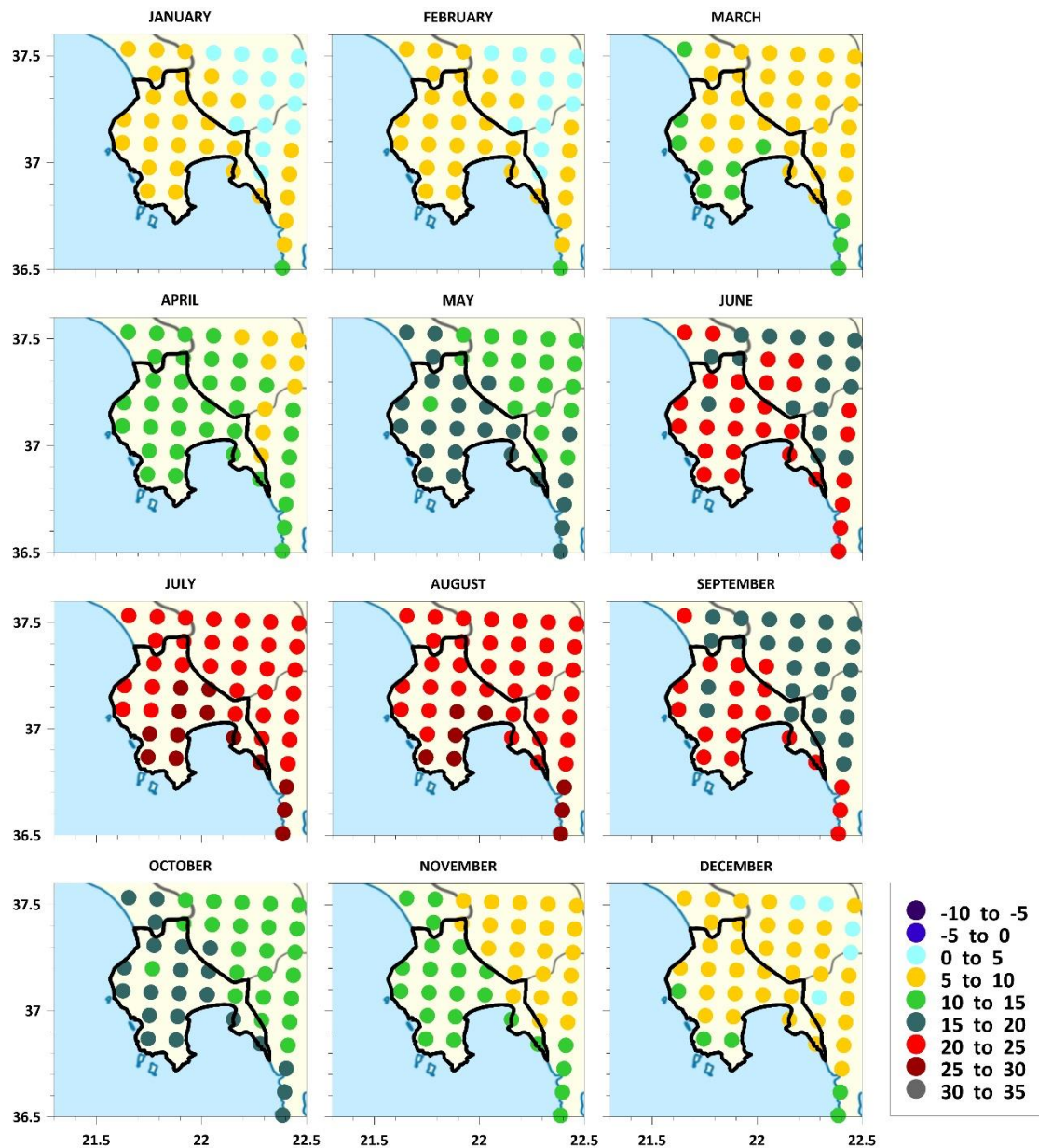
Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων του περιοχικού κλιματικού μοντέλου SMHI (Πίνακας 3) για τα δύο κλιματικά σενάρια RCP4.5 και RCP8.5 προκύπτει ότι η μέση ημερήσια θερμοκρασία κυμαίνεται στους 15°C και προβλέπεται να αυξηθεί

περίπου 1.5 – 2°C σύμφωνα με το σενάριο εκπομπών RCP4.5, και έως 3°C την τελευταία μελλοντική περίοδο (2061-2070) σύμφωνα με το σενάριο RCP8.5. Η μέση μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία στην Μεσσηνία αναμένεται να φτάσει τους 28.7°C την περίοδο 2041-2050 (RCP4.5) και τους 30.0°C την περίοδο 2061-2070 (RCP8.5), ενώ στην περίοδο αναφοράς η αντίστοιχη θερμοκρασία είναι περίπου 26°C. Επιπρόσθετα, η μέση ελάχιστη θερμοκρασία στην περιοχή της Μεσσηνίας αναμένεται να αυξηθεί από 6.2°C (περίοδος αναφοράς) στους 7.3°C την περίοδο 2031-2040 (RCP4.5) και στους 7.6°C την περίοδο 2061-2070 (RCP8.5).

Πίνακας 3. Στατιστική ανάλυση σε ετήσια και εποχιακή βάση των μέσων ημερήσιων θερμοκρασιών SMHI για το μέσο πεδίο της Μεσσηνίας για την περίοδο αναφοράς 1981-1990 και τις τέσσερις μελλοντικές περιόδους σύμφωνα με τα σενάρια εκπομπών RCP4.5 και RCP8.5

ΜΕΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ RCP4.5	1981-1990	2031-2040	2041-2050	2051-2060	2061-2070
MIN.	6.2	7.3	5.7	7.1	7.2
1ST QUANTILE	9.2	10.3	10.5	10.4	10.6
MEDIAN	14.0	15.1	15.2	15.8	14.7
MEAN	15.0	16.5	16.6	16.9	16.7
3RD QUANTILE	21.1	22.8	22.7	23.6	23.2
MAX.	26.1	28.6	28.7	28.7	28.6
SD	6.2	6.4	6.7	6.8	6.6
SKEWNESS	0.25	0.28	0.37	0.23	0.32
KURTOSIS	-1.36	-1.39	-1.24	-1.41	-1.29

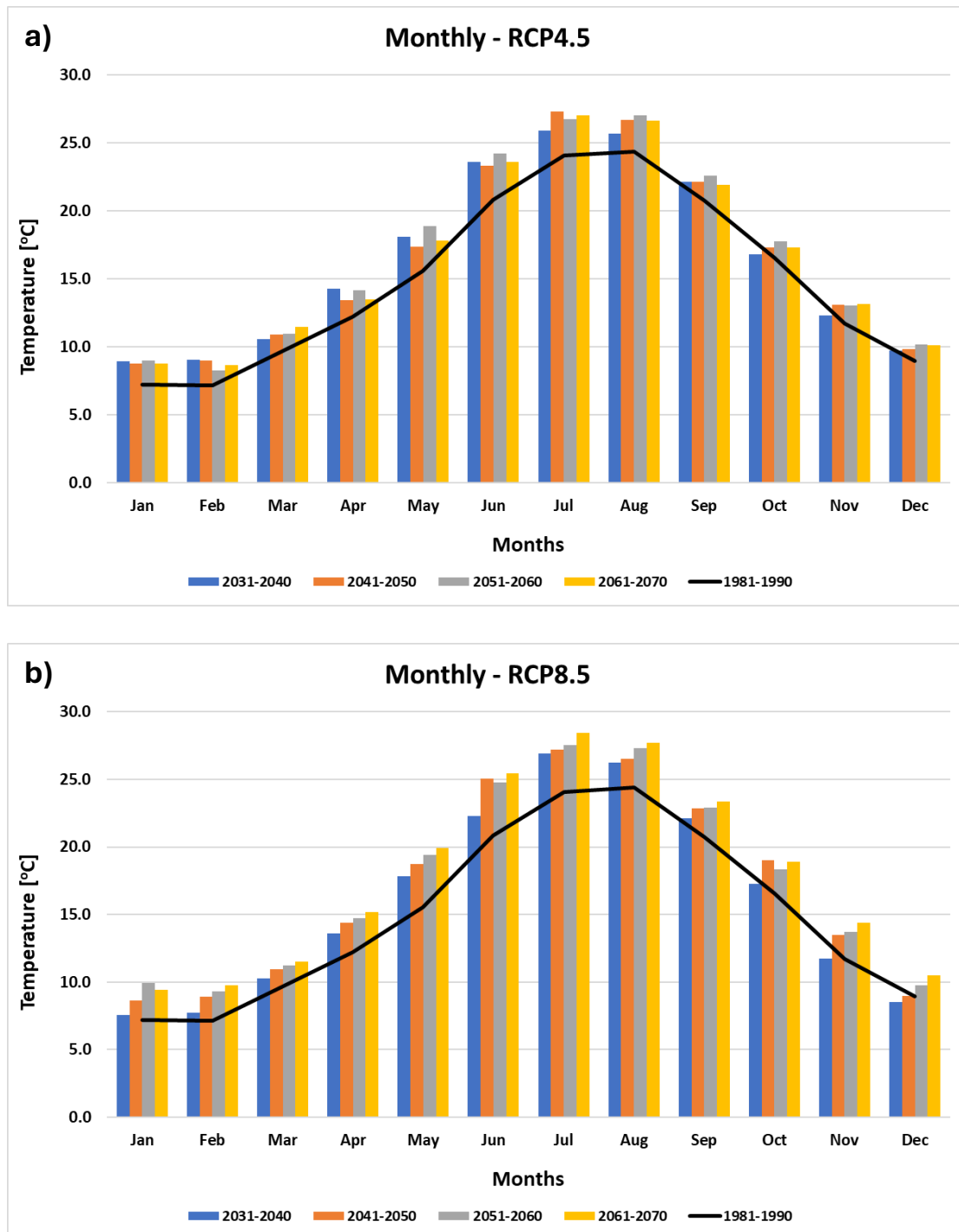
ΜΕΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ RCP8.5	1981-1990	2031-2040	2041-2050	2051-2060	2061-2070
MIN.	6.2	5.2	6.1	7.2	7.6
1ST QUANTILE	9.2	9.4	10.4	10.7	11.3
MEDIAN	14.0	15.6	16.4	16.4	17.3
MEAN	15.0	16.0	17.1	17.5	17.9
3RD QUANTILE	21.1	21.9	24.3	23.6	24.0
MAX.	26.1	28.3	28.6	29.9	30.0
SD	6.2	7.0	7.0	6.8	6.9
SKEWNESS	0.25	0.25	0.17	0.26	0.23
KURTOSIS	-1.36	-1.32	-1.43	-1.38	-1.38



Εικόνα 5. Χωρική κατανομή των μηνιαίων θερμοκρασιών του περιοχικού κλιματικού μοντέλου SMHI για την περίοδο αναφοράς 1981-2005

Ο Πίνακας 4 παρουσιάζει τις μέσες ετήσιες και μηνιαίες θερμοκρασίες για την Μεσσηνία για την περίοδο αναφοράς και για τις τέσσερις μελλοντικές περιόδους σύμφωνα με τα δύο σενάρια εκπομπών RCP4.5 και RCP8.5. Η μέση ετήσια θερμοκρασία για το μέσο πεδίο της Μεσσηνίας είναι 15°C την περίοδο αναφοράς 1981-1990 και αναμένεται να αυξηθεί έως 2°C σύμφωνα με το σενάριο εκπομπών RCP4.5 και έως 3°C σύμφωνα με το σενάριο RCP8.5 έως το τέλος της περιόδου μελέτης. Ο Ιούλιος και ο Αύγουστος φαίνεται να είναι οι θερμότεροι μήνες την περίοδο 1981-1990 (μέση μηνιαία θερμοκρασία 24.1°C και 24.4°C αντίστοιχα) με

τις μεγαλύτερες τιμές να εντοπίζονται στο νότιο και κεντρικό τμήμα του νομού (Εικόνα 5). Αντίθετα, οι ψυχρότεροι μήνες είναι ο Ιανουάριος και ο Φεβρουάριος, με την μέση μηνιαία θερμοκρασία να κυμαίνεται στους 7.2°C.



Εικόνα 6. Οι μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες του μέσου πεδίου στη Μεσσηνία από το περιοχικό κλιματικό μοντέλο SMHI για α) το σενάριο εκπομπών RCP4.5 και β) το σενάριο εκπομπών RCP8.5, για τις μελλοντικές περιόδους (χρωματιστές ράβδοι) και για την περίοδο αναφοράς 1981-1990 (μαύρη γραμμή)

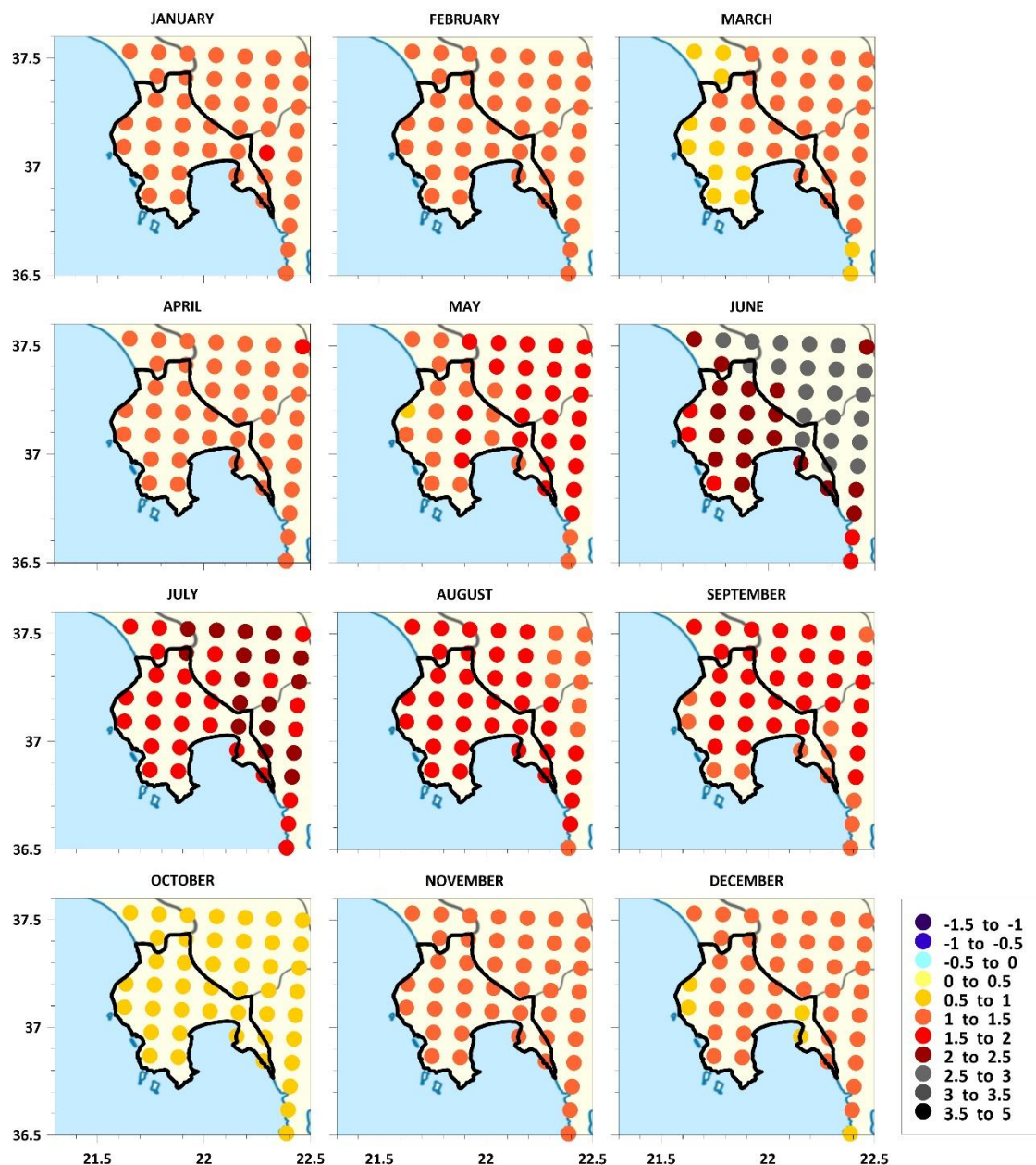
Η μέση μηνιαία θερμοκρασία δείχνει την τυπική κατανομή της θερμοκρασίας της Μεσογείου (Εικόνα 6, Πίνακας 4). Και στις τέσσερις μελλοντικές περιόδους, σύμφωνα με τα δύο σενάρια εκπομπών, οι θερμότεροι μήνες είναι ο Ιούλιος και ο Αύγουστος. Η αύξηση της θερμοκρασίας καθ' όλη τη διάρκεια του έτους αναμένεται να είναι μεγαλύτερη σύμφωνα με το σενάριο εκπομπών RCP8.5, με την μεγαλύτερη αύξηση (έως ~4.5°C) να εντοπίζεται στην τελευταία μελλοντική περίοδο 2061-2070. Γενικά, η μέση μηνιαία θερμοκρασία στο μέσο πεδίο της Μεσογίας θα κυμαίνεται από περίπου 7.5°C έως 28.5°C. Παρατηρείται σταδιακή αύξηση της διακύμανσης της θερμοκρασίας, η οποία είναι εντονότερη κατά τους θερμούς μήνες του έτους σε σύγκριση με τους χειμερινούς. Συγκεκριμένα, τον Ιούλιο η θερμοκρασία αναμένεται να αυξηθεί από 24.1°C (περίοδος αναφοράς) σε 27.0°C και 28.4°C (2061-2070 για τα RCP4.5 και RCP8.5 αντίστοιχα), ενώ τον Ιανουάριο από 7.2°C την περίοδο αναφοράς σε 8.8°C και 9.4°C την περίοδο 2061-2070 (RCP4.5 και RCP8.5 αντίστοιχα).

Πίνακας 4. Μέσες μηνιαίες και ετήσιες θερμοκρασίες για την περίοδο αναφοράς 1981-1990 και για τις τέσσερις μελλοντικές περιόδους για τα σενάρια εκπομπών RCP4.5 και RCP8.5

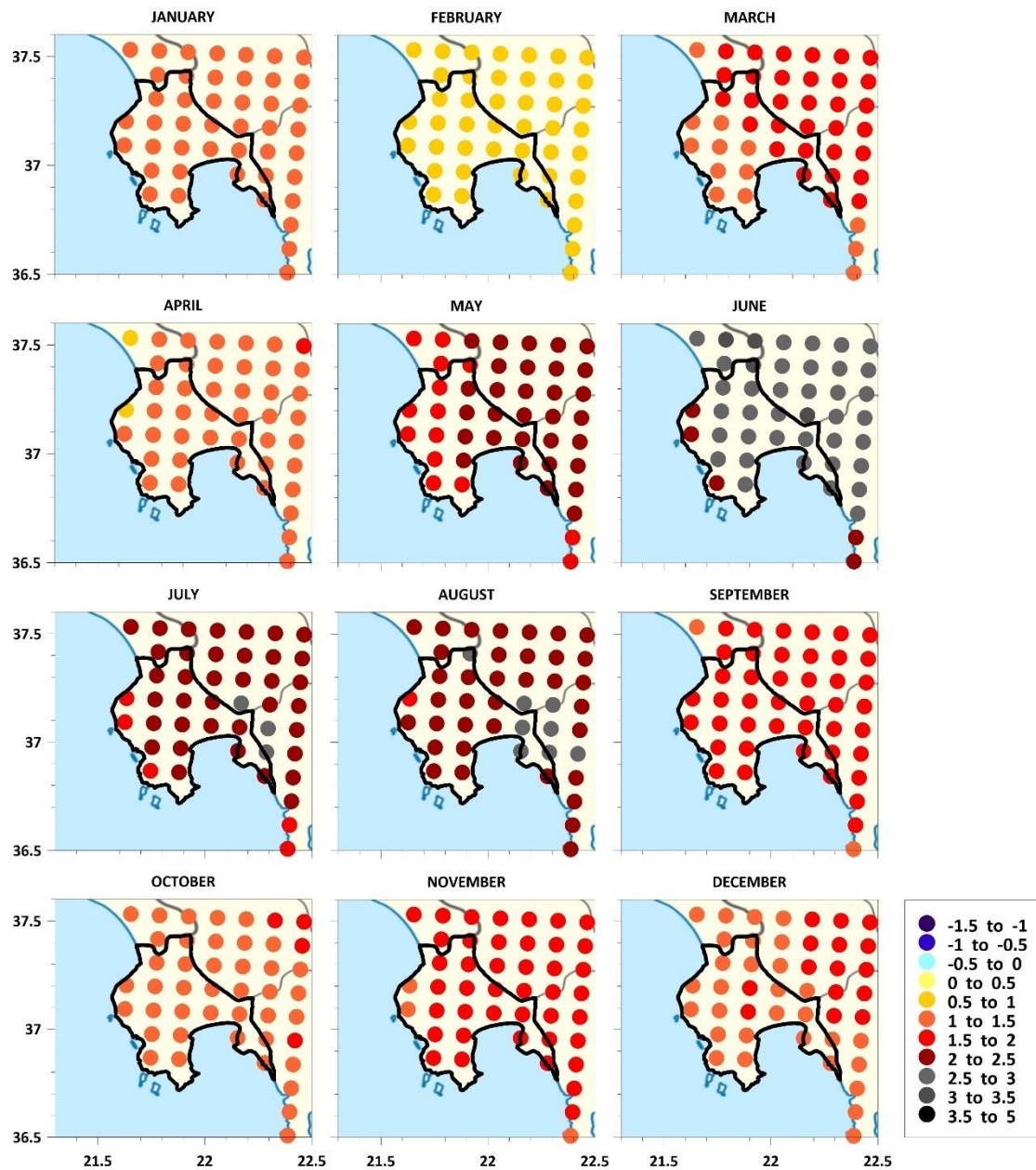
	Περίοδος	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μάι	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ	Έτος
	1981-1990	7.2	7.2	9.7	12.2	15.6	20.8	24.1	24.4	20.8	16.5	11.7	8.9	15.0
RCP4.5	2031-2040	8.9	9.1	10.6	14.3	18.1	23.6	25.9	25.7	22.1	16.8	12.3	9.7	16.5
	2041-2050	8.8	9.0	10.9	13.4	17.4	23.3	27.3	26.7	22.1	17.3	13.1	9.8	16.6
	2051-2060	9.0	8.3	11.0	14.2	18.9	24.2	26.7	27.0	22.6	17.7	13.1	10.2	17.0
	2061-2070	8.8	8.7	11.5	13.5	17.8	23.6	27.0	26.6	21.9	17.3	13.2	10.1	16.7
RCP8.5	2031-3040	7.5	7.7	10.3	13.6	17.8	22.3	26.9	26.2	22.1	17.3	11.7	8.5	16.0
	2041-2050	8.6	8.9	11.0	14.4	18.8	25.1	27.2	26.5	22.9	19.0	13.5	9.0	17.1
	2051-2060	10.0	9.3	11.2	14.7	19.4	24.8	27.5	27.3	22.9	18.4	13.7	9.8	17.5
	2061-2070	9.4	9.8	11.5	15.2	19.9	25.5	28.4	27.7	23.4	18.9	14.4	10.5	17.9

Από την χωρική ανάλυση των διαφορών των μηνιαίων θερμοκρασιών μεταξύ της μελλοντικής περιόδου και της περιόδου αναφοράς (Εικόνες 7-10) προκύπτει ότι για το σενάριο εκπομπών RCP4.5 θα υπάρξει μια πιο ομοιόμορφη αύξηση της

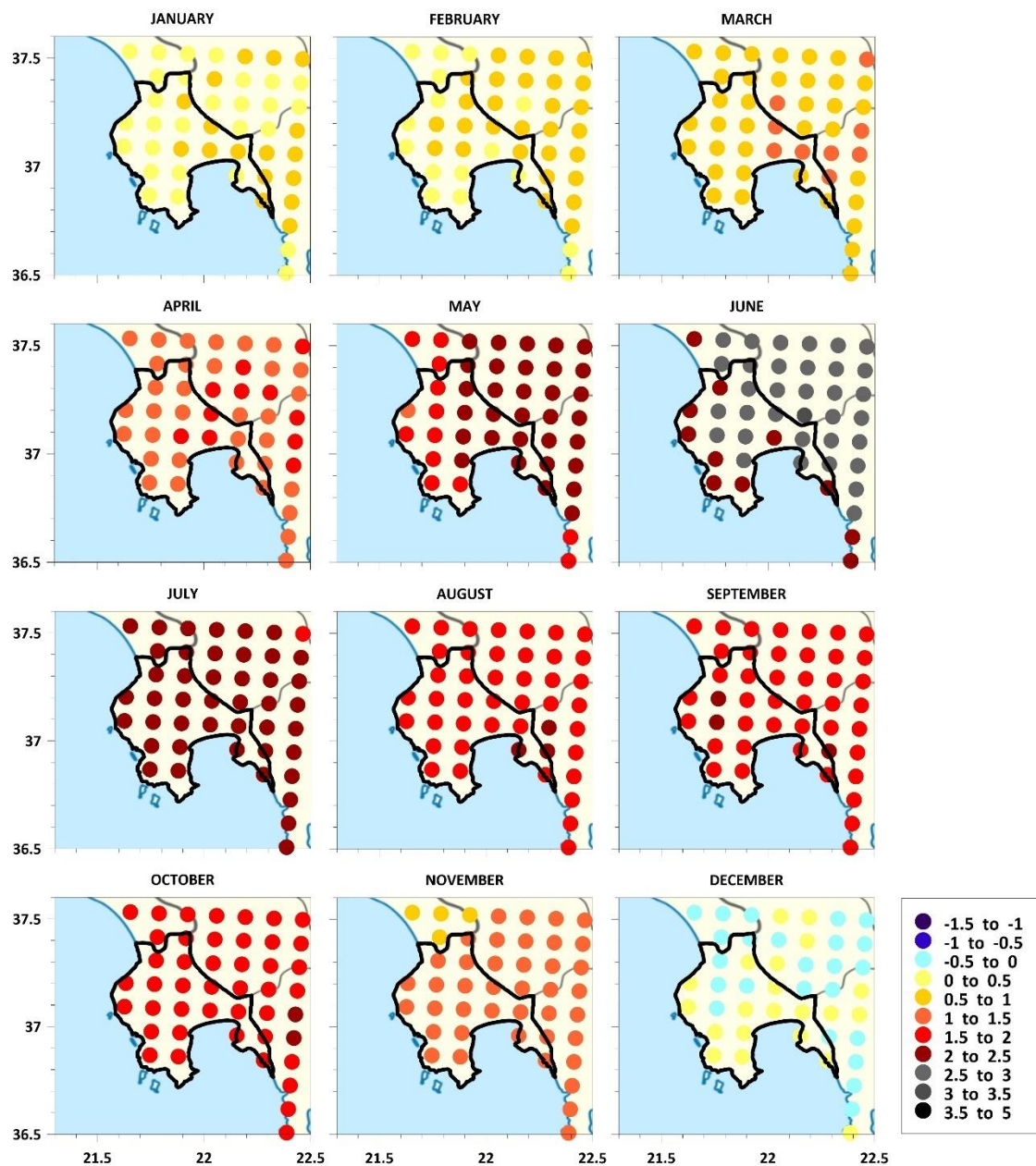
θερμοκρασίας σε όλες τις περιοχές της Μεσσηνίας, η οποία φτάνει τον 1°C με 2.5°C στο πρώτο μισό της μελλοντικής περιόδου (2031-2050) και έως 3°C στο δεύτερο μισό (2051-2070). Παρόμοια είναι η εικόνα και στην περίπτωση του ακραίου σεναρίου RCP8.5, με την αύξηση να φτάνει και τους 5°C κυρίως τους θερινούς μήνες στο δεύτερο μισό της μελλοντικής περιόδου (2051-2070).



