



Iceland
Liechtenstein
Norway grants

Δράσεις για τη βελτίωση της ποιοτικής και ποσοτικής κατάστασης του παράκτιου Υπόγειου Υδατικού Συστήματος π. Λαρισσού της ΛΑΠ Πείρου-Βέργα-Πηνειού του Υδατικού Διαμερίσματος Βόρειας Πελοποννήσου και την προσαρμογή του στην κλιματική αλλαγή

Ακρωνύμιο έργου: WATER IQ

Τίτλος έργου:

Δράσεις για τη βελτίωση της ποιοτικής και ποσοτικής κατάστασης του παράκτιου Υπόγειου Υδατικού Συστήματος π. Λαρισσού της ΛΑΠ Πείρου-Βέργα-Πηνειού του Υδατικού Διαμερίσματος Βόρειας Πελοποννήσου και την προσαρμογή του στην κλιματική αλλαγή

Παραδοτέο Π2.1

Δημιουργία κλιματικού μοντέλου και πρόβλεψη του υδατικού ισοζυγίου στην πιλοτική περιοχή

Ημερομηνία
31/03/2023



Iceland
Liechtenstein
Norway grants

Δράσεις για τη βελτίωση της ποιοτικής και ποσοτικής κατάστασης του παράκτιου Υπόγειου Υδατικού Συστήματος π. Λαρισσού της ΛΑΠ Πείρου-Βέργα-Πηγαιού του Υδατικού Διαμερίσματος Βόρειας Πελοποννήσου και την προσαρμογή του στην κλιματική αλλαγή

ΧΡΗΜΑΤΟΔΟΤΙΚΟΣ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ

Χρηματοδοτικός Μηχανισμός Ευρωπαϊκού
Οικονομικού Χώρου (ΧΜ ΕΟΧ 2014-2021)

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ

Διαχείριση Υδάτων

ΤΙΤΛΟΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

Εφαρμογή ερευνητικών μέτρων των σχεδίων
διαχείρισης λεκανών απορροής ποταμών
WATER IQ

ΑΚΡΩΝΥΜΙΟ ΕΡΓΟΥ

ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΑ ΕΡΓΟΥ URL

ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΑΡΑΔΟΤΕΟΥ

Π2.1

ΤΙΤΛΟΣ ΠΑΡΑΔΟΤΕΟΥ

Π2.1: Δημιουργία κλιματικού μοντέλου και πρόβλεψη
του υδατικού ισοζυγίου στην πιλοτική περιοχή
ΠΕ 2: Προσαρμογή και αντιμετώπιση των επιπτώσεων
της κλιματικής αλλαγής και της υφαλμύρισης
Ιωάννης Κιουτσιούκης

ΠΑΚΕΤΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ ΠΑΡΑΔΟΤΕΟΥ

ΦΟΡΕΑΣ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΠΑΡΑΔΟΤΕΟΥ

ΕΛΚΕ Πανεπιστημίου Πατρών

ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΠΑΡΑΔΟΤΕΟΥ

Ελεγμένο

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΑΡΑΔΟΣΗΣ

31/03/2023

Ιστορικό Αναθεώρησης Κειμένου

| Έκδοση | Ημερομηνία | Συγγραφέας | Μεταβολές |
|--------|------------|-------------------------------------|---------------|
| 1 | 29/03/2023 | Ιωάννης Κιουτσιούκης, Αρετή Παπά | Αρχική έκδοση |
| 2 | 31/03/2023 | Νικόλαος Δεπούνητης | Ελέγχθηκε |
| | | | |

Περίληψη

Το έργο WaterIQ αποσκοπεί στη βελτίωση της ποιοτικής και ποσοτικής κατάστασης του παράκτιου Υπόγειου Υδατικού Συστήματος π. Λαρισσού της ΛΑΠ Πείρου- Βέργα-Πηνειού του Υδατικού Διαμερίσματος Βόρειας Πελοποννήσου και την προσαρμογή του στην κλιματική αλλαγή.

Στο πλαίσιο υλοποίησης του έργου θα εγκατασταθεί μόνιμο σύστημα παρακολούθησης της ποσοτικής και ποιοτικής κατάστασης των υδάτων του ΥΥΣ Λαρισσού και θα εφαρμοστεί πιλοτικό πρόγραμμα τεχνητού εμπλουτισμού σε υφιστάμενες αδειοδοτημένες γεωτρήσεις.

Η διάδοση και αξιοποίηση των αποτελεσμάτων του έργου θα συνεχιστεί για τουλάχιστον 5 έτη από την τελική πληρωμή της πράξης. Επίσης, θα πραγματοποιηθούν όλες οι απαραίτητες ενέργειες που αφορούν στις εφαρμογές δράσεων, στον σχεδιασμό της επικοινωνίας και στη δημοσιοποίηση των αποτελεσμάτων του έργου .

Στο Παραδοτέο Π2.1 δημιουργείται μία βάση δεδομένων κλιματικής πληροφορίας για τις κλιματικές προγνώσεις για την περίοδο 2011-2060 στην εξεταζόμενη υδρολογική λεκάνη, σε υψηλή χωρική ανάλυση. Η βάση δεδομένων προκύπτει από κλιματικές προγνώσεις υψηλής ανάλυσης με περιφερειακά μοντέλα και περιλαμβάνει όλες τις απαραίτητες μεταβλητές για την εκτίμηση του υδατικού ισοζυγίου στο μελλοντικό κλίμα σε ενδοετήσια χρονική κλίμακα.



Iceland
Liechtenstein
Norway grants

Δράσεις για τη βελτίωση της ποιοτικής και ποσοτικής κατάστασης του παράκτιου Υπόγειου Υδατικού Συστήματος π. Λαρισσού της ΛΑΠ Πείρου-Βέργα-Πηγείου του Υδατικού Διαμερίσματος Βόρειας Πελοποννήσου και την προσαρμογή του στην κλιματική αλλαγή

Contents

| | |
|---|----|
| Ακρωνύμια | 5 |
| Λίστα Εικόνων | 6 |
| Λίστα Πινάκων | 9 |
| 1. Εισαγωγή..... | 10 |
| 2. Κλιματικά μοντέλα..... | 10 |
| 2.1 Κλιματικά σενάρια..... | 12 |
| 3. Μεθοδολογία αξιολόγησης κλιματικών μοντέλων..... | 14 |
| 4. Εκτίμηση των κλιματικών μεταβολών..... | 26 |
| 4.1 Ετήσια Θερμοκρασία..... | 26 |
| 4.2 Ετήσια Ακτινοβολία..... | 33 |
| 4.3 Άνεμος..... | 39 |
| 4.4 Ετήσια Βροχόπτωση..... | 41 |
| 4.5 Ετήσια Απορροή..... | 47 |
| 4.6 Εξάτμιση..... | 53 |
| 5. Συμπεράσματα..... | 59 |
| Αναφορές..... | 61 |



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
& ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ



Δράσεις για τη βελτίωση της ποιοτικής και ποσοτικής κατάστασης του παράκτιου Υπόγειου Υδατικού Συστήματος π. Λαρισσού της ΛΑΠ Πείρου-Βέργα-Πηνειού του Υδατικού Διαμερίσματος Βόρειας Πελοποννήσου και την προσαρμογή του στην κλιματική αλλαγή

Ακρωνύμια

| | |
|---------------|---|
| ΛΑΠ | Λεκάνη Απορροής |
| ΥΥΣ | Υπόγειο Υδατικό Σύστημα |
| ΕΛΚΕ ΠΠ | Ειδικός Λογαριασμός Κονδυλίων Έρευνας Πανεπιστημίου Πατρών |
| Α.Δ.Π.Δ.Ε.&Ι. | Αποκεντρωμένη Διοίκηση Πελοποννήσου, Δυτικής Ελλάδας και Ιονίου |
| ΜΜΕ | Μέσα Μαζικής Επικοινωνίας |

Λίστα Εικόνων

| | |
|--|----|
| Σχήμα 1. Σύγκριση ετήσιων χρονοσειρών των κλιματικών μεταβλητών κατά την ιστορική περίοδο (1981-2005) όπως αυτές προκύπτουν από το ERA5 Reanalysis και από το Cordex (α) θερμοκρασίας αέρα, (β) ηλιακής ακτινοβολίας, (γ) ταχύτητας ανέμου, (δ) βροχόπτωσης, (ε) απορροής, (ζ) εξάτμισης. | 21 |
| Σχήμα 2. προφίλ των κλιματικών μεταβλητών Reanalysis και Cordex κατά την ιστορική περίοδο (1981 - 2005) (α) θερμοκρασίας αέρα, (β) ηλιακής ακτινοβολίας, (γ) ταχύτητας ανέμου, (δ) βροχόπτωσης, (ε) απορροής, (ζ) εξάτμισης. | 23 |
| Σχήμα 3. Ετήσιες χρονολογικές σειρές της θερμοκρασίας αέρα για την ιστορική περίοδο 2011-2021 (κόκκινη γραμμή), και για τη μελλοντική περίοδο 2021-2060, για τα τρία κλιματικά σενάρια το RCP2.6 (μπλε γραμμή) το RCP4.5 (πράσινη γραμμή) και το RCP8.5 (πορτοκαλί γραμμή) στην πιλοτική περιοχή. | 26 |
| Σχήμα 4. Μέση εποχική θερμοκρασία κατά την ιστορική περίοδο (α) 2011-2021 και κατά τις μελλοντικές περιόδους 2021-2030, 2031-2040, 2041-2050, 2051-2060, για κλιματικά σενάρια (b) RCP2.6, (c) RCP4.5 και (d) RCP8.5 στην πιλοτική περιοχή κατά την ανοιξιάτικη περίοδο. | 29 |
| Σχήμα 5. Μέση εποχική θερμοκρασία κατά την ιστορική περίοδο (α) 2011-2021 και κατά τις μελλοντικές περιόδους 2021-2030, 2031-2040, 2041-2050, 2051-2060, για κλιματικά σενάρια (b) RCP2.6, (c) RCP4.5 και (d) RCP8.5 στην πιλοτική περιοχή κατά τη θερινή περίοδο. | 30 |
| Σχήμα 6. Μέση εποχική θερμοκρασία κατά την ιστορική περίοδο (α) 2011-2021 και κατά τις μελλοντικές περιόδους 2021-2030, 2031-2040, 2041-2050, 2051-2060, για κλιματικά σενάρια (b) RCP2.6, (c) RCP4.5 και (d) RCP8.5 στην πιλοτική περιοχή κατά τη φθινοπωρινή περίοδο. | 31 |
| Σχήμα 7. Μέση εποχική θερμοκρασία κατά την ιστορική περίοδο (α) 2011-2021 και κατά τις μελλοντικές περιόδους 2021-2030, 2031-2040, 2041-2050, 2051-2060, για κλιματικά σενάρια (b) RCP2.6, (c) RCP4.5 και (d) RCP8.5 στην πιλοτική περιοχή κατά τη χειμερινή περίοδο. | 32 |
| Σχήμα 8. Ετήσιες χρονολογικές σειρές της ακτινοβολίας για την ιστορική περίοδο 2011-2021 (κόκκινη γραμμή), και για τη μελλοντική περίοδο 2021-2060, για τα τρία κλιματικά σενάρια το RCP2.6 (μπλε γραμμή) το RCP4.5 (πράσινη γραμμή) και το RCP8.5 (πορτοκαλί γραμμή) στην πιλοτική περιοχή. | 33 |
| Σχήμα 9. Μέση εποχική ακτινοβολία κατά την ιστορική περίοδο (α) 2011-2021 και κατά τις μελλοντικές περιόδους 2021-2030, 2031-2040, 2041-2050, 2051-2060, για κλιματικά σενάρια (b) RCP2.6, (c) RCP4.5 και (d) RCP8.5 στην πιλοτική περιοχή κατά την ανοιξιάτικη περίοδο. | 35 |
| Σχήμα 10. Μέση εποχική ακτινοβολία κατά την ιστορική περίοδο (α) 2011-2021 και κατά τις μελλοντικές περιόδους 2021-2030, 2031-2040, 2041-2050, 2051-2060, για κλιματικά σενάρια (b) RCP2.6, (c) RCP4.5 και (d) RCP8.5 στην πιλοτική περιοχή κατά τη θερινή περίοδο. | 36 |
| Σχήμα 11. Μέση εποχική ακτινοβολία κατά την ιστορική περίοδο (α) 2011-2021 και κατά τις μελλοντικές περιόδους 2021-2030, 2031-2040, 2041-2050, 2051-2060, για κλιματικά σενάρια (b) RCP2.6, (c) RCP4.5 και (d) RCP8.5 στην πιλοτική περιοχή κατά τη φθινοπωρινή περίοδο. | 37 |
| Σχήμα 12. Μέση εποχική ακτινοβολία κατά την ιστορική περίοδο (α) 2011-2021 και κατά τις μελλοντικές περιόδους 2021-2030, 2031-2040, 2041-2050, 2051-2060, για κλιματικά σενάρια (b) RCP2.6, (c) RCP4.5 και (d) RCP8.5 στην πιλοτική περιοχή κατά τη χειμερινή περίοδο. | 38 |
| Σχήμα 13. Ετήσιες χρονολογικές σειρές της ταχύτητας του ανέμου για την ιστορική περίοδο 2011-2021 (κόκκινη γραμμή), και για τη μελλοντική περίοδο 2021-2060, για τα τρία κλιματικά σενάρια το RCP2.6 (μπλε γραμμή) το RCP4.5 (πράσινη γραμμή) και το RCP8.5 (πορτοκαλί γραμμή) στην πιλοτική περιοχή. | 39 |

| | |
|---|----|
| Σχήμα 14. Ετήσιες χρονολογικές σειρές της βροχόπτωσης για την ιστορική περίοδο 2011-2021 (κόκκινη γραμμή), και για τη μελλοντική περίοδο 2021-2060, για τα τρία κλιματικά σενάρια το RCP2.6 (μπλε γραμμή) το RCP4.5 (πράσινη γραμμή) και το RCP8.5 (πορτοκαλί γραμμή) στην πιλοτική περιοχή. | 41 |
| Σχήμα 15. Μέση εποχική βροχόπτωση κατά την ιστορική περίοδο (α) 2011-2021 και κατά τις μελλοντικές περιόδους 2021-2030, 2031-2040, 2041-2050, 2051-2060, για κλιματικά σενάρια (b) RCP2.6, (c) RCP4.5 και (d) RCP8.5 στην πιλοτική περιοχή κατά την ανοιξιάτικη περίοδο..... | 43 |
| Σχήμα 16. Μέση εποχική βροχόπτωση κατά την ιστορική περίοδο (α) 2011-2021 και κατά τις μελλοντικές περιόδους 2021-2030, 2031-2040, 2041-2050, 2051-2060, για κλιματικά σενάρια (b) RCP2.6, (c) RCP4.5 και (d) RCP8.5 στην πιλοτική περιοχή κατά τη θερινή περίοδο. | 44 |
| Σχήμα 17. Μέση εποχική βροχόπτωση κατά την ιστορική περίοδο (α) 2011-2021 και κατά τις μελλοντικές περιόδους 2021-2030, 2031-2040, 2041-2050, 2051-2060, για κλιματικά σενάρια (b) RCP2.6, (c) RCP4.5 και (d) RCP8.5 στην πιλοτική περιοχή κατά τη φθινοπωρινή περίοδο. | 45 |
| Σχήμα 18. Μέση εποχική βροχόπτωση κατά την ιστορική περίοδο (α) 2011-2021 και κατά τις μελλοντικές περιόδους 2021-2030, 2031-2040, 2041-2050, 2051-2060, για κλιματικά σενάρια (b) RCP2.6, (c) RCP4.5 και (d) RCP8.5 στην πιλοτική περιοχή κατά τη χειμερινή περίοδο..... | 46 |
| Σχήμα 19. Ετήσιες χρονολογικές σειρές της απορροής για την ιστορική περίοδο 2011-2021 (κόκκινη γραμμή), και για τη μελλοντική περίοδο 2021-2060, για τα τρία κλιματικά σενάρια το RCP2.6 (μπλε γραμμή) το RCP4.5 (πράσινη γραμμή) και το RCP8.5 (πορτοκαλί γραμμή) στην πιλοτική περιοχή.. | 47 |
| Σχήμα 20. Μέση εποχική απορροή κατά την ιστορική περίοδο (α) 2011-2021 και κατά τις μελλοντικές περιόδους 2021-2030, 2031-2040, 2041-2050, 2051-2060, για κλιματικά σενάρια (b) RCP2.6, (c) RCP4.5 και (d) RCP8.5 στην πιλοτική περιοχή κατά την ανοιξιάτικη περίοδο..... | 49 |
| Σχήμα 21. Μέση εποχική απορροή κατά την ιστορική περίοδο (α) 2011-2021 και κατά τις μελλοντικές περιόδους 2021-2030, 2031-2040, 2041-2050, 2051-2060, για κλιματικά σενάρια (b) RCP2.6, (c) RCP4.5 και (d) RCP8.5 στην πιλοτική περιοχή κατά τη θερινή περίοδο. | 50 |
| Σχήμα 22. Μέση εποχική απορροή κατά την ιστορική περίοδο (α) 2011-2021 και κατά τις μελλοντικές περιόδους 2021-2030, 2031-2040, 2041-2050, 2051-2060, για κλιματικά σενάρια (b) RCP2.6, (c) RCP4.5 και (d) RCP8.5 στην πιλοτική περιοχή κατά τη φθινοπωρινή περίοδο. | 51 |
| Σχήμα 23. Μέση εποχική απορροή κατά την ιστορική περίοδο (α) 2011-2021 και κατά τις μελλοντικές περιόδους 2021-2030, 2031-2040, 2041-2050, 2051-2060, για κλιματικά σενάρια (b) RCP2.6, (c) RCP4.5 και (d) RCP8.5 στην πιλοτική περιοχή κατά τη χειμερινή περίοδο..... | 52 |
| Σχήμα 24. Ετήσιες χρονολογικές σειρές της για την ιστορική περίοδο 2011-2021 (κόκκινη γραμμή), και για τη μελλοντική περίοδο 2021-2060, για τα τρία κλιματικά σενάρια το RCP2.6 (μπλε γραμμή) το RCP4.5 (πράσινη γραμμή) και το RCP8.5 (πορτοκαλί γραμμή) στην πιλοτική περιοχή..... | 53 |
| Σχήμα 25. Μέση εποχική εξάτμιση κατά την ιστορική περίοδο (α) 2011-2021 και κατά τις μελλοντικές περιόδους 2021-2030, 2031-2040, 2041-2050, 2051-2060, για κλιματικά σενάρια (b) RCP2.6, (c) RCP4.5 και (d) RCP8.5 στην πιλοτική περιοχή κατά την ανοιξιάτικη περίοδο..... | 55 |
| Σχήμα 26. Μέση εποχική εξάτμιση κατά την ιστορική περίοδο (α) 2011-2021 και κατά τις μελλοντικές περιόδους 2021-2030, 2031-2040, 2041-2050, 2051-2060, για κλιματικά σενάρια (b) RCP2.6, (c) RCP4.5 και (d) RCP8.5 στην πιλοτική περιοχή κατά τη θερινή περίοδο. | 56 |
| Σχήμα 27. Μέση εποχική εξάτμιση κατά την ιστορική περίοδο (α) 2011-2021 και κατά τις μελλοντικές περιόδους 2021-2030, 2031-2040, 2041-2050, 2051-2060, για κλιματικά σενάρια (b) RCP2.6, (c) RCP4.5 και (d) RCP8.5 στην πιλοτική περιοχή κατά τη φθινοπωρινή περίοδο. | 57 |