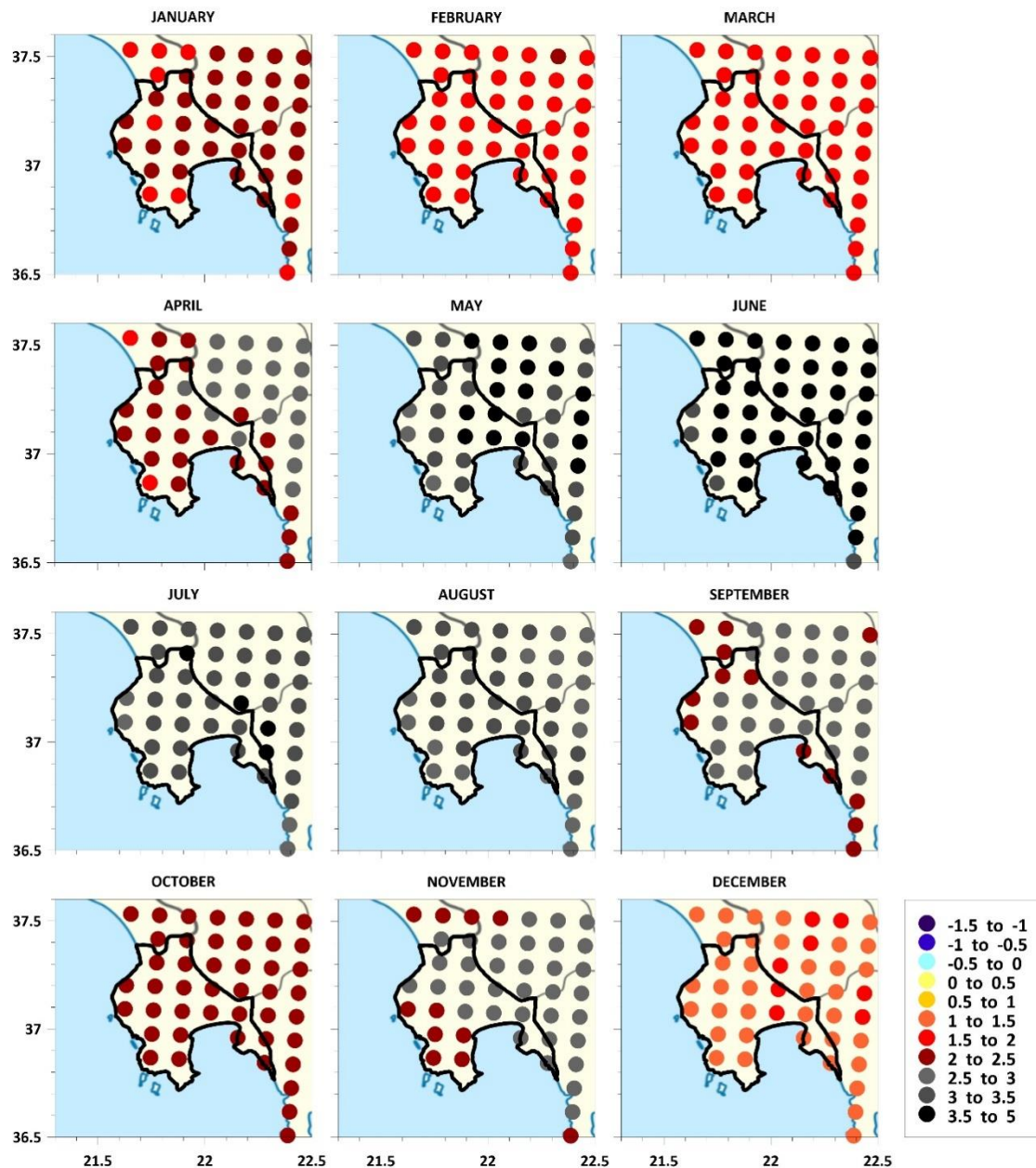
Εικόνα 7. Χωρική κατανομή των διαφορών της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας [(2031-2050) – (1981-2005)] για το σενάριο εκπομπών RCP4.5



Εικόνα 8. Χωρική κατανομή των διαφορών της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας [(2051-2070) – (1981-2005)] για το σενάριο εκπομπών RCP4.5



Εικόνα 9. Χωρική κατανομή των διαφορών της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας [(2031-2050) – (1981-2005)] για το σενάριο εκπομπών RCP8.5



Εικόνα 10. Χωρική κατανομή των διαφορών της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας [(2051-2070) – (1981-2005)] για το σενάριο εκπομπών RCP8.5

2.3. Υγρομετρικά χαρακτηριστικά της Μεσσηνίας

Το κύριο υγρομετρικό χαρακτηριστικό του Μεσογειακού κλίματος είναι οι υγροί, ήπιοι χειμώνες και τα θερμά, ξηρά καλοκαίρια. Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια, η περιοχή της Μεσογείου βιώνει έντονες κλιματικές διακυμάνσεις, οι οποίες επηρεάζονται από μια πρωτοφανή αύξηση της θερμοκρασίας. Η μείωση της συχνότητας των βροχοπτώσεων, σε συνδυασμό με την αυξημένη έντασή τους και τη διαρκώς αυξανόμενη ζήτηση υδάτινων πόρων — λόγω της τουριστικής

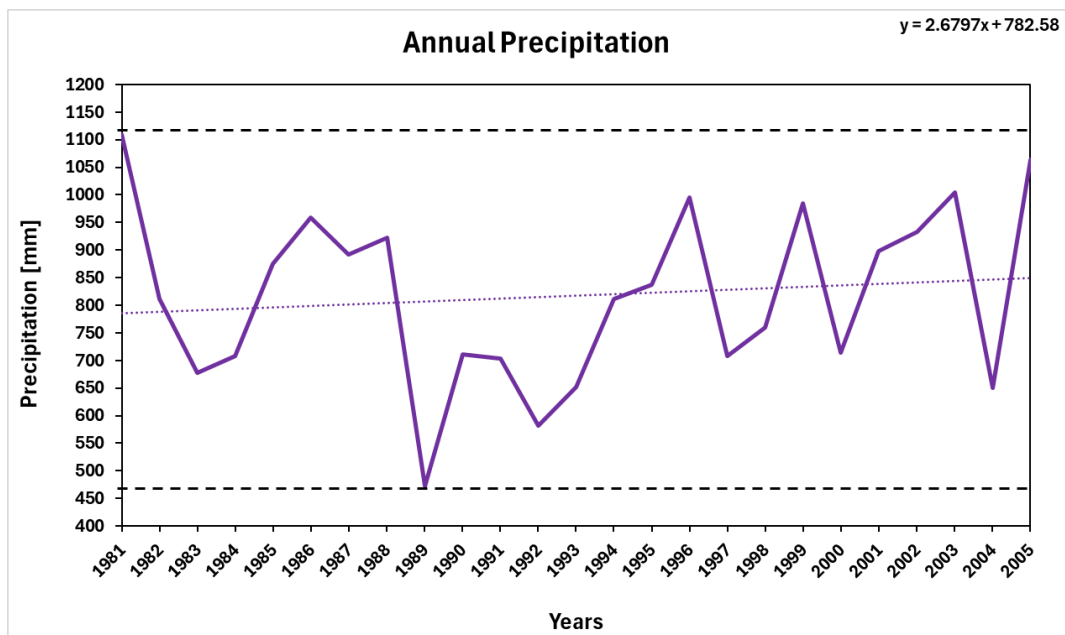
ανάπτυξης και της εντατικοποίησης των γεωργικών καλλιεργειών — διαμορφώνουν ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα των κλιματικών συνθηκών που αναμένεται να επικρατήσουν στη Μεσογειακή Λεκάνη στο μέλλον.

Στα σενάρια της κλιματικής αλλαγής, η μείωση του αριθμού των βαρομετρικών χαμηλών, που είναι υπεύθυνες για τις ετήσιες βροχοπτώσεις στην περιοχή, συνεπάγεται μεγαλύτερη διακύμανση στη διαθεσιμότητα υδάτινων πόρων από έτος σε έτος. Ειδικότερα, η Μεσσηνία, όπως και άλλες περιοχές με μεσογειακό κλίμα, εμφανίζει τάσεις μετάβασης προς πιο υποτροπικά χαρακτηριστικά. Η συχνότητα των βροχοπτώσεων παρουσιάζει αύξηση κυρίως κατά τη φθινοπωρινή περίοδο, ενώ τα φαινόμενα έντονων βροχοπτώσεων γίνονται πιο ακραία ιδιαίτερα το φθινόπωρο και στις αρχές του χειμώνα.

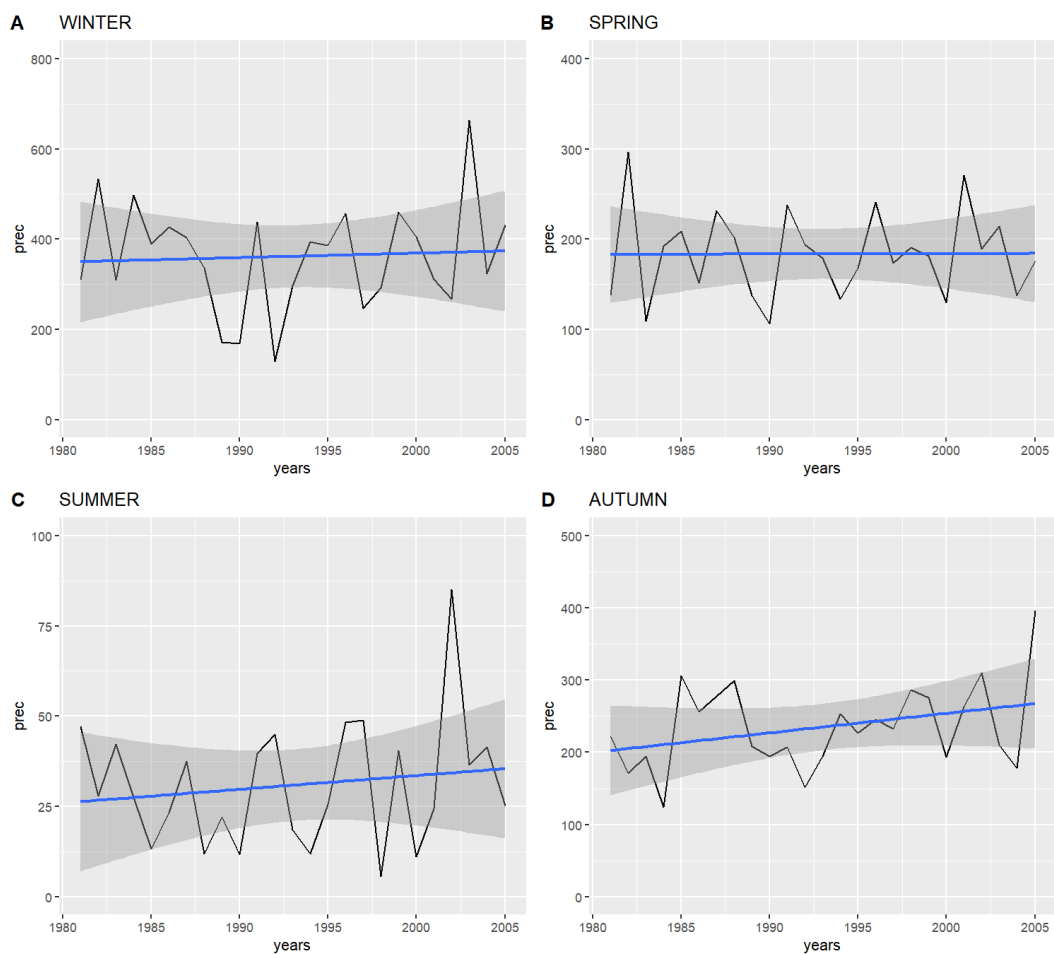
Πίνακας 5. Στατιστική ανάλυση των μέσων ετήσιων και εποχιακών βροχοπτώσεων ERA5 για το μέσο πεδίο της Μεσσηνίας για την περίοδο αναφοράς 1981-2005

ΜΕΣΗ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ	ΕΤΗΣΙΑ 1981-2005	ΧΕΙΜΩΝΑΣ 1981-2005	ΑΝΟΙΞΗ 1981-2005	ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ 1981-2005	ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ 1981-2005
MEAN	817.4	367.6	183.7	31.0	235.1
SD	159.9	125.3	48.2	17.5	59.3
MIN.	472.3	104.3	106.9	5.7	124.0
MAX.	1109.9	702.9	296.9	85.3	396.7

Για την μελέτη των βροχοπτώσεων στην παρούσα εργασία, υπολογίστηκαν οι μέσες μηνιαίες και εποχιακές βροχοπτώσεις για όλους τους κόμβους και το μέσο πεδίο τους στην περιοχή της Μεσσηνίας. Συγκεκριμένα, η μέση ετήσια βροχόπτωση για την περίοδο αναφοράς 1981-2005, για το μέσο πεδίο της Μεσσηνίας, είναι της τάξης των 817mm (Πίνακας 5). Το 45% (367.6mm) των ετήσιων βροχοπτώσεων εντοπίζεται την χειμερινή περίοδο, ενώ τους θερινούς μήνες πέφτει μόλις το 3.8%. Η μέγιστη τιμή ετήσιας βροχόπτωσης για το μέσο πεδίο της Μεσσηνίας έφτασε τα 1109.9mm, ενώ στα πιο υγρά έτη η μέση βροχόπτωση κατά τη χειμερινή περίοδο έφτασε τα 702.9mm και τα 396.7mm το φθινόπωρο. Αντίστοιχα, στα πιο ξηρά έτη, τους καλοκαιρινούς μήνες η βροχόπτωση έφτασε μόλις τα 5.72mm.

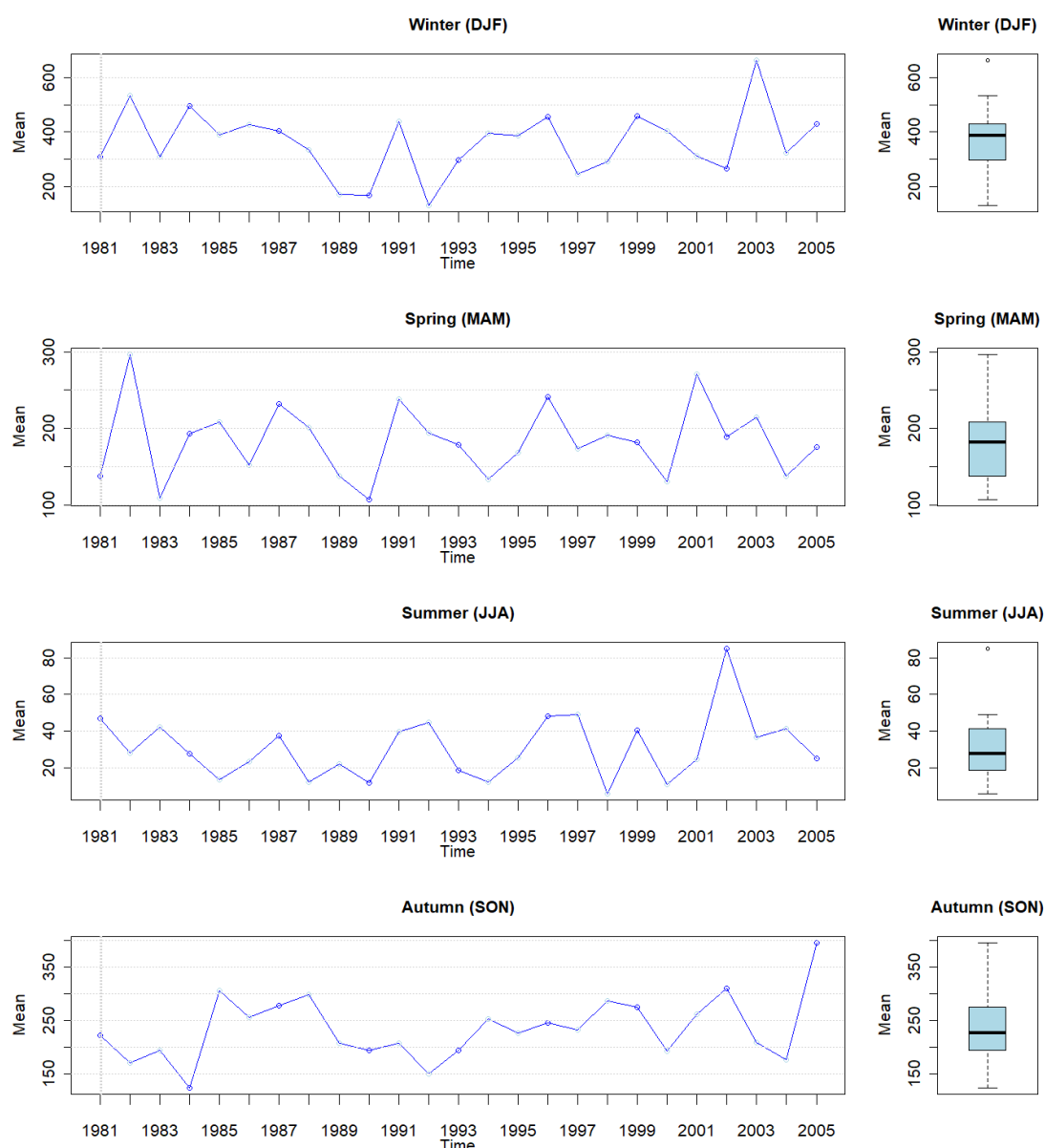


Εικόνα 11. Διακύμανση της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης ERA5 για το μέσο πεδίο της Μεσσηνίας για την περίοδο αναφοράς 1981-2005



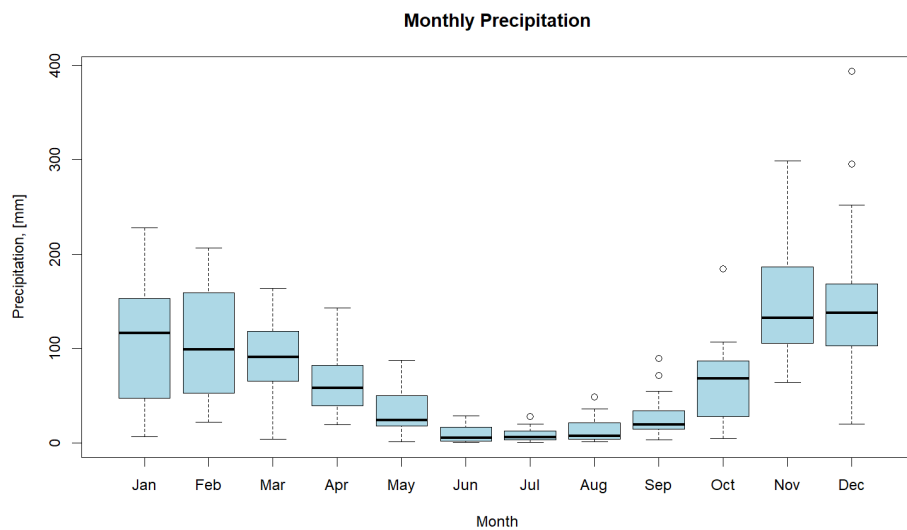
Εικόνα 12. Τάσεις των μέσων εποχιακών βροχοπτώσεων ERA5 για το μέσο πεδίο της Μεσσηνίας κατά την περίοδο αναφοράς 1981-2005

Παρατηρείται έντονη διακύμανση στην ετήσια βροχόπτωση για την περιοχή της Μεσσηνίας με μία μικρή αυξητική τάση (Εικόνα 11). Το πιο υγρό έτος φαίνεται να είναι το 1981 (~1100mm), ενώ το πιο ξηρό το 1989 (~460mm). Οι Εικόνες 12 και 13 παρουσιάζουν την τάση και την διακύμανση των μέσων εποχιακών βροχοπτώσεων την περίοδο 1981-2005. Από την μελέτη αυτών των διαγραμμάτων προκύπτει ότι το φθινόπωρο είναι η εποχή με την μεγαλύτερη και σημαντικότερη ανοδική τάση.

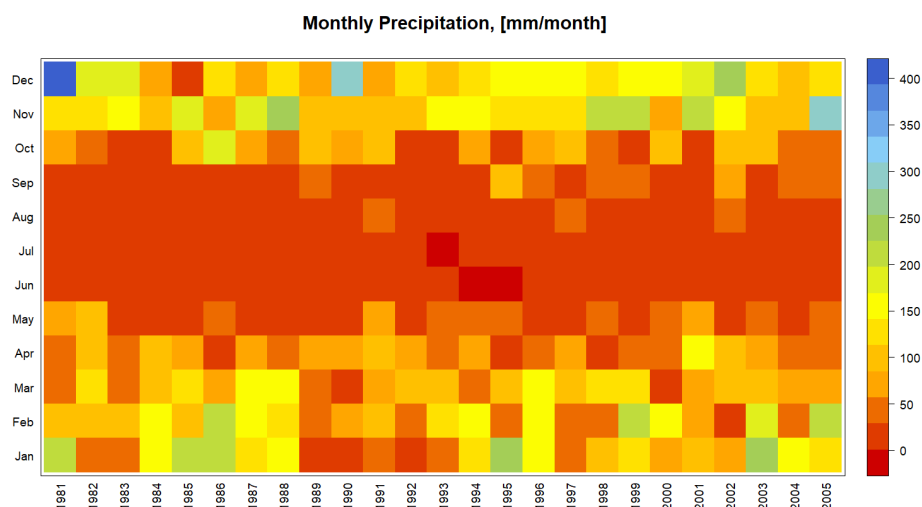


Εικόνα 13. Διακυμάνσεις των μέσων εποχιακών βροχοπτώσεων ERA5 για το μέσο πεδίο της Μεσσηνίας κατά την περίοδο αναφοράς 1981-2005

Η μελέτη των θηκογραμμάτων των μέσων εποχιακών βροχοπτώσεων για το μέσο πεδίο της Μεσσηνίας (Εικόνα 14) παρουσιάζει τον Νοέμβριο και τον Δεκέμβριο ως τους πιο υγρούς μήνες του έτους, ενώ οι θερινοί μήνες (Ιούνιος – Ιούλιος – Αύγουστος) είναι οι πιο ξηροί με πολύ μικρή διακύμανση στις τιμές των βροχοπτώσεων. Οι πιο ακραίες τιμές εμφανίζονται τον Δεκέμβριο. Η ίδια εικόνα παρουσιάζεται και στο διάγραμμα της μέσης μηνιαίας κατανομής των βροχοπτώσεων για την περίοδο 1981-2005 (Εικόνα 15).



Εικόνα 14. Διακυμάνσεις των μέσων εποχιακών βροχοπτώσεων ERA5 για το μέσο πεδίο της Μεσσηνίας κατά την περίοδο αναφοράς 1981-2005. Τα outliers περιγράφονται με κύκλους



Εικόνα 15. Μέσες μηνιαίες βροχοπτώσεις ERA5 για το μέσο πεδίο της Μεσσηνίας για την περίοδο αναφοράς 1981-2005

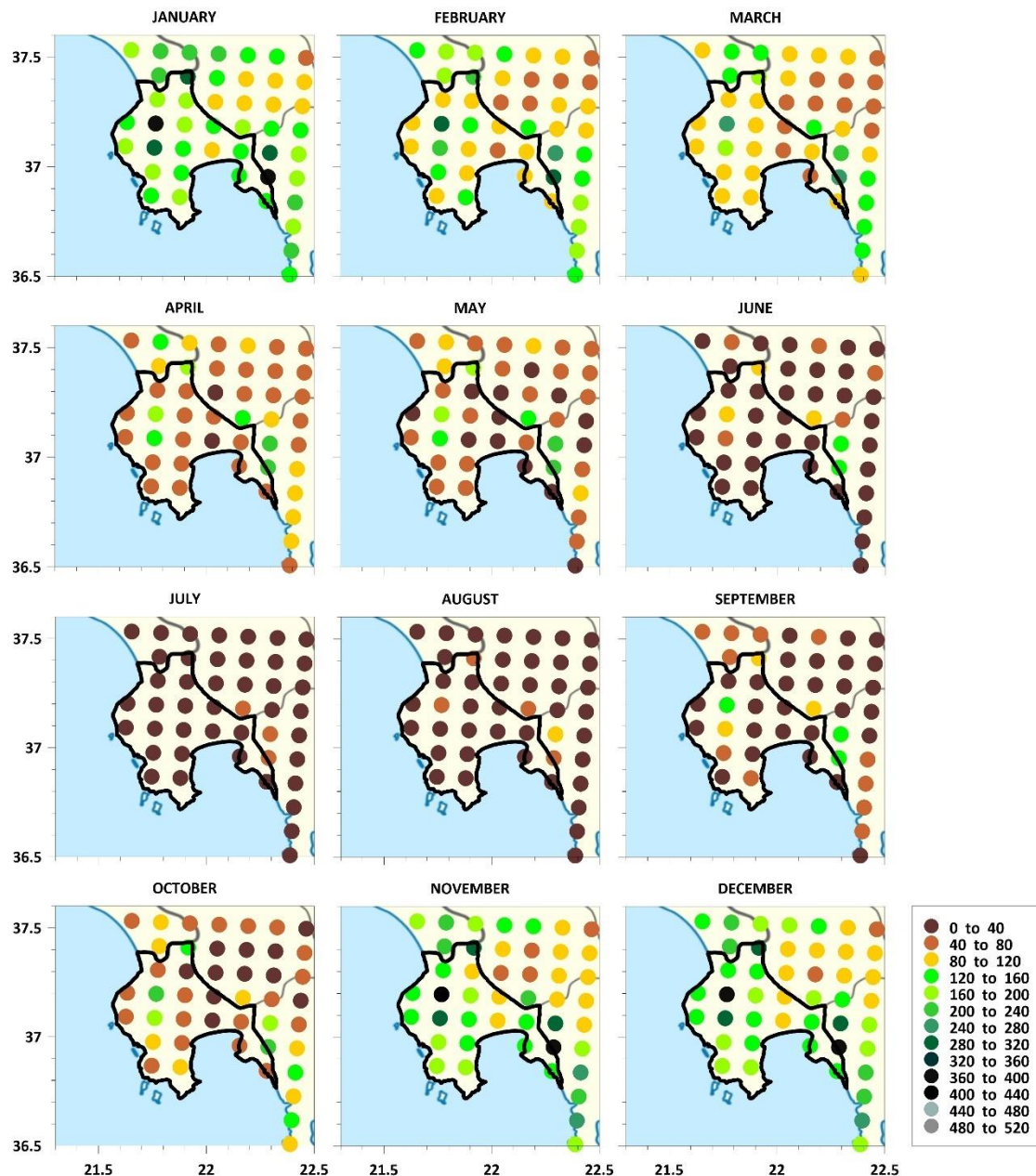
Πίνακας 6. Στατιστική ανάλυση των μέσων βροχοπτώσεων SMHI για το μέσο πεδίο της Μεσσηνίας για την περίοδο αναφοράς 1981-1990 και τις τέσσερις μελλοντικές περιόδους σύμφωνα με τα σενάρια εκπομπών RCP4.5 και RCP8.5

ΜΕΣΗ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ RCP4.5		1981-1990	2031-2040	2041-2050	2051-2060	2061-2070
MIN.		801.5	648.4	913.0	663.0	857.7
MEAN		1177.7	932.5	1106.3	958.2	1024.9
MAX.		1406.3	1326.8	1433.8	1107.8	1289.5
SD		70.5	255.2	160.4	162.8	156.3

ΜΕΣΗ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ RCP8.5		1981-1990	2031-2040	2041-2050	2051-2060	2061-2070
MIN.		801.5	585.7	481.4	623.8	675.2
MEAN		1177.7	924.2	845.7	942.9	991.0
MAX.		1406.3	1547.7	1271.8	1250.8	1305.0
SD		70.5	334.2	248.5	198.2	185.7

Τα αποτελέσματα του περιοχικού κλιματικού μοντέλου SMHI δείχνουν ότι για την περίοδο αναφοράς η μέση βροχόπτωση είναι 1177.7mm (Πίνακας 6). Επίσης, το μοντέλο φαίνεται να υπερεκτιμά τόσο τις ελάχιστες όσο και τις μέγιστες βροχοπτώσεις. Η μέση ετήσια βροχόπτωση για το μέσο πεδίο της Μεσσηνίας αναμένεται να μειωθεί από 70 έως 250mm ανάλογα με την μελλοντική δεκαετία σύμφωνα με το σενάριο εκπομπών RCP4.5, ενώ η μείωση θα κυμανθεί αντίστοιχα μεταξύ 180 και 330mm σύμφωνα με το σενάριο RCP8.5.

Ο Πίνακας 7 παρουσιάζει τις μέσες ετήσιες και μηνιαίες βροχοπτώσεις για την Μεσσηνία για την περίοδο αναφοράς και για τις τέσσερις μελλοντικές περιόδους σύμφωνα με τα δύο σενάρια εκπομπών RCP4.5 και RCP8.5. Η μέση βροχόπτωση δείχνει την τυπική κατανομή της βροχόπτωσης της Μεσογείου (Εικόνα 17). Παρατηρείται ένα μέγιστο τον Νοέμβριο, καθώς οι βροχοπτώσεις αυτού του μήνα συνδέονται άμεσα με τις υφέσεις που παρατηρούνται εκείνη την χρονική περίοδο. Ο Νοέμβριος και ο Ιανουάριος είναι οι πιο υγροί μήνες με 214.8mm και 195.1mm αντίστοιχα, ενώ οι τρεις θερινοί μήνες είναι οι πιο ξηροί (14.8mm, 6.0mm και 16.4mm αντίστοιχα). Οι υψηλότερες βροχοπτώσεις εντοπίζονται στο κεντρικό τμήμα του νομού σε σχέση με τις παράκτιες περιοχές (Εικόνα 16).



Εικόνα 16. Χωρική κατανομή των μηνιαίων βροχοπτώσεων του περιοχικού κλιματικού μοντέλου SMHI για την περίοδο αναφοράς 1981-2005

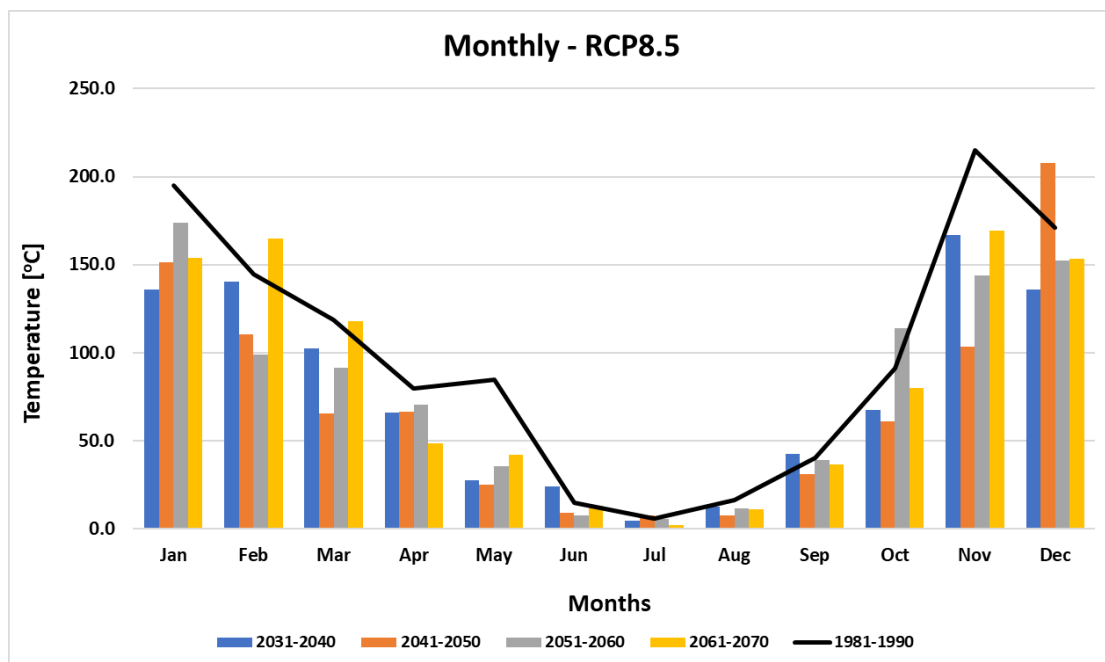
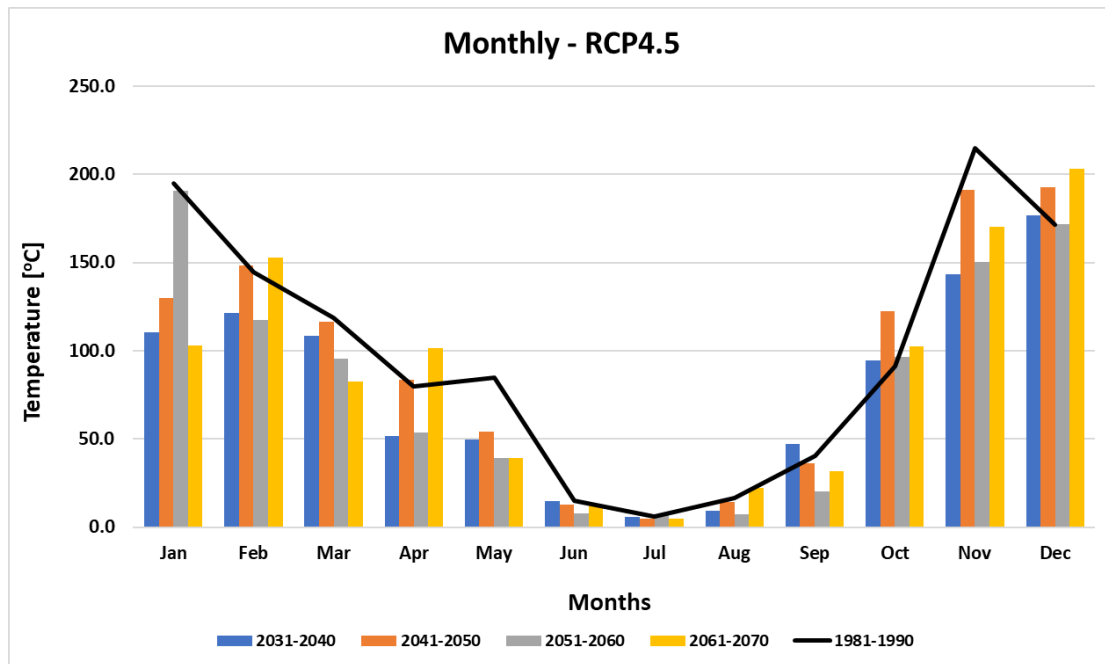
Από τον Πίνακα 7 και την Εικόνα 17 φαίνεται ότι η μέση μηνιαία βροχόπτωση στο μέσο πεδίο της Μεσσηνίας παρουσιάζει αρκετές διαφοροποιήσεις την μελλοντική περίοδο 2031-2070, ανάλογα και με το σενάριο εκπομπών. Και τα δύο σενάρια συμφωνούν ότι η βροχόπτωση θα παρουσιάσει κατά κύριο λόγο ελάττωση στην περιοχή της Μεσσηνίας τα επόμενα χρόνια. Οι θερινοί μήνες αναμένεται να είναι ακόμα ξηρότεροι ανάλογα με την μελλοντική δεκαετία, ενώ χαρακτηριστική είναι και η ελάττωση της βροχόπτωσης το φθινόπωρο και κυρίως

τον Νοέμβριο (φτάνει και το 50% την περίοδο 2041-2050 σύμφωνα με το σενάριο εκπομπών RCP8.5). Αξίζει να σημειωθεί ότι υπάρχουν και περιπτώσεις όπου παρατηρείται αύξηση της βροχόπτωσης, με χαρακτηριστική εκείνη του Δεκεμβρίου την τελευταία μελλοντική δεκαετία μελέτης (2061-2070 RCP4.5) και την μελλοντική δεκαετία 2041-2050 (RCP8.5).