Iceland
Liechtenstein
Norway grants

Δράσεις για τη βελτίωση της ποιοτικής και ποσοτικής κατάστασης του παράκτιου Υπόγειου Υδατικού Συστήματος π. Λαρισσού της ΛΑΠ Πείρου-Βέργα-Πηνειού του Υδατικού Διαμερίσματος Βόρειας Πελοποννήσου και την προσαρμογή του στην κλιματική αλλαγή

Σχήμα 28. Μέση εποχική εξάτμιση κατά την ιστορική περίοδο (α) 2011-2021 και κατά τις μελλοντικές περιόδους 2021-2030, 2031-2040, 2041-2050, 2051-2060, για κλιματικά σενάρια (b) RCP2.6, (c) RCP4.5 και (d) RCP8.5 στην πιλοτική περιοχή κατά τη χειμερινή περίοδο.....58

Λίστα Πινάκων

| | |
|---|----|
| Πίνακας 1. Τα κλιματικά μοντέλα περιοχής που χρησιμοποιήθηκαν στο παρόν έργο..... | 14 |
| Πίνακας 2. Μεταβλητές CORDEX που χρησιμοποιούνται στο έργο. | 15 |
| Πίνακας 3 Περιγραφή μεταβλητών CORDEX που χρησιμοποιούνται στο έργο..... | 15 |
| Πίνακας 4. Μεταβλητές Copernicus που χρησιμοποιούνται στο έργο..... | 16 |
| Πίνακας 5 Περιγραφή μεταβλητών Copernicus που χρησιμοποιούνται στο έργο | 16 |
| Πίνακας 6. Στατιστικοί δείκτες για την αξιολόγηση των σφαλμάτων του κλιματικού μοντέλου. | 19 |
| Πίνακας 7. Στατιστικοί δείκτες για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων του Cordex με βάση τα reanalysis δεδομένα από το ERA5 (α) θερμοκρασίας αέρα, (β) ηλιακής ακτινοβολίας, (γ) ταχύτητας ανέμου, (δ) βροχόπτωσης, (ε) αθροιστικής απορροής, (ζ) εξάτμισης κατά την ιστορική περίοδο (1981 - 2005)..... | 22 |
| Πίνακας 8. Στατιστικοί δείκτες για την αξιολόγηση των μηνιαίων αποτελεσμάτων του Cordex με βάση τα reanalysis δεδομένα από το ERA5 (α) θερμοκρασίας αέρα, (β) ηλιακής ακτινοβολίας, (γ) ταχύτητας ανέμου, (δ) βροχόπτωσης, (ε) αθροιστικής απορροής, (ζ) εξάτμισης κατά την ιστορική περίοδο (1981 - 2005)..... | 24 |
| Πίνακας 9. Μεταβολή μέσης θερμοκρασίας (°C) (ποσοστιαία μεταβολή %) για κάθε σενάριο παγκόσμιας εξέλιξης συγκεντρώσεων και χρονική περίοδο σε σχέση με την περίοδο αναφοράς..... | 27 |
| Πίνακας 10. Μεταβολή μέσης θερμοκρασίας (°C) (ποσοστιαία μεταβολή %) (ποσοστιαία μεταβολή %) για κάθε σενάριο παγκόσμιας εξέλιξης συγκεντρώσεων και εποχή σε σχέση με την περίοδο αναφοράς. | 28 |
| Πίνακας 11. Μεταβολή μέσης ακτινοβολίας (W/m ²) (ποσοστιαία μεταβολή %) (ποσοστιαία μεταβολή %) για κάθε σενάριο παγκόσμιας εξέλιξης συγκεντρώσεων και χρονική περίοδο σε σχέση με την περίοδο αναφοράς..... | 34 |
| Πίνακας 12. Μεταβολή μέσης ακτινοβολίας (W/m ²) (ποσοστιαία μεταβολή %) (ποσοστιαία μεταβολή %) για κάθε σενάριο παγκόσμιας εξέλιξης συγκεντρώσεων και εποχή σε σχέση με την περίοδο αναφοράς. | 34 |
| Πίνακας 13. Μεταβολή μέσης ταχύτητας του ανέμου (m/s) (ποσοστιαία μεταβολή %) (ποσοστιαία μεταβολή %) για κάθε σενάριο παγκόσμιας εξέλιξης συγκεντρώσεων και χρονική περίοδο σε σχέση με την περίοδο αναφοράς. | 39 |
| Πίνακας 14 Μεταβολή μέσης ταχύτητας του ανέμου (m/s) (ποσοστιαία μεταβολή %) για κάθε σενάριο παγκόσμιας εξέλιξης συγκεντρώσεων και εποχή σε σχέση με την περίοδο αναφοράς..... | 40 |
| Πίνακας 15. Μεταβολή μέσης βροχόπτωσης (kg m ⁻² s ⁻¹) (ποσοστιαία μεταβολή %) για κάθε σενάριο παγκόσμιας εξέλιξης συγκεντρώσεων και χρονική περίοδο σε σχέση με την περίοδο αναφοράς..... | 42 |
| Πίνακας 16. Μεταβολή μέσης βροχόπτωσης (kg m ⁻² s ⁻¹) (ποσοστιαία μεταβολή %) για κάθε σενάριο παγκόσμιας εξέλιξης συγκεντρώσεων και εποχή σε σχέση με την περίοδο αναφοράς. | 42 |
| Πίνακας 17. Μεταβολή μέσης απορροής (kg m ⁻² s ⁻¹) (ποσοστιαία μεταβολή %) για κάθε σενάριο παγκόσμιας εξέλιξης συγκεντρώσεων και χρονική περίοδο σε σχέση με την περίοδο αναφοράς..... | 48 |
| Πίνακας 18. Μεταβολή μέσης απορροής (kg m ⁻² s ⁻¹) (ποσοστιαία μεταβολή %) για κάθε σενάριο παγκόσμιας εξέλιξης συγκεντρώσεων και εποχή σε σχέση με την περίοδο αναφοράς. | 48 |
| Πίνακας 19. Μεταβολή μέσης εξάτμισης (kg m ⁻² s ⁻¹) (ποσοστιαία μεταβολή %) για κάθε σενάριο παγκόσμιας εξέλιξης συγκεντρώσεων και χρονική περίοδο σε σχέση με την περίοδο αναφοράς..... | 54 |
| Πίνακας 20 Μεταβολή μέσης εξάτμισης (kg m ⁻² s ⁻¹) (ποσοστιαία μεταβολή %) για κάθε σενάριο παγκόσμιας εξέλιξης συγκεντρώσεων και εποχή σε σχέση με την περίοδο αναφοράς. | 54 |



1. Εισαγωγή

Η κλιματική αλλαγή είναι η σταδιακή μεταβολή του παγκόσμιου κλίματος και πιο συγκεκριμένα οι μεταβολές των μετεωρολογικών συνθηκών. Φυσικές διεργασίες, καθώς και ανθρώπινες δραστηριότητες έχουν επιπτώσεις στο κλίμα της γης. Σύμφωνα με τη 5η έκθεση της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Αλλαγή του Κλίματος (Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC) (2014), το κλίμα αλλάζει και οφείλεται έντονα στον ανθρώπινο παράγοντα. Το ενεργειακό ισοζύγιο της γης επηρεάζεται από την ανθρώπινη δραστηριότητα, η οποία προσθέτει τεράστιες συγκεντρώσεις αερολυμάτων και αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα. Αποτέλεσμα αυτής της αλλαγής των ατμοσφαιρικών συγκεντρώσεων είναι οι σημαντικές αλλαγές στο κλίμα και η αύξηση της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας με πρωτοφανείς ρυθμούς. Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής είναι εμφανείς σε τομείς όπως αυτοί, της υγείας, της γεωργίας, της ης γεωγραφικής θερμοκρασιακής και πληθυσμιακής κατανομής, της διαβίωσης των ειδών, του τομέα σίτισης και πόσιμου νερού.

2. Κλιματικά μοντέλα

Τα αποτελέσματα της Έκθεσης βασίζονται στα κλιματικά μοντέλα, επίσης γνωστά ως μοντέλα γενικής κυκλοφορίας ή General Circulation Models (GCMs), είναι μαθηματικές αναπαραστάσεις που προσομοιώνουν την ατμόσφαιρα και την εξέλιξη του κλίματος. Χρησιμοποιούν μαθηματικές εξισώσεις που αντιπροσωπεύουν τις χημικές και φυσικές ιδιότητες της ατμόσφαιρας και επιλύονται αριθμητικά. Τα μοντέλα προσομοιώνουν τις αλληλεπιδράσεις της ατμόσφαιρας με την επιφάνεια της γης, τους ωκεανούς, και τις πολικές περιοχές και δίνουν ως αποτέλεσμα τιμές μετεωρολογικών μεταβλητών (θερμοκρασία, ακτινοβολία, κατακρήμνιση, ταχύτητα ανέμου, σχετική υγρασία κ.α). Οι κύριες αρχές των κλιματικών μοντέλων βασίζονται σε θεμελιώδεις νόμους της φυσικής, όπως την αρχή διατήρησης μάζας, ενέργειας και ορμής και καθοδηγούνται από μετεωρολογικές εισροές και εκπομπές και της συνθήκες τοποθεσίας και περιβάλλοντος. Τα μοντέλα γενικής κυκλοφορίας (GCM) μπορούν να παρέχουν αξιόπιστες πληροφορίες για το κλίμα σε παγκόσμια, ηπειρωτική και μεγάλη περιφερειακή κλίμακα καλύπτοντας ένα πολύ διαφορετικό τοπίο (από πολύ ορεινές έως επίπεδες παράκτιες πεδιάδες) με πιθανότητες για πλημμύρες,



ξηρασίες ή άλλα ακραία φαινόμενα. Αξιολογούνται εκτενώς βάσει ιστορικών παρατηρήσεων και αποτελούν μέχρι σήμερα τα πιο προηγμένα διαθέσιμα εργαλεία για την προσομοίωση της απόκρισης του παγκόσμιου κλιματικού συστήματος στην αύξηση των συγκεντρώσεων των αερίων του θερμοκηπίου. Χρησιμοποιούνται για την πρόγνωση της εξέλιξης του κλίματος και για την κατανόηση και την πρόγνωση της κλιματικής αλλαγής. Τα GCMs προσομοιώνουν τις φυσικές διεργασίες του κλιματικού συστήματος με χρήση τρισδιάστατου πλέγματος για όλο τον κόσμο με οριζόντια ανάλυση που προσεγγίζει τα 100-300 km. Αυτή η ανάλυση περιορίζει τη δυνατότητα προβολής μικρότερης κλίμακας. Αυτή η χωρική ανάλυση, ωστόσο, δεν είναι αρκετά λεπτομερής και περιορίζει τη δυνατότητα εξέτασης του κλίματος σε περιφερειακή κλίμακα, επομένως απαιτείται η προσαρμογή σε λεπτομερέστερη κλίμακα. Η προσαρμογή αυτή μπορεί να πραγματοποιηθεί με χρήση των περιφερειακών μοντέλων κλίματος Regional Climate Models (RCMs).

Τα Περιφερειακά Κλιματικά Μοντέλα (RCM) εφαρμόζονται με υψηλότερη χωρική ανάλυση σε περιορισμένη επιφάνεια γης και ομοίως με τα GCMs, προσομοιώνουν τις φυσικές διεργασίες του κλιματικού συστήματος. Τα RCMs δεν αντικαταστήσουν τα GCMs, αλλά καθοδηγούνται από αυτά παρέχοντας πληροφορίες σε μικρότερες κλίμακες υποστηρίζοντας μια πιο λεπτομερή αξιολόγηση των ατμοσφαιρικών συνθηκών και συμβάλλοντας στο σχεδιασμό επιπτώσεων και προσαρμογής. Βασίζονται στο δυναμικό υποβιβασμό κλίμακας των παγκόσμιων κλιματικών προσομοιώσεων για συγκεκριμένες γεωγραφικές περιοχές και αναπτύχθηκαν με σκοπό την εισαγωγή της τοπικής πληροφορίας στα μεγάλης κλίμακας περιοχές που παρέχονται από τα GCMs παρέχοντας με πολύ μεγαλύτερη λεπτομέρεια και ακριβέστερη αναπαράσταση τοπικών ακραίων γεγονότων. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνουν υποκλιμάκωση της πληροφορίας από τα αποτελέσματα των GCMs. Για να λειτουργήσουν είναι απαραίτητες οι αρχικές συνθήκες και οι οριακές στα πλευρικά τους όρια καθώς και οι επιφανειακές οριακές συνθήκες.



Για την μελέτη του τοπικού κλίματος, έχουν πραγματοποιηθεί ένας αριθμός από κλιματικά πειράματα. Σκοπός των πειραμάτων αυτών είναι η χρήση περιφερειακών κλιματικών μοντέλων, που έχουν αναπτυχθεί από διαφορετικά ανεξάρτητα ερευνητικά κέντρα, κάτω από κοινό πλαίσιο προσομοίωσης. Στο παρόν έργο χρησιμοποιήθηκαν προσομοιώσεις που εντάσσονται στο πλαίσιο του προγράμματος Cordex (Coordinated Regional climate Downscaling Experiment) (Giorgi & Gutowski, 2015) και παρήχθησαν από τα περιφερειακά μοντέλα (RCMs) του προγράμματος. Το CORDEX συντονίζει παγκοσμίως τα επιμέρους κλιματικά πειράματα με στόχο τον υποβιβασμό την κλιματικής πληροφορίας βασιζόμενο σε ένα κοινό μεθοδολογικό πλαίσιο, υπό κοινές παραδοχές (κοινή χωρική ανάλυση, οριακές συνθήκες, όρια περιοχών) και σενάρια εκπομπών. Οι ομοιογενείς προσομοιώσεις σκοπεύουν στην καλύτερη πρόβλεψη του μελλοντικού κλίματος. Τα πειράματα αυτά συντονίζονται από το Παγκόσμιο Πρόγραμμα Κλιματικής Έρευνας (World Climate Research Programme - WCRP) και αξιολογούνται από τη Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (Intergovernmental Panel on Climate Change-IPCC). Αυτές οι περιφερειακές κλιματικές προβλέψεις υποστηρίζουν το συμπέρασμα της 5ης Έκθεσης Αξιολόγησης της IPCC ότι «η συνεχιζόμενη εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου θα προκαλέσει περαιτέρω αύξηση της θερμοκρασίας και μακροχρόνιες αλλαγές σε όλα τα στοιχεία του κλιματικού συστήματος, αυξάνοντας την πιθανότητα σοβαρών, διάχυτων και μη αναστρέψιμων επιπτώσεων για τους ανθρώπους και τα οικοσυστήματα».

2.1 Κλιματικά σενάρια

Για να διενεργηθούν προσομοιώσεις του μελλοντικού κλίματος πρέπει να εκτιμηθούν οι μελλοντικές συγκεντρώσεις των θερμοκηπικών αερίων που επηρεάζουν την αλλαγή του κλίματος. Αυτό γίνεται μέσω των σεναρίων εκπομπών. Κάθε ένα σενάριο εκτιμά την αύξηση των αερίων του θερμοκηπίου μέχρι το έτος 2100 και την επίδραση τους στο ενεργειακό ισοζύγιο του πλανήτη σε σχέση με την προ-βιομηχανική περίοδο. Οι Αντιπροσωπευτικές Τιμές Συγκέντρωσης (Representative Concentration Pathways – RCP), που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη, περιλαμβάνουν ένα αυστηρό σενάριο μετριασμού (**RCP2.6**), ένα ενδιάμεσο σενάριο (**RCP4.5**) και ένα σενάριο με πολύ υψηλές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (**RCP8.5**). Τα σενάρια



ονομάζονται βάσει της μεταβολής του ενεργειακού εξαναγκασμού το έτος 2100, σε σχέση με την προβιομηχανική περίοδο (2.6, 4.5 και 8.5 W/m² αντίστοιχα).

RCP2.6

Το ευνοϊκότερο σενάριο (RCP2.6) θέτει σαν στόχο την σταθεροποίηση του παγκόσμιου κλιματικού εξαναγκασμού (RF: Radiative Forcing) στην τιμή 2.6 W/m² στο τέλος του εικοστού πρώτου αιώνα σε σχέση με την προβιομηχανική εποχή. Υποθέτει ότι η ετήσια παγκόσμια εκπομπή αερίων θερμοκηπίου (σε ισοδύναμα CO₂) κορυφώνεται την περίοδο 2010-2020, με τις εκπομπές να μειώνονται σημαντικά συνεχώς μέχρι το 2100. Το σενάριο RCP2.6 είναι αντιπροσωπευτικό ενός σεναρίου που στοχεύει να σταθεροποιήσει την αύξηση της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας **κάτω από τους 2°C**. Δεδομένου ότι είναι το πιο ήπιο σενάριο, είναι και το λιγότερο προσομοιωμένο.