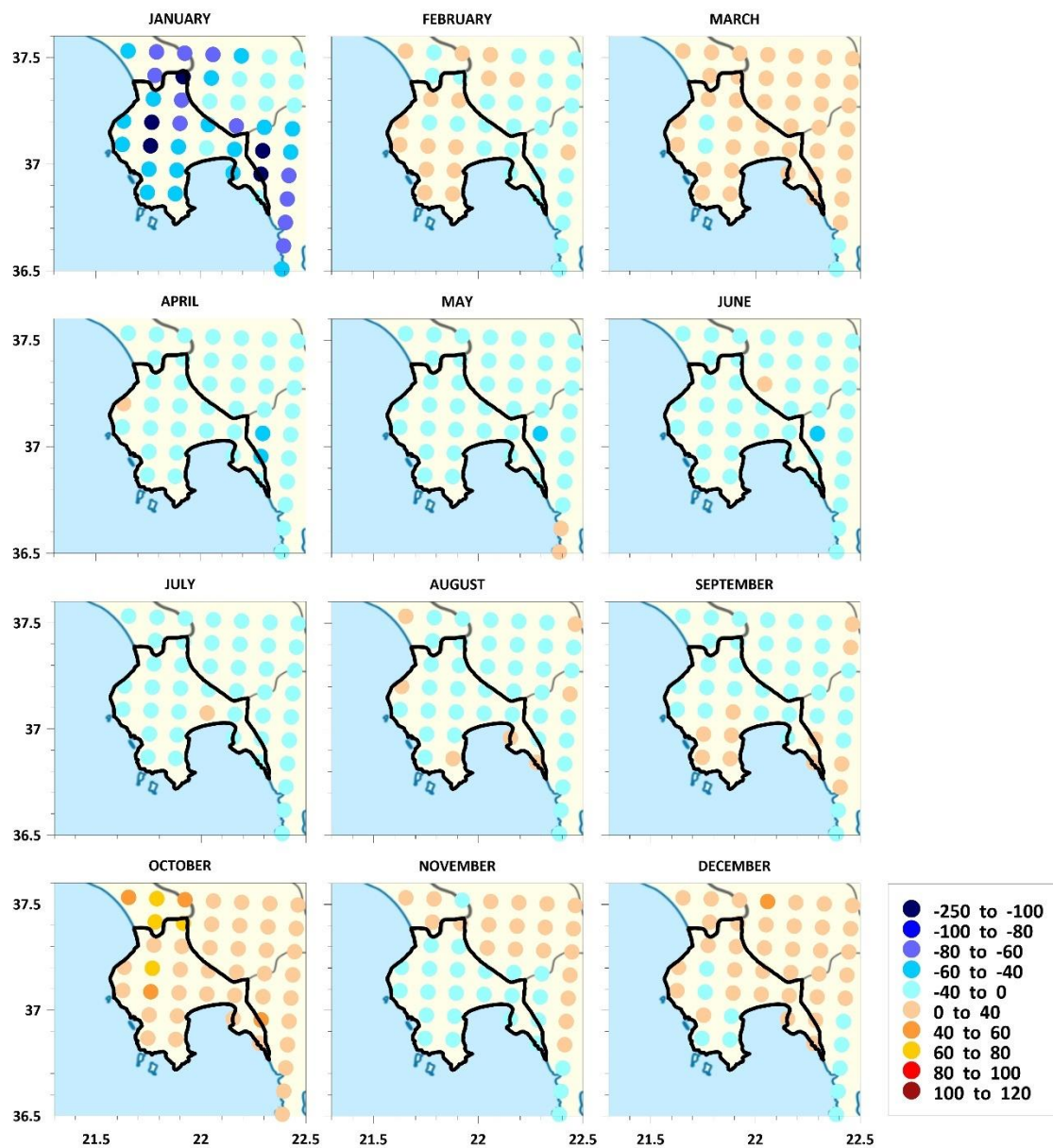
Πίνακας 7. Μέσες μηνιαίες και ετήσιες βροχοπτώσεις για την περίοδο αναφοράς 1981-1990 και για τις τέσσερις μελλοντικές περιόδους για τα σενάρια εκπομπών RCP4.5 και RCP8.5

	Περίοδος	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μάι	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ	Έτος
	1981-1990	195.1	144.8	118.6	79.8	84.6	14.8	6.0	16.4	40.4	91.0	214.8	171.2	1177.6
RCP4.5	2031-2040	110.4	121.5	108.3	51.4	49.5	14.8	5.5	9.1	47.1	94.6	143.5	176.8	932.5
	2041-2050	129.8	148.2	116.5	83.5	54.0	12.6	4.8	14.5	35.9	122.2	191.4	192.9	1106.3
	2051-2060	190.6	117.6	95.7	53.6	39.0	7.8	7.3	7.3	20.4	96.7	150.4	171.7	958.2
	2061-2070	102.8	152.6	82.7	101.5	39.2	12.0	4.6	22.1	31.8	102.4	170.2	203.0	1024.9
RCP8.5	2031-2040	135.6	140.5	102.2	65.9	27.3	23.8	4.3	12.4	42.3	67.5	166.6	135.7	924.2
	2041-2050	151.5	110.2	65.4	66.4	25.0	9.0	7.6	7.7	30.9	60.8	103.5	207.7	845.7
	2051-2060	173.8	99.1	91.6	70.2	35.4	7.4	5.4	11.3	39.0	113.7	143.7	152.2	942.9
	2061-2070	153.8	164.6	117.8	48.2	41.7	12.8	2.2	11.2	36.5	79.8	169.1	153.2	991.0

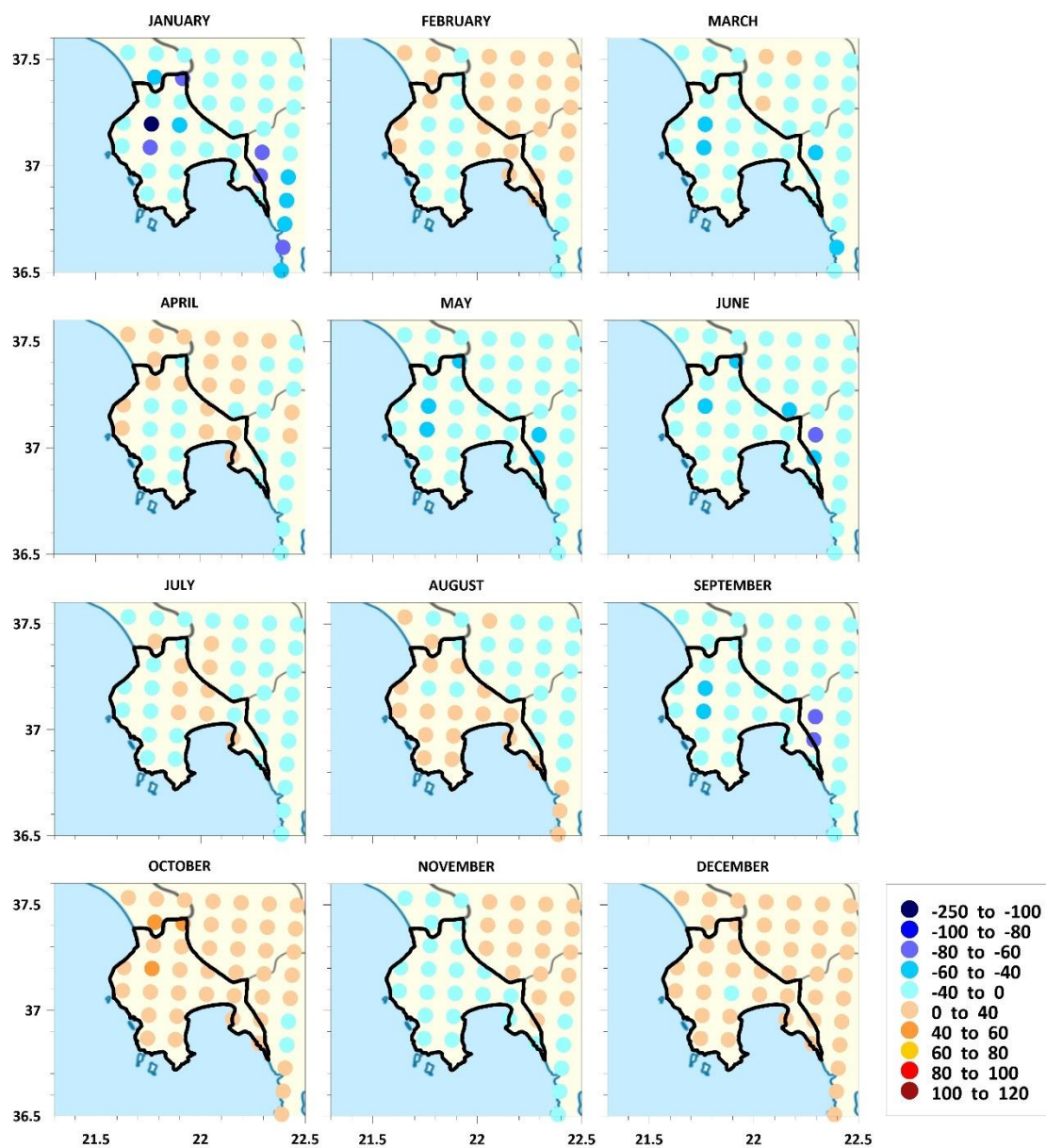
Από την χωρική ανάλυση των διαφορών των μηνιαίων βροχοπτώσεων μεταξύ της μελλοντικής περιόδου και της περιόδου αναφοράς (Εικόνες 18-21) προκύπτει ελάττωση της βροχόπτωσης στο μεγαλύτερο μέρος της περιοχής μελέτης σύμφωνα και με τα δύο σενάρια εκπομπών. Η μείωση αυτή αναμένεται να είναι μεγαλύτερη στο κεντρικό ηπειρωτικό κορμό της περιοχής της Μεσσηνίας. Έντονη μείωση παρατηρείται κατά τον Ιανουάριο στο πρώτο μισό της μελλοντικής περιόδου (2031-2050). Αντίθετα, υπάρχουν περιπτώσεις όπου αναμένεται μικρή αύξηση της βροχόπτωσης, με χαρακτηριστικό τον Οκτώβριο (2031-2070) σύμφωνα με το σενάριο εκπομπών RCP4.5, αλλά και τον Δεκέμβριο κυρίως στο δεύτερο μισό της μελλοντικής περιόδου (2051-2070). Στην περίπτωση του ακραίου σεναρίου RCP8.5, η βροχόπτωση αναμένεται να παρουσιάσει μικρή αύξηση τον Οκτώβριο στο δεύτερο μισό της μελλοντικής περιόδου (2051-2070).



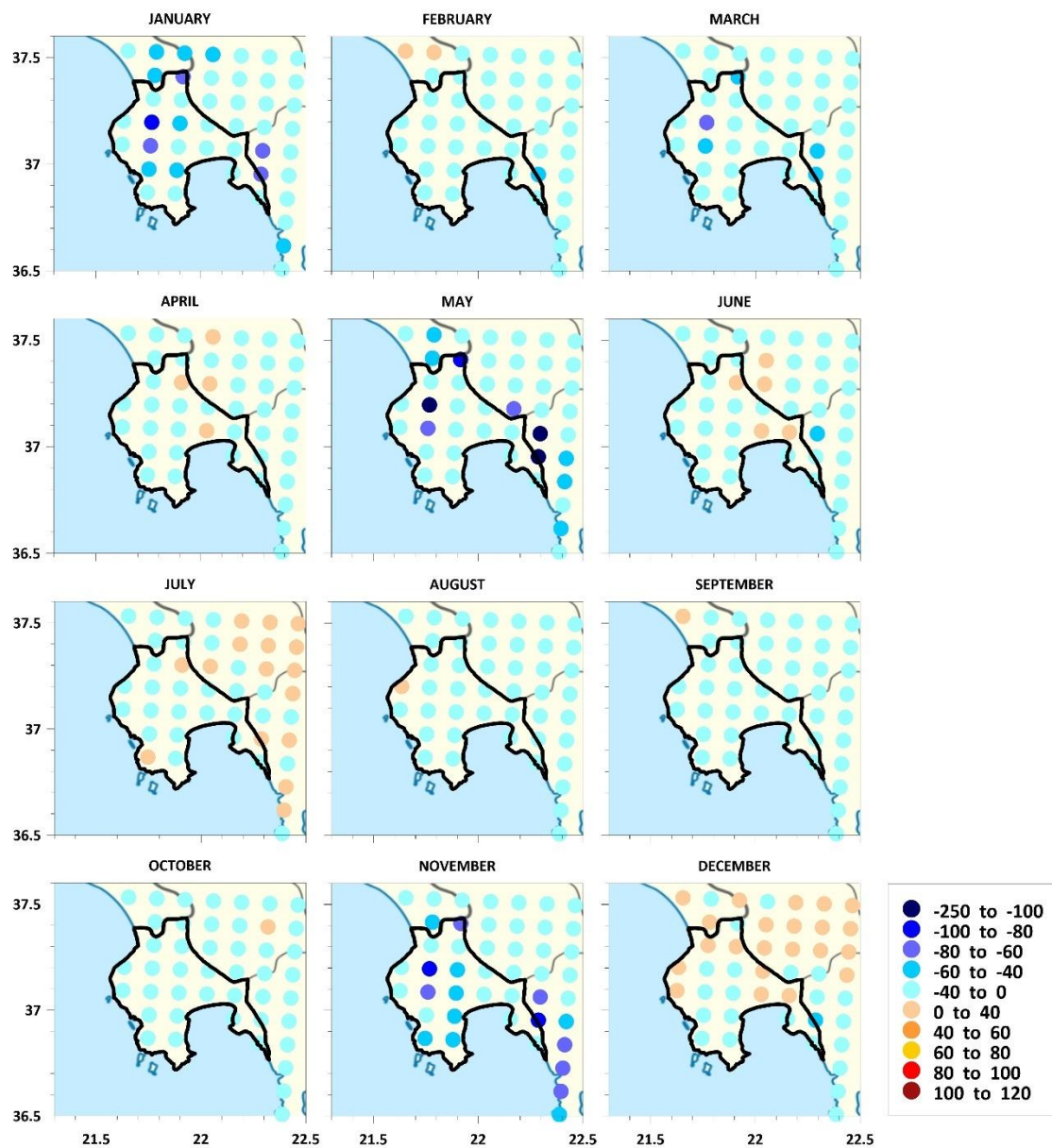
Εικόνα 17. Η μέση μηνιαία βροχόπτωση του μέσου πεδίου στη Μεσσηνία από το περιοχικό κλιματικό μοντέλο SMHI για α) το σενάριο εκπομπών RCP4.5 και β) το σενάριο εκπομπών RCP8.5, για τις μελλοντικές περιόδους (χρωματιστές ράβδοι) και για την περίοδο αναφοράς 1981-1990 (μαύρη γραμμή)



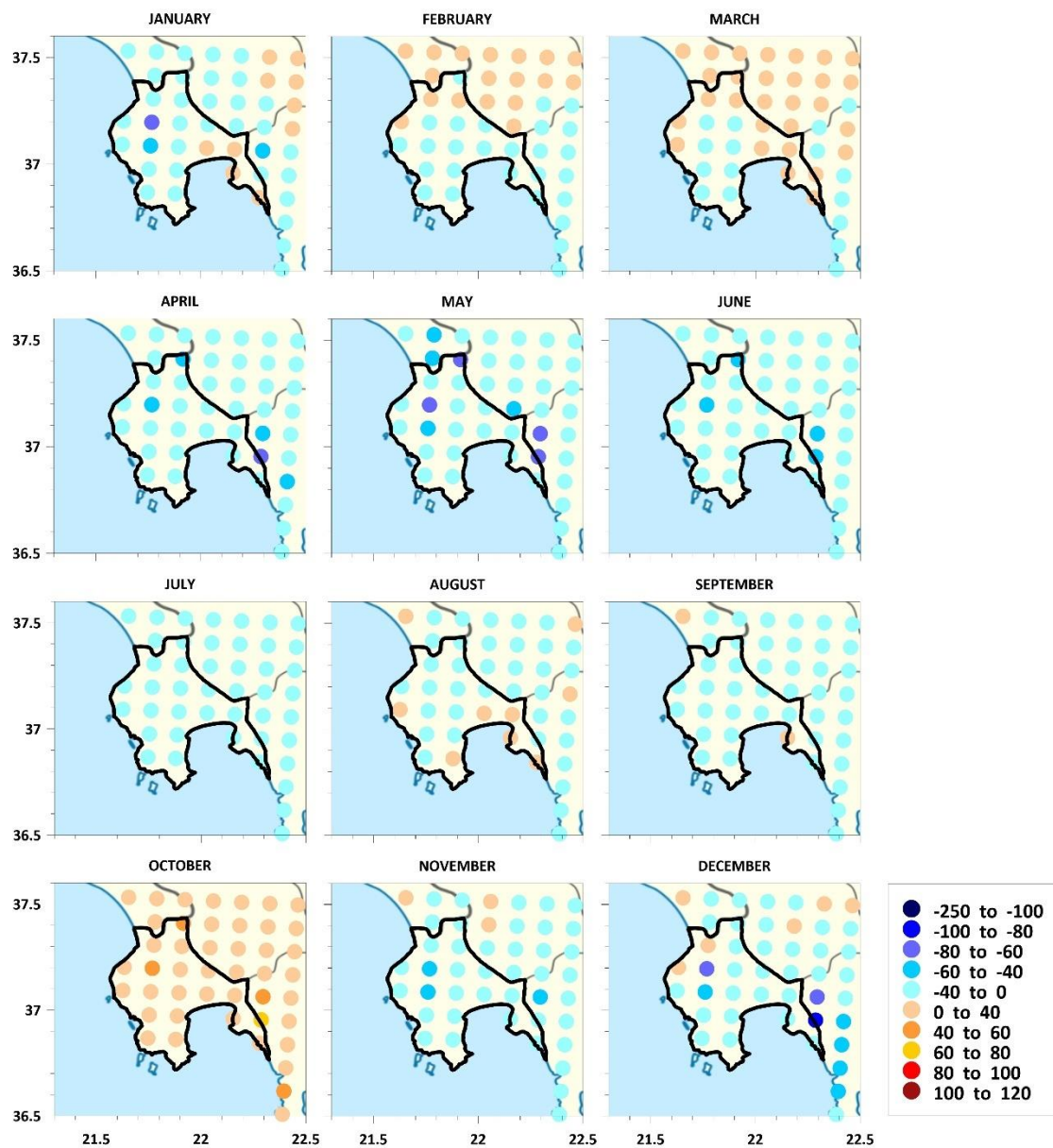
Εικόνα 18. Χωρική κατανομή των διαφορών της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης [(2031-2050) – (1981-2005)] για το σενάριο εκπομπών RCP4.5



Εικόνα 19. Χωρική κατανομή των διαφορών της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης [(2051-2070) – (1981-2005)] για το σενάριο εκπομπών RCP4.5



Εικόνα 20. Χωρική κατανομή των διαφορών της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης [(2031-2050) – (1981-2005)] για το σενάριο εκπομπών RCP8.5



Εικόνα 21. Χωρική κατανομή των διαφορών της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης [(2051-2070) – (1981-2005)] για το σενάριο εκπομπών RCP8.5

Κεφάλαιο 3

Βιοκλιματολογία της ελιάς

Τα κύρια μεθοδολογικά στάδια της παρούσας ανάλυσης περιλαμβάνουν:

- τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς (ET₀),
- την εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής των καλλιεργειών (ET_c) και των καθαρών απαιτήσεων άρδευσης για διάφορα σενάρια διαχείρισης ύδατος, τον υπολογισμό των μονάδων ψύχους (chilling units), και
- την αξιολόγηση της επίδρασης της κλιματικής αλλαγής σε εχθρούς και ασθένειες της ελιάς

Η καταλληλότητα των περιοχών για ελαιοκαλλιέργεια αξιολογήθηκε μέσω της προσέγγισης των θερμοκρασιακών απαιτήσεων που ανέπτυξαν οι Fischer et al. (2002), γνωστής ως μέθοδος Αγρο-Οικολογικής Ζώνης (AEZ). Σύμφωνα με αυτήν, κάθε γεωγραφικός κόμβος αναλύθηκε βάσει συγκεκριμένων κριτηρίων για την καλλιέργεια της ελιάς και ταξινομήθηκε ως βέλτιστη, περιορισμένη ή μη κατάλληλη ζώνη. Για κάθε κόμβο υπολογίστηκαν προφίλ θερμοκρασίας, τα οποία ποσοτικοποιούν την εποχικότητα της θερμοκρασίας καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Τα προφίλ αυτά εκφράζονται ως ο αριθμός των ημερών που η θερμοκρασία εμπίπτει σε προκαθορισμένα διαστήματα. Τα διαστήματα αυτά διαμορφώνονται σε βαθμίδες των 5°C, επιτρέποντας έναν ολοκληρωμένο απολογισμό των θερμοκρασιακών συνθηκών στη διάρκεια του έτους και τη βέλτιστη εκτίμηση της καταλληλότητας των περιοχών για την καλλιέργεια της ελιάς.

3.1. Η Εξατμισοδιαπνοή στην περιοχή της Μεσσηνίας

Για την εκτίμηση των υδρολογικών αναγκών των ελαιώνων στην περιοχή της Μεσσηνίας, πραγματοποιήθηκε υπολογισμός της εξατμισοδιαπνοής τόσο για την ιστορική περίοδο 1981-2005 όσο και για τη μελλοντική περίοδο 2031-2070. Η

εκτίμηση της μελλοντικής εξατμισοδιαπνοής βασίστηκε σε δύο διαφορετικά κλιματικά σενάρια, το RCP4.5 και το RCP8.5, προκειμένου να διερευνηθούν οι πιθανές μεταβολές υπό διαφορετικά επίπεδα εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Η ανάλυση εστιάστηκε στους μήνες Απρίλιο έως Σεπτέμβριο, μια κρίσιμη περίοδο για την ανάπτυξη των ελαιώνων, καθώς οι υψηλές θερμοκρασίες και η μειωμένη διαθεσιμότητα νερού επηρεάζουν σημαντικά τις ανάγκες άρδευσης.

Η εξάτμιση είναι η διαδικασία μετατροπής του νερού από την υγρή στην αέρια φάση, κατά την οποία οι υδρατμοί απομακρύνονται από την επιφάνεια εξάτμισης. Το φαινόμενο αυτό λαμβάνει χώρα σε διάφορα περιβάλλοντα, όπως λίμνες, ποτάμια, εδάφη, πεζοδρόμια και βλάστηση. Για να συμβεί η εξάτμιση, απαιτείται ενέργεια, η οποία προέρχεται κυρίως από την ηλιακή ακτινοβολία, ενώ επηρεάζεται επίσης από τη θερμοκρασία του αέρα. Η διαδικασία καθοδηγείται από τη διαφορά τάσης υδρατμών μεταξύ της επιφάνειας εξάτμισης και της ατμόσφαιρας. Καθώς η εξάτμιση εξελίσσεται, ο αέρας κοντά στην επιφάνεια μπορεί να φτάσει σε σημείο κορεσμού, με αποτέλεσμα η διαδικασία να επιβραδύνεται ή ακόμα και να σταματά, εάν ο υγρός αέρας δεν απομακρυνθεί. Η ανανέωση του αέρα με ξηρότερες μάζες εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ταχύτητα του ανέμου, η οποία παίζει καθοριστικό ρόλο στη διατήρηση της εξάτμισης. Συνεπώς, βασικοί κλιματολογικοί παράγοντες που επηρεάζουν τη διαδικασία εξάτμισης είναι η ηλιακή ακτινοβολία, η θερμοκρασία του αέρα, η υγρασία της ατμόσφαιρας και η ταχύτητα του ανέμου. Επιπλέον, άλλοι σημαντικοί παράγοντες περιλαμβάνουν τον βαθμό σκίασης από τη βλάστηση και τη διαθεσιμότητα νερού στην επιφάνεια εξάτμισης. Η παρουσία υγρασίας μπορεί να διατηρηθεί μέσω συχνών βροχοπτώσεων, άρδευσης ή μεταφοράς νερού από ρηχούς υδροφόρους ορίζοντες προς την επιφάνεια του εδάφους. Όταν η ποσότητα διαθέσιμου νερού στην επιφάνεια είναι επαρκής, η εξάτμιση ελέγχεται κυρίως από τις μετεωρολογικές συνθήκες. Ωστόσο, σε περιόδους με μεγάλα διαστήματα μεταξύ βροχοπτώσεων ή αρδεύσεων, η ικανότητα του εδάφους να μεταφέρει υγρασία προς την επιφάνεια μειώνεται, με αποτέλεσμα τη σταδιακή ξήρανσή του. Σε αυτή την περίπτωση, η περιορισμένη διαθεσιμότητα νερού

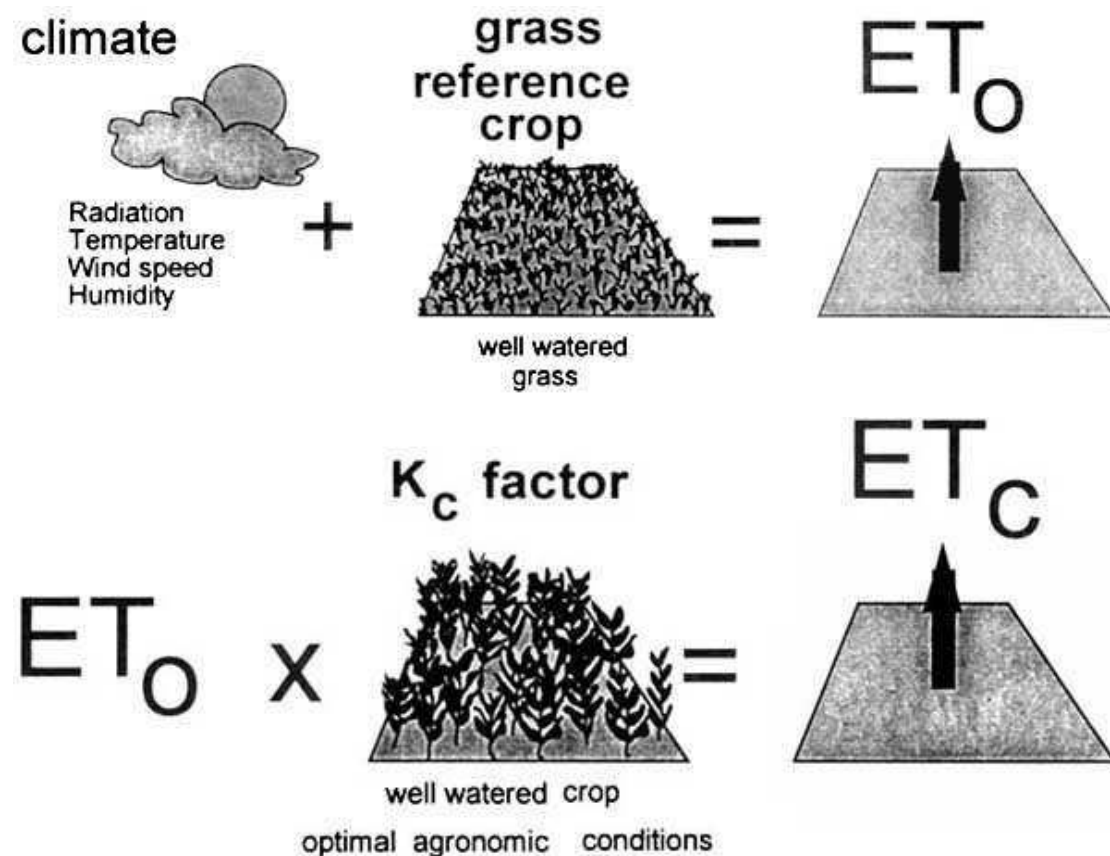
γίνεται ο κυρίαρχος ρυθμιστικός παράγοντας της εξάτμισης. Εάν δεν υπάρχει καμία επιφανειακή τροφοδοσία νερού, η εξάτμιση μπορεί να μειωθεί δραστικά και να σταματήσει σχεδόν πλήρως μέσα σε λίγες ημέρες.

Η διαπνοή είναι η διαδικασία μέσω της οποίας το νερό που περιέχεται στους φυτικούς ιστούς εξατμίζεται και απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα. Οι καλλιέργειες χάνουν το μεγαλύτερο μέρος του νερού τους μέσω των στομάτων των φύλλων, μικρών ανοιγμάτων που επιτρέπουν την ανταλλαγή αερίων και υδρατμών με το περιβάλλον. Το νερό απορροφάται από τις ρίζες μαζί με απαραίτητα θρεπτικά συστατικά και μεταφέρεται σε όλο το φυτό μέσω του αγγειακού συστήματος. Η εξάτμιση λαμβάνει χώρα στους μεσοκυττάριους χώρους των φύλλων, ενώ η απελευθέρωση των υδρατμών στην ατμόσφαιρα ελέγχεται από το άνοιγμα και το κλείσιμο των στομάτων. Αξίζει να σημειωθεί ότι σχεδόν όλο το νερό που απορροφάται από το φυτό αποβάλλεται μέσω της διαπνοής, με μόνο ένα μικρό ποσοστό να αξιοποιείται για τις βιολογικές του λειτουργίες.

Η διαπνοή, όπως και η άμεση εξάτμιση, εξαρτάται από την παροχή ενέργειας, τη διαφορά τάσης υδρατμών και την επίδραση του ανέμου. Συνεπώς, παράγοντες όπως η ηλιακή ακτινοβολία, η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας, η υγρασία και η ταχύτητα του ανέμου πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την αξιολόγησή της. Επιπλέον, η περιεκτικότητα σε νερό του εδάφους και η ικανότητά του να το μεταφέρει προς τις ρίζες επηρεάζουν σημαντικά τον ρυθμό διαπνοής, όπως επίσης και παράγοντες όπως η υπερχειλίση και η αλατότητα του εδαφικού νερού. Ο ρυθμός διαπνοής δεν είναι σταθερός, αλλά διαφοροποιείται ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της καλλιέργειας, τις περιβαλλοντικές συνθήκες και τις καλλιεργητικές πρακτικές (Εικόνα 22). Κάθε είδος φυτού έχει τον δικό του ρυθμό διαπνοής, γι' αυτό και η αξιολόγηση της διαδικασίας απαιτεί να ληφθούν υπόψη όχι μόνο το είδος της καλλιέργειας, αλλά και το στάδιο ανάπτυξής της, οι συνθήκες του περιβάλλοντος και η διαχείρισή της.