RCP4.5

Το ενδιάμεσο σενάριο (RCP4.5) υποθέτει ότι η επίδραση των αερίων του θερμοκηπίου θα είναι ισοδύναμη με μια αύξηση της ακτινοβολίας κατά 4.5 W/m², χωρίς να ξεπεραστεί ποτέ αυτή η τιμή έως το 2060. Στο σενάριο RCP4.5 οι εκπομπές κορυφώνονται γύρω στο 2040 και στη συνέχεια σταθεροποιούνται μέχρι το 2100. Το RCP4.5 αντιπροσωπεύει γενική μείωση των εκπομπών του θερμοκηπίου με αργό ρυθμό μέχρι το 2100 και στοχεύει στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και της χρήσης ορυκτών καυσίμων, ενώ υποθέτει αύξηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και της χρήσης πυρηνικής ενέργειας.

RCP8.5

Το δυσμενές σενάριο (RCP8.5) χαρακτηρίζεται από αυξανόμενες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου αυξάνονται καθ' όλη τη διάρκεια του εικοστού πρώτου αιώνα υποθέτοντας μια αύξηση της ακτινοβολίας κατά 8.5 W/m² στο τέλος του αιώνα σε σχέση με την προβιομηχανική εποχή. Η μέση υπερθέρμανση του πλανήτη αναμένεται κατά 4.9 °C πάνω από την προβιομηχανική εποχή. Ως το εξαιρετικά σοβαρό σενάριο και δεδομένου ότι αντιπροσωπεύει την πιο αξιόπιστη πρόβλεψη εάν δεν ληφθούν μέτρα, είναι το πιο προσομοιωμένο.

3. Μεθοδολογία αξιολόγησης κλιματικών μοντέλων

Για να παρατηρήσουμε πιθανές αλλαγές στις κλιματικές συνθήκες μια συγκεκριμένης περιοχής στη μελλοντική περίοδο 2021–2060 σε σύγκριση με την ιστορική περίοδο 2011–2021, χρησιμοποιήσαμε προσομοιώσεις βασικών κλιματικών μεταβλητών από περιφερειακά μοντέλα, RCM που καθοδηγούνται από GCM και διενεργήθηκαν στα πλαίσια του προγράμματος Euro-Cordex. Για την επιλογή του κατάλληλου περιφερειακού μοντέλου ελήφθησαν υπόψιν: η διαθεσιμότητα των κλιματικών μεταβλητών σε μηνιαία βάση για τρία σενάρια RCP (RCP2.6, RCP4.5 & RCP8.5) και η υψηλή χωρική ανάλυση (0.11°). Το περιφερειακό κλιματικό μοντέλο ALADIN63 επιλέχθηκε για την παρούσα μελέτη (Πίνακας 1) με αρχικές και οριακές συνθήκες από το παγκόσμιο κλιματικό μοντέλο CNRM-CERFACS-CNRM-CM5 (CNRM). Το επιλεγμένο μοντέλο EURO-CORDEX έχει επίσης δοκιμαστεί στους Markantonis et al. (2022).

Πίνακας 1. Τα κλιματικά μοντέλα περιοχής που χρησιμοποιήθηκαν στο παρόν έργο

| Κέντρο | Αναφορά | Περιφερειακό κλιματικό μοντέλο | Παγκόσμιο κλιματικό μοντέλο | Ακρωνύμιο | Ανάλυση (°) |
|---|-----------------------------|--------------------------------|-------------------------------|-----------|-------------|
| Meteo-France centre National de Recherches Meteorologiques | Spiridonov et al. (2005) | ALADIN63 | CNRM- CERFACS- CNRM-CM5 | CNRM | 0.11 |

Χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα μηνιαίων τιμών μέσης θερμοκρασίας (2m), ηλιακή ακτινοβολίας, ανέμου (10m), βροχόπτωσης, απορροής και εξάτμισης. Στον Πίνακα 2 παρουσιάζονται οι κλιματικές μεταβλητές από το CORDEX που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη καθώς και η περιγραφής τους στον Πίνακα 3. Στον Πίνακα 4 παρουσιάζονται οι κλιματικές μεταβλητές από το ERA5 που χρησιμοποιήθηκαν για την αξιολόγηση καθώς και η περιγραφής τους στον Πίνακα 5. Οι μεταβολές των κλιματικών δεικτών στους εξετάσθηκαν ως προς μία περίοδο αναφοράς (2011-2021) σε διαφορετικούς χρονικούς ορίζοντες και σενάρια παγκόσμιας εξέλιξης συγκεντρώσεων. Η ανάλυση τάσεων πραγματοποιήθηκε σε επίπεδο δεκαετίας, για βραχυπρόθεσμο (2011-2030), μεσοπρόθεσμο (2031-2040, 204) και μακροπρόθεσμο (2081-2100) χρονικό ορίζοντα.

Πίνακας 2. Μεταβλητές CORDEX που χρησιμοποιούνται στο έργο.

| Πηγή | Μεταβλητή | Μονάδα | Χρονική κάλυψη | Οριζόντια ανάλυση | Χρονική ανάλυση |
|--------|-----------------------------------|------------------------------------|----------------|---|----------------------|
| CORDEX | 2m air temperature | k | 2021-2060 | 0.11x0.11 (RCP 2.6, 4.5, 8.5) | Μέση Μηνιαία Τιμή |
| CORDEX | Surface solar radiation downwards | W m ⁻² | 2021-2060 | 0.11x0.11 (RCP 2.6, 4.5, 8.5) | Μέση Μηνιαία Τιμή |
| CORDEX | 10m wind speed | m s ⁻¹ | 2021-2060 | 0.11x0.11 (RCP 2.6, 4.5, 8.5) | Μέση Μηνιαία Τιμή |
| CORDEX | Mean precipitation flux | kg m ⁻² s ⁻¹ | 2021-2060 | 0.11x0.11 (RCP 2.6, 4.5, 8.5) | Μέση Μηνιαία Τιμή |
| CORDEX | Total run-off flux | kg m ⁻² s ⁻¹ | 2021-2060 | 0.11x0.11 (RCP 2.6, 4.5, 8.5) | Μέση Μηνιαία Τιμή |
| CORDEX | Mean evaporation flux | kg m ⁻² s ⁻¹ | 2021-2060 | 0.11x0.11 (RCP 2.6, 4.5, 8.5) | Μέση Μηνιαία Τιμή |

Πίνακας 3 Περιγραφή μεταβλητών CORDEX που χρησιμοποιούνται στο έργο

| Μεταβλητές | Μονάδες | Περιγραφή |
|-----------------------------------|------------------------------------|--|
| 2m air temperature | k | Θερμοκρασία του αέρα περιβάλλοντος. Τα δεδομένα αντιπροσωπεύουν τη μέση τιμή για την περίοδο συσσωμάτωσης στα 2 μέτρα πάνω από την επιφάνεια του εδαφους. |
| Surface solar radiation downwards | W m ⁻² | Η καθοδική ροή ακτινοβολίας βραχέων κυμάτων ενέργειας ανά μονάδα επιφάνειας. Τα δεδομένα αντιπροσωπεύουν τον μέσο όρο για την περίοδο συνάθροισης στην επιφάνεια. |
| 10m wind speed | m s ⁻¹ | Το μέγεθος της δισδιάστατης οριζόντιας ταχύτητας του αέρα. Τα δεδομένα αντιπροσωπεύουν τη μέση τιμή για την περίοδο συσσωμάτωσης στα 10 μέτρα πάνω από την επιφάνεια. |
| Mean precipitation flux | kg m ⁻² s ⁻¹ | Εναπόθεση νερού στην επιφάνεια της Γης με τη μορφή βροχής, χιονιού, πάγου ή χαλαζιού. Η ροή της βροχόπτωσης είναι η μάζα του νερού ανά μονάδα επιφάνειας και χρόνου. Τα δεδομένα αντιπροσωπεύουν τον μέσο όρο για την περίοδο συγκέντρωσης. |
| Total run-off flux | kg m ⁻² s ⁻¹ | Η μάζα του επιφανειακού και υπο επιφανειακού υγρού νερού ανά μονάδα επιφάνειας και χρόνου, που αποστραγγίζεται από την ξηρά. |
| evaporation | kg m ⁻² s ⁻¹ | Μάζα επιφανειακού και υποεπιφανειακού υγρού νερού ανά μονάδα επιφάνειας και χρόνου, που εξατμίζεται από τη στεριά. Τα δεδομένα περιλαμβάνουν τη μετατροπή σε φάση ατμού τόσο από την υγρή όσο και από τη στερεή φάση, δηλ. περιλαμβάνουν και την εξάχνωση, και αντιπροσωπεύουν τον μέσο όρο κατά την περίοδο συσσωμάτωσης. |

Πίνακας 4. Μεταβλητές Copernicus που χρησιμοποιούνται στο έργο.

| Πηγή | Μεταβλητή | Μονάδα | Χρονική κάλυψη | Οριζόντια ανάλυση | Χρονική ανάλυση |
|------|---|------------------------------------|----------------|-------------------|-------------------|
| ERA5 | 2m air temperature | K | 2011-2021 | 0.11x0.11 | Μέση Μηνιαία Τιμή |
| ERA5 | Mean surface downward short-wave radiation flux | W m ⁻² | 2011-2021 | 0.11x0.11 | Μέση Μηνιαία Τιμή |
| ERA5 | 10m wind speed | m s ⁻¹ | 2011-2021 | 0.11x0.11 | Μέση Μηνιαία Τιμή |
| ERA5 | Mean total precipitation rate | kg m ⁻² s ⁻¹ | 2011-2021 | 0.11x0.11 | Μέση Μηνιαία Τιμή |
| ERA5 | Mean runoff rate | kg m ⁻² s ⁻¹ | 2011-2021 | 0.11x0.11 | Μέση Μηνιαία Τιμή |
| ERA5 | Evaporation | m of water equivalent | 2011-2021 | 0.11x0.11 | Μέση Μηνιαία Τιμή |

Πίνακας 5 Περιγραφή μεταβλητών Copernicus που χρησιμοποιούνται στο έργο

| Μεταβλητές | Μονάδες | Περιγραφή |
|---|------------------------------------|---|
| 2m air temperature | k | Θερμοκρασία του αέρα περιβάλλοντος. Τα δεδομένα αντιπροσωπεύουν τη μέση τιμή για την περίοδο συσσωμάτωσης στα 2 μέτρα πάνω από την επιφάνεια του εδάφους. |
| Mean surface downward short-wave radiation flux | W m ⁻² | Η καθοδική ροή ακτινοβολίας βραχέων κυμάτων ενέργειας ανά μονάδα επιφάνειας. Τα δεδομένα αντιπροσωπεύουν τον μέσο όρο για την περίοδο συνάθροισης στην επιφάνεια. |
| 10m wind speed | m s ⁻¹ | Το μέγεθος της δισδιάστατης οριζόντιας ταχύτητας του αέρα. Τα δεδομένα αντιπροσωπεύουν τη μέση τιμή για την περίοδο συσσωμάτωσης στα 10 μέτρα πάνω από την επιφάνεια. |
| Mean total precipitation rate | kg m ⁻² s ⁻¹ | Αυτή η παράμετρος είναι ο ρυθμός της κατακρήμνισης στην επιφάνεια της Γης. Είναι το άθροισμα των ρυθμών που οφείλονται σε μεγάλης κλίμακας κατακρημνίσεις και συνεκτικές κατακρημνίσεις. Πρόκειται για έναν μέσο όρο για μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο (η περίοδος επεξεργασίας) που εξαρτάται από τα δεδομένα που εξάγονται. Για τους μηνιαίους μέσους όρους η περίοδος επεξεργασίας είναι ένας ολόκληρος μήνας. Είναι ο ρυθμός που θα είχε η βροχόπτωση αν κατανεμηθεί ομοιόμορφα στο πλαίσιο του πλέγματος. 1 κιλό νερού που απλώνεται σε 1 τετραγωνικό |

| | | |
|------------------|-----------------------------------|---|
| | | μέτρο επιφάνειας έχει βάθος 1 mm (αγνοώντας τις επιπτώσεις της θερμοκρασίας στην πυκνότητα του νερού), επομένως οι μονάδες είναι ισοδύναμες με mm (υγρού νερού) ανά δευτερόλεπτο. |
| Mean runoff rate | $\text{kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ | Ποσότητα νερού από τις βροχοπτώσεις, το λιώσιμο του χιονιού ή βαθιά στο έδαφος, παραμένει αποθηκευμένο στο έδαφος. Διαφορετικά, το νερό αποστραγγίζεται, είτε πάνω από την επιφάνεια (επιφανειακή απορροή), είτε κάτω από το έδαφος (υποεπιφανειακή απορροή) και το άθροισμα αυτών των δύο ονομάζεται απορροή. Αυτή η παράμετρος είναι ένας μέσος όρος για μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο (η περίοδος επεξεργασίας) που εξαρτάται από τα δεδομένα που εξάγονται. Για τους μηνιαίους μέσους όρους η περίοδος επεξεργασίας είναι ένας ολόκληρος μήνας. Είναι ο ρυθμός που θα είχε η απορροή αν κατανεμηθεί ομοιόμορφα στο πλαίσιο του πλέγματος. Η απορροή είναι ένα μέτρο της διαθεσιμότητας νερού στο έδαφος και μπορεί, για παράδειγμα, να χρησιμοποιηθεί ως δείκτης ξηρασίας ή πλημμύρας. |
| evaporation | $\text{kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ | Αυτή η παράμετρος είναι η ποσότητα του νερού που έχει εξατμιστεί από την επιφάνεια της Γης, συμπεριλαμβανομένης μιας απλοποιημένης αναπαράστασης της διαπνοής (από τη βλάστηση), σε ατμούς στον αέρα πάνω. Αυτή η παράμετρος είναι ένας μέσος όρος για μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο (η περίοδος επεξεργασίας) που εξαρτάται από τα δεδομένα που εξάγονται. Για τους μηνιαίους μέσους όρους η περίοδος επεξεργασίας είναι ένας ολόκληρος μήνας. Οι αρνητικές τιμές υποδηλώνουν εξάτμιση και οι θετικές τιμές υποδηλώνουν συμπύκνωση. |



Οι χρονικές σειρές που προκύπτουν από τα κλιματικά μοντέλα, ακόμη και αυτές από την τελευταία γενιά RCM, συνήθως παρουσιάζουν μεροληψία (συστηματικές αποκλίσεις) όταν αξιολογούνται έναντι των παρατηρήσεων (Kotlarski et al., 2014). Αυτές οι προκαταλήψεις πρέπει να διορθωθούν πριν χρησιμοποιηθούν οι κλιματικές χρονικές σειρές. Το πρώτο βήμα σε αυτή τη μελέτη είναι η διασφάλιση της αξιοπιστίας των προσομοιώσεων που προκύπτουν από τα κλιματικά μοντέλα του CORDEX. Για να διαπιστώσουμε αν οι εκτιμήσεις ενός κλιματικού μοντέλου για το μέλλον είναι αξιόπιστες θα πρέπει το μοντέλο αυτό να εκτιμάει σωστά το παρόν, να αναπαράγει δηλαδή με ακρίβεια τις βασικές κλιματικές διεργασίες. Ένα από τα βασικά πειράματα του CORDEX είναι η εξαγωγή προσομοιώσεων μοντέλων για το παρελθόν χρησιμοποιώντας πλευρικές συνοριακές συνθήκες από Παγκόσμια Κλιματικά Μοντέλα (GCM). Τα συγκεκριμένα πειράματα καλύπτουν μια περίοδο για την οποία υπάρχουν σύγχρονες κλιματικές παρατηρήσεις και δείχνουν πώς αποδίδουν τα RCM για το προηγούμενο κλίμα όταν εξαναγκάζονται από τα GCM. Συνεπώς οι ιστορικές προσομοιώσεις ενός κλιματικού μοντέλου είναι αυτές που επιτρέπουν την αξιολόγησή του και μπορούν να το καταστήσουν ως αξιόπιστο εργαλείο το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για μελλοντικές εκτιμήσεις. Για το λόγο αυτό πραγματοποιήθηκε σύγκριση των ιστορικών προσομοιώσεων των επιλεγμένων μοντέλων του CORDEX με μετεωρολογικά δεδομένα που ανακτήθηκαν από την τελευταία γενιάς πλατφόρμα δεδομένων επανάλυσης, ERA5 (Hersbach et al., 2020) του Ευρωπαϊκού Κέντρου Μεσοπρόθεσμων Μετεωρολογικών Προγνώσεων Καιρού (ECMWF), για την περιοχή μελέτης. Η επικύρωση για τις εξεταζόμενες μεταβλητές μεταξύ του ERA5 και των ιστορικών προσομοιώσεων από το έργο CORDEX έγινε για την περίοδο 1981-2005.

Τα αποτελέσματα των ERA5 και CORDEX μετατράπηκαν σε χρονολογικές σειρές εξάγοντας τη μέση τιμή των σημείων των προσομοιώσεών τους. Έπειτα οι χρονολογικές σειρές συγκρίνονται μέσω τεσσάρων στατιστικών δεικτών: του συντελεστή συσχέτισης – (correlation coefficient) CC, του μέσου σφάλματος προκατάληψης – (mean bias error) MBE, της ρίζας του μέσου τετραγωνικού σφάλματος – (root mean square error) RMSE και της κανονικοποιημένης ρίζας του μέσου τετραγωνικού σφάλματος normalized root mean square error NRMSE (Πίνακας 6).