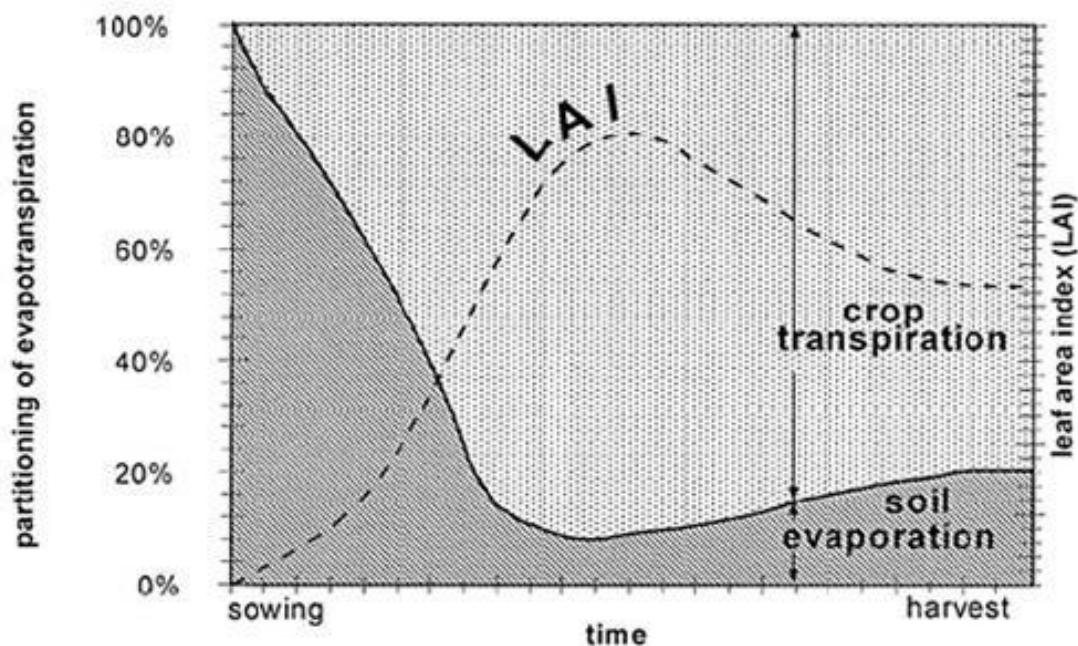
Η εξάτμιση και η διαπνοή συμβαίνουν ταυτόχρονα, καθιστώντας δύσκολο τον ακριβή διαχωρισμό τους. Εκτός από τη διαθεσιμότητα νερού στην επιφάνεια του εδάφους, η εξάτμιση από ένα καλλιεργημένο έδαφος επηρεάζεται κυρίως από το

ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει σε αυτό. Καθώς η καλλιέργεια αναπτύσσεται, ο θόλος της φυλλωσιάς σκιάζει όλο και περισσότερο την επιφάνεια, μειώνοντας σταδιακά αυτό το ποσοστό. Στα αρχικά στάδια ανάπτυξης των φυτών, το μεγαλύτερο μέρος του νερού χάνεται μέσω της εξάτμισης του εδάφους. Ωστόσο, μόλις η καλλιέργεια αναπτυχθεί πλήρως και καλύψει το έδαφος, η διαπνοή γίνεται η κυρίαρχη διαδικασία απώλειας νερού.



Εικόνα 22. Εξατμισοδιαπνοή (ET_o) αναφοράς καλλιεργειών υπό κανονικές (ET_c) συνθήκες (FAO, <https://www.fao.org/3/x0490e/x0490e04.htm>)

Στο Σχήμα 23 παρουσιάζεται η κατανομή της εξατμισοδιαπνοής (ET) σε εξάτμιση και διαπνοή, με την κατανομή αυτή να απεικονίζεται σε σχέση με την επιφάνεια των φύλλων ανά μονάδα επιφάνειας εδάφους που καλύπτεται από τα φυτά. Κατά τη διάρκεια της σποράς, σχεδόν το 100% της εξατμισοδιαπνοής (ET) προέρχεται από τη διαδικασία της εξάτμισης, ενώ όταν η καλλιέργεια έχει φτάσει στην πλήρη κάλυψη του εδάφους, περισσότερο από το 90% της εξατμισοδιαπνοής (ET) οφείλεται στη διαπνοή από τα φύλλα των φυτών.



Εικόνα 23. Διάγραμμα κατανομής εξατμισοδιαπνοής (Allen, R.G. et al (1998))

Τα τελευταία 50 χρόνια, έχουν αναπτυχθεί πολλές μέθοδοι για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής με τη χρήση μετεωρολογικών δεδομένων, από πλήθος ειδικών και επιστημόνων παγκοσμίως. Ορισμένες από αυτές τις μεθόδους είναι εμπειρικές, ενώ άλλες βασίζονται σε παραδοχές που προσαρμόζονται ανάλογα με τις τοπικές κλιματικές ή γεωγραφικές συνθήκες, γεγονός που τις καθιστά μη εφαρμοστέες σε παγκόσμιο επίπεδο. Αυτό ανέδειξε την ανάγκη για την ανάπτυξη πιο εξειδικευμένων και γενικών μεθόδων υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής. Στο πλαίσιο αυτό, η μέθοδος Penman-Monteith, όπως έχει αναπτυχθεί από τη FAO, παραμένει η μοναδική τυποποιημένη και ευρέως αποδεκτή μέθοδος για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής καλλιέργειας αναφοράς (ET_o) χρησιμοποιώντας μετεωρολογικά δεδομένα, καθώς λαμβάνει υπόψη τόσο την ενεργειακή ισορροπία όσο και τη δυναμική της μεταφοράς υδρατμών στην ατμόσφαιρα. Περιγράφεται στην παρακάτω εξίσωση:

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

όπου:

ET_o : Εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας αναφοράς (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 ($^{\circ}C$)

u_2 : Ταχύτητα ανέμου σε ύψος 2m ($m\ s^{-1}$)

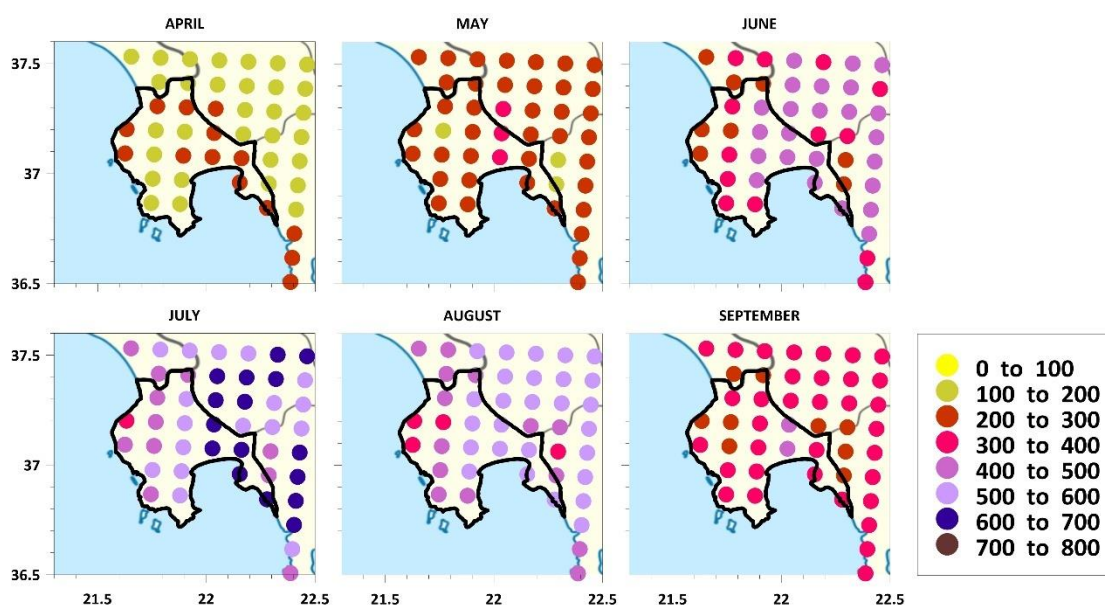
e_s : Τάση υδρατμών στο σημείο κορεσμού (kPa)

e_a : Πραγματική τάση υδρατμών (kPa)

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

Δ : Κλίση καμπύλης τάσης υδρατμών ($kPa\ ^{\circ}C^{-1}$)

γ : Ψυχομετρική σταθερά ($kPa\ ^{\circ}C^{-1}$)

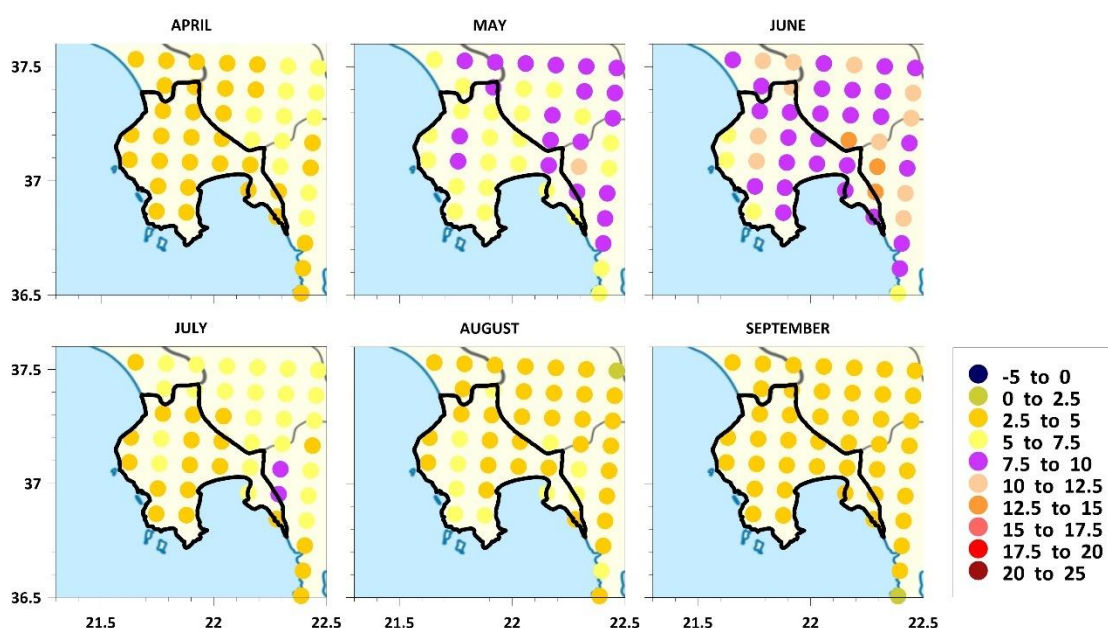


Εικόνα 24. Χωρική κατανομή της εξατμισοδιαπνοής του περιοχικού κλιματικού μοντέλου SMHI για τους μήνες Απρίλιο έως Σεπτέμβριο για την περίοδο αναφοράς 1981-2005

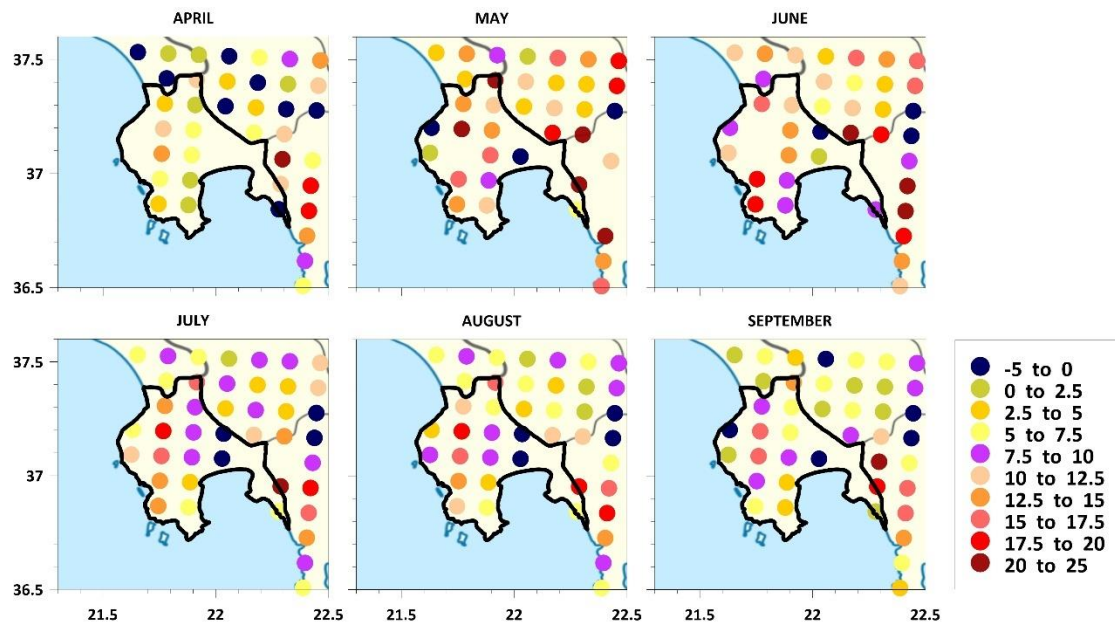
Η εξατμισοδιαπνοή αποτελεί έναν έμμεσο κλιματικό παράγοντα, ο οποίος επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις διαφόρων φυσικών παραμέτρων που την καθορίζουν. Η κλιματική αλλαγή, με την αύξηση της θερμοκρασίας από τη μία πλευρά, καθώς και η μεταβολή της υγρασίας και των ανέμων από την άλλη, επιδρούν με διαφορετική ένταση και βαρύτητα στον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής. Κάθε μία από αυτές τις παραμέτρους μπορεί να έχει

διαφορετική επίδραση, εντείνοντας ή μειώνοντας τη συνολική διαδικασία εξατμισοδιαπνοής, ανάλογα με τις τοπικές συνθήκες.

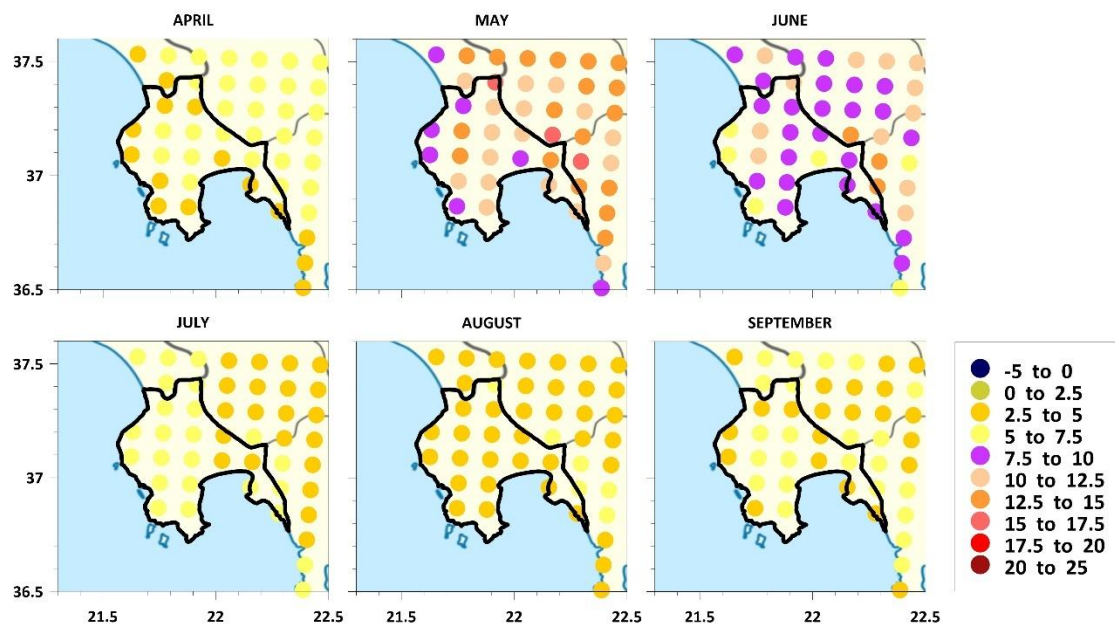
Από την χωρική κατανομή της μηνιαίας εξατμισοδιαπνοής (ET) την περίοδο αναφοράς 1981-2005 (Εικόνα 24), σύμφωνα με το περιοχικό κλιματικό μοντέλο SMHI, φαίνεται ότι οι μεγαλύτερες τιμές στην περιοχή της Μεσσηνίας εντοπίζονται κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, ενώ αρκετά μεγάλα ποσά ET παρατηρούνται και κατά τον Σεπτέμβριο. Σχετικά με τη χωρική ανάλυση των διαφορών της μηνιαίας εξατμισοδιαπνοής μεταξύ της μελλοντικής περιόδου και της περιόδου αναφοράς (Εικόνες 25-28), αναμένεται γενική αύξηση της εξατμισοδιαπνοής στην περιοχή μελέτης σύμφωνα και με τα δύο σενάρια εκπομπών. Ο ρυθμός αύξησης θα είναι διαφορετικός ανάλογα τον μήνα και την τοποθεσία. Σε ό,τι αφορά το σενάριο εκπομπών RCP4.5, η μεγαλύτερη αύξηση αναμένεται τον Ιούνιο κατά το πρώτο μισό της μελλοντικής περιόδου (2031-2050), ενώ κατά το δεύτερο μισό (2051-2070) η αύξηση είναι γενικότερη και δεν ακολουθεί κάποιο συγκεκριμένο μοτίβο. Στην περίπτωση του ακραίου σεναρίου RCP8.5, η εξατμισοδιαπνοή αναμένεται να αυξηθεί περισσότερο τον Μάιο και τον Ιούνιο (2031-2050), ενώ στο δεύτερο μισό (2051-2070) η μεγαλύτερη αύξηση εντοπίζεται από τον Απρίλιο μέχρι τον Ιούλιο.



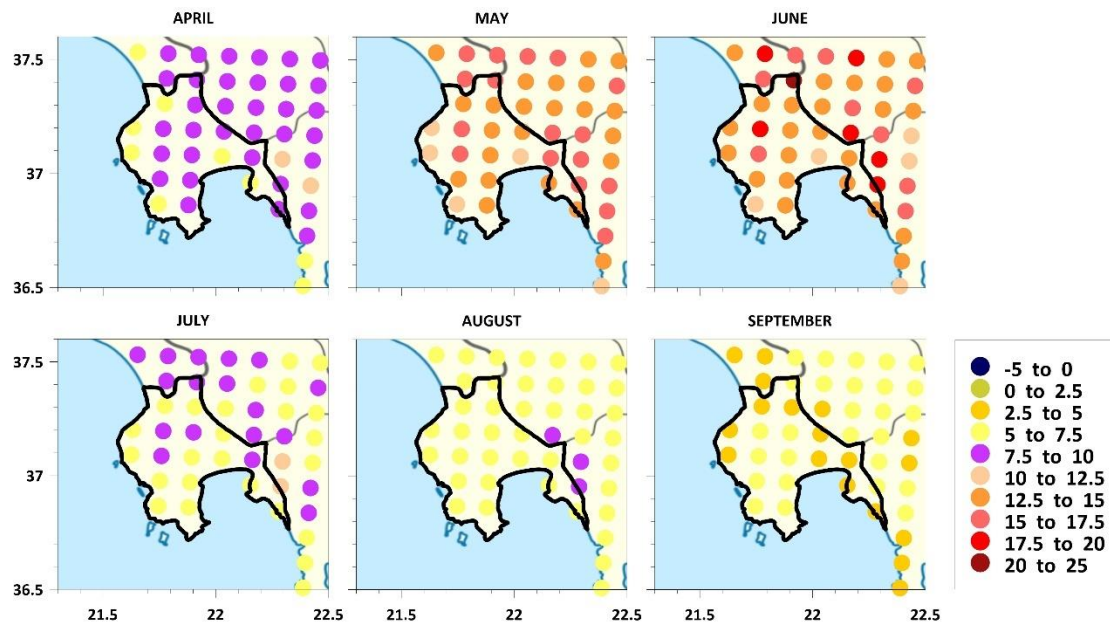
Εικόνα 25. Χωρική κατανομή των διαφορών εξατμισοδιαπνοής [(2031-2050) – (1981-2005)] για το σενάριο εκπομπών RCP4.5



Εικόνα 26. Χωρική κατανομή των διαφορών εξατμισοδιαπνοής [(2051-2070) – (1981-2005)] για το σενάριο εκπομπών RCP4.5



Εικόνα 27. Χωρική κατανομή των διαφορών εξατμισοδιαπνοής [(2031-2050) – (1981-2005)] για το σενάριο εκπομπών RCP8.5



Εικόνα 28. Χωρική κατανομή των διαφορών εξατμισοδιαπνοής [(2051-2070) – (1981-2005)] για το σενάριο εκπομπών RCP8.5

3.2. Καθαρές απαιτήσεις άρδευσης της ελιάς

Παρά το γεγονός ότι τα ελαιόδεντρα θεωρούνται γενικά ανθεκτικά στην ξηρασία (Connor et al., 2005), οι Tanasijevic et al. (2014) υποστηρίζουν ότι η αύξηση της συχνότητας και της έντασης των ξηρασιών στο μέλλον θα οδηγήσει σε μια μέση αύξηση 18.5% της ζήτησης άρδευσης στη Μεσόγειο. Αυτή η εξέλιξη, σε συνδυασμό με τις αλλαγές στις κλιματικές συνθήκες, μπορεί να καθιστά αδύνατη την καλλιέργεια ελιάς σε περιοχές που βασίζονται σε βροχοπτώσεις. Στην περίπτωση της Πορτογαλίας, οι Fraga et al. (2020c) αναφέρουν ότι, αν και οι υδάτινοι πόροι αναμένονται να περιοριστούν από πιο θερμές και ξηρές συνθήκες, η άρδευση μπορεί να αποτελέσει μια βιώσιμη στρατηγική προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή για τους ελαιοκαλλιεργητές. Επιπλέον, οι Mairech et al. (2020), μέσω μοντέλων άρδευσης, απέδειξαν ότι, παρά την υψηλή κλιματική μεταβλητότητα στη λεκάνη της Μεσογείου, η ελλειμματική άρδευση μπορεί να αποτελέσει μια βιώσιμη επιλογή διαχείρισης υπό τις παρούσες συνθήκες, με μείωση των απαιτήσεων σε νερό και αύξηση της αποδοτικότητας της χρήσης νερού για τις καλλιέργειες. Σε ένα πιο θερμό και ξηρό κλίμα, όπως αυτό που προβλέπεται για το μέλλον, οι ανάγκες σε νερό αναμένονται να αυξηθούν ιδιαίτερα στις νότιες περιοχές της Μεσογείου. Έτσι, για να διασφαλιστεί η ικανοποιητική

απόδοση των αρδευόμενων ελαιώνων, θα πρέπει να εφαρμοστούν κατάλληλες τεχνικές άρδευσης, οι οποίες θα μπορούν να καλύπτουν τις αυξημένες ανάγκες σε νερό, λαμβάνοντας υπόψη τις περιορισμένες ποσότητες που είναι διαθέσιμες.

Οι απαιτήσεις άρδευσης της ελιάς μπορούν να υπολογιστούν από τη διαφορά μεταξύ της εξατμισοδιαπνοής (ET) και της βροχόπτωσης (P).

1. Η εξατμισοδιαπνοή της ελιάς (ET_c) υπολογίζεται ως:

$$ET_c = K_c \cdot ET_o$$

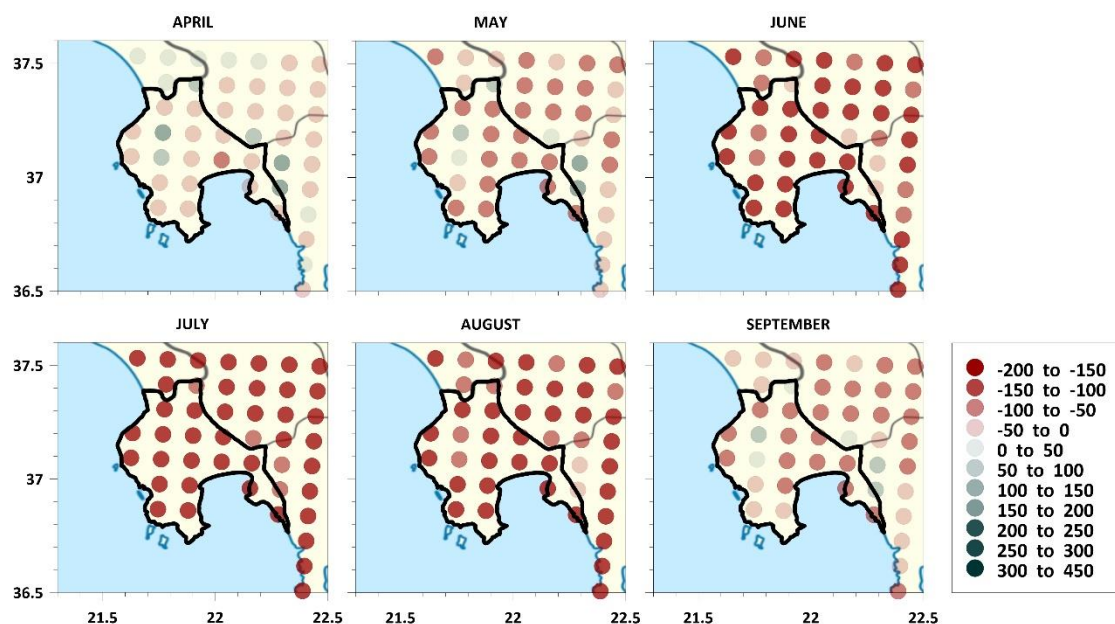
όπου:

ET_o: Αναφορά εξατμισοδιαπνοή, που έχει να υπολογιστεί με την εξίσωση Penman-Monteith (FAO-56)

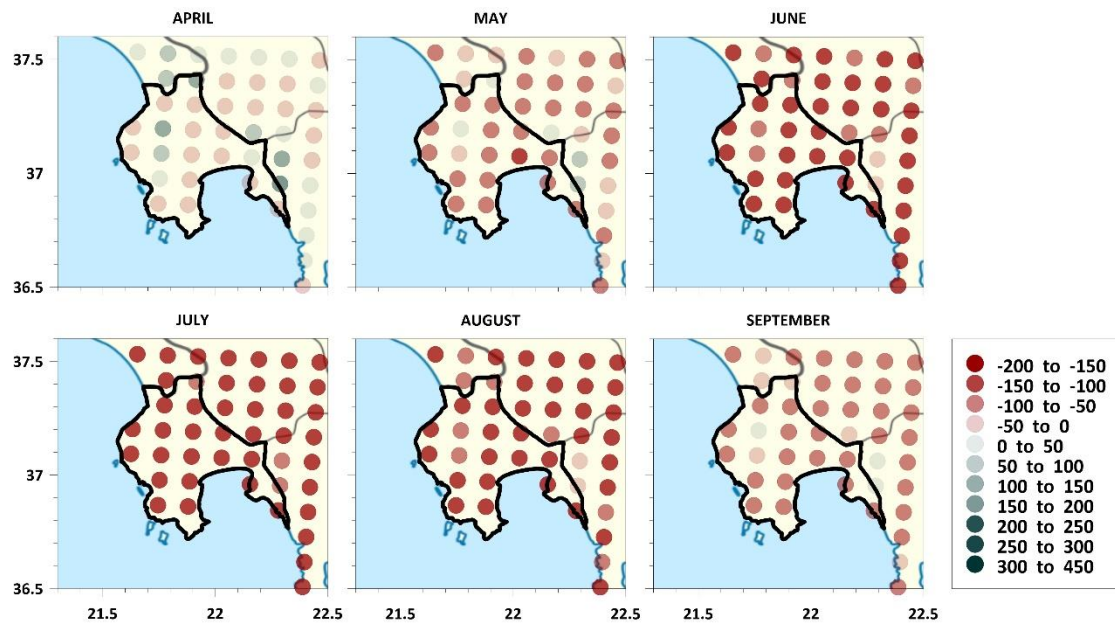
K_c: Συντελεστής καλλιέργειας για την ελιά (τυπικά 0.3 - 0.65, ανάλογα με τη φάση ανάπτυξης και το σύστημα καλλιέργειας)

2. Η αποτελεσματική βροχόπτωση P_{eff} υπολογίστηκε προσεγγιστικά από τη σχέση

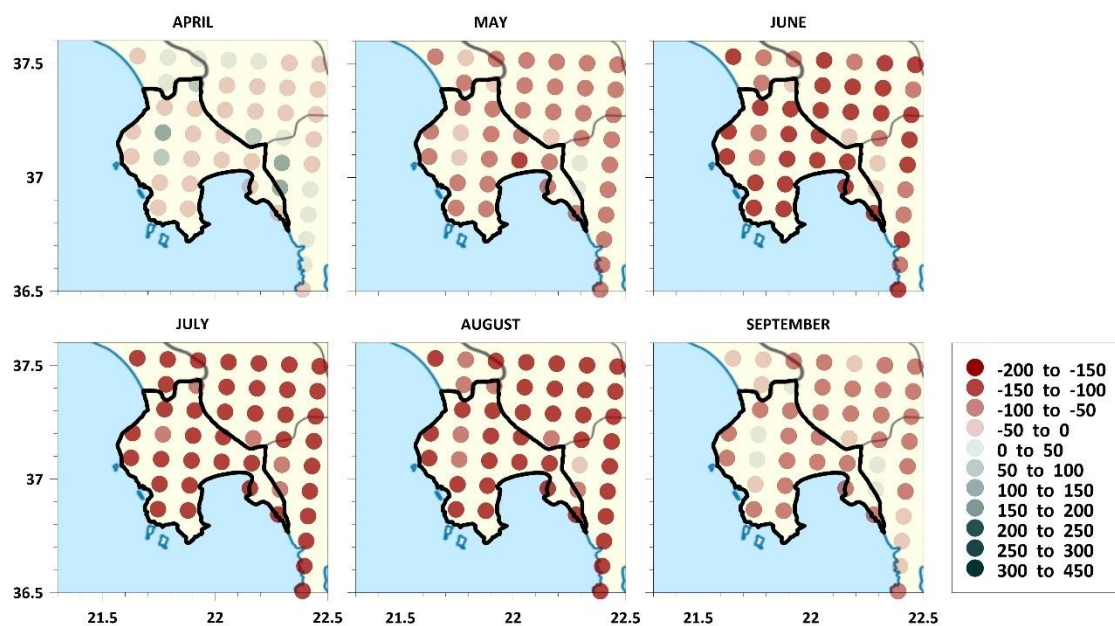
$$P_{eff} = 0.75 \cdot P$$



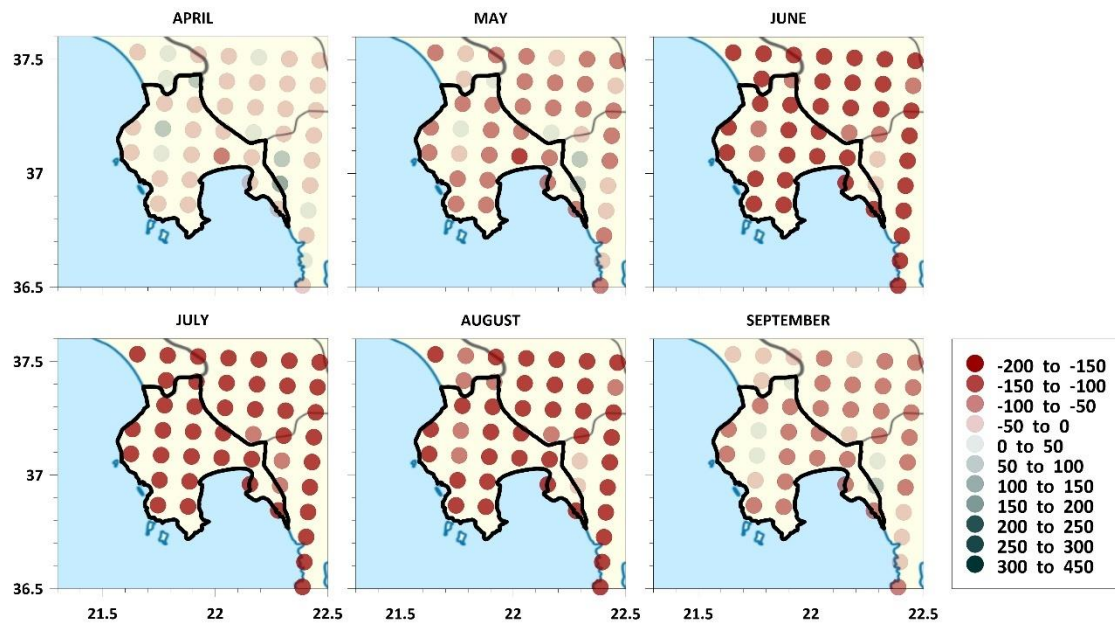
Εικόνα 29. Χωρική κατανομή των διαφορών των καθαρών απαιτήσεων άρδευσης σε νερό για την περιοχή της Μεσσηνίας για τους μήνες Απρίλιο έως Σεπτέμβριο [(2031-2050) – (1981-2005)] για το σενάριο εκπομπών RCP4.5



Εικόνα 30. Χωρική κατανομή των διαφορών των καθαρών απαιτήσεων άρδευσης σε νερό για την περιοχή της Μεσσηνίας για τους μήνες Απρίλιο έως Σεπτέμβριο [(2051-2070) – (1981-2005)] για το σενάριο εκπομπών RCP4.5



Εικόνα 31. Χωρική κατανομή των διαφορών των καθαρών απαιτήσεων άρδευσης σε νερό για την περιοχή της Μεσσηνίας για τους μήνες Απρίλιο έως Σεπτέμβριο [(2031-2050) – (1981-2005)] για το σενάριο εκπομπών RCP8.5



Εικόνα 32. Χωρική κατανομή των διαφορών των καθαρών απαιτήσεων άρδευσης σε νερό για την περιοχή της Μεσσηνίας για τους μήνες Απρίλιο έως Σεπτέμβριο [(2051-2070) – (1981-2005)] για το σενάριο εκπομπών RCP8.5

Η χωρική κατανομή των διαφορών των καθαρών απαιτήσεων άρδευσης σε νερό για την περιοχή της Μεσσηνίας, μεταξύ της μελλοντικής περιόδου και της περιόδου αναφοράς (Εικόνες 29-32), δείχνει συμφωνία των δύο σεναρίων εκπομπών. Οι αρνητικές τιμές υποδηλώνουν την έλλειψη νερού για άρδευση ενώ οι θετικές τιμές αναφέρονται σε πλεόνασμα νερού. Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων φαίνεται καθαρά ότι για τα δύο σενάρια και για τους τρεις θερινούς μήνες θα υπάρξει σημαντικό έλλειμμα. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι οι απαιτήσεις άρδευσης (IR) αυξάνονται σημαντικά τους θερινούς μήνες, όταν η εξατμισοδιαπνοή είναι υψηλή και η βροχόπτωση χαμηλή. Η περίοδος αυτή συμπίπτει με την αυξημένη ζήτηση νερού λόγω τουριστικών δραστηριοτήτων, γεγονός που εντείνει την πίεση στους υδατικούς πόρους. Η τάση αυτή υπογραμμίζει την ανάγκη για αποτελεσματική διαχείριση της άρδευσης και στρατηγικές εξοικονόμησης νερού, ώστε να διασφαλιστεί η βιωσιμότητα τόσο της γεωργίας όσο και των άλλων χρήσεων νερού.

3.3. Ημεροβαθμοί για το στάδιο της ανθοφορίας

Η πρόβλεψη της σταδιακής ανάπτυξης των ελαιόδεντρων αποτελεί κρίσιμη παράμετρο για τη βελτιστοποίηση της καλλιέργειας και τη διαχείριση των επιπτώσεων του περιβάλλοντος. Συμβάλλει σε διάφορους τομείς, όπως:

- Αξιολόγηση της θερμικής προσαρμογής των ελαιόδεντρων σε νέα περιβάλλοντα, όπου δεν υπάρχει προηγούμενη εμπειρία ελαιοκαλλιέργειας
- Διαχείριση επιβλαβών οργανισμών, καθώς ο βιολογικός κύκλος και η δυναμική τους επηρεάζονται άμεσα από τα φαινολογικά στάδια του δέντρου
- Πρόβλεψη απόδοσης, δεδομένου ότι η παραγωγή επηρεάζεται από τις κλιματικές συνθήκες κατά την ανθοφορία, ενώ η κατανομή των υδατανθράκων στο δέντρο εξαρτάται από το φαινολογικό στάδιο
- Διαχείριση της καλλιέργειας, συμπεριλαμβανομένης της εφαρμογής αγροχημικών, της ορθολογικής άρδευσης, του προγραμματισμού κλαδέματος και συγκομιδής
- Εκτίμηση κινδύνων για την ανθρώπινη υγεία, μέσω της πρόβλεψης των επιπέδων γύρης στον αέρα, που επηρεάζουν τις αλλεργικές αντιδράσεις του πληθυσμού

Οι ενδεικτικές ημερομηνίες έναρξης της ανθοφορίας της ελιάς για την περίοδο αναφοράς, καθώς και η εκτιμώμενη μεταβολή τους για την περίοδο 2031-2070, παρουσιάζονται στα Σχήματα 32 και 33. Στην περιοχή της Μεσσηνίας, η ανθοφορία των ελαιόδεντρων καταγράφεται κυρίως μεταξύ Απριλίου και Μαΐου (100 με 150 ιουλιανή ημέρα) Οι εκτιμήσεις που πραγματοποιήθηκαν στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης για τη σημερινή περίοδο επιβεβαιώνουν τα δεδομένα προηγούμενων ερευνών στη Μεσόγειο (Tanasijevic et al., 2014).

Αν και η χρήση τοπικών μοντέλων ανάπτυξης καλλιεργειών θα μπορούσε να βελτιώσει την ακρίβεια των εκτιμήσεων, η εφαρμογή τους σε ευρεία γεωγραφική κλίμακα, όπως σε ολόκληρη τη Μεσόγειο, παρουσιάζει προκλήσεις. Παρ' όλα αυτά, οι εκτιμήσεις σχετικά με τις δυνητικά κατάλληλες εκτάσεις και τη διάρκεια

της καλλιεργητικής περιόδου αντανακλούν σε μεγάλο βαθμό την πραγματικότητα. Τα αποτελέσματα για το παρόν σενάριο συμφωνούν ικανοποιητικά με τα βιβλιογραφικά δεδομένα, επιβεβαιώνοντας την αξιοπιστία των προβλέψεων (Tanasijevic et al., 2014).

Ανθοφορία της ελιάς: Ρόλος των θερμοκρασιακών απαιτήσεων

Η χειμερινή αναστολή της ανάπτυξης των δέντρων είναι ένα φυσιολογικό φαινόμενο που προκύπτει από την προσαρμογή της πλειοψηφίας των δέντρων στα μεσαία γεωγραφικά πλάτη (Camproy et al., 2011). Οι περιοχές αυτές χαρακτηρίζονται από έντονη εποχικότητα και εναλλαγές μεταξύ ευνοϊκών και μη ευνοϊκών περιόδων για την ανάπτυξη των φυτών, οι οποίες επηρεάζονται από τις θερμικές συνθήκες των διαφορετικών εποχών του χρόνου. Αυτή η προσαρμογή συνδέεται με την αντοχή στον παγετό και επιτρέπει στα φυτά να προστατεύουν τους φυτικούς και αναπαραγωγικούς ιστούς τους από τις δυσμενείς συνθήκες, κυρίως κατά την περίοδο του χειμώνα με τις χαμηλές θερμοκρασίες (Luedeling, 2012). Επίσης, άλλες περιοριστικές περιβαλλοντικές συνθήκες, όπως οι έντονες καλοκαιρινές ξηρασίες, μπορεί να προκαλέσουν στα φυτά την ανάγκη να εισέλθουν σε μια συγκεκριμένη λανθάνουσα περίοδο με διαφορετική βιολογική σημασία (Lang, 1987).

Κατά τη διάρκεια του χειμώνα, τα ελαιόδεντρα απαιτούν μια συγκεκριμένη ποσότητα ψύξης για να διακόψουν τον λήθαργο των οφθαλμών τους (Orlandi et al., 2004). Η περίοδος αυτή κατά την οποία ικανοποιούνται οι απαιτήσεις ψύξης ονομάζεται ενδο-λήθαργος ή κύριος λήθαργος (endodormancy). Οι μονάδες ψύξης συσσωρεύονται σταδιακά κατά τη διάρκεια του κύριου λήθαργου, μέχρι να επιτευχθεί ένα συγκεκριμένο όριο. Σε αυτό το στάδιο, οι ανθοφόροι οφθαλμοί προετοιμάζονται να ενεργοποιήσουν την ανθοφορία τους, και απαιτούν σχετικά υψηλότερες θερμοκρασίες (απαιτήσεις θερμότητας) για να ξεκινήσει η μεταβολική τους ανάπτυξη, η εμφάνιση των μπουμπουκιών και η ανάπτυξη των ταξιανθιών (περίοδος άνθισης και βλάστησης). Η διαδικασία συσσώρευσης των χειμερινών μονάδων ψύχους δεν είναι εύκολο να παρατηρηθεί χωρίς πειραματική παρακολούθηση, με αποτέλεσμα να είναι περιορισμένες οι γνώσεις σχετικά με το ακριβές χρονικό διάστημα κατά το οποίο τα δέντρα συσσωρεύουν αυτές τις

μονάδες ψύχους (Rallo and Martin, 1991) και τη σημασία τους για τις επακόλουθες περιόδους άνθησης και βλάστησης (Rojo et al., 2020).

Θερμοκρασία και ανθοφορία της ελιάς

Η φωτοπερίοδος φαίνεται να έχει περιορισμένη επίδραση στην παραγωγή ταξιανθιών, ενώ αντιθέτως οι χαμηλές θερμοκρασίες του χειμώνα είναι απαραίτητες για τη φυσιολογική ανάπτυξη των ανθικών οφθαλμών (Hackett and Hartmann, 1964). Στις ελιές, η ανθοφορία πραγματοποιείται στη βλάστηση του προηγούμενου έτους, και η έξοδος από τον λήθαργο συμβαίνει μόλις το δέντρο εκτεθεί σε επαρκή περίοδο χαμηλών θερμοκρασιών (Pinney and Polito, 1990; Rallo and Martin, 1991; Fernandez-Escobar et al., 1992). Μελέτες έχουν δείξει ότι η έκθεση των δέντρων σε χαμηλές θερμοκρασίες σχετίζεται με μεταβολές στις ενδογενείς γιββερελλίνες και τους αναστολείς ανάπτυξης, όπως το αμπισικό οξύ, που επηρεάζουν τη ρύθμιση της ανθοφορίας (Badr and Hartmann, 1972; Rallo and Martin, 1991).

Η θερμοκρασιακή απαίτηση ψύχους των ελαιοδέντρων εξηγεί την μειωμένη ανθοφορία σε περιοχές με ήπιους χειμώνες, καθιστώντας τες ακατάλληλες για ελαιοπαραγωγή. Η ανεπαρκής ψύξη μπορεί να προκαλέσει καθυστερημένη και ατελή ανθοφορία, επηρεάζοντας τόσο τη συγχρονικότητα της άνθησης όσο και τη συνολική διάρκεια της ανθοφορίας (Barranco et al., 1994).

Μετά την έξοδο από τον λήθαργο, η μορφολογική ανάπτυξη των ανθικών οφθαλμών εξαρτάται από τις θερμές θερμοκρασίες που ακολουθούν, οι οποίες επηρεάζουν τον ρυθμό άνθησης (Hackett and Hartmann, 1964). Έχει παρατηρηθεί ότι αυξημένες θερμοκρασίες μετά τη διακοπή του λήθαργου μειώνουν τη διάρκεια της ανθοφορίας, ενώ οι πολύ υψηλές θερμοκρασίες μπορεί να την επιταχύνουν υπερβολικά, περιορίζοντας έτσι τις πιθανότητες επιτυχούς επικονίασης (Alcalá and Barranco, 1992; Barranco et al., 1994). Σε περισσότερες ελαιοπαραγωγικές περιοχές, η άνθηση λαμβάνει χώρα την άνοιξη, με μόλις 5% των ανθέων να καταλήγουν σε επιτυχή καρπόδεση. Σε ορισμένες ποικιλίες, η διασταυρούμενη επικονίαση μπορεί να αυξήσει το ποσοστό αυτό (Lavee and Datt, 1978; Suárez et al., 1984).

Ο λήθαργος και οι θερμοκρασιακές απαιτήσεις της ελιάς αποτελούν καθοριστικούς παράγοντες για την επιτυχή ανθοφορία και παραγωγή. Οι μεταβολές στις θερμοκρασίες, είτε λόγω κλιματικής αλλαγής είτε λόγω τοπικών διαφοροποιήσεων του κλίματος, μπορούν να επηρεάσουν τον κύκλο της ελιάς, μειώνοντας την ανθοφορία και, κατ' επέκταση, την παραγωγή καρπών. Η κατανόηση αυτών των φαινομένων μπορεί να βοηθήσει στην προσαρμογή των καλλιεργητικών πρακτικών, στην επιλογή κατάλληλων ποικιλιών για διαφορετικά περιβάλλοντα και στην ανάπτυξη βιώσιμων στρατηγικών διαχείρισης για τη διασφάλιση της ελαιοπαραγωγής στο μέλλον.

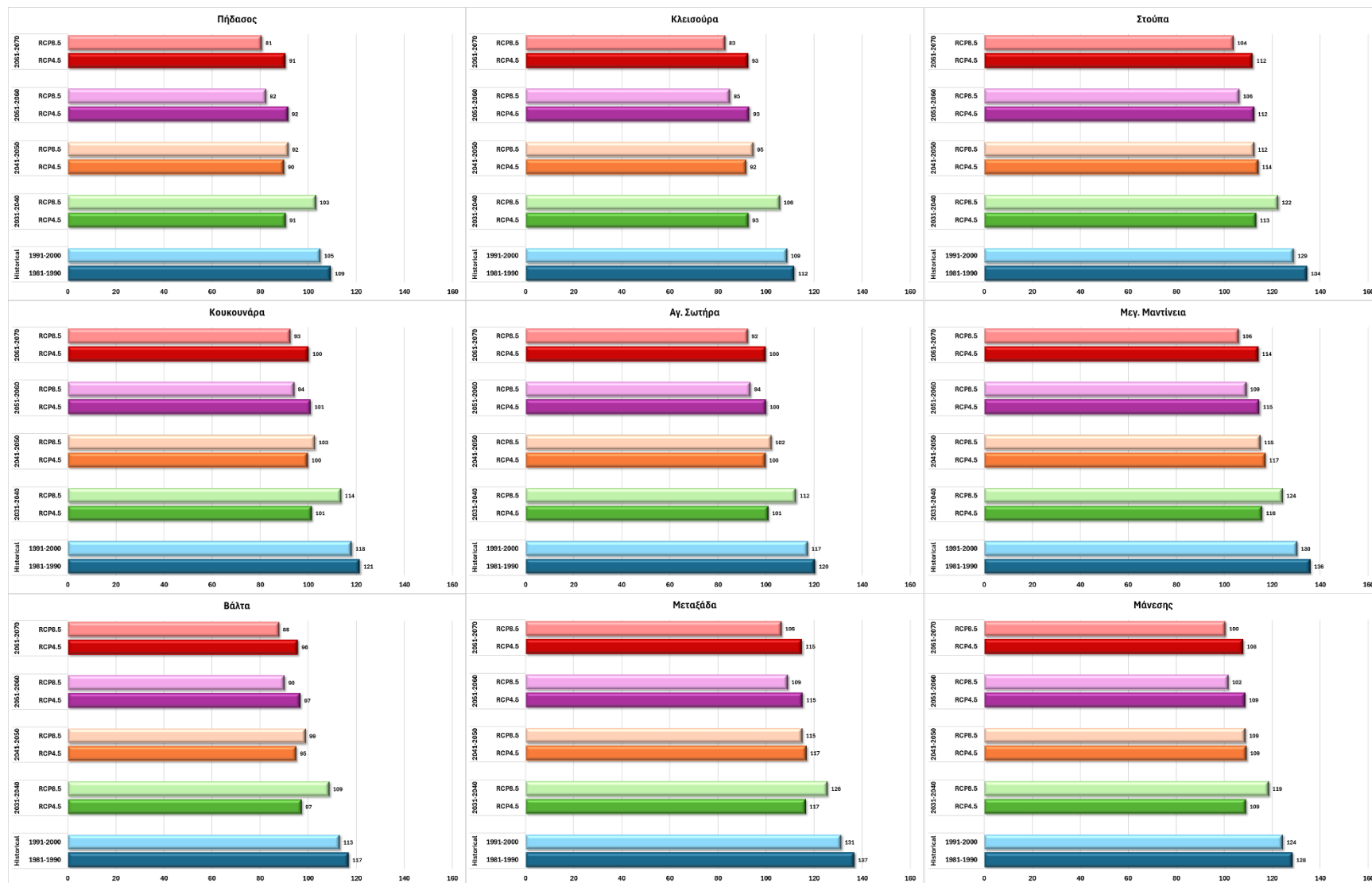
Προβλέπεται ότι η ανθοφορία θα πραγματοποιείται νωρίτερα στις μελλοντικές δεκαετίες (Εικόνες 33 & 34) σε ολόκληρη την περιοχή της Μεσσηνίας λόγω της προβλεπόμενης αύξησης της θερμοκρασίας. Η ημέρα εμφάνισης ανθοφορίας έχει εκτιμηθεί για την ιστορική περίοδο να είναι στις πιο νότιες περιοχές αρχές Απριλίου (~100^η Ιλ. Ημέρα) (Σχήμα 32), ενώ οι πιο βόρειες και ηπειρωτικές περιοχές η ανθοφορία είναι 20 με 30 ημέρες μετά, τέλη Απριλίου με αρχές Μαΐου. Τις επόμενες δεκαετίες φαίνεται καθαρά ότι λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας για την πλειονότητα των ετών η ανθοφορία θα εμφανιστεί νωρίτερα σε όλες τις περιοχές.

Είναι χαρακτηριστικό ότι το χρονικό διάστημα που θα παρατηρηθεί ανθοφορία στη τελευταία μελλοντική περίοδο 2061-2070 είναι μειωμένο κατά 20%, μία μείωση που αντιστοιχεί περίπου στις 20 ημέρες νωρίτερα δηλαδή τις πρώτες ημέρες του Απριλίου. Σύμφωνα με τις Εικόνες 33 και 34, φαίνεται ότι σημαντικές μειώσεις θα παρουσιαστούν στην ηπειρωτική Μεσσηνία αλλά και τα όρια αυτής με την Αρκαδία και τη Λακωνία. Παρόμοια εικόνα παρουσιάζει και η εμφάνιση ανθοφορίας όταν υπολογιστεί με το σενάριο RCP8.5 όπου η εμφάνιση ανθοφορίας στη τελευταία μελλοντική δεκαετία θα είναι κάτω από την 100^η ημέρα στις νότιες περιοχές, δηλαδή μέσα με τέλη Μαρτίου, όπου παρατηρείται μείωση μεγαλύτερη από 20%.

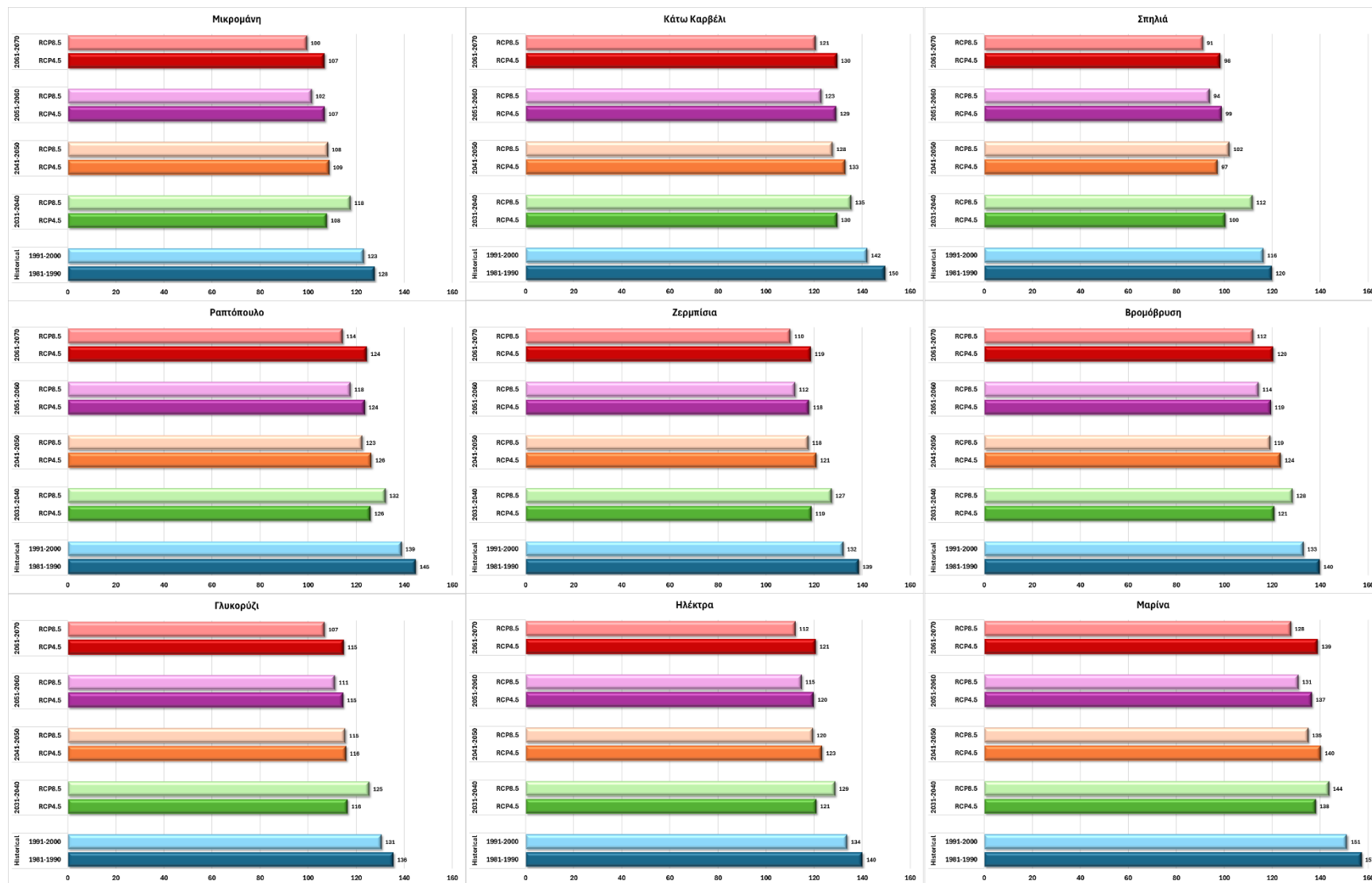
Η πρόωρη ανθοφορία της ελιάς λόγω της κλιματικής αλλαγής, δηλαδή μια μετατόπιση κατά περίπου 20 ημέρες νωρίτερα (ανάλογα με την συγκεκριμένη τοποθεσία), μπορεί να έχει σημαντικές επιπτώσεις τόσο στην καρποφορία όσο και

στην ποιότητα του καρπού. Οι επιπτώσεις αυτές σχετίζονται με τις μεταβολές στις θερμοκρασίες, την υγρασία, την επικονίαση, την ανάπτυξη του καρπού και την περιεκτικότητα του ελαιολάδου. Αν η ανθοφορία πραγματοποιηθεί πολύ νωρίς, ενδέχεται να μην υπάρχει επαρκής επικονίαση, ειδικά αν οι επικονιαστές (π.χ. μέλισσες, άνεμος) δεν είναι ενεργοί την ίδια περίοδο. Επίσης, όταν η ανθοφορία συμβεί νωρίτερα, τα άνθη είναι πιο ευαίσθητα σε όψιμους ανοιξιάτικους παγετούς, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε καταστροφή των ανθοφόρων οφθαλμών και μειωμένη παραγωγή. Η πρόωπη ωρίμανση του καρπού τον καθιστά πιο ευάλωτο σε προσβολές από τον δάκο (*Bactrocera oleae*), καθώς οι συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας μπορεί να ευνοούν την εξάπλωσή του. Αυξημένες θερμοκρασίες και ξηρασία μπορεί να εντείνουν τη διαφοροποίηση του φαινολογικού κύκλου των παθογόνων, οδηγώντας σε υψηλότερες προσβολές από μυκητολογικές ασθένειες (π.χ. κυκλοκόνιο, ανθράκωση).

Γενικά, η αξιολόγηση των επιπτώσεων συνολικά στην ελαιοκαλλιέργεια γίνεται ακόμη πιο πολύπλοκη αν αναλογιστούμε ότι πρόκειται για συστήματα αλληλοεπιδρώντων οργανισμών των οποίων η φυσιολογία καθώς και η συμπεριφορά επηρεάζεται άμεσα και έμμεσα από τις περιβαλλοντικές συνθήκες αλλά και τις μεταξύ τους αλληλεπιδράσεις.



Εικόνα 33. Εκτιμώμενη ημέρα άνθισης σε διαφορετικές περιοχές της Μεσσηνίας για τις περιόδους αναφοράς 1981-1990 και 1991-2000, καθώς και για τις τέσσερις μελλοντικές περιόδους για τα σενάρια εκπομπών RCP4.5 και RCP8.5



Εικόνα 34. Εκτιμώμενη ημέρα άνθισης σε διαφορετικές περιοχές της Μεσσηνίας για τις περιόδους αναφοράς 1981-1990 και 1991-2000, καθώς και για τις τέσσερις μελλοντικές περιόδους για τα σενάρια εκπομπών RCP4.5 και RCP8.5

3.4. Εχθροί και ασθένειες της ελιάς: Οι περιπτώσεις της ανθράκωσης, του κυκλοκόνιου, του δάκου και του πυρηνοτρήτη

Η ελιά (*Olea europaea*) αποτελεί μία από τις σημαντικότερες καλλιέργειες στις μεσογειακές χώρες, συμβάλλοντας καθοριστικά στην οικονομία και την αγροτική παραγωγή. Ωστόσο, η ανάπτυξη και η απόδοσή της επηρεάζονται από διάφορους εχθρούς και ασθένειες που προκαλούν σημαντικές απώλειες στην παραγωγή και την ποιότητα του ελαιολάδου. Μεταξύ των πιο σοβαρών προβλημάτων που αντιμετωπίζουν οι ελαιοκαλλιέργειες για την περιοχή της Μεσσηνίας επιλέχθηκαν ενδεικτικά η ανθράκωση (*Colletotrichum* spp.), το κυκλοκόνιο (*Spilocaea oleagina*), ο δάκος (*Bactrocera oleae*) και ο πυρηνοτρήτης (*Prays oleae*). Οι ασθένειες αυτές και τα έντομα-εχθροί προσβάλλουν διαφορετικά στάδια της ανάπτυξης της ελιάς, προκαλώντας πτώση φύλλων, υποβάθμιση του καρπού και μείωση της παραγωγής.

Η ανθράκωση και το κυκλοκόνιο είναι μυκητολογικές ασθένειες που προσβάλλουν τα φύλλα, τους καρπούς και τα άνθη, και μπορούν να οδηγήσουν μεταξύ άλλων σε εκτεταμένη φυλλόπτωση και σημαντική μείωση της ποσότητας και υποβάθμιση της ποιότητας του ελαιολάδου. Αντίστοιχα, ο δάκος της ελιάς αποτελεί τον σημαντικότερο εντομολογικό εχθρό της καλλιέργειας, καθώς οι προνύμφες του αναπτύσσονται μέσα στον καρπό, μειώνοντας την παραγωγή και αυξάνοντας την οξύτητα του ελαιολάδου υποβαθμίζοντας την ποιότητα του και αντίστοιχα την εμπορική του τιμή. Ο πυρηνοτρήτης, ένας ακόμη σοβαρός εντομολογικός εχθρός, επιδρά σε όλα τα στάδια ανάπτυξης της ελιάς, προκαλώντας την κύρια ζημιά κατά το στάδιο της ανθοφορίας (ανθόβια γενιά) μειώνοντας την παραγωγικότητα των δέντρων. Η κλιματική αλλαγή επηρεάζει σημαντικά την εξάπλωση και την ένταση αυτών των προβλημάτων, καθώς η άνοδος της θερμοκρασίας και οι μεταβολές στις βροχοπτώσεις δημιουργούν ευνοϊκότερες συνθήκες για την ανάπτυξη παθογόνων και την αύξηση των πληθυσμών των εντόμων. Η έγκαιρη διάγνωση και η εφαρμογή ολοκληρωμένων στρατηγικών φυτοπροστασίας είναι απαραίτητες για την αντιμετώπιση αυτών των

εχθρών και την προστασία της ελαιοκαλλιέργειας σε ένα διαρκώς μεταβαλλόμενο κλιματικό περιβάλλον.

Οι κλιματολογικές συνθήκες έχουν σημαντική επίδραση στην παρουσία του ασθενειών και των εχθρών της ελιάς. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι στα έντομα τα αυγά και οι νεαρές προνύμφες των εχθρών 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 πυρηνοτρήτη (*Prays oleae*) να πετάει για μεγάλες αποστάσεις και η ελλιπής γνώση σχετικά με την παραγωγή διαχείμασης μπορεί να επηρεάσουν την παρακολούθηση του εντόμου και κατά συνέπεια την εκτίμηση του κινδύνου προσβολής (Petacchi et al., 2014). Η χρήση κλιματικών μοντέλων πρόβλεψης είναι σημαντική για τη βελτίωση των στρατηγικών ελέγχου των εχθρών, 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 ο πυρηνοτρήτης είναι ένα από τους κύριους εχθρούς 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 υπολογίστηκε ο δείκτης επικινδυνότητας εμφάνισης των κυριότερων εχθρών και ασθενειών της ελιάς. Η παρουσίαση που ακολουθεί αναλύει την ύπαρξη ευνοϊκών ή μη συνθηκών στις περιοχές ενδιαφέροντος στη διάρκεια του χρόνου. Δεν αναλύει την δυναμική των πληθυσμών ούτε υπολογίζει την πιθανή τους εξέλιξη μιας και μία τέτοια έκτασης εργασία ξεφεύγει από τα

χρονικά διαστήματα που θα απαιτούνταν και το πεδίο εφαρμογής της παρούσης μελέτης.