Πίνακας 6. Στατιστικοί δείκτες για την αξιολόγηση των σφαλμάτων του κλιματικού μοντέλου.

| Μετρική σχέση | Ορισμός | |
|-----------------------------------|--|-----|
| Correlation Coefficient | $CC = \frac{\sum_{i=1}^N (M_i - \bar{M})(O_i - \bar{O})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (M_i - \bar{M})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})^2}}$ | (1) |
| Mean Bias Error | $MBE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (M_i - O_i)$ | (2) |
| Root Mean Square Error | $RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (O_i - M_i)^2}$ | (3) |
| Normalized Root Mean Square Error | $NRMSE = \frac{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (O_i - M_i)^2}}{\sum_{i=1}^N (O_i)}$ | (4) |

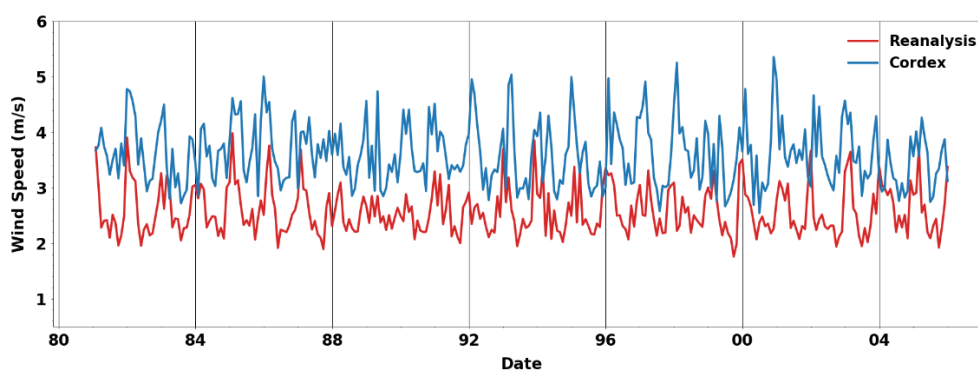
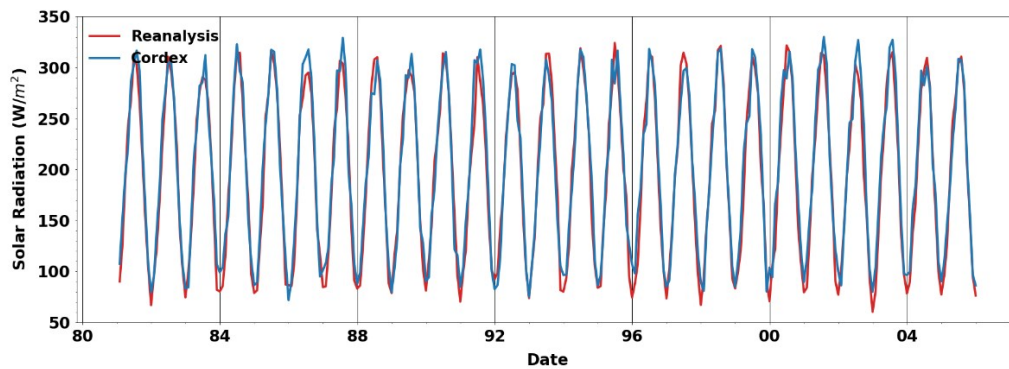
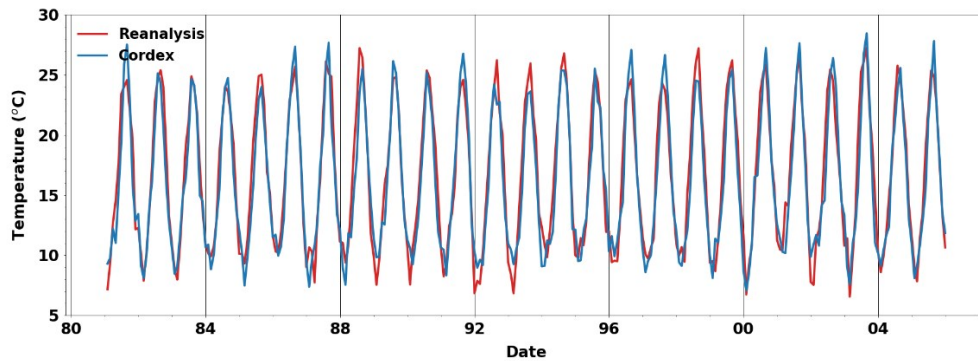
όπου N ο αριθμός των δεδομένων, M οι τιμές του μοντέλου, O οι παρατηρήσεις

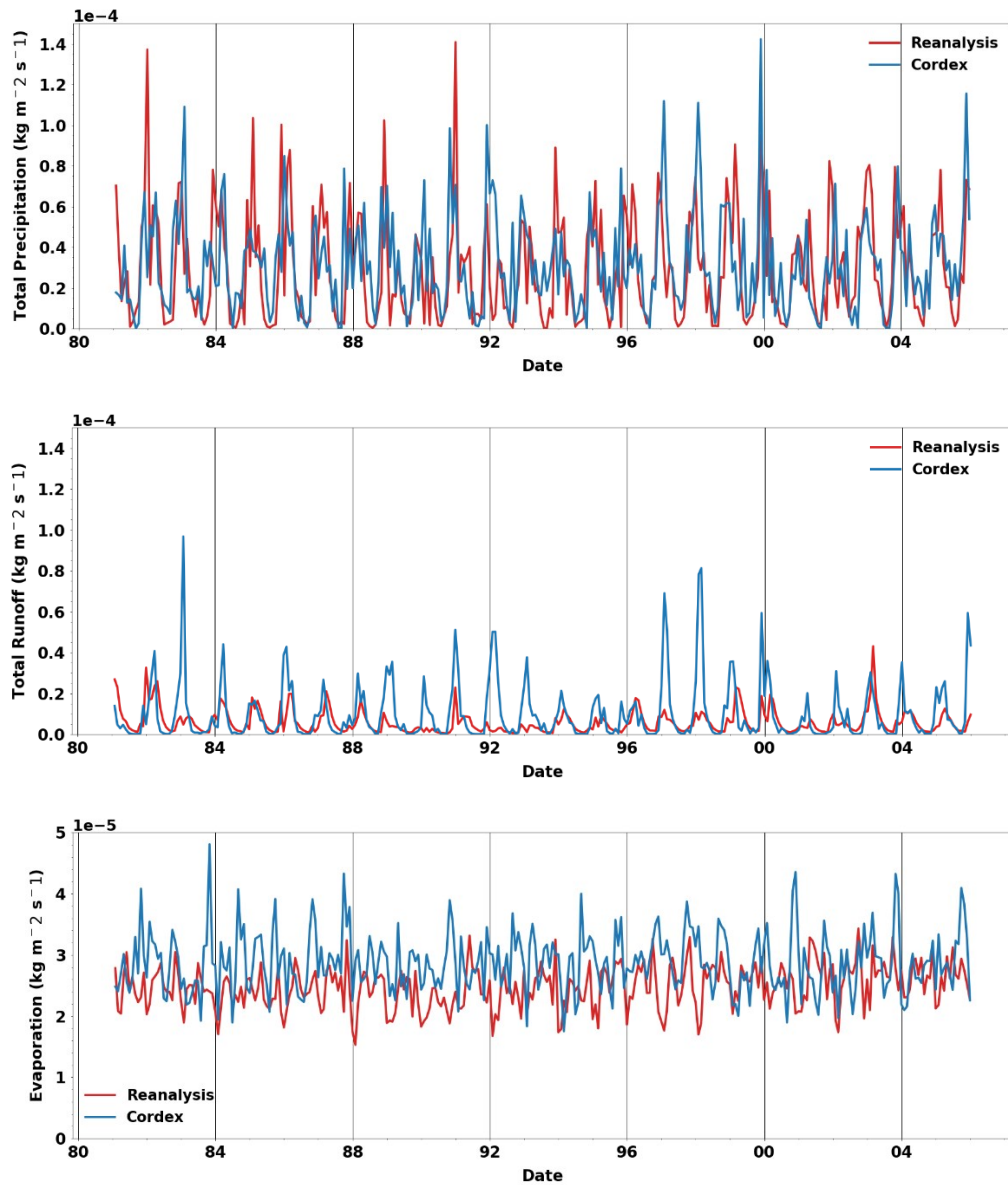
Οι κλιματικές προσομοιώσεις που χρησιμοποιήθηκαν στο παρόν έργο και η αξιολόγηση αυτών περιγράφονται από τρία διαδοχικά βήματα:

- (1) Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των κλιματικών μοντέλων για την ιστορική περίοδο (1981-2005)
- (2) Διόρθωση των σφαλμάτων και αφαίρεση από τις μελλοντικές προσομοιώσεις (2021-2060)
- (3) Σύγκρισή των κλιματικών προσομοιώσεων μοντέλων με την περίοδο αναφοράς (2011-2021)

Οι ετήσιες χρονικές σειρές των εξεταζόμενων μετεωρολογικών μεταβλητών παρουσιάζονται στο **Σχήμα 1** και υποδεικνύουν τη δυνατότητα του μοντέλου να αναπαράγει τις ετήσιες διακυμάνσεις τους, δείχνοντας μεγαλύτερη συμφωνία στις μεταβλητές της θερμοκρασίας και της ακτινοβολίας και μικρότερη στις υδρολογικές μεταβλητές. Για να ποσοτικοποιηθεί η σχέση μεταξύ πραγματικών και προβλεπόμενων τιμών σε ετήσια βάση και μηνιαία βάση, πραγματοποιείται μια στατιστική ανάλυση (Πίνακας 7, Πίνακας 8). Το μέσο σφάλμα μεροληψίας της θερμοκρασίας είναι -0.7 για την περιοχή και βρίσκεται σε συμφωνία με βιβλιογραφικές αναφορές στα πλαίσια του Cordex (Kotlarski et al, 2014). Η ηλιακή ακτινοβολία είναι η μεταβλητή που αναπαράγεται με τη μεγαλύτερη ακρίβεια από το μοντέλο ανάμεσα στις άλλες εξεταζόμενες μεταβλητές. Ο άνεμος

εμφανίζει συστηματικό σφάλμα της τάξης του 1 m/s. Οι υδρολογικές μεταβλητές εμφανίζουν σημαντική μεροληψία και μεγάλα σφάλματα. Οι προσομοιώσεις της απορροής να παρουσιάζουν τη μικρότερη συμφωνία με τα μετεωρολογικά δεδομένα.



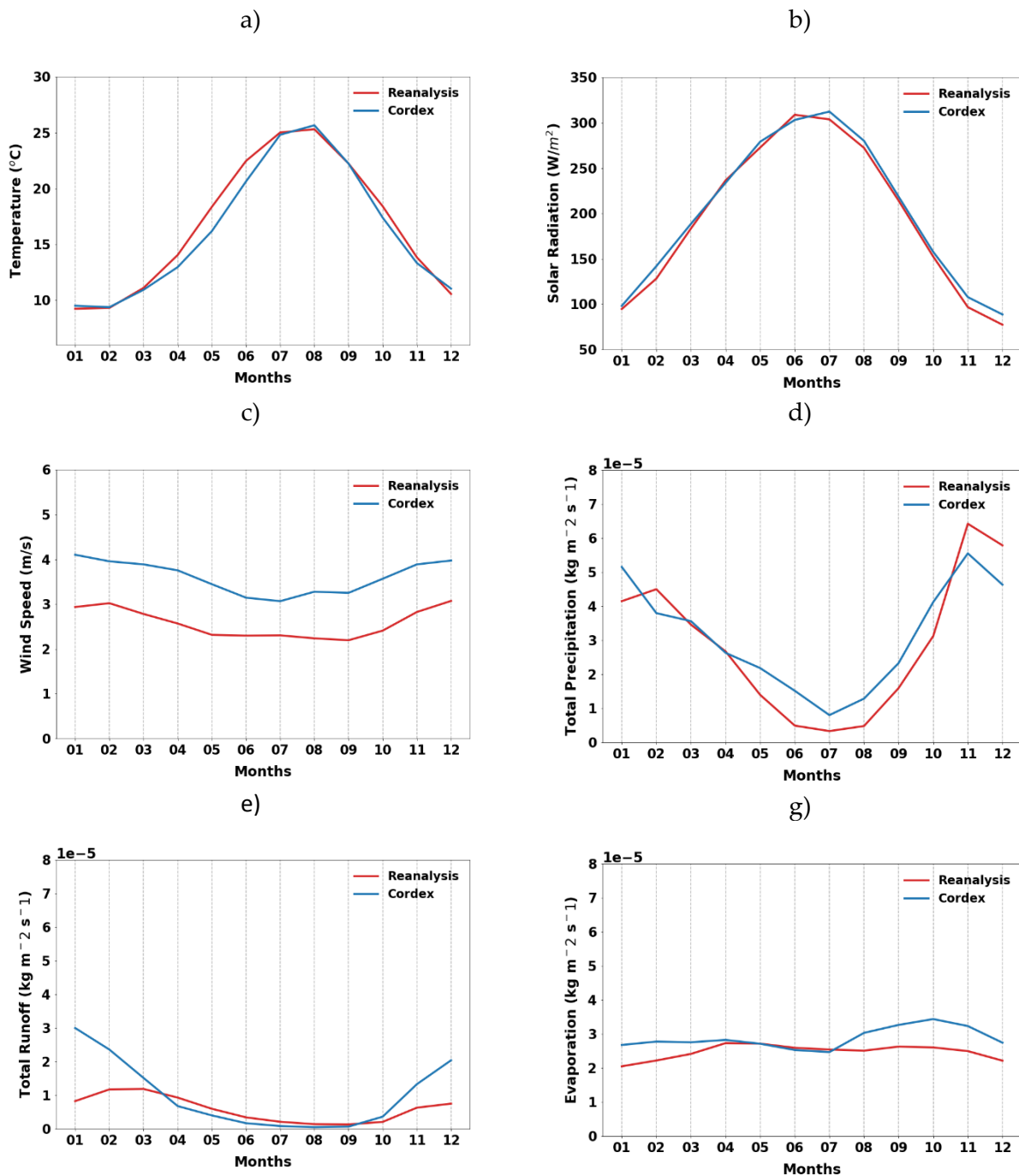


Σχήμα 1. Σύγκριση ετήσιων χρονοσειρών των κλιματικών μεταβλητών κατά την ιστορική περίοδο (1981-2005) όπως αυτές προκύπτουν από το ERA5 Reanalysis και από το Cordex (α) θερμοκρασίας αέρα, (β) ηλιακής ακτινοβολίας, (γ) ταχύτητας ανέμου, (δ) βροχόπτωσης, (ε) απορροής, (ζ) εξάτμισης.

Οι μέσοι μηνιαίοι κύκλοι των μοντελοποιημένων μεταβλητών παρουσιάζονται στο Σχήμα 2. Ο κύκλος της θερμοκρασίας προσομοιώνεται επιτυχώς με μικρά σφάλματα και μια μικρή ψυχρή προκατάληψη (Σχήμα 2a) (Πίνακας 8a), μεγαλύτερη κατά τη διάρκεια του μήνα Μάιου (-2.3°C), ενώ εξαίρεση αποτελούν ο Αύγουστος κι ο Δεκέμβριος που παρουσιάζουν θετική προκατάληψη. Η ακτινοβολία αναπαράγεται με μεγάλη ακρίβεια από το κλιματικό μοντέλο (Σχήμα 2b) με μια ανεπαίσθητη θερμή προκατάληψη για τους περισσότερους μήνες (Πίνακας 8b). Η ταχύτητα του ανέμου υπερεκτιμάται συστηματικά για όλους τους μήνες (Σχήμα 2c), υπερβαίνοντας τους περισσότερους μήνες το 1m/s , στο ίδιο μέγεθος είναι και τα σφάλματα (Πίνακας 8c). Η βροχόπτωση έχει ένα ετήσιο προφίλ αντισυσχετισμένο με τη θερμοκρασία (Σχήμα 2d) και μοντέλο δείχνει θετική προκατάληψη, μεγαλύτερη κατά τον Ιανουάριο, ενώ το Δεκέμβριο παρουσιάζει σημαντική αρνητική προκατάληψη (Πίνακας 8d). Τα μεγαλύτερα σφάλματα παρατηρούνται κατά τους θερινούς μήνες. Η μεταβλητή της απορροής υπερεκτιμάται σημαντικά κατά τη χειμερινή περίοδο (Σχήμα 2e) και παρουσιάζει τα μεγαλύτερα σφάλματα συγκριτικά με τις υπόλοιπες κλιματικές μεταβλητές (Πίνακας 8e). Κυρίαρχη τάση του μοντέλου για την εξάτμιση είναι η υπερεκτίμηση (Σχήμα 2g) με μεγαλύτερα σφάλματα τους φθινοπωρινούς μήνες (Πίνακας 8g).

Πίνακας 7. Στατιστικοί δείκτες για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων του Cordex με βάση τα reanalysis δεδομένα από το ERA5 (α) θερμοκρασίας αέρα, (β) ηλιακής ακτινοβολίας, (γ) ταχύτητας ανέμου, (δ) βροχόπτωσης, (ε) αθροιστικής απορροής, (ζ) εξάτμισης κατά την ιστορική περίοδο (1981 - 2005).

| Μεταβλητή | CC | RMSE | MBE | NRMSE |
|--|------|-------|---------|-------|
| Θερμοκρασία ($^{\circ}\text{C}$) | 0.96 | 1.8 | -0.7 | 0.11 |
| Ακτινοβολία (W/m^2) | 0.98 | 18 | 4.8 | 0.09 |
| Ταχύτητα ανέμου (m/s) | 0.35 | 1 | 0.8 | 0.39 |
| Βροχόπτωση ($\text{kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) | 0.4 | 3E-05 | 2.6E-06 | 0.96 |
| Απορροή ($\text{kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) | 0.33 | 1E-05 | 4.1E-06 | 2.72 |
| Εξάτμιση ($\text{kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) | 0.15 | 1E-05 | 2.6E-06 | 0.24 |



Σχήμα 2. προφίλ των κλιματικών μεταβλητών Reanalysis και Cordex κατά την ιστορική περίοδο (1981 - 2005) (α) θερμοκρασίας αέρα, (β) ηλιακής ακτινοβολίας, (γ) ταχύτητας ανέμου, (δ) βροχόπτωσης, (ε) απορροής, (ζ) εξάτμισης.