3.4.1. Ανθράκωση

Ο Anthracnose Risk Index (ARI) υπολογίζεται με τη χρήση των ακόλουθων παραμέτρων:

3. Θερμοκρασία αέρα (T):

- Βέλτιστο εύρος: 20-30°C
- Κατώφλια κινδύνου:
 - Κάτω από 15°C: Χαμηλός κίνδυνος
 - Πάνω από 35°C: Αμελητέος κίνδυνος

4. Σχετική υγρασία (RH):

- $RH > 75\%$ απαιτείται για βλάστηση σπορίων
- Παρατεταμένη $RH > 90\%$ εντείνει σημαντικά τον κίνδυνο μόλυνσης

Ο απλοποιημένος Anthracnose Risk Index υπολογίζεται με την εξίσωση:

$$ARI = W_T \cdot F_T(T) + W_{RH} \cdot F_{RH}(RH)$$

όπου:

W_T, W_{RH} : Συντελεστές βαρύτητας για την θερμοκρασία και την σχετική υγρασία αντίστοιχα (default: $W_T = 0.5, W_{RH} = 0.5$)

$F_T(T)$: Συντελεστής θερμοκρασίας

$$F_T(T) = \begin{cases} 0 & \text{εάν } T < 15 \text{ ή } T > 35 \\ \frac{T-15}{5} & \text{εάν } 15 \leq T \leq 20 \\ 1 & \text{εάν } 20 < T < 30 \\ \frac{35-T}{5} & \text{εάν } 30 \leq T \leq 35 \end{cases}$$

$F_{RH}(RH)$: Συντελεστής σχετικής υγρασίας

$$F_{RH}(RH) = \begin{cases} 0 & \text{εάν } RH < 75 \\ \frac{RH-75}{15} & \text{εάν } 75 \leq RH \leq 90 \\ 1 & \text{εάν } RH > 90 \end{cases}$$

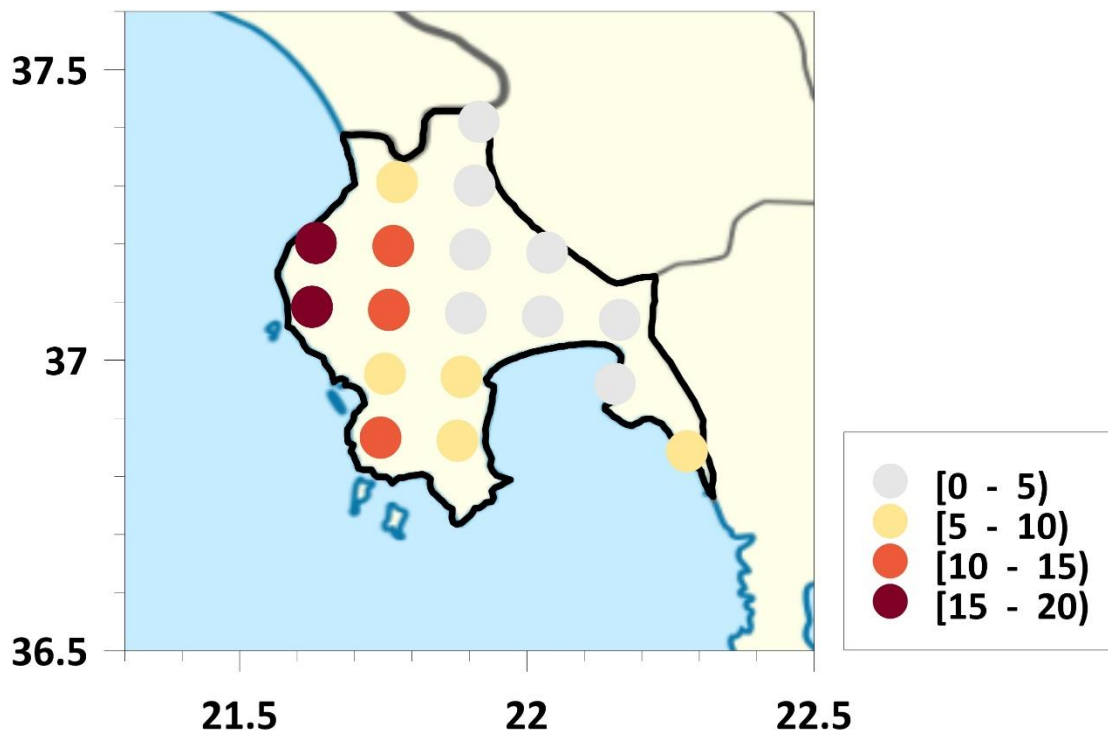
Πίνακας 8. Κατηγοριοποίηση των τιμών του δείκτη ARI

Τιμή Δείκτη (ARI)	Επίπεδο Κινδύνου	Ερμηνεία
0 – 0.3	Χαμηλός κίνδυνος	Δεν υπάρχουν ευνοϊκές συνθήκες για την μόλυνση από ανθράκωση
0.31 – 0.6	Μέτριος κίνδυνος	Οι συνθήκες μπορεί να ευνοούν την μόλυνση: παρακολουθείτε στενά και εξετάστε το ενδεχόμενο προληπτικής εφαρμογής μυκητοκτόνου
0.61 – 0.8	Υψηλός κίνδυνος	Υψηλή πιθανότητα μόλυνσης: εφαρμόστε μυκητοκτόνο και αποφύγετε την άρδευση που βρέχει την κόμη
0.81 – 1.0	Σοβαρός κίνδυνος	Οι συνθήκες είναι ιδιαίτερα ευνοϊκές για μόλυνση: απαιτείται επείγουσα παρέμβαση

Μετά τον υπολογισμό του δείκτη επικινδυνότητας για την εμφάνιση ανθράκωσης στη περιοχή της Μεσσηνίας επιλέχθηκε να παρουσιαστούν τα αποτελέσματα για την κατηγορία «Υψηλού Κινδύνου» όπου οι συνθήκες είναι πολύ ευνοϊκές για το συγκεκριμένο παθογόνο και είναι απαραίτητη η λήψη μέτρων εκ μέρους των παραγωγών (Πίνακας 8). Ειδικότερα στη περιοχή της Μεσσηνίας κατά την ιστορική περίοδο οι μέρες που είναι υψηλού κινδύνου είναι 15-20 ημέρες στα δυτικά του νομού, ενώ στις πιο ηπειρωτικές περιοχές οι ημέρες υψηλής επικινδυνότητας δεν ξεπερνούν τις 5 ημέρες (Εικόνα 35).

Σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο RCP4.5 (Εικόνα 36), φαίνεται καθαρά η σημαντική αύξηση των ημερών υψηλού κινδύνου για την περιοχή της Μεσσηνίας. Η αύξηση στη περίπτωση των ανατολικών περιοχών της περιοχής μελέτης είναι μεγαλύτερη του 40% σε σχέση με τη περίοδο αναφοράς (Εικόνα 35), ενώ η αύξηση στα δυτικά παράλια δεν ξεπερνά το 10%. Ειδικότερα, για τη 1^η μελλοντική περίοδο 2031-2040, η μεγαλύτερη αλλαγή παρατηρείται στα ανατολικά του νομού και αυτή η εικόνα συνεχίζεται και ενισχύεται στη τελευταία μελλοντική περίοδο όπου οι ημέρες υψηλού κινδύνου εμφάνισης ανθράκωσης διπλασιάζονται και φτάνουν τις επικίνδυνες ημέρες εμφάνισης ανθράκωσης που είναι στα ανατολικά του νομού.

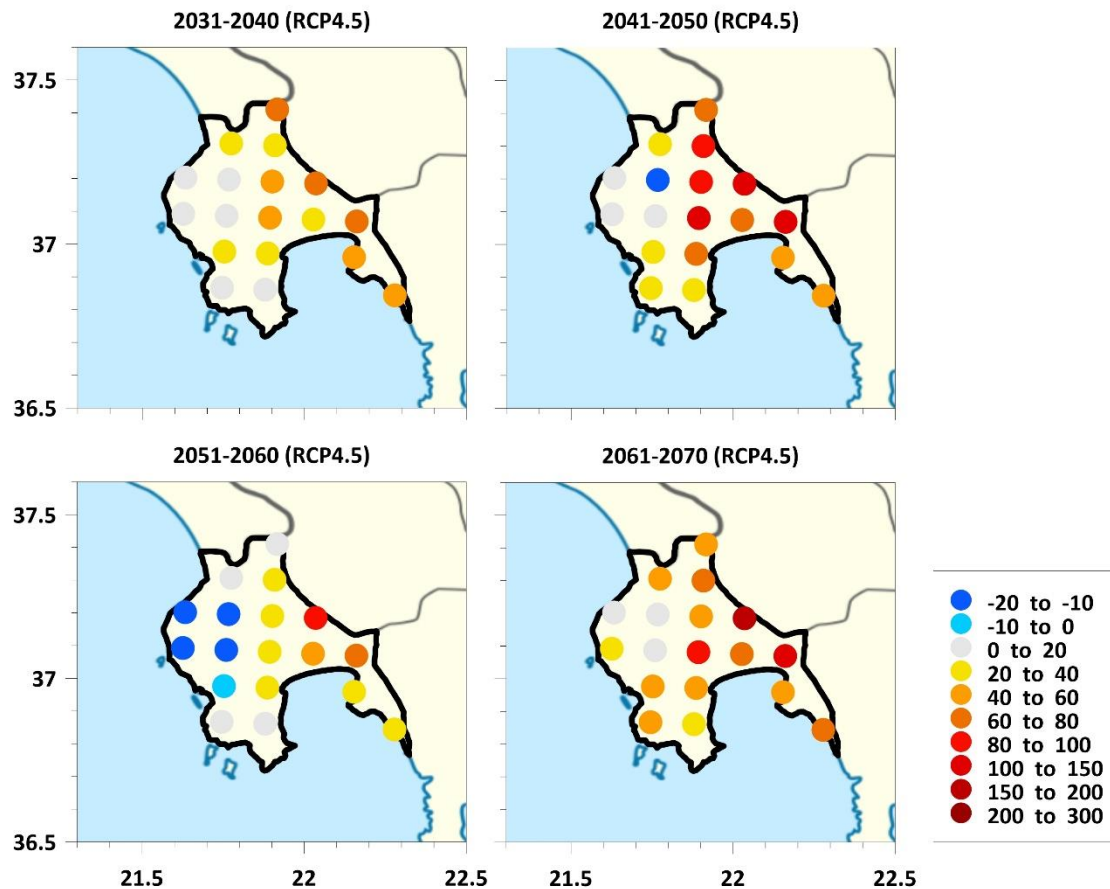
ANTHRACNOSE (HIGH RISK) 1981-2005



Εικόνα 35. Χωρική κατανομή του αριθμού των ημερών με υψηλό κίνδυνο μόλυνσης από ανθράκωση (ARI 0.61 – 0.8) για την περίοδο αναφοράς 1981-2005 σύμφωνα με το περιοχικό κλιματικό μοντέλο SMHI

Η μεταβολή των ημερών εμφάνισης ανθράκωσης υψηλής επικινδυνότητας για το σενάριο RCP8.5 παρουσιάζει παρόμοια εικόνα με το σενάριο RCP4.5, αλλά με σαφώς πιο έντονο σήμα. Οι περιοχές που θα διπλασιάσουν τις επικίνδυνες ημέρες εμφάνισης ανθράκωσης είναι πάλι ανατολικά του νομού αλλά περισσότερες και η αύξηση αυτή εμφανίζεται νωρίτερα σχεδόν από τη 2^η μελλοντική περίοδο. Οι περιοχές της δυτικής Μεσσηνίας δεν εμφανίζουν σημαντική διαφοροποίηση (Εικόνα 37).

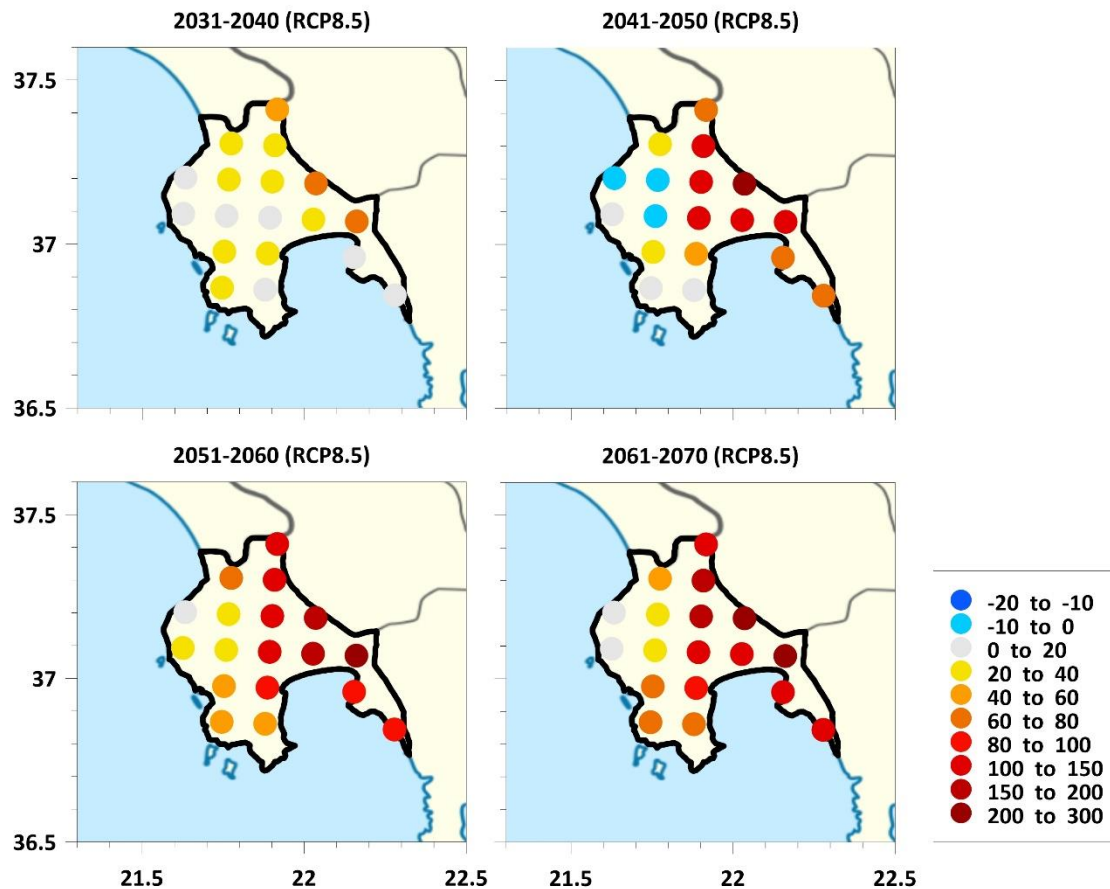
ANTHRACNOSE (HIGH RISK)



Εικόνα 36. Χωρική κατανομή των ποσοστιαίων διαφορών του αριθμού των ημερών με υψηλό κίνδυνο μόλυνσης από ανθράκωση (ARI 0.61 – 0.8) για τις τέσσερις μελλοντικές περιόδους [future – reference] για το σενάριο εκπομπών RCP4.5

Συνολικά, το RCP8.5 υποδηλώνει μεγαλύτερη και ταχύτερη αύξηση των ημερών υψηλού κινδύνου για την εμφάνιση ανθράκωσης, υποδεικνύοντας ότι πιο έντονα κλιματικά φαινόμενα ενδέχεται να επιδεινώσουν την εξάπλωση της ασθένειας σε ευρύτερες περιοχές της Μεσσηνίας. Αντίθετα, στο RCP4.5, η αύξηση είναι πιο συγκρατημένη αλλά διατηρείται η ίδια χωρική κατανομή, με τις μεγαλύτερες επιπτώσεις στα ανατολικά του νομού.

ANTHRACNOSE (HIGH RISK)



Εικόνα 37. Χωρική κατανομή των ποσοστιαίων διαφορών του αριθμού των ημερών με υψηλό κίνδυνο μόλυνσης από ανθράκωση (ARI 0.61 – 0.8) για τις τέσσερις μελλοντικές περιόδους [future – reference] για το σενάριο εκπομπών RCP7.5

3.4.2. Κυκλοκόνιο

Ο κίνδυνος για μόλυνση από κυκλοκόνιο αυξάνει κάτω από συγκεκριμένες περιβαλλοντικές συνθήκες:

1. Θερμοκρασία: Βέλτιστη ζώνη θερμοκρασιών είναι μεταξύ 15-20°C, με ανεκτά όρια τους 10-25°C
2. Σχετική υγρασία (RH): Ο κίνδυνος μόλυνσης αυξάνει όταν η σχετική υγρασία ξεπεράσει το 75%
3. Διάρκεια υγρασίας των φύλλων (LWD): Αθροιστική υγρασία > 12 ώρες/ημέρα είναι απαραίτητη για βλάστηση κονιδίων

Ο *Spilocaea oleagina* Risk Index υπολογίζεται με την εξίσωση:

$$SORI = W_T \cdot F_T(T) + W_{RH} \cdot F_{RH}(RH) + W_{LWD} \cdot F_{LWD}(LWD)$$

όπου:

W_T, W_{RH}, W_{LWD} : Συντελεστές βαρύτητας για την θερμοκρασία, την σχετική υγρασία και την υγρασία των φύλλων (default: $W_T = 0.4, W_{RH} = 0.3, W_{LWD} = 0.3$)

$F_T(T)$: Συντελεστής θερμοκρασίας

$$F_T(T) = \begin{cases} 0 & \text{εάν } T < 10 \text{ ή } T > 25 \\ \frac{T-10}{5} & \text{εάν } 10 \leq T \leq 15 \\ 1 & \text{εάν } 15 < T < 20 \\ \frac{25-T}{5} & \text{εάν } 20 \leq T \leq 25 \end{cases}$$

$F_{RH}(RH)$: Συντελεστής σχετικής υγρασίας

$$F_{RH}(RH) = \begin{cases} 0 & \text{εάν } RH < 75 \\ \frac{RH-75}{15} & \text{εάν } 75 \leq RH \leq 90 \\ 1 & \text{εάν } RH > 90 \end{cases}$$

$F_{LWD}(LWD)$: Συντελεστής υγρασίας φύλλων

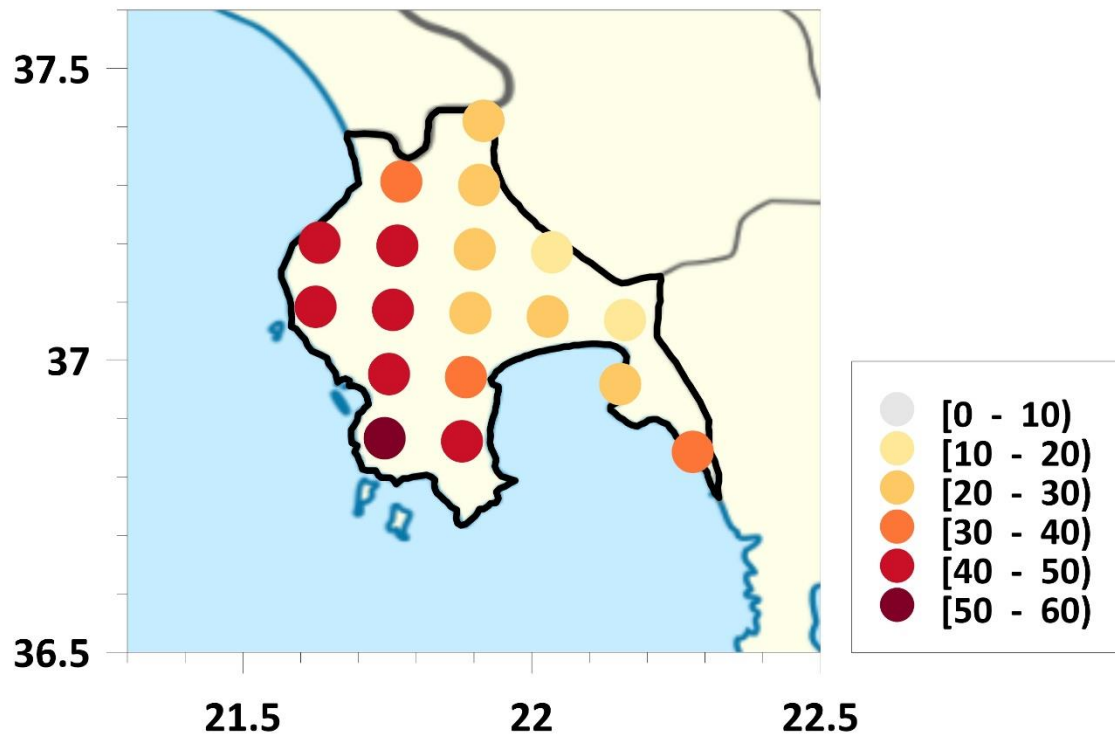
$$F_{LWD}(LWD) = \begin{cases} 0 & \text{εάν } LWD < 6 \\ \frac{LWD-6}{6} & \text{εάν } 6 \leq LWD \leq 12 \\ 1 & \text{εάν } LWD > 12 \end{cases}$$

Πίνακας 9. Κατηγοριοποίηση των τιμών του δείκτη SORI

Τιμή Δείκτη (SORI)	Επίπεδο Κινδύνου	Ερμηνεία
SORI < 0.3	Χαμηλός κίνδυνος	Δεν χρειάζεται άμεση παρέμβαση
0.3 ≤ SORI < 0.6	Μέτριος κίνδυνος	Παρακολούθηση συνθηκών: εξετάστε το ενδεχόμενο προληπτικών ψεκασμών
0.6 ≤ SORI < 0.8	Υψηλός κίνδυνος	Έναρξη εφαρμογής μυκητοκτόνων
SORI ≥ 0.8	Σοβαρός κίνδυνος	Απαιτείται επείγουσα παρέμβαση

Αντίστοιχα, υπολογίστηκε ο δείκτης επικινδυνότητας για την εμφάνιση της μόλυνσης από κυκλοκόνιο στην περιοχή της Μεσσηνίας και επιλέχθηκε να παρουσιαστούν τα αποτελέσματα για την κατηγορία «Υψηλού Κινδύνου», όπου η εφαρμογή μυκητοκτόνων κρίνεται απαραίτητη (Πίνακας 9).

SPILOCAEA (HIGH RISK) 1981-2005



Εικόνα 38. Χωρική κατανομή του αριθμού των ημερών με υψηλό κίνδυνο μόλυνσης από κυκλοκόνιο ($0.6 \leq \text{SORI} < 0.8$) για την περίοδο αναφοράς 1981-2005 σύμφωνα με το περιοχικό κλιματικό μοντέλο SMHI

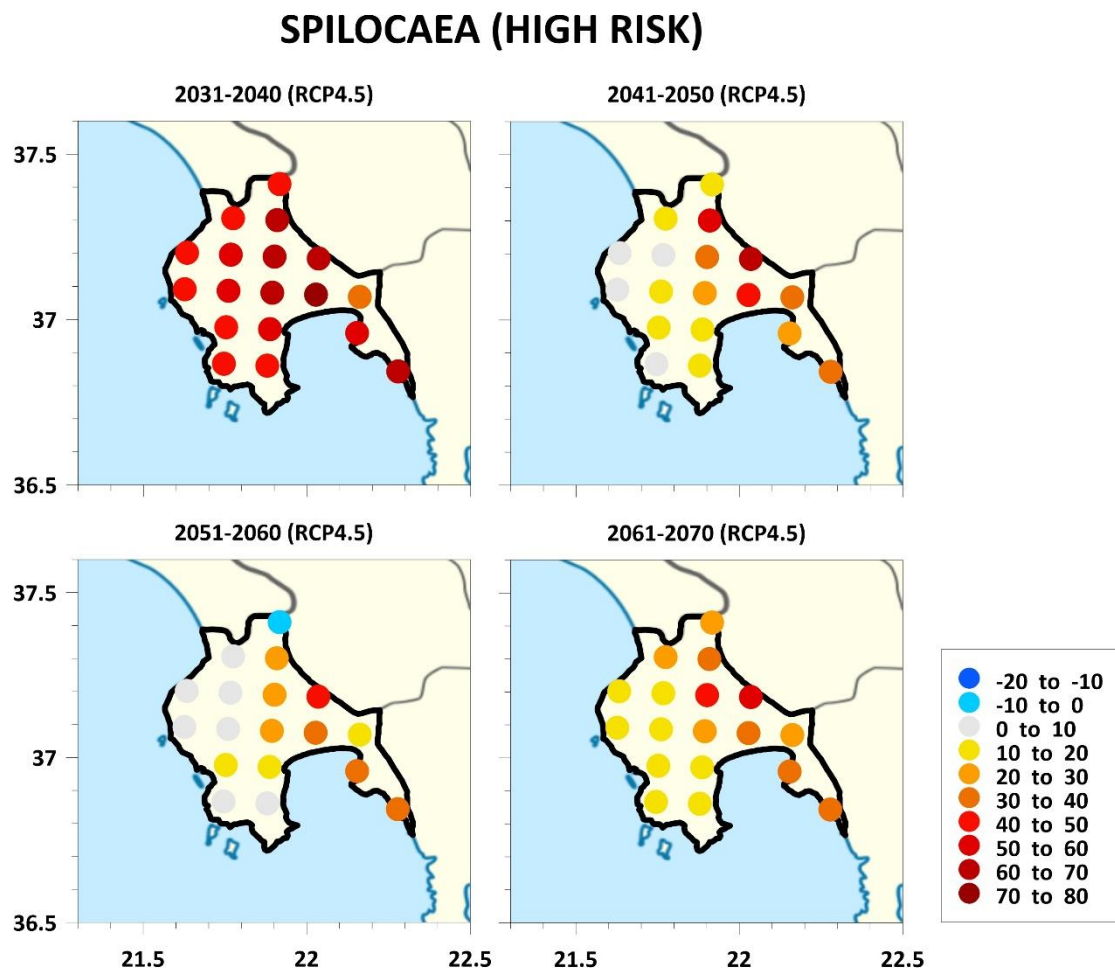
Συγκεκριμένα, κατά την ιστορική περίοδο (Εικόνα 38), οι ημέρες υψηλού κινδύνου ανέρχονται σε 40-50 ημέρες στις δυτικές, παραθαλάσσιες περιοχές του νομού, όπου οι κλιματολογικές συνθήκες (υψηλή υγρασία, ήπιες θερμοκρασίες) ευνοούν την εξάπλωση του παθογόνου. Αντίθετα, στις ηπειρωτικές περιοχές της Μεσσηνίας, όπου επικρατούν ξηρότερες και θερμότερες συνθήκες, οι ημέρες υψηλής επικινδυνότητας είναι σημαντικά λιγότερες, 20-30 ημέρες.

Η κλιματική αλλαγή αναμένεται να μην επηρεάσει σημαντικά την εμφάνιση κυκλοκονίου στην περιοχή της Μεσσηνίας, με τις ημέρες υψηλού κινδύνου να αυξάνονται σταδιακά κατά τη διάρκεια του 21ου αιώνα. Η ένταση αυτής της αύξησης διαφέρει ανάμεσα στα δύο κλιματικά σενάρια, RCP4.5 και RCP8.5, με το πρώτο να παρουσιάζει εντονότερες μεταβολές.

Σύμφωνα με το σενάριο RCP4.5 (Εικόνα 39), παρατηρείται αύξηση των ημερών υψηλού κινδύνου, ιδιαίτερα στη πρώτη μελλοντική περίοδο, όπου η

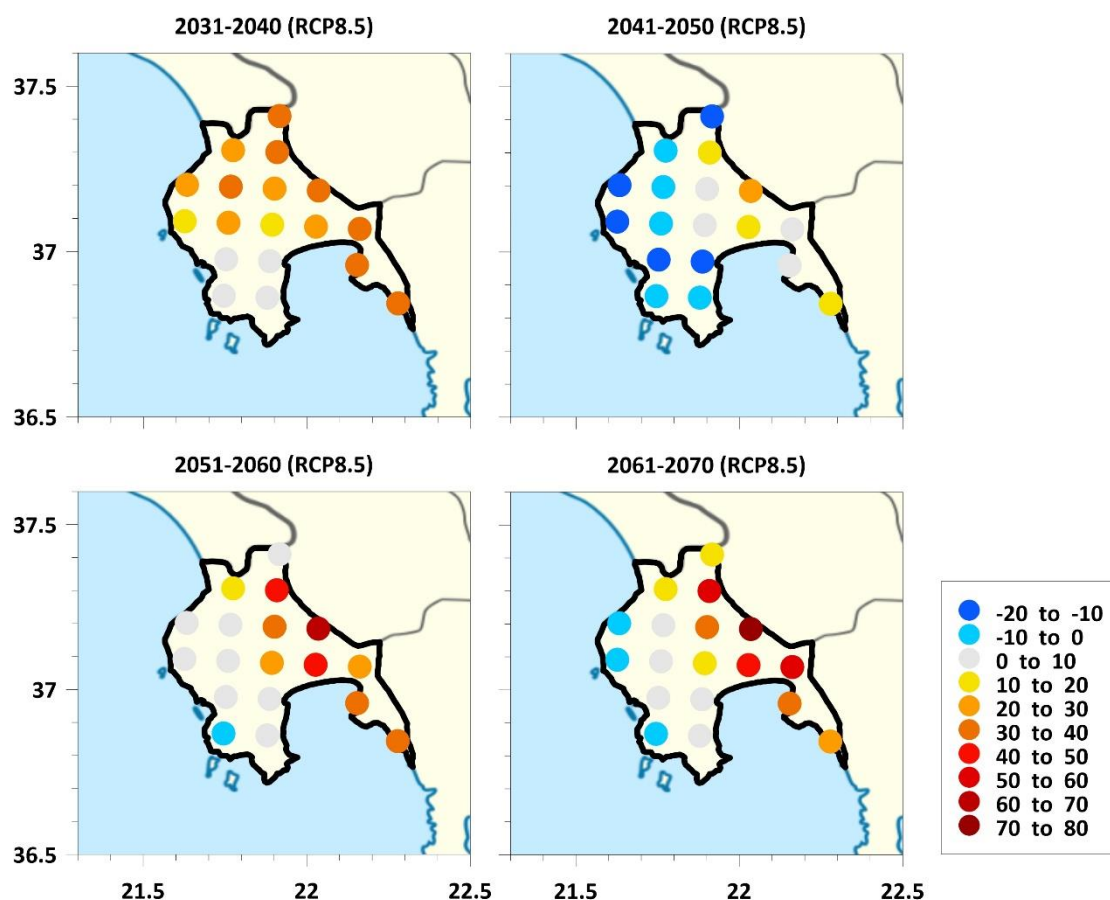
αύξηση ξεπερνά το 50% σε σχέση με την περίοδο αναφοράς (Εικόνα 38). Στα δυτικά παράλια, η αύξηση είναι πιο περιορισμένη και δεν υπερβαίνει το 10% για τις δύο ενδιάμεσες μελλοντικές περιόδους.