Πίνακας 8. Στατιστικοί δείκτες για την αξιολόγηση των μηνιαίων αποτελεσμάτων του Cordex με βάση τα reanalysis δεδομένα από το ERA5 (α) θερμοκρασίας αέρα, (β) ηλιακής ακτινοβολίας, (γ) ταχύτητας ανέμου, (δ) βροχόπτωσης, (ε) αθροιστικής απορροής, (ζ) εξάτμισης κατά την ιστορική περίοδο (1981 - 2005).

| Θερμοκρασία (°C) | | | |
|------------------|------|------|-------|
| Months | RMSE | MBE | NRMSE |
| Jan | 1.8 | -0.1 | 0.2 |
| Feb | 1.3 | -0.2 | 0.1 |
| Mar | 1.4 | -0.4 | 0.1 |
| Apr | 1.9 | -1.3 | 0.1 |
| May | 2.9 | -2.3 | 0.2 |
| Jun | 2.3 | -1.9 | 0.1 |
| Jul | 1.6 | -0.2 | 0.1 |
| Aug | 1.9 | 0.3 | 0.1 |
| Sep | 1.7 | -0.1 | 0.1 |
| Oct | 2 | -1.3 | 0.1 |
| Nov | 1.7 | -0.9 | 0.1 |
| Dec | 1.6 | 0.1 | 0.1 |

| Ακτινοβολία (W/m ²) | | | |
|---------------------------------|------|------|-------|
| Months | RMSE | MBE | NRMSE |
| Jan | 14.1 | 3.5 | 0.1 |
| Feb | 21.4 | 13.7 | 0.2 |
| Mar | 17.3 | 5.1 | 0.1 |
| Apr | 17.3 | -2.7 | 0.1 |
| May | 23 | 6.4 | 0.1 |
| Jun | 15.2 | -5.7 | 0 |
| Jul | 16.8 | 8.6 | 0.1 |
| Aug | 16.9 | 7.7 | 0.1 |
| Sep | 16.8 | 4.4 | 0.1 |
| Oct | 18.8 | 5.2 | 0.1 |
| Nov | 16.9 | 11 | 0.2 |
| Dec | 15.7 | 11.3 | 0.2 |

| Ταχύτητα ανέμου (m/s) | | | |
|-----------------------|------|-----|-------|
| Months | RMSE | MBE | NRMSE |
| Jan | 1.4 | 1.2 | 0.5 |
| Feb | 1.1 | 0.9 | 0.4 |
| Mar | 1.3 | 1.1 | 0.5 |
| Apr | 1.3 | 1.2 | 0.5 |
| May | 1.2 | 1.1 | 0.5 |
| Jun | 0.9 | 0.8 | 0.4 |
| Jul | 0.8 | 0.8 | 0.4 |
| Aug | 1.1 | 1 | 0.5 |
| Sep | 1.2 | 1.1 | 0.5 |
| Oct | 1.2 | 1.2 | 0.5 |
| Nov | 1.3 | 1.1 | 0.4 |
| Dec | 1.2 | 0.9 | 0.4 |

| Βροχόπτωση (kg m ⁻² s ⁻¹) | | | |
|--|---------|--------|-------|
| Months | RMSE | MBE | NRMSE |
| Jan | 4.5E-05 | 1E-05 | 1.1 |
| Feb | 3.1E-05 | -7E-06 | 0.7 |
| Mar | 2.4E-05 | 1E-06 | 0.7 |
| Apr | 1.7E-05 | 0 | 0.6 |
| May | 1.9E-05 | 8E-06 | 1.4 |
| Jun | 1.4E-05 | 1E-05 | 2.9 |
| Jul | 1.1E-05 | 5E-06 | 3.3 |
| Aug | 1.0E-05 | 8E-06 | 3.5 |
| Sep | 2.5E-05 | 7E-06 | 1.5 |
| Oct | 3.3E-05 | 1E-05 | 1 |
| Nov | 3.5E-05 | -9E-06 | 0.5 |
| Dec | 3.8E-05 | -1E-05 | 0.7 |

| Απορροή (kg m ⁻² s ⁻¹) | | | |
|---|---------|---------|-------|
| Months | RMSE | MBE | NRMSE |
| Jan | 3.6E-05 | 2.5E-05 | 4.8 |
| Feb | 2.3E-05 | 1.4E-05 | 2.2 |
| Mar | 1.1E-05 | 5E-06 | 1.1 |

| Εξάτμιση (kg m ⁻² s ⁻¹) | | | |
|--|-------|-------|-------|
| Months | RMSE | MBE | NRMSE |
| Jan | 8E-06 | 6E-06 | 0.4 |
| Feb | 7E-06 | 6E-06 | 0.3 |
| Mar | 5E-06 | 3E-06 | 0.2 |



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
& ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Iceland
Liechtenstein
Norway grants

Δράσεις για τη βελτίωση της ποιοτικής και ποσοτικής κατάστασης του παράκτιου Υπόγειου Υδατικού Συστήματος π. Λαρισσού της ΛΑΠ Πείρου-Βέργα-Πηγειού του Υδατικού Διαμερίσματος Βόρειας Πελοποννήσου και την προσαρμογή του στην κλιματική αλλαγή

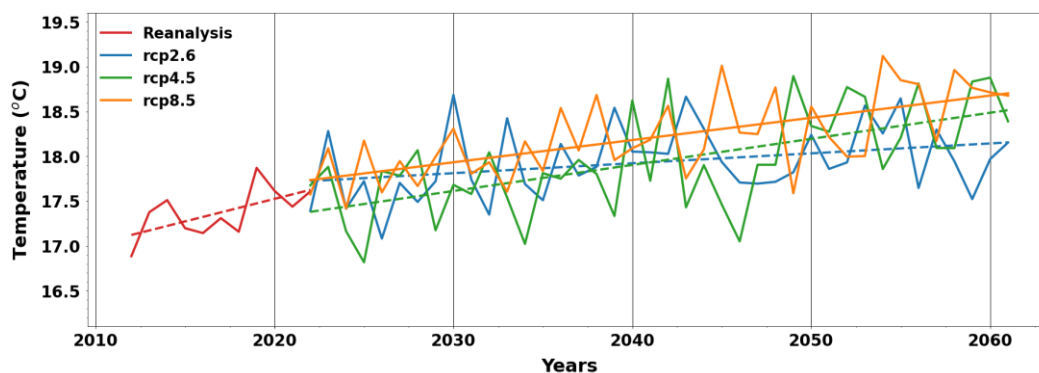
| | | | |
|------------|---------|---------|-----|
| Apr | 6E-06 | -2E-06 | 0.7 |
| May | 4 E-06 | -2E-06 | 0.7 |
| Jun | 2E-06 | -2E-06 | 0.7 |
| Jul | 2E-06 | -1E-06 | 0.9 |
| Aug | 1E-06 | -1E-06 | 0.9 |
| Sep | 1E-06 | 0 | 1.1 |
| Oct | 6E-06 | 2E-06 | 3.2 |
| Nov | 1.8E-05 | 9E-06 | 3.1 |
| Dec | 2.2E-05 | 1.5E-05 | 3.2 |

| | | | |
|------------|---------|--------|-----|
| Apr | 3E-06 | 1E-06 | 0.1 |
| May | 4E-06 | 0 | 0.1 |
| Jun | 4E-06 | -1E-06 | 0.2 |
| Jul | 4E-06 | -1E-06 | 0.2 |
| Aug | 8E-06 | 5E-06 | 0.3 |
| Sep | 9E-06 | 6E-06 | 0.3 |
| Oct | 1.1E-05 | 8E-06 | 0.4 |
| Nov | 1E-05 | 7E-06 | 0.4 |
| Dec | 7E-06 | 5E-06 | 0.3 |

4. Εκτίμηση των κλιματικών μεταβολών

4.1 Ετήσια Θερμοκρασία

Στο **Σχήμα 3** απεικονίζονται οι χρονολογικές σειρές της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας για την ιστορική περίοδο 2011-2021 και την μελλοντική περίοδο 2021-2060, για τα 3 κλιματικά σενάρια (RCP2.6, RCP4.5 και RCP8.5). Οι χρονολογικές σειρές δείχνουν την θερμοκρασία στην περιοχή να αυξάνεται κατά την ιστορική περίοδο και να ακολουθεί ανοδική τάση κατά την μελλοντική περίοδο. Τα αποτελέσματα των κλιματικών προσομοιώσεων δείχνουν για τις επόμενες δεκαετίες, αύξηση της μέσης θερμοκρασίας στην περιοχή, σε σχέση με την περίοδο ιστορική περίοδο 2011-2021, σε όλα τα σενάρια και τις χρονικές περιόδους που μελετήθηκαν. Συγκεκριμένα, για το ευνοϊκότερο σενάριο RCP2.6, η θερμοκρασία προβλέπεται να ακολουθεί αυξητική τάση μέχρι το 2040 και στη συνέχεια να σταθεροποιείται. Στην περίπτωση του ενδιάμεσου σεναρίου RCP4.5, αν και η θερμοκρασία ακολουθεί αυξητική τάση, προβλέπεται χαμηλότερη σε σχέση με την περίοδο αναφοράς μέχρι το 2040, όπου η κλίση της ξεπερνά και αυτής του ευνοϊκότερου σεναρίου. Σύμφωνα με το δυσμενές σενάριο RCP8.5, ο ρυθμός αύξησης της θερμοκρασίας θα είναι μεγαλύτερος συγκριτικά με τα άλλα δύο σενάρια ενώ στον μακροπρόθεσμο χρονικό ορίζοντα (2051-2060) προβλέπεται η μεγαλύτερη αύξησης της θερμοκρασίας για την περιοχή.



Σχήμα 3. Ετήσιες χρονολογικές σειρές της θερμοκρασίας αέρα για την ιστορική περίοδο 2011-2021 (κόκκινη γραμμή), και για τη μελλοντική περίοδο 2021-2060, για τα τρία κλιματικά σενάρια το RCP2.6 (μπλε γραμμή) το RCP4.5 (πράσινη γραμμή) και το RCP8.5 (πορτοκαλί γραμμή) στην πιλοτική περιοχή.

Στον Πίνακα 9 παρουσιάζονται οι (ποσοστιαίες) μεταβολές της θερμοκρασίας σε σχέση με τις αντίστοιχες θερμοκρασίες της ιστορικής περιόδου (2011-2021) για τις τέσσερις μελλοντικές

δεκαετίες για τα 3 κλιματικά σενάρια (RCP2.6, RCP4.5 και RCP8.5). Η θετική ποσοστιαία μεταβολή δηλώνει την αύξηση μέσης τιμής της θερμοκρασίας στη μετάβαση από τη μία χρονική περίοδο στην άλλη. Η θερμοκρασία έχει συνεχώς αυξητική τάση σε όλα τα σενάρια. Τα αποτελέσματα δείχνουν τη μεγαλύτερη αύξηση της θερμοκρασίας να σημειώνεται στον μακροπρόθεσμο χρονικό ορίζοντα (2051 - 2060), και να κυμαίνεται από 0.72 °C στην περίπτωση του ευνοϊκού σεναρίου RCP2.6 μέχρι και τους 1.23°C στην περίπτωση του δυσμενούς σεναρίου RCP8.5. Η μικρότερη αύξηση της θερμοκρασίας προβλέπεται στον βραχυπρόθεσμο χρονικό ορίζοντα (2021 – 2030), για ενδιάμεσο σενάριο RCP4.5 (+0,19°C).

Πίνακας 9. Μεταβολή μέσης θερμοκρασίας (°C) (ποσοστιαία μεταβολή %) για κάθε σενάριο παγκόσμιας εξέλιξης συγκεντρώσεων και χρονική περίοδο σε σχέση με την περίοδο αναφοράς.

| Μεταβολή της μέσης θερμοκρασίας (°C) σε σχέση με την περίοδο αναφοράς (2011-2021) | | | | |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Κλιματικό σενάριο | 2021-2030 | 2031-2040 | 2041-2050 | 2051-2060 |
| RCP2.6 | 0.35 (2%) | 0.57 (3.3%) | 0.62 (3.6%) | 0.72 (4.1%) |
| RCP4.5 | 0.19 (1.1%) | 0.39 (2.2%) | 0.63 (3.6%) | 1.09 (6.3%) |
| RCP8.5 | 0.48 (2.3%) | 0.73 (4.2%) | 0.93 (5.4%) | 1.23 (7.1%) |

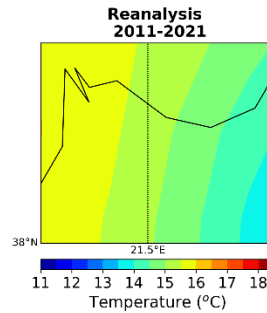
Στον Πίνακα 10 παρουσιάζονται οι (ποσοστιαίες) μεταβολές της θερμοκρασίας για κάθε εποχή σε σχέση με τις αντίστοιχες εποχές της ιστορικής περιόδου (2011-2021) για τα 3 κλιματικά σενάρια (RCP2.6, RCP4.5 και RCP8.5). Ο χειμώνας υπολογίζεται για τους μήνες Δεκέμβριο, Ιανουάριο και Φεβρουάριο, η άνοιξη για τους μήνες Μάρτιο, Απρίλιο και Μάιο, το καλοκαίρι για τους μήνες Ιούλιο, Ιούνιο και Αύγουστο, το φθινόπωρο για τους μήνες Σεπτέμβριο, Οκτώβριο και Νοέμβριο. Η μέση θερμοκρασία αναμένεται να αυξηθεί σε όλες τις εποχές. Η μεγαλύτερη αύξηση προβλέπεται κατά τη θερινή περίοδο και θα κυμανθεί από 0.68 °C (RCP2.6) μέχρι τους 1.04 °C (RCP8.5). Ακολουθεί το φθινόπωρο με εύρος 0.53 -1 °C (RCP4.5 - RCP8.5), ο χειμώνας 0.45 - 0.68 °C (RCP4.5 - RCP8.5) και τέλος η άνοιξη 0.4 - 0.63 °C (RCP4.5 - RCP8.5). Με η μικρότερη αύξηση της θερμοκρασίας σημειώνεται στο ενδιάμεσο σενάριο (RCP4.5), με μόνη εξαίρεση τη θερινή περίοδο, που σημειώνεται στο ευνοϊκό σενάριο (RCP2.6).

Πίνακας 10. Μεταβολή μέσης θερμοκρασίας (°C) (ποσοστιαία μεταβολή %) (ποσοστιαία μεταβολή %) για κάθε σενάριο παγκόσμιας εξέλιξης συγκεντρώσεων και εποχή σε σχέση με την περίοδο αναφοράς.

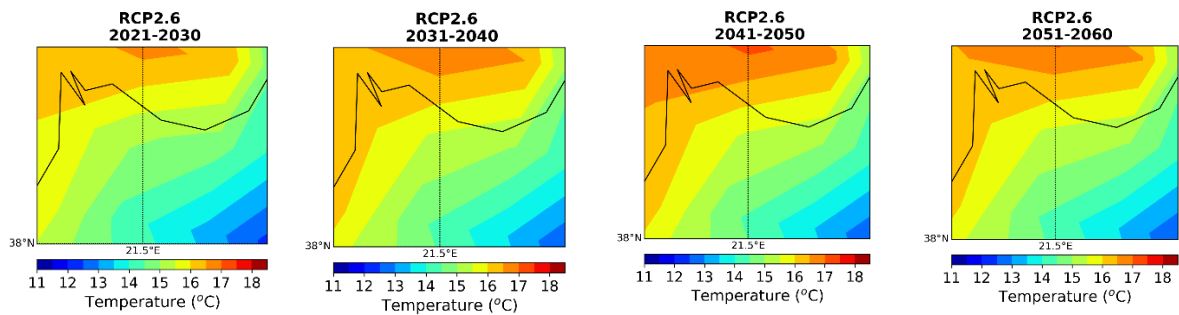
| Μεταβολή της μέσης εποχικής θερμοκρασίας (°C) σε σχέση με την περίοδο αναφοράς (2011-2021) | | | | |
|--|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Κλιματικό σενάριο | Άνοιξη | Καλοκαίρι | Φθινόπωρο | Χειμώνας |
| RCP2.6 | 0.5 (2.9%) | 0.68 (2.7%) | 0.58 (3.1%) | 0.52 (5.1%) |
| RCP4.5 | 0.4 (2.7%) | 0.86 (3.4%) | 0.53 (2.8%) | 0.45 (4.4%) |
| RCP8.5 | 0.63 (4.2%) | 1.04 (4.1%) | 1 (5.3%) | 0.68 (6.6%) |

Στα παρακάτω σχήματα (**Σχήμα 4-Σχήμα 7**) απεικονίζονται οι χάρτες των μέσων ετήσιων θερμοκρασιών για κάθε εποχή κατά την ιστορική περίοδο (2011-2021) και για την μελλοντική περίοδο (2021-2060) ανά σενάριο και χρονικό ορίζοντα. Στον μακροπρόθεσμο ορίζοντα αναμένονται οι μεγαλύτερες αυξήσεις της θερμοκρασίας σε όλες τις εποχές κυρίως στην περίπτωση του δυσμενούς σεναρίου.

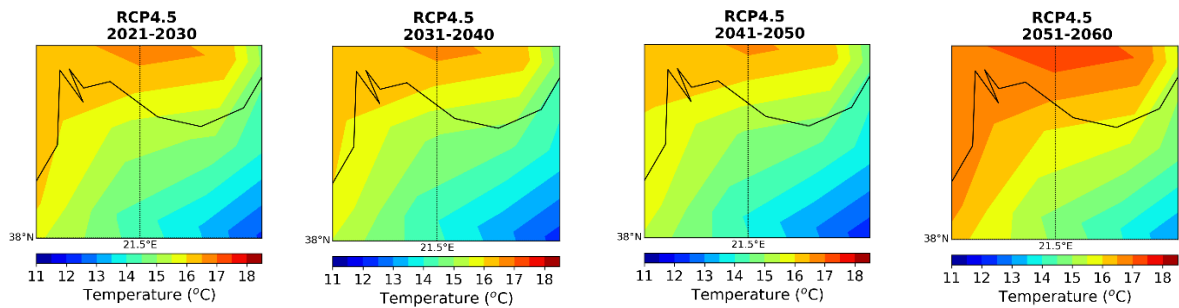
a)



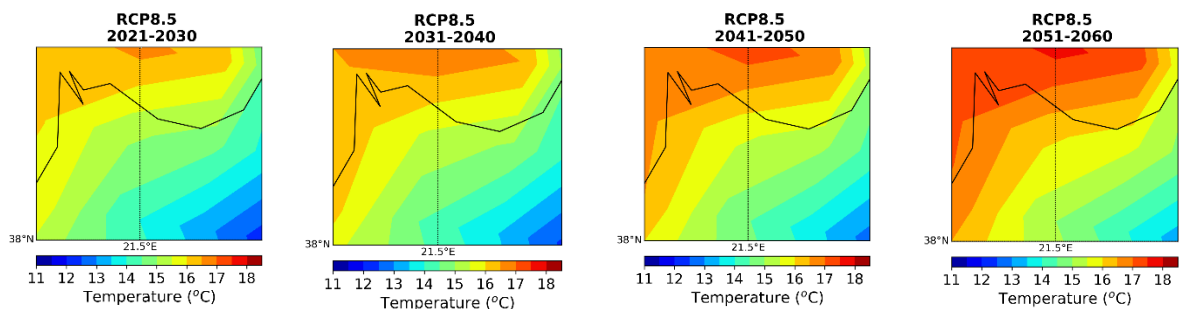
b)



c)

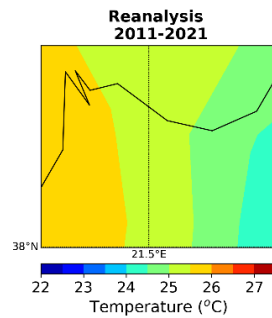


d)

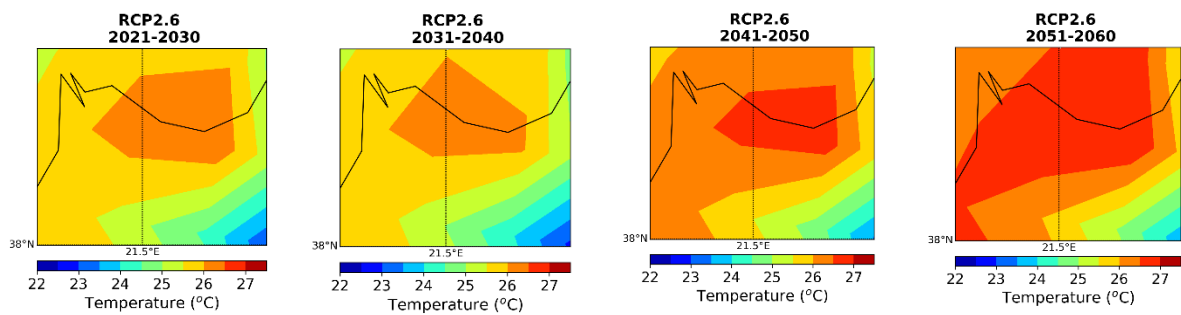


Σχήμα 4. Μέση εποχική θερμοκρασία κατά την ιστορική περίοδο (a) 2011-2021 και κατά τις μελλοντικές περιόδους 2021-2030, 2031-2040, 2041-2050, 2051-2060, για κλιματικά σενάρια (b) RCP2.6, (c) RCP4.5 και (d) RCP8.5 στην πιλοτική περιοχή κατά την ανοιξιάτικη περίοδο.

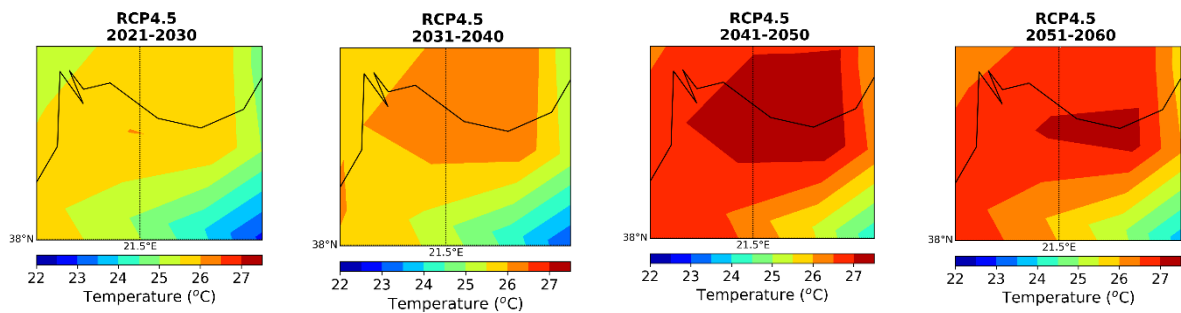
a)



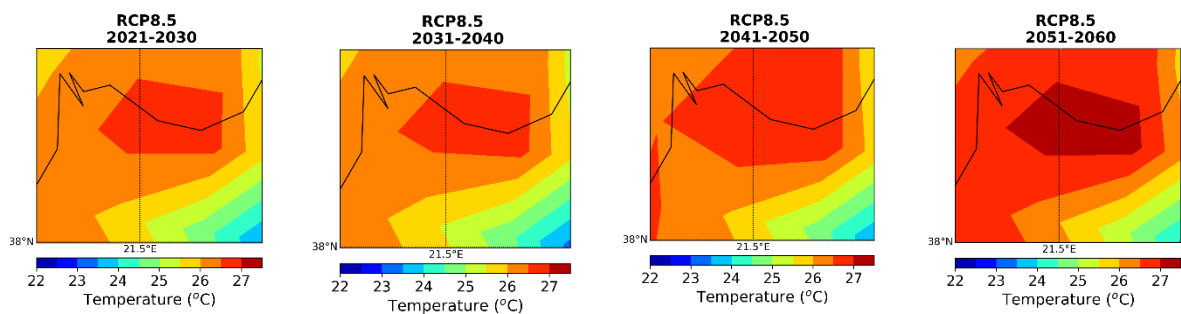
b)



c)

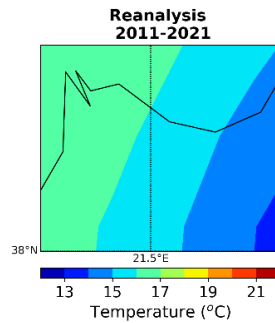


d)

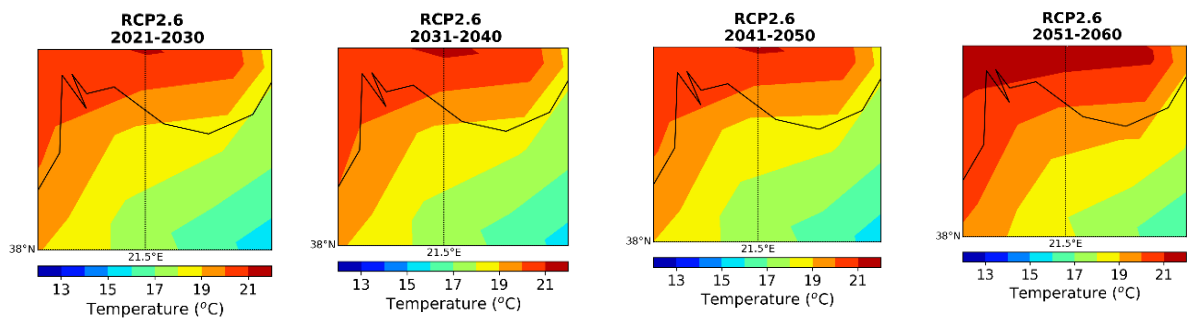


Σχήμα 5. Μέση εποχική θερμοκρασία κατά την ιστορική περίοδο (α) 2011-2021 και κατά τις μελλοντικές περιόδους 2021-2030, 2031-2040, 2041-2050, 2051-2060, για κλιματικά σενάρια (b) RCP2.6, (c) RCP4.5 και (d) RCP8.5 στην πιλοτική περιοχή κατά τη θερινή περίοδο.

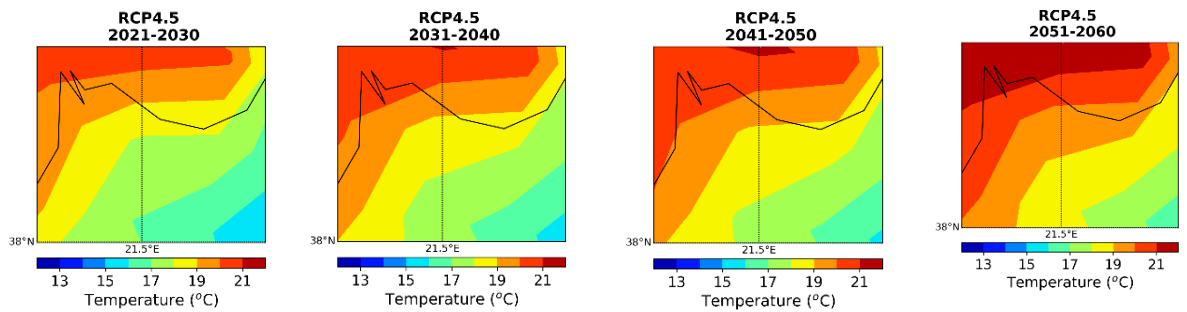
a)



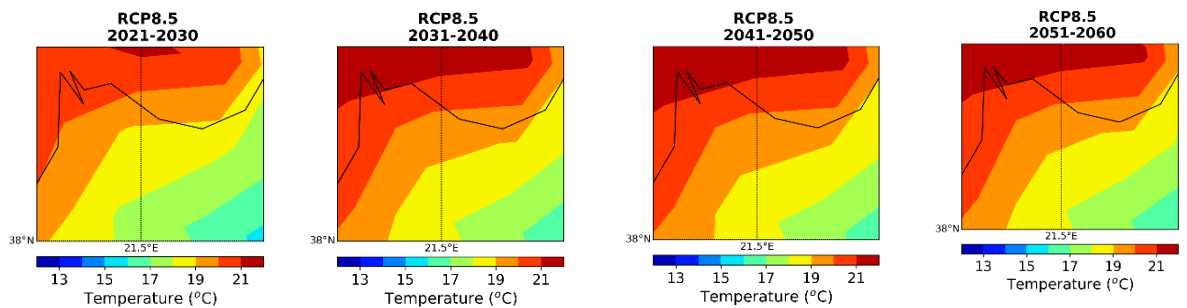
b)



c)

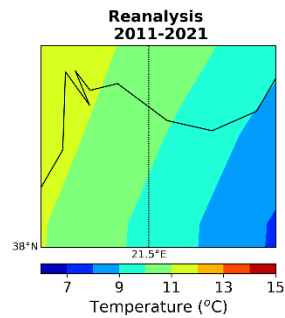


d)

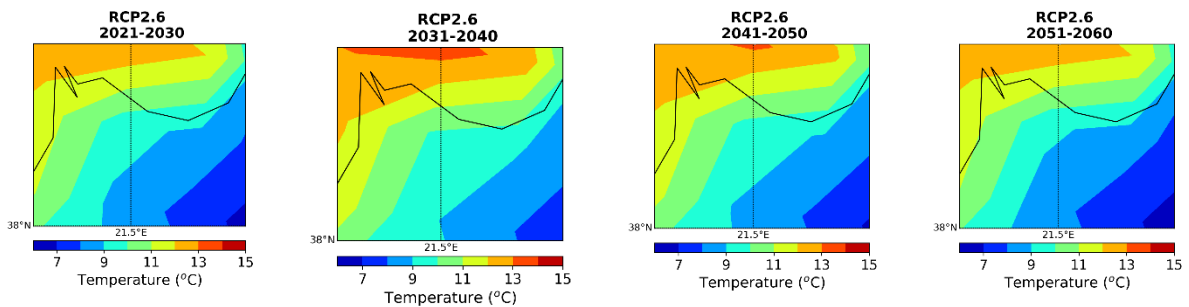


Σχήμα 6. Μέση εποχική θερμοκρασία κατά την ιστορική περίοδο (a) 2011-2021 και κατά τις μελλοντικές περιόδους 2021-2030, 2031-2040, 2041-2050, 2051-2060, για κλιματικά σενάρια (b) RCP2.6, (c) RCP4.5 και (d) RCP8.5 στην πιλοτική περιοχή κατά τη φθινοπωρινή περίοδο.

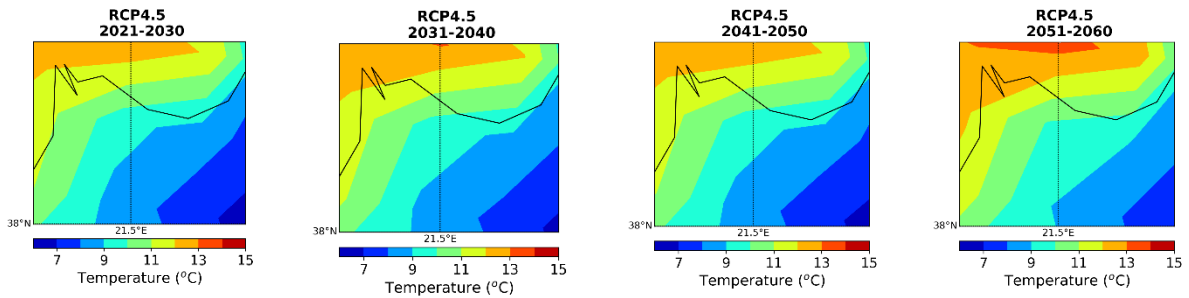
a)



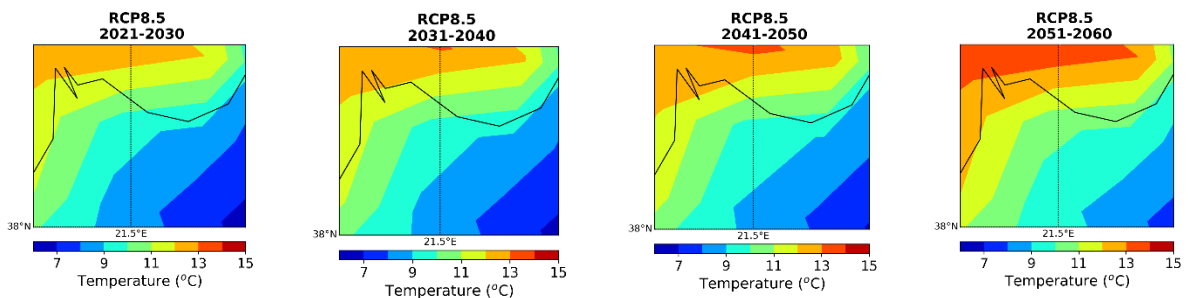
b)



c)



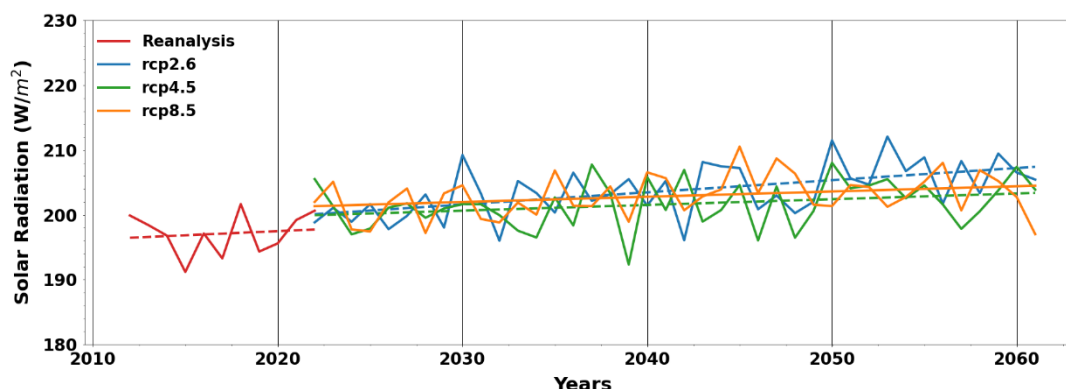
d)



Σχήμα 7. Μέση εποχική θερμοκρασία κατά την ιστορική περίοδο (a) 2011-2021 και κατά τις μελλοντικές περιόδους 2021-2030, 2031-2040, 2041-2050, 2051-2060, για κλιματικά σενάρια (b) RCP2.6, (c) RCP4.5 και (d) RCP8.5 στην πιλοτική περιοχή κατά τη χειμερινή περίοδο.

4.2 Ετήσια Ακτινοβολία

Στο Σχήμα 8 παρουσιάζονται οι χρονολογικές σειρές της μέσης ετήσιας ακτινοβολίας για την ιστορική περίοδο 2011-2021 και την μελλοντική περίοδο 2021-2060, για τα 3 κλιματικά σενάρια (RCP2.6, RCP4.5 και RCP8.5). Οι χρονολογικές σειρές δείχνουν την ακτινοβολία στην περιοχή να αυξάνεται ελαφρώς κατά την ιστορική περίοδο και να ακολουθεί ανοδική τάση κατά την μελλοντική περίοδο. Τα αποτελέσματα των κλιματικών προσομοιώσεων δείχνουν για τις επόμενες δεκαετίες, αύξηση της ακτινοβολίας στην περιοχή, σε σχέση με την περίοδο ιστορική περίοδο 2011-2021, σε όλα τα σενάρια και τις χρονικές περιόδους που μελετήθηκαν. Συγκεκριμένα, για το ευνοϊκότερο σενάριο RCP2.6, η ακτινοβολία προβλέπεται να έχει τη μεγαλύτερη αυξητική τάση συγκριτικά με τα άλλα δύο σενάρια ενώ για το ενδιάμεσο σενάριο RCP4.5 τη μικρότερη. Στην περίπτωση δυσμενούς σεναρίου RCP8.5 η ακτινοβολία ακολουθεί αυξητική τάση, σε σχέση με την περίοδο αναφοράς μέχρι το 2040, και στη συνέχεια μειώνεται ο ρυθμός αύξησης.



Σχήμα 8. Ετήσιες χρονολογικές σειρές της ακτινοβολίας για την ιστορική περίοδο 2011-2021 (κόκκινη γραμμή), και για τη μελλοντική περίοδο 2021-2060, για τα τρία κλιματικά σενάρια το RCP2.6 (μπλε γραμμή) το RCP4.5 (πράσινη γραμμή) και το RCP8.5 (πορτοκαλί γραμμή) στην πιλοτική περιοχή.