Το σενάριο RCP8.5 (Εικόνα 40) ακολουθεί διαφορετικό πρότυπο μεταβολής, με μικρότερες αυξήσεις στις ημέρες υψηλού κινδύνου εμφάνισης μόλυνσης από κυκλοκόνιο. Οι ανατολικές περιοχές του νομού, που ήδη εμφανίζουν τη μεγαλύτερη αύξηση στο RCP4.5, αναμένεται να αυξήσουν τις επικίνδυνες ημέρες. Αντίθετα, οι περιοχές της δυτικής Μεσσηνίας, λόγω των αρκετά υψηλών θερμοκρασιών που εμφανίζει το σενάριο RCP8.5 φαίνεται να παρουσιάσουν μία σταθεροποίηση των ημερών υψηλού κινδύνου ή μικρή ελάττωση.



Εικόνα 39. Χωρική κατανομή των ποσοστιαίων διαφορών του αριθμού των ημερών με υψηλό κίνδυνο μόλυνσης από κυκλοκόνιο ($0.6 \leq \text{SORI} < 0.8$) για τις τέσσερις μελλοντικές περιόδους [future – reference] για το σενάριο εκπομπών RCP4.5

SPILOCAEA (HIGH RISK)



Εικόνα 40. Χωρική κατανομή των ποσοστιαίων διαφορών του αριθμού των ημερών με υψηλό κίνδυνο μόλυνσης από κυκλοκόνιο ($0.6 \leq \text{SORI} < 0.8$) για τις τέσσερις μελλοντικές περιόδους [future – reference] για το σενάριο εκπομπών RCP8.5

Η επικινδυνότητα εμφάνισης προσβολής από κυκλοκόνιο (*Spilocaea oleagina*) μπορεί να επηρεαστεί από τις κλιματικές συνθήκες που προβλέπονται στο σενάριο RCP8.5, περιορίζοντας τη μόλυνση λόγω ακραίας ζέστης και ξηρασίας. Ειδικότερα:

- Το κυκλοκόνιο είναι ένας μύκητας που ευνοείται από υγρές και ήπιες θερμοκρασίες, συνήθως μεταξύ 10-25°C, με υψηλή σχετική υγρασία (>90%)
- Στο σενάριο RCP8.5, οι θερμοκρασίες συχνά ξεπερνούν τους 30-35°C, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού

- Οι πολύ υψηλές θερμοκρασίες μπορεί να καταστείλουν την ανάπτυξη των σποριών του μύκητα και να μειώσουν την ικανότητά του να μολύνει τα φύλλα
- Η αυξημένη ξηρασία μπορεί επίσης να περιορίσει τις συνθήκες υγρασίας που απαιτούνται για τη μόλυνση, ειδικά αν μειωθούν τα διαστήματα με δροσιά και βροχοπτώσεις

3.4.3. Δάκος της ελιάς

Ο Olive Fruit Fly Risk Index (OFRI) υπολογίζει την πιθανότητα δραστηριότητας των ενήλικων εντόμων, της ωστοκίας και της επιβίωσης προνυμφών με τη χρήση:

1. Θερμοκρασία αέρα (T):

- Βέλτιστο εύρος: 20-25°C
- Κατώφλια κινδύνου:
 - Κάτω από 15°C: Ελάχιστη δραστηριότητα ενήλικων εντόμων ή αναπαραγωγή
 - Πάνω από 35°C: Υψηλή θνησιμότητα και χαμηλή δραστηριότητα

2. Σχετική υγρασία (RH):

- RH > 60% ευνοεί την δραστηριότητα και την αναπαραγωγή
- RH < 30% μειώνει την επιβίωση των ενήλικων εντόμων και την βιωσιμότητα των αυγών

Ο Olive Fruit Fly Risk Index (OFRI) υπολογίζεται με την εξίσωση:

$$OFRI = W_T \cdot F_T(T) + W_{RH} \cdot F_{RH}(RH)$$

όπου:

W_T, W_{RH} : Συντελεστές βαρύτητας για την θερμοκρασία και την σχετική υγρασία
(default: $W_T = 0.6, W_{RH} = 0.4$)

$F_T(T)$: Συντελεστής θερμοκρασίας

$$F_T(T) = \begin{cases} 0 & \text{εάν } T < 15 \text{ ή } T > 35 \\ \frac{T-15}{5} & \text{εάν } 15 \leq T \leq 20 \\ 1 & \text{εάν } 20 < T < 25 \\ \frac{35-T}{10} & \text{εάν } 25 \leq T \leq 35 \end{cases}$$

$F_{RH}(RH)$: Συντελεστής σχετικής υγρασίας

$$F_{RH}(RH) = \begin{cases} 0 & \text{εάν } RH < 30 \\ \frac{RH - 30}{30} & \text{εάν } 30 \leq RH \leq 60 \\ 1 & \text{εάν } RH > 60 \end{cases}$$

Πίνακας 10. Κατηγοριοποίηση των τιμών του δείκτη OFRI

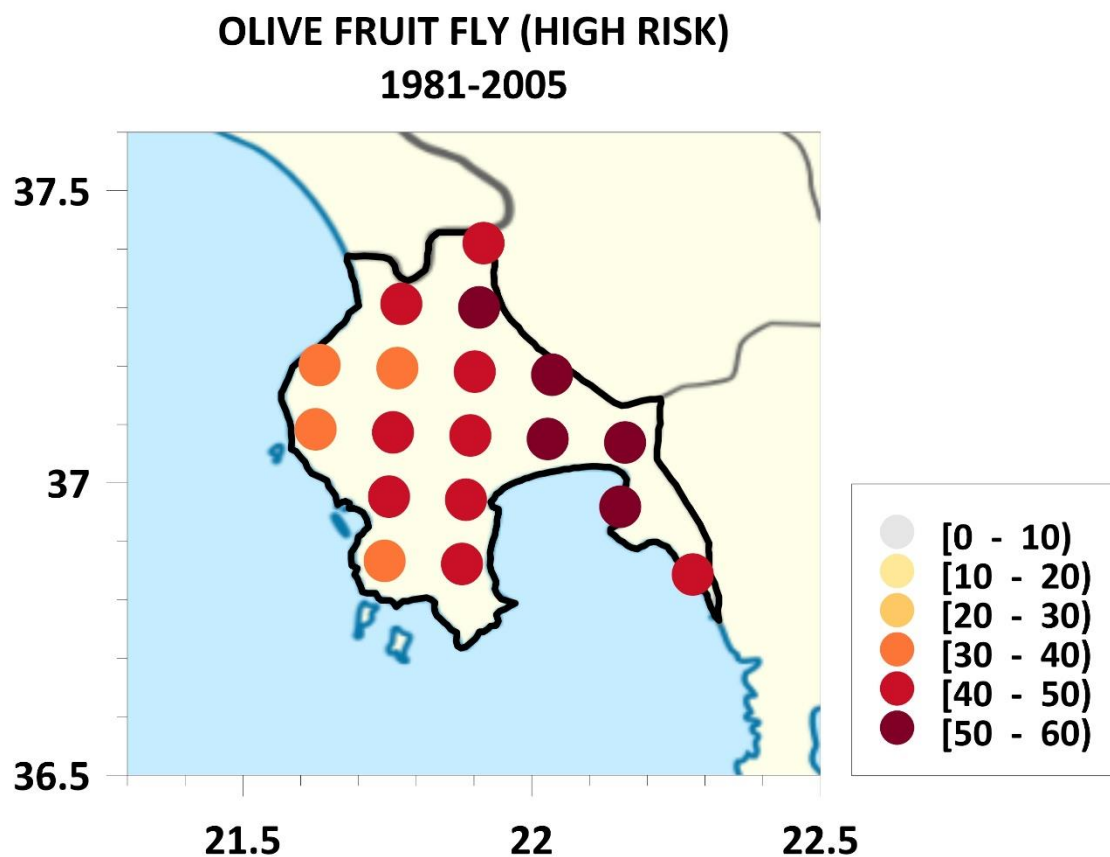
Τιμή Δείκτη (OFRI)	Επίπεδο Κινδύνου	Ερμηνεία
0 – 0.3	Χαμηλός κίνδυνος	Δεν υπάρχουν ευνοϊκές συνθήκες για δραστηριότητα
0.31 – 0.6	Μέτριος κίνδυνος	Οι συνθήκες μπορεί να ευνοούν την δραστηριότητα: Στενή παρακολούθηση και αξιολόγηση του ενδεχόμενου λήψης μέτρων ελέγχου
0.61 – 0.8	Υψηλός κίνδυνος	Υψηλή πιθανότητα δραστηριότητας και αναπαραγωγής: Εφαρμογή μέτρων ελέγχου (π.χ. παγίδες ή δολωματικούς ψεκασμούς)
0.81 – 1.0	Σοβαρός κίνδυνος	Οι συνθήκες είναι ιδιαίτερα ευνοϊκές για προσβολή: απαιτείται επείγουσα παρέμβαση

Στο πλαίσιο της αξιολόγησης των κινδύνων προσβολής από τον δάκο της ελιάς (*Bactrocera oleae*), υπολογίστηκε ο δείκτης επικινδυνότητας για την εμφάνιση της μόλυνσης στην περιοχή της Μεσσηνίας. Ειδικότερα, επιλέχθηκε να παρουσιαστούν τα αποτελέσματα για την κατηγορία «Υψηλού Κινδύνου», όπου η πιθανότητα έντονης προσβολής είναι αυξημένη και η εφαρμογή στοχευμένων μέτρων φυτοπροστασίας, όπως εντομοκτόνα δολώματα ή βιολογικές μέθοδοι ελέγχου, κρίνεται απαραίτητη (Πίνακας 10).

Κατά την ιστορική περίοδο (Εικόνα 41), η συχνότητα των ημερών υψηλού κινδύνου παρουσιάζει σημαντικές διαφοροποιήσεις μεταξύ των επιμέρους περιοχών της Μεσσηνίας, γεγονός που σχετίζεται με τις επικρατούσες κλιματολογικές συνθήκες. Στις δυτικές, παραθαλάσσιες περιοχές του νομού, όπου επικρατούν ήπιες θερμοκρασίες και υψηλά επίπεδα υγρασίας, οι ημέρες υψηλού κινδύνου ανέρχονται σε 30-40 ημέρες ετησίως. Οι συνθήκες αυτές είναι ιδιαίτερα ευνοϊκές για την ανάπτυξη του δάκου, καθώς η υψηλή σχετική υγρασία και οι ήπιες θερμοκρασίες υποστηρίζουν τόσο την αναπαραγωγή όσο και τη δραστηριότητα των ακμαίων εντόμων. Στις ανατολικές περιοχές της Μεσσηνίας, όπου παλιότερα οι χαμηλές θερμοκρασίες του χειμώνα εμποδίζαν τη διαχείμασή του δάκου, έχουν μετατραπεί σε κατάλληλες περιοχές για την εγκατάστασή του δάκου τα τελευταία

χρόνια. Οι ημέρες υψηλής επικινδυνότητας κυμαίνονται μεταξύ 50-60 ημερών ετησίως.

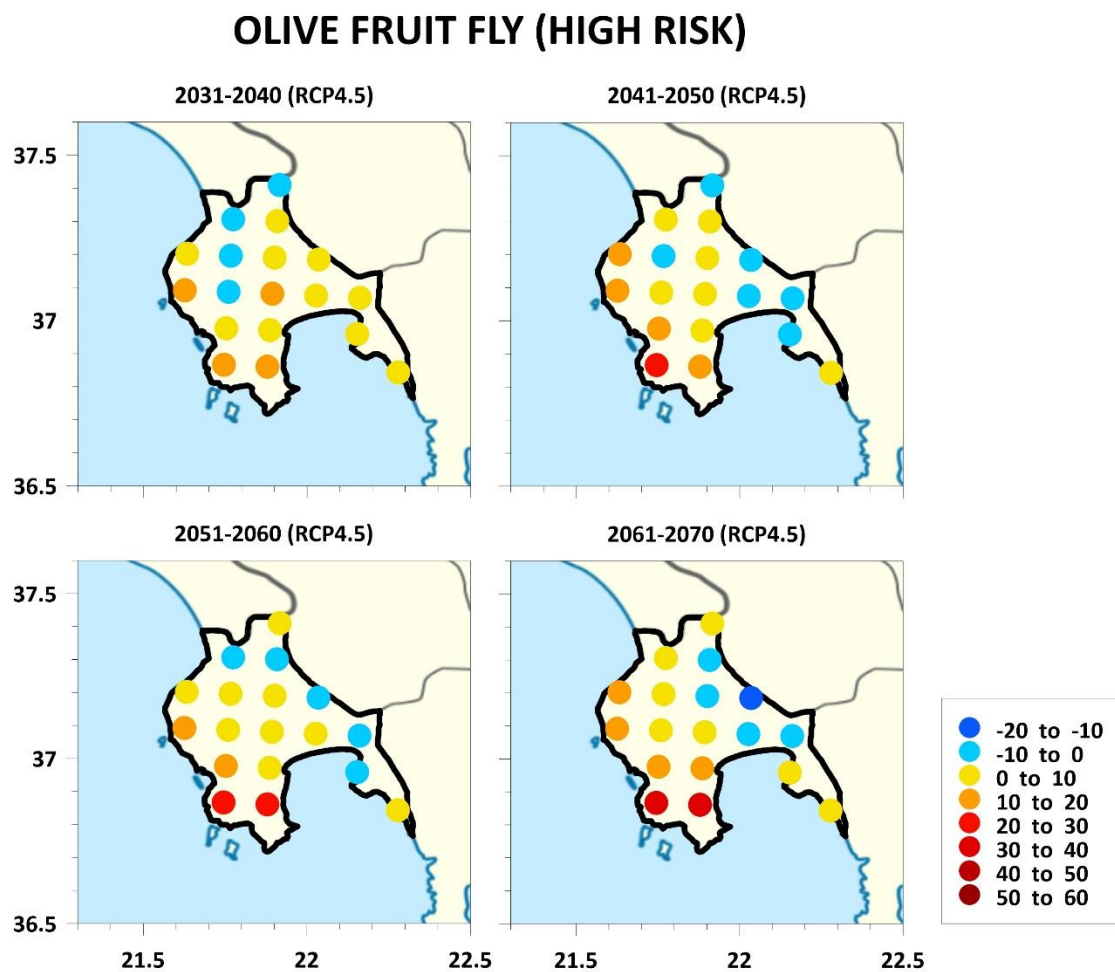
Η χωρική διαφοροποίηση των ημερών υψηλού κινδύνου αναδεικνύει τη σημασία της τοπικά προσαρμοσμένης διαχείρισης του δάκου. Στις παραθαλάσσιες περιοχές, όπου οι συνθήκες είναι ιδανικές για την ανάπτυξη μεγάλων πληθυσμών του εντόμου, απαιτείται εντατικότερη παρακολούθηση και πιθανώς πιο συχνές παρεμβάσεις φυτοπροστασίας. Αντίθετα, στις ηπειρωτικές περιοχές, η ανάγκη για παρεμβάσεις μπορεί να είναι περιοδική, ανάλογα με τις εκάστοτε κλιματικές συνθήκες κάθε έτους.



Εικόνα 41. Χωρική κατανομή του αριθμού των ημερών με υψηλό κίνδυνο προσβολής από δάκο (OFRI 0.61 – 0.8) για την περίοδο αναφοράς 1981-2005 σύμφωνα με το περιοχικό κλιματικό μοντέλο SMHI

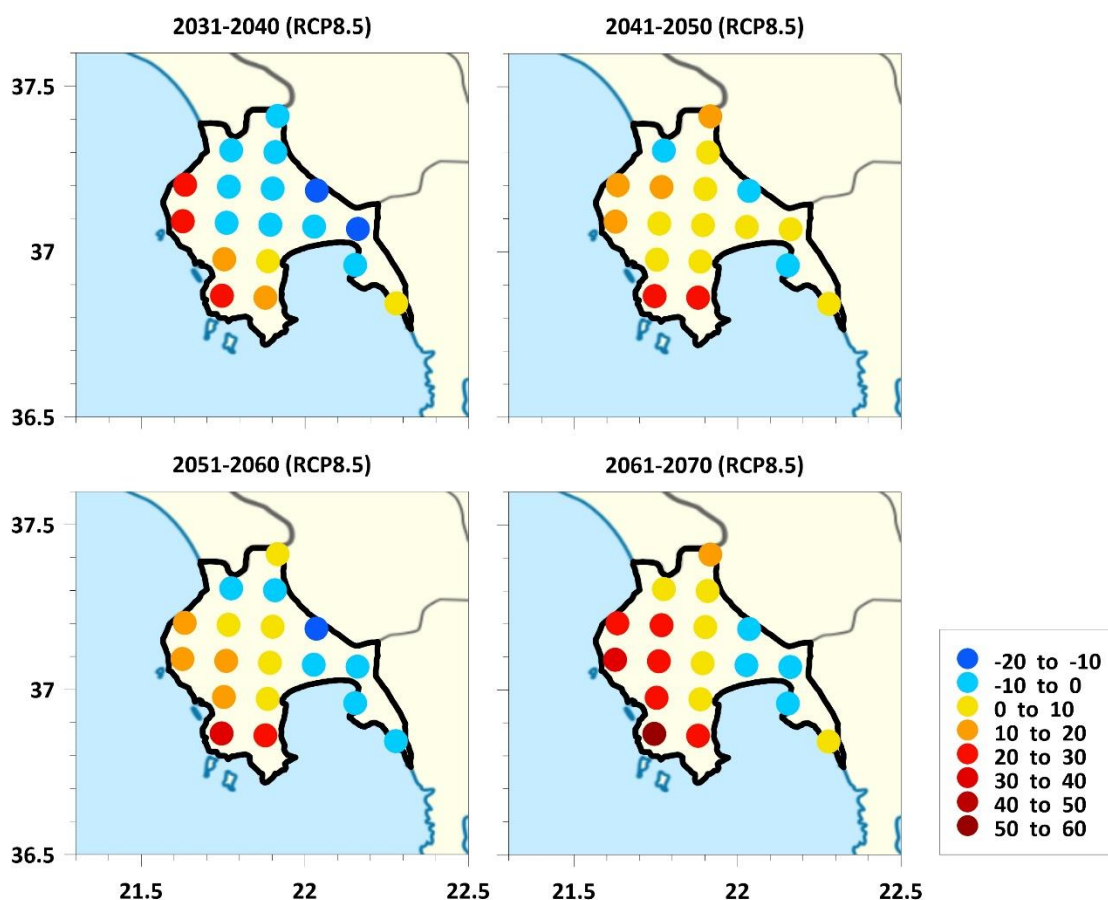
Μελλοντικές κλιματικές μεταβολές, ιδιαίτερα οι αυξημένες θερμοκρασίες και η αλλαγή στα πρότυπα των βροχοπτώσεων που προβλέπονται από τα δύο κλιματικά σενάρια RCP4.5 και RCP8.5, ενδέχεται να τροποποιήσουν τη δυναμική των

πληθυσμών του δάκου, επηρεάζοντας περαιτέρω τις ζώνες υψηλού κινδύνου και απαιτώντας προσαρμογή των στρατηγικών αντιμετώπισης της προσβολής. Ωστόσο, οι επιπτώσεις είναι πολύπλευρες και διαφέρουν χωρικά και χρονικά, καθώς οι ακραίες θερμοκρασίες μπορεί είτε να ευνοήσουν είτε να περιορίσουν τις ευνοϊκές για τη δραστηριότητα του εντόμου ημέρες.



Εικόνα 42. Χωρική κατανομή των ποσοστιαίων διαφορών του αριθμού των ημερών με υψηλό κίνδυνο προσβολής από δάκο (OFRI 0.61 – 0.8) για τις τέσσερις μελλοντικές περιόδους [future – reference] για το σενάριο εκπομπών RCP4.5

OLIVE FRUIT FLY (HIGH RISK)



Εικόνα 43. Χωρική κατανομή των ποσοστιαίων διαφορών του αριθμού των ημερών με υψηλό κίνδυνο προσβολής από δάκο (OFRI 0.61 – 0.8) για τις τέσσερις μελλοντικές περιόδους [future – reference] για το σενάριο εκπομπών RCP8.5

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της μελέτης υπάρχει μία ένδειξη ότι οι μέρες «υψηλής επικινδυνότητας» θα παρουσιάσουν μικρή αύξηση της τάξης του 10-20% ή ελάττωση που εξαρτάται από την περιοχή και το σενάριο (Εικόνες 42 & 43). Ο περιορισμός της δραστηριότητας του δάκου πιθανώς να οφείλεται στις θερινές θερμοκρασίες που μπορεί να ξεπερνούν τους 40°C (σύμφωνα με το σενάριο RCP8.5), οι οποίες μπορούν να μειώσουν τη γονιμότητα των ακμαίων εντόμων και να αυξήσουν τη θνησιμότητα των ανήλικων σταδίων. Επίσης, οι παρατεταμένοι καύσωνες μπορεί να οδηγήσουν σε τοπική μείωση των πληθυσμών, ειδικά σε ξηρές ηπειρωτικές περιοχές (ανατολική Μεσσηνία), όπου η έλλειψη υγρασίας επιδεινώνει τις συνθήκες επιβίωσης του δάκου. Σε περιοχές όπου οι θερμοκρασίες παραμένουν εντός των ανεκτών ορίων του δάκου (π.χ. παραθαλάσσιες ζώνες με υψηλότερη υγρασία- δυτική Μεσσηνία), η αύξηση της

θερμοκρασίας μπορεί να επιταχύνει τον βιολογικό κύκλο του εντόμου. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε περισσότερες γενιές ανά έτος, αυξάνοντας τα συνολικά επίπεδα προσβολής. Επίσης, η ήπια αύξηση της υγρασίας το φθινόπωρο και τον χειμώνα, που προβλέπεται στο RCP8.5, μπορεί να παρατείνει τη δραστηριότητα του δάκου μέχρι αργά στη συγκομιδή, αυξάνοντας το ρίσκο προσβολής των ελαιοκάρπων.

3.4.4. Πυρηνοτρήτης

Ο Olive Moth Risk Index (OMRI) υπολογίζει τις ημέρες που είναι ευνοϊκές για την δραστηριότητα του πυρηνοτρήτη με τη χρήση των ακόλουθων παραμέτρων:

1. Θερμοκρασία αέρα (T):

- Βέλτιστο εύρος για δραστηριότητα και αναπαραγωγή: 18-26°C
- Κατώφλια κινδύνου:
 - Κάτω από 15°C: Ελάχιστη δραστηριότητα
 - Πάνω από 30°C: Μειωμένη δραστηριότητα και αναπαραγωγή

2. Σχετική υγρασία (RH):

- Υψηλή υγρασία (RH > 60%) ευνοεί την ανάπτυξη και επιβίωση του πυρηνοτρήτη
- Χαμηλή υγρασία (RH < 30%) μειώνει την βιωσιμότητα των ανήλικων σταδίων του

Ο Olive Fruit Fly Risk Index (OFRI) υπολογίζεται με την εξίσωση:

$$OMRI = W_T \cdot F_T(T) + W_{RH} \cdot F_{RH}(RH)$$

όπου:

W_T, W_{RH} : Συντελεστές βαρύτητας για την θερμοκρασία και την σχετική υγρασία

(default: $W_T = 0.6$, $W_{RH} = 0.4$)

$F_T(T)$: Συντελεστής θερμοκρασίας

$$F_T(T) = \begin{cases} 0 & \text{εάν } T < 15 \text{ ή } T > 30 \\ \frac{T-15}{3} & \text{εάν } 15 \leq T \leq 18 \\ 1 & \text{εάν } 18 \leq T \leq 26 \\ \frac{30-T}{4} & \text{εάν } 26 < T \leq 30 \end{cases}$$

$F_{RH}(RH)$: Συντελεστής σχετικής υγρασίας

$$F_{RH}(RH) = \begin{cases} 0 & \text{εάν } RH < 30 \\ \frac{RH - 30}{30} & \text{εάν } 30 \leq RH \leq 60 \\ 1 & \text{εάν } RH > 60 \end{cases}$$

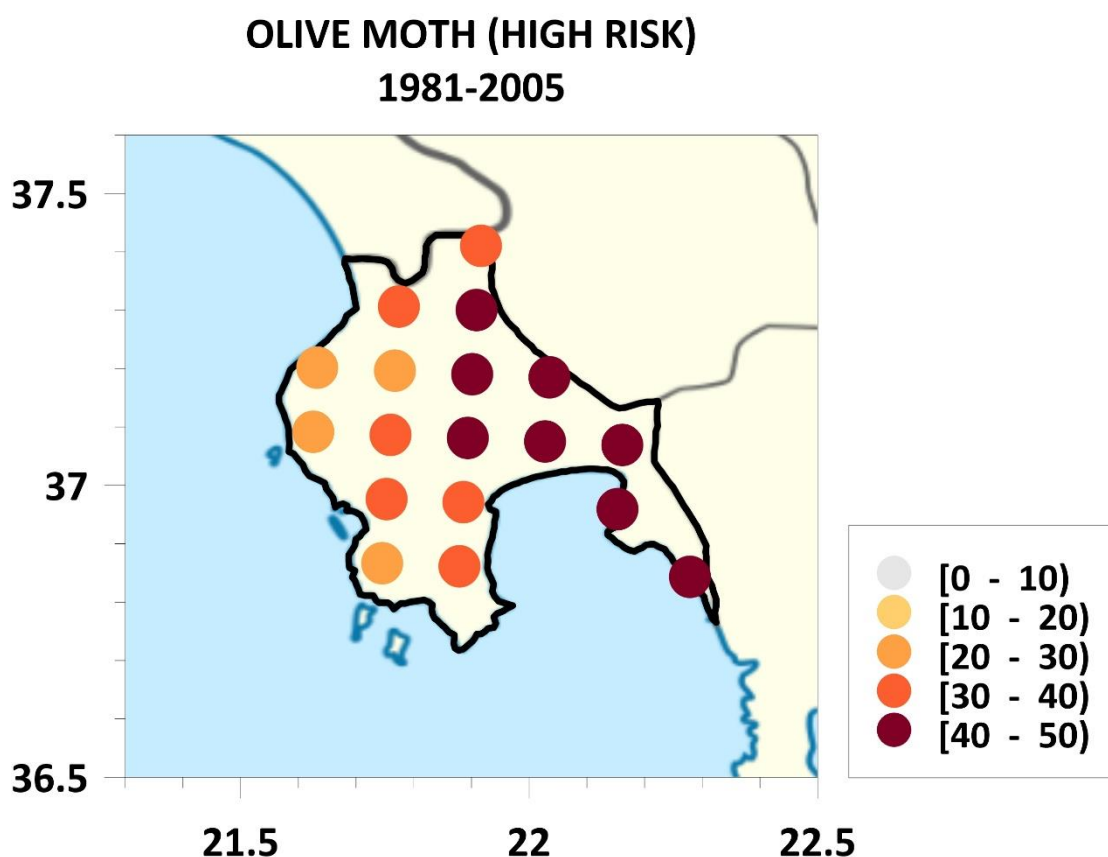
Πίνακας 11. Κατηγοριοποίηση των τιμών του δείκτη OMRI

Τιμή Δείκτη (OMRI)	Επίπεδο Κινδύνου	Ερμηνεία
0 – 0.3	Χαμηλός κίνδυνος	Δεν υπάρχουν ευνοϊκές συνθήκες για δραστηριότητα και αναπαραγωγή
0.31 – 0.6	Μέτριος κίνδυνος	Οι συνθήκες μπορεί να ευνοούν την δραστηριότητα: Στενή παρακολούθηση και αξιολόγηση του ενδεχόμενου λήψης προληπτικών μέτρων
0.61 – 0.8	Υψηλός κίνδυνος	Υψηλή πιθανότητα δραστηριότητας: Εφαρμογή μέτρων ελέγχου (επιλεκτικοί ψεκασμοί με εντομοκτόνα)
0.81 – 1.0	Σοβαρός κίνδυνος	Οι συνθήκες είναι ιδιαίτερα ευνοϊκές για προσβολή: απαιτείται επείγουσα παρέμβαση

Στο πλαίσιο της αξιολόγησης των κινδύνων από την προσβολή του πυρηνοτρήτη, πραγματοποιήθηκε ο υπολογισμός του δείκτη επικινδυνότητας για την εμφάνιση μόλυνσης στην περιοχή της Μεσσηνίας. Για την παρουσίαση των αποτελεσμάτων, επιλέχθηκε η κατηγορία «Υψηλού Κινδύνου», η οποία χαρακτηρίζεται από αυξημένη πιθανότητα έντονης προσβολής, καθιστώντας αναγκαία την εφαρμογή στοχευμένων μέτρων φυτοπροστασίας. Αυτά περιλαμβάνουν τη χρήση εντομοκτόνων δολωμάτων ή βιολογικών μεθόδων ελέγχου, όπως καταγράφεται στον Πίνακα 11.

Η ανάλυση της ιστορικής περιόδου (Εικόνα 44) έδειξε σημαντικές διαφοροποιήσεις στη συχνότητα των ημερών υψηλού κινδύνου μεταξύ των διαφορετικών περιοχών της Μεσσηνίας, με τη διαφοροποίηση αυτή να σχετίζεται άμεσα με τις κλιματολογικές συνθήκες της κάθε περιοχής. Στις δυτικές, παραθαλάσσιες περιοχές του νομού, όπου επικρατούν ήπιες θερμοκρασίες και υψηλά επίπεδα υγρασίας, οι ημέρες υψηλού κινδύνου κυμαίνονται από 20 έως 30 ετησίως. Οι κλιματολογικές συνθήκες σε αυτές τις περιοχές είναι ιδανικές για την ανάπτυξη του πυρηνοτρήτη, καθώς η υψηλή σχετική υγρασία και οι ήπιες θερμοκρασίες ευνοούν την αναπαραγωγή και τη δραστηριότητα των εντόμων. Αντίθετα, στις ανατολικές περιοχές της Μεσσηνίας, όπου παραδοσιακά οι χαμηλές

θερμοκρασίες του χειμώνα εμποδίζουν τη διαχείμαση του πυρηνοτρήτη, παρατηρείται τα τελευταία χρόνια μια αλλαγή προς πιο κατάλληλες συνθήκες για την εγκατάστασή του. Οι ημέρες υψηλής επικινδυνότητας στις ανατολικές περιοχές κυμαίνονται από 40 έως 50 ανά έτος.