Στον Πίνακα 11, παρουσιάζονται οι (ποσοστιαίες) μεταβολές της ακτινοβολίας για διάφορες επιμέρους χρονικές περιόδους. Η θετική ποσοστιαία μεταβολή δηλώνει την αύξηση μέσης τιμής της ακτινοβολίας στη μετάβαση από τη μία χρονική περίοδο στην άλλη. Η ακτινοβολία έχει συνεχώς αυξητική τάση σε όλα τα σενάρια. Η αύξηση της ακτινοβολίας προβλέπεται να είναι μεγαλύτερη στον μακροπρόθεσμο χρονικό ορίζοντα (2051 - 2060), στην περίπτωση του ευνοϊκού

σεναρίου RCP2.6 (+9.6 W/m²) και μικρότερη στον μεσοπρόθεσμο χρονικό ορίζοντα (2031 – 2040), στο ενδιάμεσο σενάριο RCP4.5 (+3.7W/m²).

Πίνακας 11. Μεταβολή μέσης ακτινοβολίας (W/m²) (ποσοστιαία μεταβολή %) (ποσοστιαία μεταβολή %) για κάθε σενάριο παγκόσμιας εξέλιξης συγκεντρώσεων και χρονική περίοδο σε σχέση με την περίοδο αναφοράς

| Κλιματικό σενάριο | 2021-2030 | 2031-2040 | 2041-2050 | 2051-2060 |
|-------------------|------------|------------|------------|------------|
| RCP2.6 | 4.2 (2.1%) | 5.8 (2.9%) | 7.1 (3.6%) | 9.6 (4.9%) |
| RCP4.5 | 3.7 (1.9%) | 3.4 (1.7%) | 5 (2.6%) | 6.1 (3.0%) |
| RCP8.5 | 4.2 (2.1%) | 5.5 (2.7%) | 7.3 (3.7%) | 6.3 (3.1%) |

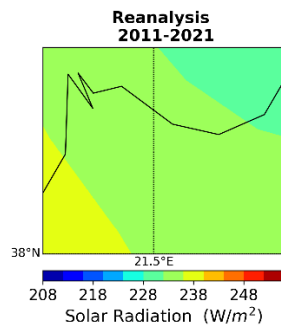
Στον Πίνακα 12 παρουσιάζονται οι (ποσοστιαίες) μεταβολές της ακτινοβολίας για κάθε εποχή κατά την περίοδο 2021-2060 για τα 3 κλιματικά σενάρια (RCP2.6, RCP4.5 και RCP8.5). Στην πιλοτική περιοχή η μέση ακτινοβολία αναμένεται να αυξηθεί σε όλες τις εποχές. Η μεγαλύτερη αύξηση προβλέπεται κατά τη θερινή περίοδο και θα κυμανθεί από 10.19 W/m² (RCP8.5) μέχρι 12.51 W/m² (RCP2.6). Η μικρότερη αύξηση της ακτινοβολίας σημειώνεται στο ενδιάμεσο σενάριο (RCP4.5) για όλες τις εποχές.

Πίνακας 12. Μεταβολή μέσης ακτινοβολίας (W/m²) (ποσοστιαία μεταβολή %) (ποσοστιαία μεταβολή %) για κάθε σενάριο παγκόσμιας εξέλιξης συγκεντρώσεων και εποχή σε σχέση με την περίοδο αναφοράς.

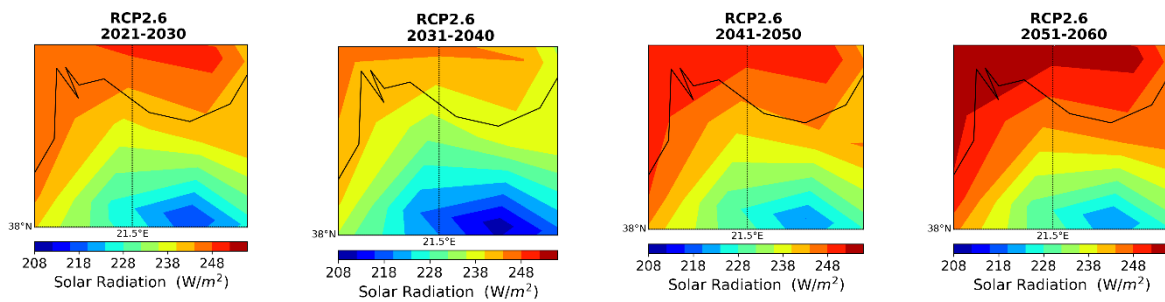
| σε σχέση με την περίοδο αναφοράς (2011-2021) | | | | |
|--|-------------|--------------|-------------|-------------|
| Κλιματικό σενάριο | Άνοιξη | Καλοκαίρι | Φθινόπωρο | Χειμώνας |
| RCP2.6 | 6.66 (2.9%) | 12.51 (4.2%) | 3.99 (2.6%) | 3.46 (3.5%) |
| RCP4.5 | 3.3 (1.4%) | 10.72 (3.6%) | 2.91 (1.9%) | 1.32 (1.3%) |
| RCP8.5 | 5.19 (2.2%) | 10.19 (3.4%) | 3.15 (2%) | 4.73 (4.8%) |

Στα παρακάτω σχήματα (Σχήμα 9-Σχήμα 12) απεικονίζονται οι χάρτες των μέσων ετήσιων ακτινοβολιών για κάθε εποχή κατά την ιστορική περίοδο (2011-2021) και για την μελλοντική περίοδο (2021-2060) ανά σενάριο και χρονικό ορίζοντα. Στον μακροπρόθεσμο ορίζοντα αναμένονται οι μεγαλύτερες αυξήσεις της ακτινοβολίας σε όλες τις εποχές κυρίως στην περίπτωση του ευνοϊκού σεναρίου.

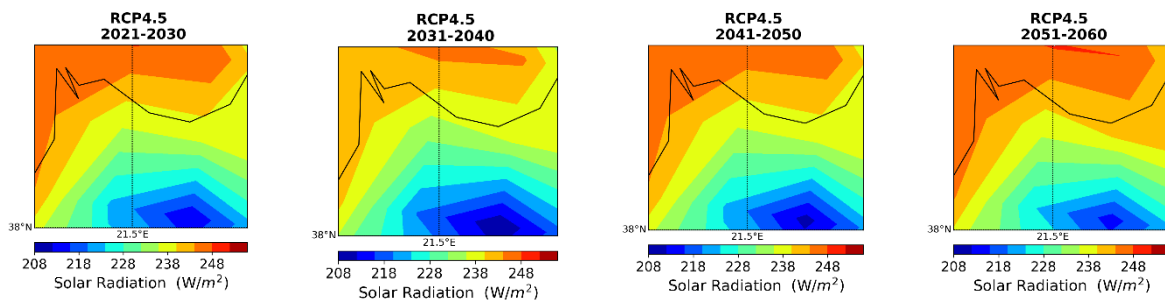
a)



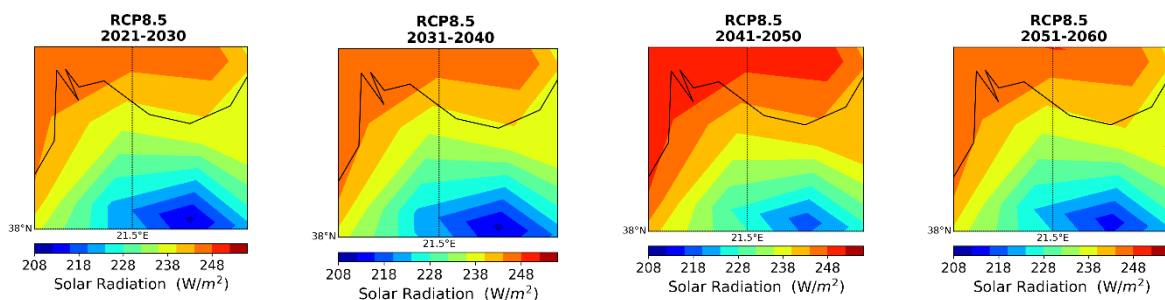
b)



c)

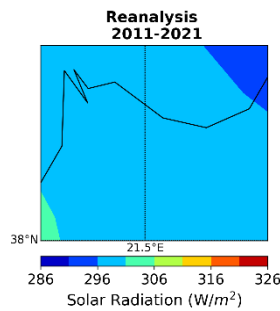


d)

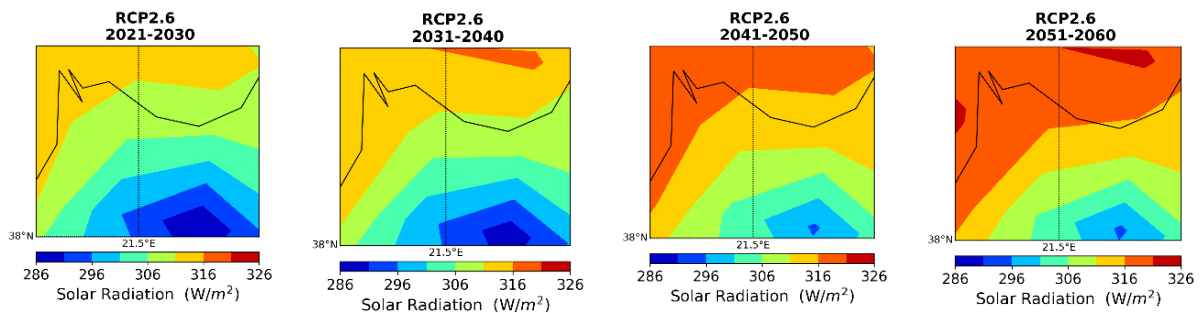


Σχήμα 9. Μέση εποχική ακτινοβολία κατά την ιστορική περίοδο (α) 2011-2021 και κατά τις μελλοντικές περιόδους 2021-2030, 2031-2040, 2041-2050, 2051-2060, για κλιματικά σενάρια (b) RCP2.6, (c) RCP4.5 και (d) RCP8.5 στην πιλοτική περιοχή κατά την ανοιξιάτικη περίοδο.

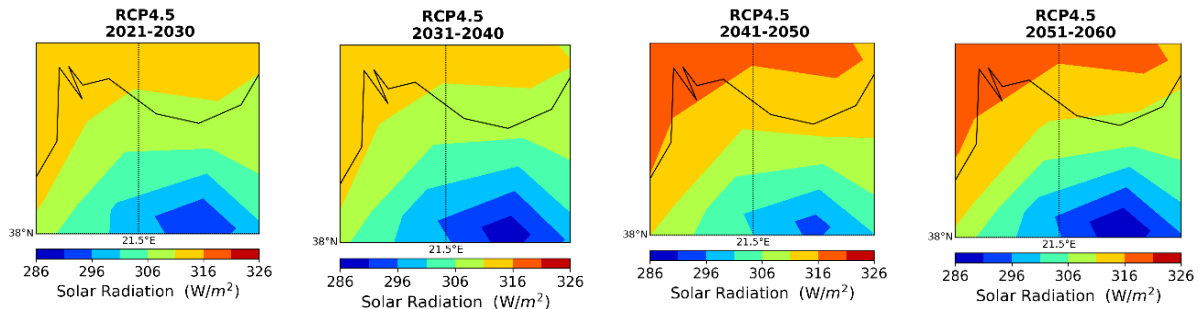
a)



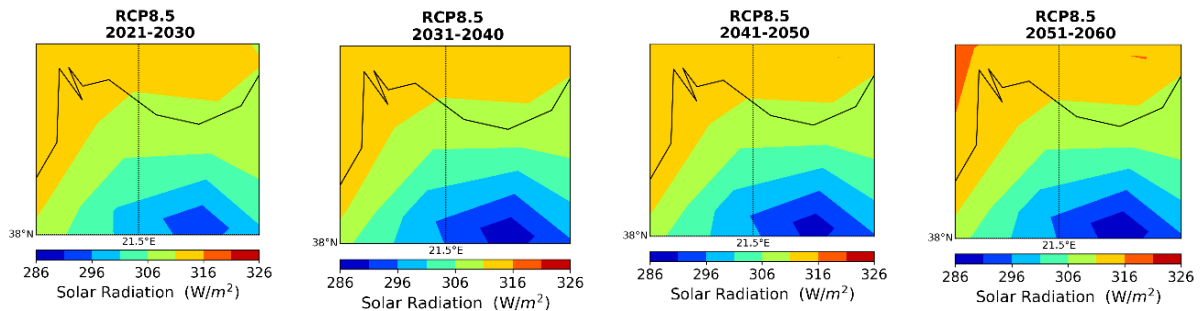
b)



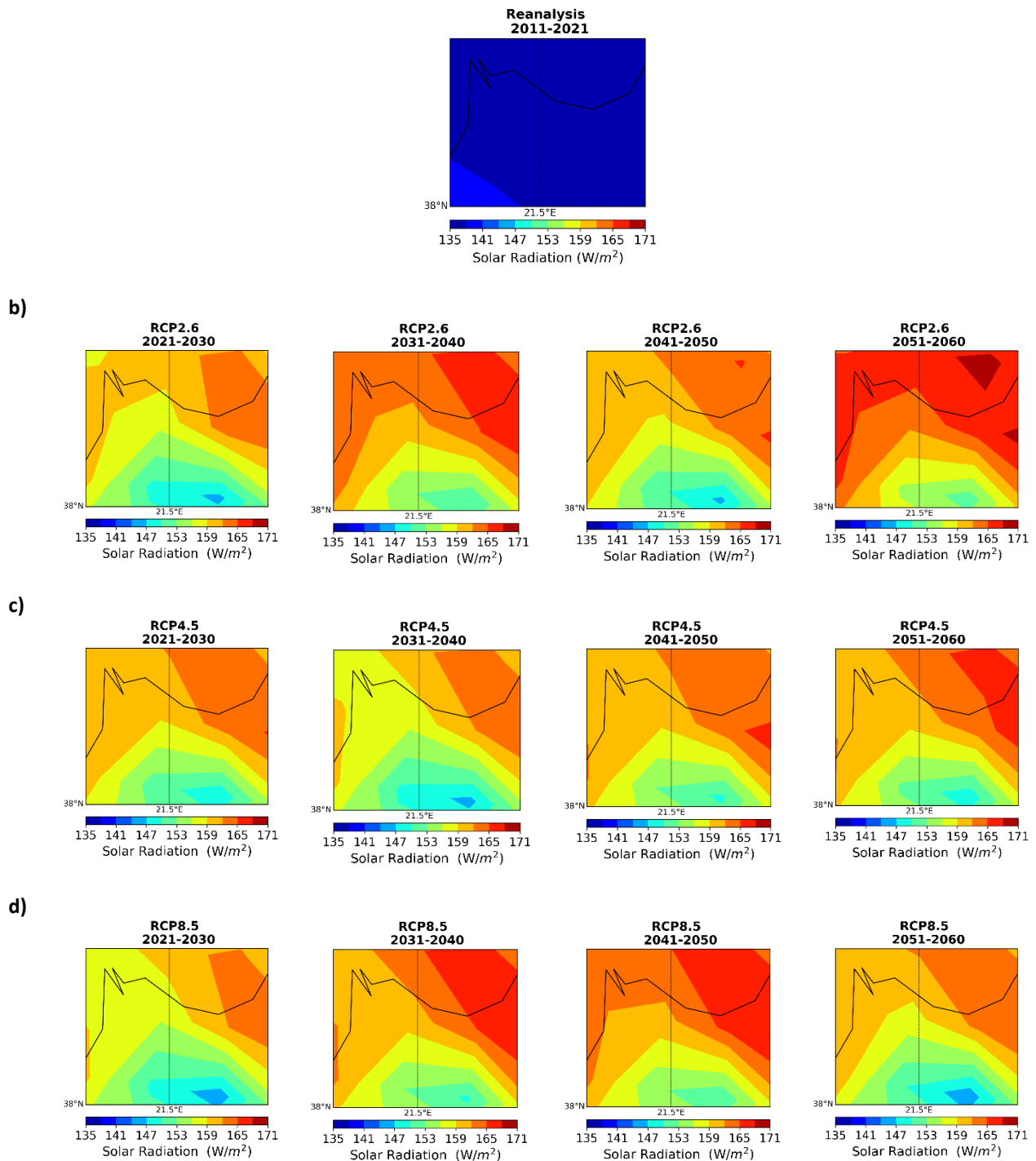
c)



d)

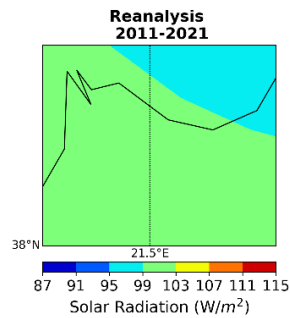


Σχήμα 10. Μέση εποχική ακτινοβολία κατά την ιστορική περίοδο (a) 2011-2021 και κατά τις μελλοντικές περιόδους 2021-2030, 2031-2040, 2041-2050, 2051-2060, για κλιματικά σενάρια (b) RCP2.6, (c) RCP4.5 και (d) RCP8.5 στην πιλοτική περιοχή κατά τη θερινή περίοδο.

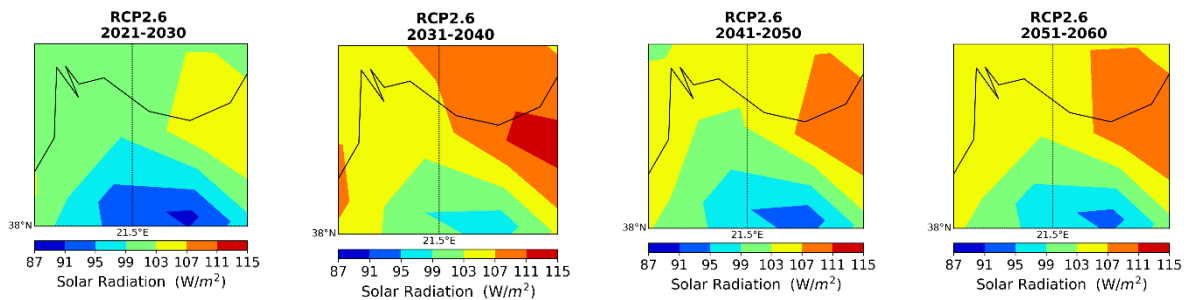


Σχήμα 11. Μέση εποχική ακτινοβολία κατά την ιστορική περίοδο (α) 2011-2021 και κατά τις μελλοντικές περιόδους 2021-2030, 2031-2040, 2041-2050, 2051-2060, για κλιματικά σενάρια (β) RCP2.6, (γ) RCP4.5 και (δ) RCP8.5 στην πιλοτική περιοχή κατά τη φθινοπωρινή περίοδο.