Εικόνα 44. Χωρική κατανομή του αριθμού των ημερών με υψηλό κίνδυνο προσβολής από πυρηνοτρήτη (OMRI 0.61 – 0.8) για την περίοδο αναφοράς 1981-2005 σύμφωνα με το περιοχικό κλιματικό μοντέλο SMHI

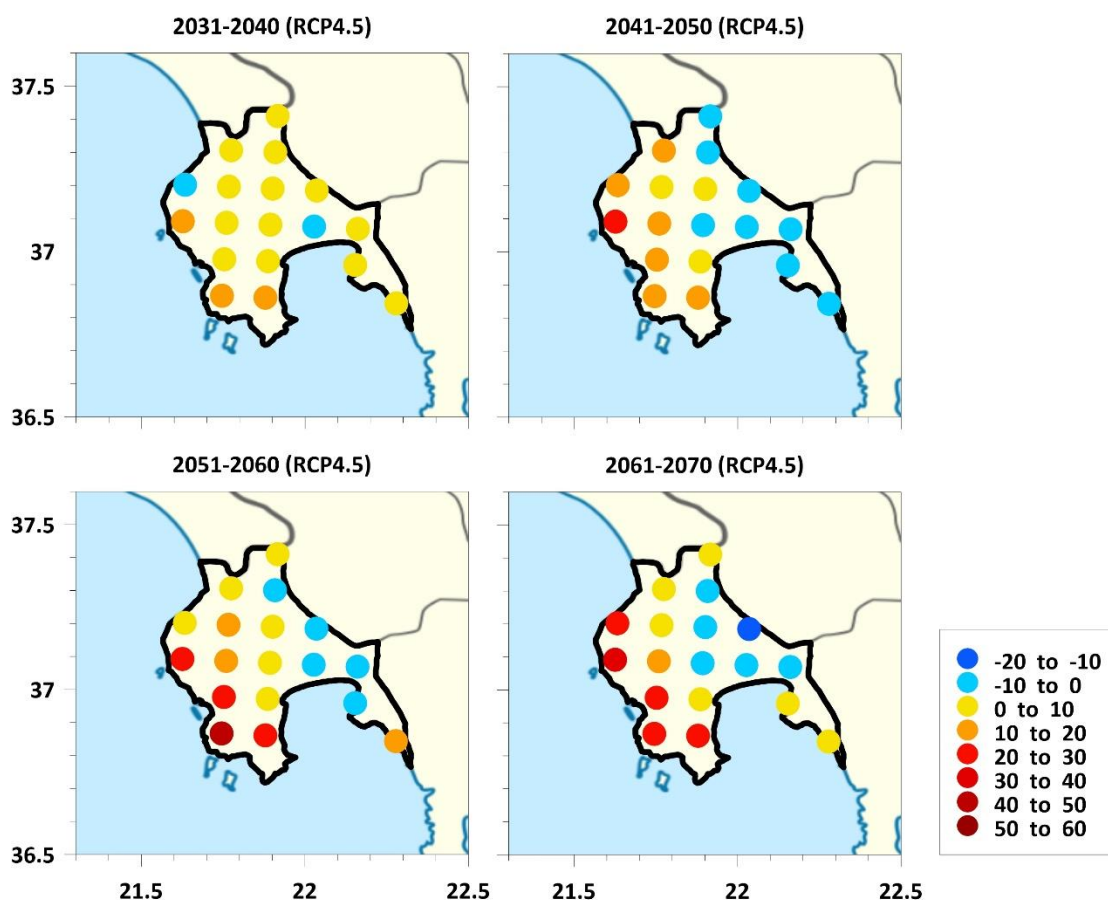
Η χωρική διαφοροποίηση των ημερών υψηλού κινδύνου αναδεικνύει την ανάγκη για μια προσαρμοσμένη διαχείριση του πυρηνοτρήτη σε τοπικό επίπεδο. Στις παραθαλάσσιες περιοχές, όπου οι συνθήκες είναι εξαιρετικά ευνοϊκές για την ανάπτυξη μεγάλων πληθυσμών του εντόμου, απαιτείται εντατικότερη παρακολούθηση και συχνότερες παρεμβάσεις φυτοπροστασίας. Αντιθέτως, στις ηπειρωτικές περιοχές, η ανάγκη για ενέργειες προστασίας μπορεί να είναι περιοδική και εξαρτάται από τις εκάστοτε κλιματικές συνθήκες του κάθε έτους.

Οι προβλεπόμενες μελλοντικές κλιματικές μεταβολές, ιδιαίτερα οι αυξημένες θερμοκρασίες και οι μεταβολές στα πρότυπα βροχοπτώσεων σύμφωνα με τα κλιματικά σενάρια RCP4.5 και RCP8.5, ενδέχεται να τροποποιήσουν τη δυναμική των πληθυσμών του πυρηνοτρήτη, επηρεάζοντας τις ζώνες υψηλού κινδύνου και απαιτώντας αναπροσαρμογή των στρατηγικών φυτοπροστασίας. Ωστόσο, οι επιπτώσεις αυτών των μεταβολών αναμένεται να είναι σύνθετες και να διαφέρουν τόσο χωρικά όσο και χρονικά, καθώς οι ακραίες θερμοκρασίες ενδέχεται να ενισχύσουν ή να περιορίσουν την εξάπλωση και τη δραστηριότητα του εντόμου, επηρεάζοντας έτσι τη διαχείριση της προσβολής από το δάκο της ελιάς.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της μελέτης, παρατηρείται ένδειξη ότι οι μέρες «υψηλής επικινδυνότητας» για τον πυρηνοτρήτη (*Prays oleae*) θα παρουσιάσουν μικρή αύξηση της τάξης του 20-30%, ή και σε κάποιες περιπτώσεις ελάττωση, ανάλογα με την περιοχή και το κλιματικό σενάριο (Εικόνες 45 & 46). Ο περιορισμός της αναπαραγωγής και της δραστηριότητας του πυρηνοτρήτη ενδέχεται να οφείλεται στην μείωση των βροχοπτώσεων, οι οποίες, σύμφωνα με το σενάριο RCP8.5, μπορεί να ξεπεράσει το 25% της ετήσιας βροχόπτωσης. Η έλλειψη υγρασίας μπορεί να δυσκολέψει την δραστηριότητα του πυρηνοτρήτη, καθώς το στάδιο της προνύμφης και η ανάπτυξη των ακμαίων απαιτούν κατάλληλες συνθήκες υγρασίας. Οι ξηρές συνθήκες, ιδιαίτερα σε ηπειρωτικές περιοχές, ενδέχεται να περιορίσουν τη δραστηριότητα και την εξάπλωση του εντόμου.

Επιπλέον, οι παρατεταμένοι καύσωνες αναμένονται να οδηγήσουν σε τοπική μείωση των πληθυσμών του εντόμου, κυρίως σε ξηρές ηπειρωτικές περιοχές (όπως η ανατολική Μεσσηνία), όπου η έλλειψη υγρασίας επιδεινώνει τις συνθήκες επιβίωσης του πυρηνοτρήτη. Αντίθετα, σε περιοχές όπου οι θερμοκρασίες παραμένουν εντός των ανεκτών ορίων για τον πυρηνοτρήτη (π.χ. παραθαλάσσιες περιοχές με υψηλότερη υγρασία, όπως η νότιο δυτική Μεσσηνία), η αύξηση της θερμοκρασίας μπορεί να επιταχύνει τον βιολογικό κύκλο του εντόμου. Αυτό θα μπορούσε να οδηγήσει σε περισσότερες γενιές του πυρηνοτρήτη ανά έτος, αυξάνοντας τη συνολική πιθανότητα προσβολής των ελαιοκαρπών.

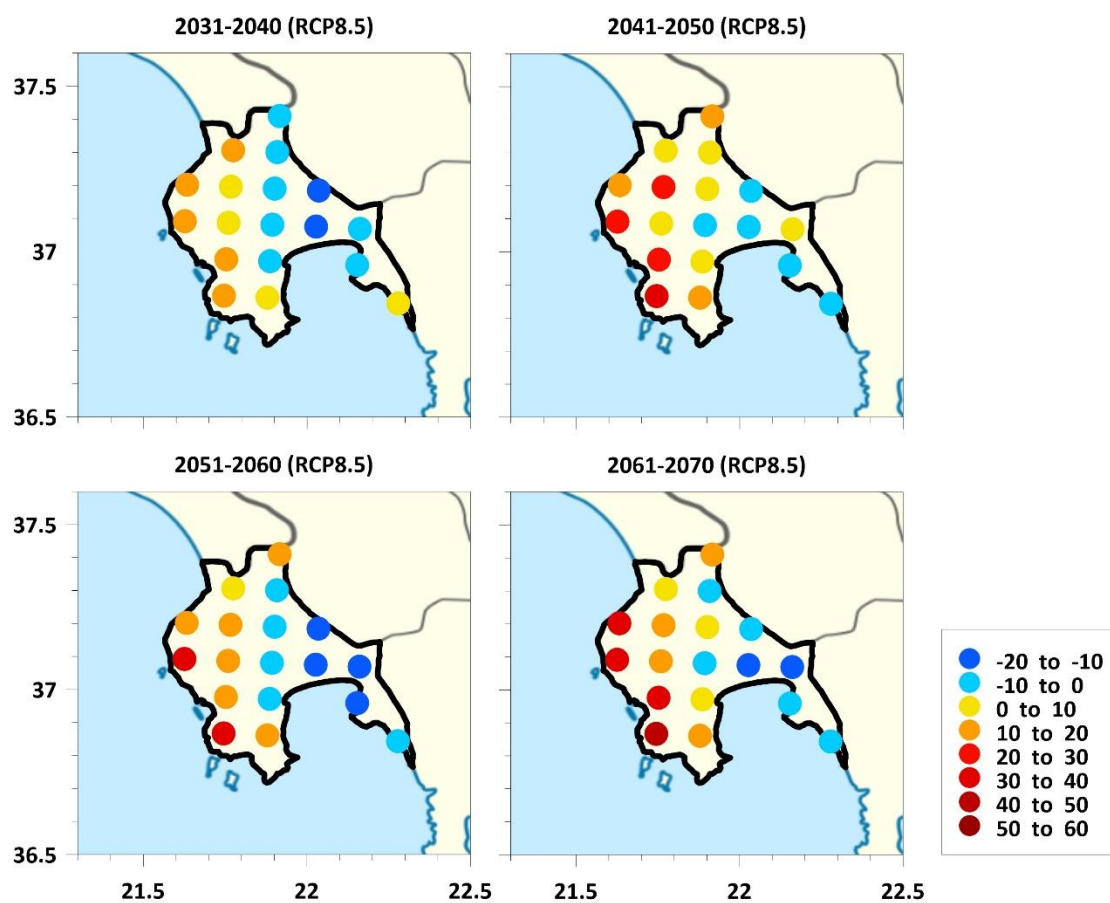
OLIVE MOTH (HIGH RISK)



Εικόνα 45. Χωρική κατανομή των ποσοστιαίων διαφορών του αριθμού των ημερών με υψηλό κίνδυνο προσβολής από πυρηνοτρήτη (OMRI 0.61 – 0.8) για τις τέσσερις μελλοντικές περιόδους [future – reference] για το σενάριο εκπομπών RCP4.5

Η ήπια αύξηση της υγρασίας το φθινόπωρο και τον χειμώνα, όπως προβλέπεται στο σενάριο RCP8.5, μπορεί επίσης να παρατείνει τη δραστηριότητα του πυρηνοτρήτη μέχρι αργά στη συγκομιδή, αυξάνοντας το ρίσκο προσβολής των ελαιοκάρπων. Συνεπώς, οι κλιματικές μεταβολές ενδέχεται να τροποποιήσουν την δυναμική των πληθυσμών του πυρηνοτρήτη, απαιτώντας προσαρμογή των στρατηγικών φυτοπροστασίας για τη μείωση της προσβολής.

OLIVE MOTH (HIGH RISK)



Εικόνα 46. Χωρική κατανομή των ποσοστιαίων διαφορών του αριθμού των ημερών με υψηλό κίνδυνο προσβολής από πυρηνοτρήτη (OMRI 0.61 – 0.8) για τις τέσσερις μελλοντικές περιόδους [future – reference] για το σενάριο εκπομπών RCP8.5

Κεφάλαιο 4

Συμπεράσματα και μελλοντικές προοπτικές

4.1. Συμπεράσματα

Η μελέτη αυτή είχε ως στόχο να αναδείξει τις κυριότερες επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στις ελαιοκαλλιέργειες της Μεσσηνίας. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν προήλθαν από περιοχικό κλιματικό μοντέλο SMHI-RCA4 και για τις μελλοντικές προβολές χρησιμοποιήθηκαν δύο διαφορετικά σενάρια εκπομπών, ένα πιο αισιόδοξο σενάριο (RCP4.5) και ένα ακραίο σενάριο (RCP8.5). Ακολουθούν μερικά από τα πιο σημαντικά συμπεράσματα που προκύπτουν από την έρευνα:

- Σε ό,τι αφορά την θερμοκρασία, οι μέγιστες θερμοκρασίες παρατηρούνται τους καλοκαιρινούς μήνες και οι ελάχιστες παρατηρούνται τον χειμώνα. Γενικά, η θερμοκρασία παρουσιάζει την χαρακτηριστική μεσογειακή κατανομή. Σύμφωνα με το σενάριο εκπομπών RCP4.5, η μέση αύξηση της θερμοκρασίας αναμένεται να φτάσει τους 1.5-2°C, ενώ με το κλιματικό σενάριο RCP8.5 η αύξηση θα φτάσει τουλάχιστον τους 3°C
- Στην περίπτωση των βροχοπτώσεων στην περιοχή της Μεσσηνίας, και τα δύο σενάρια δείχνουν κατά κύριο λόγο μείωση της βροχόπτωσης στις περισσότερες περιπτώσεις
- Η μείωση της βροχόπτωσης θα έχει ως αποτέλεσμα την μείωση των αποθεμάτων νερού της περιοχής με συνέπεια την μείωση και της αρδευτικής ικανότητας
- Οι πιο συχνές συνθήκες θερμικού stress για τις ελαιοκαλλιέργειες θα έχουν αρνητική συνέπεια στην ποιότητα του καρπού
- Η αύξηση της θερμοκρασίας φαίνεται ότι επηρεάζει την έκπτυξη των ανθοφόρων οφθαλμών της ελιάς. Η μείωση των ημερών με χαμηλές θερμοκρασίες θα έχει ως αποτέλεσμα να είναι δυσκολότερη η

συσσώρευση των απαραίτητων μονάδων ψύχους για την διακοπή του λήθαργου και την ανθοφορία της ελιάς

- Η μειωμένη ανθοφορία θα έχει ως αποτέλεσμα τόσο την μείωση της ποσότητας του καρπού ελιάς ανά δέντρο, όσο και της ποιότητας του λαδιού
- Οι αθροιστικοί ημεροβαθμοί που επιδρούν στην ανάπτυξη των εχθρών της ελιάς φαίνεται ότι κατά κύριο λόγο θα αυξηθούν γεγονός που θα οδηγήσει στην ταχύτερη ολοκλήρωση των σταδίων ανάπτυξης, τον αριθμό των γενεών, και γενικά θα επηρεάσει την δυναμική των πληθυσμών δημιουργώντας επιπλέον πιέσεις στην παραγωγή.

Όλοι αυτοί οι παράγοντες αν δεν ληφθούν άμεσα μέτρα, θα έχουν ως αποτέλεσμα την μείωση της ποσότητας και της ποιότητας της φυτικής παραγωγής και την μείωση της βιωσιμότητας του κλάδου.

4.2. Μελλοντική δουλειά

Η γεωργία αποτελεί έναν από τους βασικούς οικονομικοκοινωνικούς τομείς, ο οποίος επηρεάζεται άμεσα από τις κλιματικές συνθήκες και αναμένεται να υποστεί σημαντικές αλλαγές λόγω της κλιματικής αλλαγής στο μέλλον. Η συνεχής παρακολούθηση και αξιολόγηση της παραγωγικότητας των καλλιεργειών σε παγκόσμιο επίπεδο είναι κρίσιμη για την κατανόηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής. Επιπλέον, αυτή η διαδικασία επιτρέπει την ταυτοποίηση των αδυναμιών του γεωργικού συστήματος, καθώς και την ανάπτυξη αποτελεσματικών στρατηγικών προσαρμογής για να αντιμετωπιστούν οι προκλήσεις που θα προκύψουν.

Η λεκάνη της Μεσογείου θεωρείται μια από τις πιο ευάλωτες περιοχές (“hotspot”) στον κόσμο όσον αφορά τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής, καθώς οι μελλοντικές προβλέψεις δείχνουν σημαντική αύξηση της θερμοκρασίας και αυξημένο αριθμό διαδοχικών ξηρών ημερών, γεγονός που οδηγεί σε μια γενική αύξηση της ξηρασίας. Σε αυτό το πλαίσιο, η κλιματική αλλαγή αναμένεται να θέσει ιδιαίτερες προκλήσεις για τους ελαιοκαλλιεργητές της περιοχής, οι οποίοι ενδέχεται να βρεθούν αντιμέτωποι με πιο ακραία καιρικά φαινόμενα και

περιορισμένους υδάτινους πόρους. Τα αυξανόμενα δεδομένα για την κλιματική αλλαγή τα επόμενα χρόνια καθιστούν επιτακτική την ανάγκη άμεσης εφαρμογής στρατηγικών προσαρμογής, ώστε να διασφαλιστεί η βιωσιμότητα της ελαιοκαλλιέργειας και η προστασία των παραγωγικών συστημάτων της περιοχής.

Ένα βιώσιμο μέτρο προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή για τη γεωργία θα μπορούσε να είναι ο συνδυασμός ποικιλιών φυτών με πρώιμες ημερομηνίες ανθοφορίας και ρυθμιζόμενης ελλειμματικής άρδευσης. Ωστόσο, για να αντιμετωπιστούν αποτελεσματικά οι αναμενόμενες κλιματικές αλλαγές, απαιτείται να δοθεί μεγαλύτερη προσοχή τόσο στις βραχυπρόθεσμες όσο και στις μακροπρόθεσμες στρατηγικές στο πλαίσιο της μελλοντικής έρευνας. Παρά το γεγονός ότι το δυναμικό προσαρμογής των διαφόρων στρατηγικών για την αντιμετώπιση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής παραμένει ακόμα ασαφές, αυτές οι στρατηγικές μπορούν να αποδειχθούν εξαιρετικά χρήσιμες για τον γεωργικό τομέα, ενισχύοντας την ανθεκτικότητα και την βιωσιμότητα των καλλιεργειών σε βάθος χρόνου.

Για την αποτελεσματική προσαρμογή της ελαιοκαλλιέργειας στην κλιματική αλλαγή, είναι σημαντικό οι αναλύσεις να διεξαχθούν ανά ποικιλία ελιάς και να συνδυαστούν με τα φαινολογικά στάδια της καλλιέργειας, τόσο στην περιοχή της Μεσσηνίας όσο και σε άλλες περιοχές της Ελλάδας. Αυτή η προσέγγιση θα επιτρέψει την εκτίμηση των επιπέδων ανθεκτικότητας στις μελλοντικές κλιματικές συνθήκες ανά ποικιλία, ενισχύοντας την βιωσιμότητα της ελαιοκαλλιέργειας εν γένει. Επιπλέον, οι βιοκλιματικοί δείκτες αποτελούν ένα εξαιρετικά χρήσιμο εργαλείο για τη χωροθέτηση, καθώς προσδιορίζουν την καταλληλότητα μιας περιοχής να υποστηρίξει την παραγωγή, παρέχοντας χρήσιμες πληροφορίες για τη βιωσιμότητα της ελαιοκαλλιέργειας. Η επέκταση της μελέτης περιλαμβάνοντας διεξοδική ανάλυση των αναμενόμενων προσβολών της ελιάς από εχθρούς και ασθένειες υπό συνθήκες κλιματικής αλλαγής, θα συμβάλει σε έναν πιο ολοκληρωμένο και αποδοτικό σχεδιασμό των στρατηγικών διαχείρισης και προγραμματισμού για τη βελτίωση της παραγωγικότητας και της ανθεκτικότητας της ελαιοκαλλιέργειας στην περιοχή.

Η λεπτομερής κλιματική ανάλυση σε τοπικό επίπεδο μπορεί να πραγματοποιηθεί χρησιμοποιώντας είτε στατιστικά είτε δυναμικά κλιματικά δεδομένα υποβιβασμού κλίμακας, τα οποία προέρχονται από κλιματικά μοντέλα περιοχικής κλίμακας. Η χρήση μιας βάσης δεδομένων με υψηλή χωρική ανάλυση θα επιτρέπει μια πιο ακριβή αγροκλιματική εκτίμηση, προσφέροντας σημαντικές πληροφορίες για την ανάπτυξη στρατηγικών προσαρμογής και μετριασμού των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής. Αυτού του είδους οι αναλύσεις θα ενισχύσουν την ικανότητα των αγροτών και των υπευθύνων πολιτικής να εντοπίσουν και να εφαρμόσουν πιο στοχευμένες και αποτελεσματικές λύσεις για την αντιμετώπιση των νέων κλιματικών προκλήσεων.

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. (2015). Phenological models to predict the main flowering phases of olive (*Olea europaea* L.) along a latitudinal and longitudinal gradient across the Mediterranean region. *International Journal of Biometeorology*, 59(5), 629–641.
- Alcalá, A. R., & Barranco, D. (1992). Prediction of flowering time in olive for the Cordoba olive collection. *HortScience*, 27(11), 1205–1207. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.27.11.1205>
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (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. (2018). Soil water content and olive tree yield responses to soil management, irrigation, and precipitation in a hilly Mediterranean area. *Journal of Water and Climate Change*, 9(4), 672–678.
- Avolio, E., Orlandi, F., Bellecci, C., Fornaciari, M., & Federico, S. (2012). Assessment of the impact of climate change on the olive flowering in Calabria (southern Italy). *Theoretical and Applied Climatology*, 107(3-4), 531–540.
- Ayerza, R., & Sibbett, G. S. (2001). Thermal adaptability of olive (*Olea europaea* L.) to the Arid Chaco of Argentina. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 84(3), 277–285.
- Badr, S. A., & Hartmann, H. T. (1972). Flowering response of the olive (*Olea europaea* L.) to certain growth regulators applied under inductive and noninductive environments. *Botanical Gazette*, 133(3), 387–392.
- 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. *Climate Research*, 7(3), 213–224.
- Brito, C., Dinis, L.-T., Moutinho-Pereira, J., & Correia, C. M. (2019). Drought stress effects and olive tree acclimation under a changing climate. *Plants*, 8(7), 232.
- Butterfield, R. E., Gawith, M. J., Harrison, P. A., Lonsdale, K. J., & 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, 367–390.
- Campoy, J. A., Ruiz, D., & Egea, J. (2011). Dormancy in temperate fruit trees in a global warming context: A review. *Scientia Horticulturae*, 130(2), 357–372.
- Chandler, W. H., et al. (1942). *Deciduous orchards*. Macmillan.
- Connor, D. J., & Fereres, E. (2005). The physiology of adaptation and yield expression in olive. In *Horticultural Reviews* (Vol. 31, pp. 155–229). John Wiley & Sons.

- 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. (2014). Optimizing olive harvest time under hot climatic conditions of Jordan Valley, Israel. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 116(2), 169–176.
- De Melo-Abreu, J. P., Barranco, D., Cordeiro, A. M., Tous, J., Rogado, B. M., & Villalobos, F. J. (2004). Modelling olive flowering date using chilling for dormancy release and thermal time. *Agricultural and Forest Meteorology*, 125(1-2), 117–127.
- FAO. (2018). *AquaCrop, Reference Manual*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Fernandez-Escobar, R., Benlloch, M., Navarro, C., & Martin, G. C. (1992). The time of floral induction in the olive. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 117(2), 304–307. <https://doi.org/10.21273/JASHS.117.2.304>
- Fraga, H., Pinto, J. G., & Santos, J. A. (2020a). Olive tree irrigation as a climate change adaptation measure in Alentejo, Portugal. *Agricultural Water Management*, 231, 105986.
- Fraga, H., Pinto, J. G., Viola, F., & Santos, J. A. (2020b). Climate change projections for olive yields in the Mediterranean Basin. *International Journal of Climatology*, 40(2), 769–781.
- Fraga, H., et al. (2020c). Mediterranean olive orchards under climate change: A review of future impacts and adaptation strategies. *Agronomy*, 11(1), 56.
- Gabaldón-Leal, C., Ruiz-Ramos, M., de la Rosa, R., León, L., Belaj, A., Rodríguez, A., Santos, C., & Lorite, I. J. (2017). Impact of changes in mean and extreme temperatures caused by climate change on olive flowering in southern Spain. *International Journal of Climatology*, 37(3), 940–957.
- Giorgi, F., & Lionello, P. (2008). Climate change projections for the Mediterranean region. *Global and Planetary 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. (2001). Rainfall interception by olive trees in relation to leaf area. *Agricultural Water Management*, 49(1), 65–76.
- Gómez-Rico, A., Salvador, M. D., Moriana, A., Perez, D., Olmedilla, N., Ribas, F., & Fregapane, G. (2007). Influence of different irrigation strategies in a traditional Cornicabra cv. olive orchard on virgin olive oil composition and quality. *Food Chemistry*, 100(2), 568–578.

- Hackett, W. P., & Hartmann, H. T. (1967). The influence of temperature on floral initiation in the olive. *Physiologia Plantarum*, 20(3), 430–436. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1967.tb07183.x>
- 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, T. J., & Johns, T. C. (1998). Precipitation sensitivity to global warming: Comparison of observations with HadCM2 simulations. *Geophysical Research Letters*, 25(17), 3379–3382.
- Iglesias, A., & Garrote, L. (2015). Adaptation strategies for agricultural water management under climate change in Europe. *Agricultural Water Management*, 155, 113–124.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2016, April 14). *IPCC agrees on special reports and AR6 work plan*. <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., Metzidakis, I. T., & Vasilakakis, M. D. (2009). Impact of temperature on olive (*Olea europaea* L.) pollen performance in relation to relative humidity and genotype. *Environmental and Experimental Botany*, 67(2), 209–214.
- Lang, G. A. (1987). Endo-, para-, and ecodormancy: Physiological terminology and classification for dormancy research. *HortScience*, 22(3), 371–377.
- Lavee, S., & Datt, A. C. (1978). The necessity of cross-pollination for fruit set of Manzanillo olives. *Journal of Horticultural Science*, 53(4), 261–266. <https://doi.org/10.1080/00221589.1978.11514827>
- Lovelli, S., Perniola, M., Di Tommaso, T., Ventrella, D., Moriondo, M., & Amato, M. (2010). Effects of rising atmospheric CO₂ on crop evapotranspiration in a Mediterranean area. *Agricultural Water Management*, 97(9), 1287–1292.
- Luedeling, E. (2012). Climate change impacts on winter chill for temperate fruit and nut production: A review. *Scientia Horticulturae*, 144, 218–229.
- Mairech, H., López-Bernal, Á., Moriondo, M., Dibari, C., Regni, L., Proietti, P., Villalobos, F. J., & Testi, L. (2020). Is new olive farming sustainable? A spatial comparison of productive and environmental performances between traditional and new olive orchards with the model OliveCan. *Agricultural Systems*, 181, 102816.
- Mancuso, S., & Azzarello, E. (2002). Heat tolerance in olive. *Advances in Horticultural Science*, 16(3–4), 125–130.
- Moriondo, M., Ferrise, R., Trombi, G., Brilli, L., Dibari, C., & Bindi, M. (2015). Modelling olive trees and grapevines in a changing climate. *Environmental Modelling & Software*, 72, 387–401.

- Moriondo, M., Trombi, G., Ferrise, R., Brandani, G., Dibari, C., Ammann, C. M., Lippi, M. M., & Bindi, M. (2013). Olive trees as bio-indicators of climate evolution in the Mediterranean Basin. *Global Ecology and Biogeography*, 22(7), 818–833.
- Orlandi, F., Garcia-Mozo, H., Ezquerro, L. V., Romano, B., Dominguez, E., Galan, C., & Fornaciari, M. (2004). Phenological olive chilling requirements in Umbria (Italy) and Andalusia (Spain). *Plant Biosystems*, 138(1), 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. (2010). Olive flowering trends in a large Mediterranean area (Italy and Spain). *International Journal of Biometeorology*, 54(2), 151–163.
- Orlandi, F., Ruga, L., Romano, B., & Fornaciari, M. (2005). Olive flowering as an indicator of local climatic changes. *Theoretical and Applied Climatology*, 81(3–4), 169–176.
- Palliotti, A., & Bonghi, G. (1996). Freezing injury in the olive leaf and effects of mefluidide treatment. *Journal of Horticultural Science*, 71(1), 57–63.
- Pereira, L. S. (2011). Challenges on water resources management when searching for sustainable adaptation to climate change focusing on agriculture. *European Water*, 34, 41–54.
- Pérez-López, D., Ribas, F., Moriana, A., Rapoport, H. F., & De Juan, A. (2008). Influence of temperature on the growth and development of olive (*Olea europaea* L.) trees. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*, 83(2), 171–176.
- Petrucelli, R., Bartolini, G., Ganino, T., Zelasco, S., Lombardo, L., Perri, E., Durante, M., & Bernardi, R. (2022). Cold stress, freezing adaptation, varietal susceptibility of *Olea europaea* L.: A review. *Plants*, 11(10), 1367. <https://doi.org/10.3390/plants11101367>
- Pinney, K., & Polito, V. S. (1990). Olive pollen storage and in vitro germination. *Acta Horticulturae*, 286, 207–210. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1990.286.42>
- Ponti, L., Gutierrez, A. P., Ruti, P. M., & Dell'Aquila, A. (2014). Fine-scale ecological and economic assessment of climate change on olive in the Mediterranean Basin reveals winners and losers. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111(15), 5598–5603.
- Rallo, L., & Martin, G. C. (1991). The role of chilling and releasing olive floral buds from dormancy. *HortScience*, 26(8), 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. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0198925>
- Riahi, K., Rao, S., Krey, V., Cho, C., Chirkov, V., Fischer, G., Kindermann, G., Nakicenovic, N., & Rafaj, P. (2011). RCP8.5—A scenario of comparatively high greenhouse gas emissions. *Climatic Change*, 109(1-2), 33–57.
- Rodríguez Sousa, A. A., Barandica, J. M., Aguilera, P. A., & Rescia, A. J. (2020). Examining potential environmental consequences of climate change and other driving

- forces on the sustainability of Spanish olive groves under a socio-ecological approach. *Agriculture*, 10(12), 509.
- Rojo, J., Orlandi, F., Ben Dhiab, A., Lara, B., Picornell, A., Oteros, J., Msallem, M., Fornaciari, M., & Pérez-Badia, R. (2020). Estimation of chilling and heat accumulation periods based on the timing of olive pollination. *Forests*, 11(8), 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. <https://doi.org/10.3390/agronomy10091445>
- Tanasijevic, L., Todorovic, M., Pereira, L. S., Pizzigalli, C., & Lionello, P. (2014). Impacts of climate change on olive crop evapotranspiration and irrigation requirements in the Mediterranean region. *Agricultural Water Management*, 144, 54–68.
- Therios, I. N. (2009). *Olives*. CABI. Oxfordshire, UK, 2009
- Thomson, A. M., Calvin, K. V., Smith, S. J., Kyle, G. P., Volke, A., Patel, P., Delgado-Arias, S., Bond-Lamberty, B., Wise, M. A., Clarke, L. E., & Edmonds, J. A. (2011). RCP4.5: A pathway for stabilization of radiative forcing by 2100. *Climatic Change*, 109(1–2), 77–94.
- Torres, M., Pierantozzi, P., Searles, P., Rousseaux, M. C., García-Inza, G., Miserere, A., Bodoira, R., Contreras, C., & Maestri, D. (2017). Olive cultivation in the Southern Hemisphere: Flowering, water requirements and oil quality responses to new crop environments. *Frontiers in Plant Science*, 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.