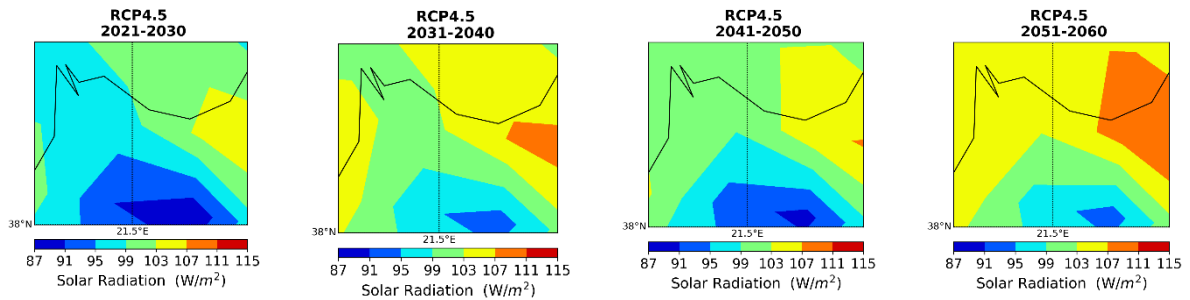
a)



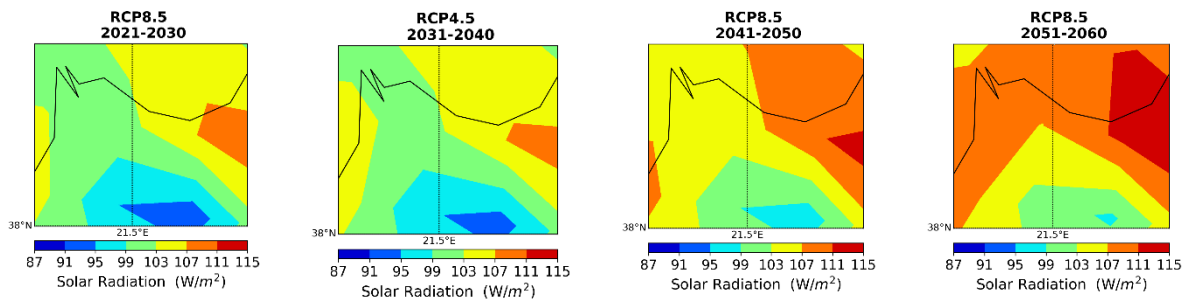
b)



c)



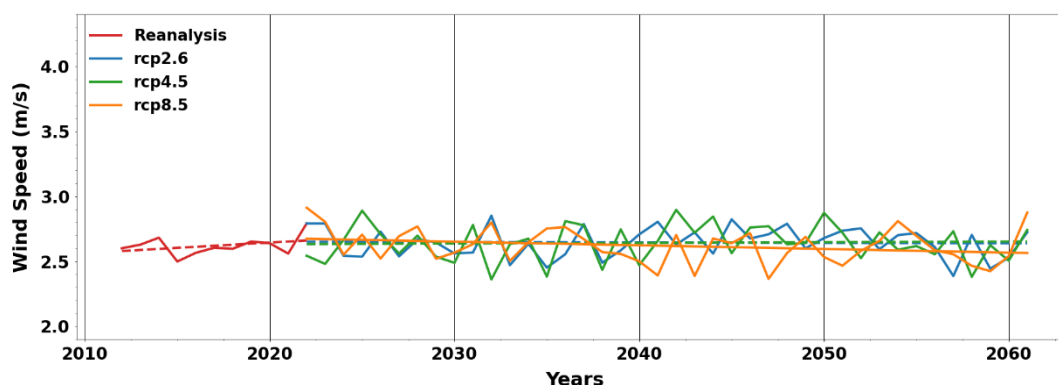
d)



Σχήμα 12. Μέση εποχική ακτινοβολία κατά την ιστορική περίοδο (α) 2011-2021 και κατά τις μελλοντικές περιόδους 2021-2030, 2031-2040, 2041-2050, 2051-2060, για κλιματικά σενάρια (b) RCP2.6, (c) RCP4.5 και (d) RCP8.5 στην πιλοτική περιοχή κατά τη χειμερινή περίοδο.

4.3 Άνεμος

Στο Σχήμα 13 παρουσιάζονται οι χρονολογικές σειρές της μέσης ετήσιας ταχύτητας του ανέμου για την ιστορική περίοδο 2011-2021 και την μελλοντική περίοδο 2021-2060, για τα 3 κλιματικά σενάρια (RCP2.6, RCP4.5 και RCP8.5). Από πλευράς ανέμων δεν αναμένονται σημαντικές αλλαγές στην περιοχή μελέτης σε σχέση με την περίοδο αναφοράς. Στην περίπτωση του δυσμενούς σεναρίου (RCP8.5) η τάση της ταχύτητας του ανέμου είναι ελαφρώς μειωτική μετά το 2040.



Σχήμα 13 Ετήσιες χρονολογικές σειρές της ταχύτητας του ανέμου για την ιστορική περίοδο 2011-2021 (κόκκινη γραμμή), και για τη μελλοντική περίοδο 2021-2060, για τα τρία κλιματικά σενάρια το RCP2.6 (μπλε γραμμή) το RCP4.5 (πράσινη γραμμή) και το RCP8.5 (πορτοκαλί γραμμή) στην πιλοτική περιοχή.

Στον Πίνακα 13 παρουσιάζονται οι (ποσοστιαίες) μεταβολές της ταχύτητας του ανέμου για διάφορες επιμέρους χρονικές περιόδους. Η ανεπαίσθητη θετική ποσοστιαία μεταβολή δηλώνει την αύξηση μέσης τιμής της ταχύτητας του ανέμου στη μετάβαση από τη μία χρονική περίοδο στην άλλη.

Πίνακας 13. Μεταβολή μέσης ταχύτητας του ανέμου (m/s) (ποσοστιαία μεταβολή %) (ποσοστιαία μεταβολή %) για κάθε σενάριο παγκόσμιας εξέλιξης συγκεντρώσεων και χρονική περίοδο σε σχέση με την περίοδο αναφοράς.

| Κλιματικό σενάριο | 2021-2030 | 2031-2040 | 2041-2050 | 2051-2060 |
|-------------------|-------------|-------------|---------------|---------------|
| RCP2.6 | 0.02 (0.7%) | 0.01 (0.6%) | 0.07 (2.8%) | 0 (-0.1%) |
| RCP4.5 | 0.02 (0.6%) | -0.02 (-1%) | 0.12 (4.7%) | -0.02 (-0.8%) |
| RCP8.5 | 0.05 (1.9%) | 0 (-0.1%) | -0.05 (-1.8%) | 0 (0%) |

Στον Πίνακα 14 παρουσιάζονται οι ποσοστιαίες μεταβολές της ταχύτητας του ανέμου για κάθε εποχή κατά την περίοδο 2021-2060. Δεν αναμένονται μεταβολές της ταχύτητας του ανέμου στις

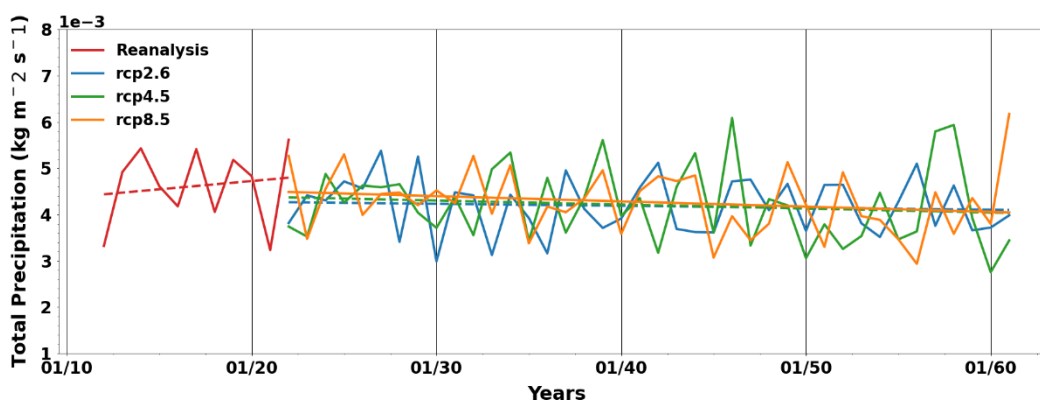
διάφορες εποχές του έτους. Η μέση ταχύτητα του ανέμου αναμένεται να αυξηθεί κατά τη θερινή και χειμερινή περίοδο και να μειωθεί την ανοιξιάτικη και φθινοπωρινή.

Πίνακας 14 Μεταβολή μέσης ταχύτητας του ανέμου (m/s) (ποσοστιαία μεταβολή %) για κάθε σενάριο παγκόσμιας εξέλιξης συγκεντρώσεων και εποχή σε σχέση με την περίοδο αναφοράς.

| σε σχέση με την περίοδο αναφοράς (2011-2021) | | | | |
|--|---------------|-------------|---------------|-------------|
| Κλιματικό σενάριο | Άνοιξη | Καλοκαίρι | Φθινόπωρο | Χειμώνας |
| RCP2.6 | -0.02 (-0.8%) | 0.05 (2.2%) | -0.05 (-2%) | 0.12 (4.1%) |
| RCP4.5 | -0.04 (-1.6%) | 0.04 (1.7%) | -0.11 (-4.2%) | 0.2 (6.8%) |
| RCP8.5 | -0.05 (-1.9%) | 0.05 (2.3%) | -0.1 (-4%) | 0.1 (3.3%) |

4.4 Ετήσια Βροχόπτωση

Στο **Σχήμα 14** απεικονίζονται οι χρονολογικές σειρές της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης για την ιστορική περίοδο 2011-2021 και την μελλοντική περίοδο 2021-2060, για τα 3 κλιματικά σενάρια (RCP2.6, RCP4.5 και RCP8.5). Οι χρονολογικές σειρές δείχνουν τη βροχόπτωση στην περιοχή να παραμένει σταθερή κατά την ιστορική περίοδο και να αυξάνεται ανεπαίσθητα στο τέλος της ιστορικής δεκαετίας. Ωστόσο η τάση της βροχόπτωσης προβλέπεται να είναι πτωτική κατά την μελλοντική περίοδο για όλα τα σενάρια κυρίως στον μακροπρόθεσμο χρονικό ορίζοντα (2051-2060).



Σχήμα 14. Ετήσιες χρονολογικές σειρές της βροχόπτωσης για την ιστορική περίοδο 2011-2021 (κόκκινη γραμμή), και για τη μελλοντική περίοδο 2021-2060, για τα τρία κλιματικά σενάρια το RCP2.6 (μπλε γραμμή) το RCP4.5 (πράσινη γραμμή) και το RCP8.5 (πορτοκαλί γραμμή) στην πιλοτική περιοχή.

Στον Πίνακα 15 παρουσιάζονται οι (ποσοστιαίες) μεταβολές της βροχόπτωσης σε σχέση με τις αντίστοιχες βροχοπτώσεις της ιστορικής περιόδου (2011-2021) για τις τέσσερις μελλοντικές δεκαετίες, για τα 3 κλιματικά σενάρια (RCP2.6, RCP4.5 και RCP8.5). Η αρνητική ποσοστιαία μεταβολή δηλώνει τη μείωση της μέσης τιμής της βροχόπτωσης στη μετάβαση από τη μία χρονική περίοδο στην άλλη. Η βροχόπτωση έχει συνεχώς καθοδική τάση σε όλα τα σενάρια. Η μείωση της βροχόπτωσης προβλέπεται να είναι ελαφρώς μεγαλύτερη σε σχέση με τα υπόλοιπα σενάρια στον μακροπρόθεσμο χρονικό ορίζοντα (2051 - 2060), στην περίπτωση του ενδιάμεσου σεναρίου RCP4.5.

Πίνακας 15. Μεταβολή μέσης βροχόπτωσης ($\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (ποσοστιαία μεταβολή %) για κάθε σενάριο παγκόσμιας εξέλιξης συγκεντρώσεων και χρονική περίοδο σε σχέση με την περίοδο αναφοράς.

| Μεταβολή της αθροιστικής βροχόπτωσης σε σχέση με την περίοδο αναφοράς (2011-2021) | | | | |
|---|-----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|
| Κλιματικό σενάριο | 2021-2030 | 2031-2040 | 2041-2050 | 2051-2060 |
| RCP2.6 | -2.1 E-06 (-0.06%) | -4.0E-06 (-0.12%) | -2.5 E-06 (-0.08%) | -3.7E-06 (-0.12%) |
| RCP4.5 | -2.8E-06 (-0.09%) | -1.8E-06 (-0.05%) | -3.4E-06 (-0.1%) | -4.3E-06 (-0.14%) |
| RCP8.5 | -1.2E-06 (-0.04%) | -2.1E-06 (-0.06%) | -3.4E-06 (-0.1%) | -3.1E-06 (-0.1%) |

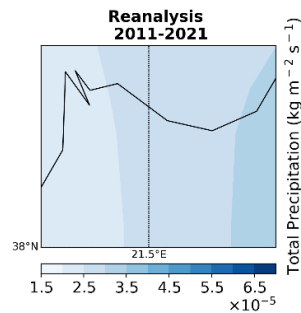
Στον Πίνακα 16 παρουσιάζονται οι (ποσοστιαίες) μεταβολές της βροχόπτωσης για κάθε εποχή σε σχέση με τις αντίστοιχες εποχές της ιστορικής περιόδου (2011-2021), για τα 3 κλιματικά σενάρια (RCP2.6, RCP4.5 και RCP8.5). Η μέση βροχόπτωση αναμένεται να μειωθεί σε όλες τις εποχές με μόνη εξαίρεση το φθινόπωρο, όπου δεν φαίνεται σημαντική μεταβολή σε κανένα σενάριο. Η μεγαλύτερη ποσοστιαία μείωση προβλέπεται κατά τη θερινή περίοδο (0.3%) στην περίπτωση του ενδιάμεσου σεναρίου(RCP4.5).

Πίνακας 16. Μεταβολή μέσης βροχόπτωσης ($\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (ποσοστιαία μεταβολή %) για κάθε σενάριο παγκόσμιας εξέλιξης συγκεντρώσεων και εποχή σε σχέση με την περίοδο αναφοράς.

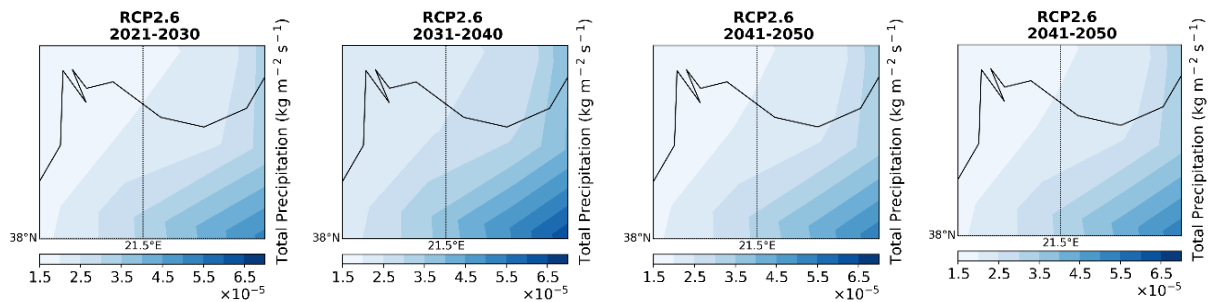
| Κλιματικό σενάριο | Άνοιξη | Καλοκαίρι | Φθινόπωρο | Χειμώνας |
|-------------------|----------------------|---------------------|--------------------|----------------------|
| RCP2.6 | -2.27E-06 (-0.1%) | -1.3E-06 (-0.2%) | -5.7E-07 (0%) | -8.0E-06 (-0.14%) |
| RCP4.5 | -2.23E-06 (-0.1%) | -2.0E-06 (-0.3%) | 1.0 E-07 (0%) | -8.2E-06 (-0.14%) |
| RCP8.5 | -2.08E-06 (-0.1%) | 3.8E-07 (0.1%) | 1.6E-06 (0.04%) | -9.6E-06 (-0.17%) |

Στα παρακάτω σχήματα (Σχήμα 15-Σχήμα 18) απεικονίζονται οι χάρτες των μέσων συνολικών βροχοπτώσεων κάθε εποχή κατά την ιστορική περίοδο (2011-2021) και για την μελλοντική περίοδο (2021-2060) ανά σενάριο και χρονικό ορίζοντα. Στον μακροπρόθεσμο ορίζοντα αναμένονται οι μεγαλύτερες μειώσεις της βροχόπτωσης σε όλες τις εποχές .

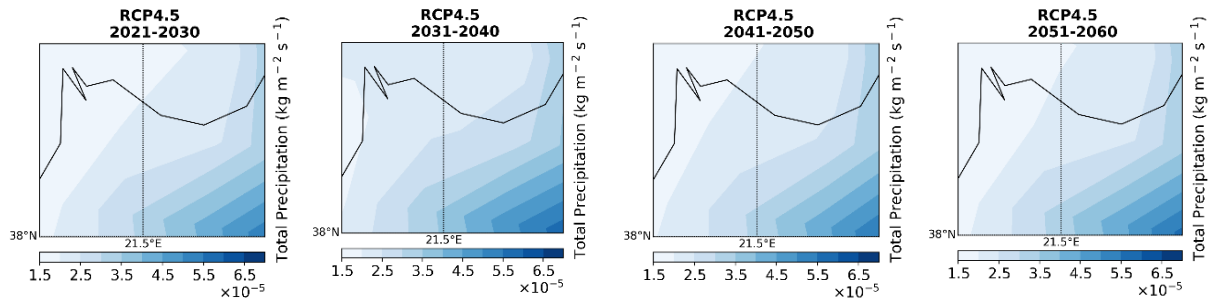
a)



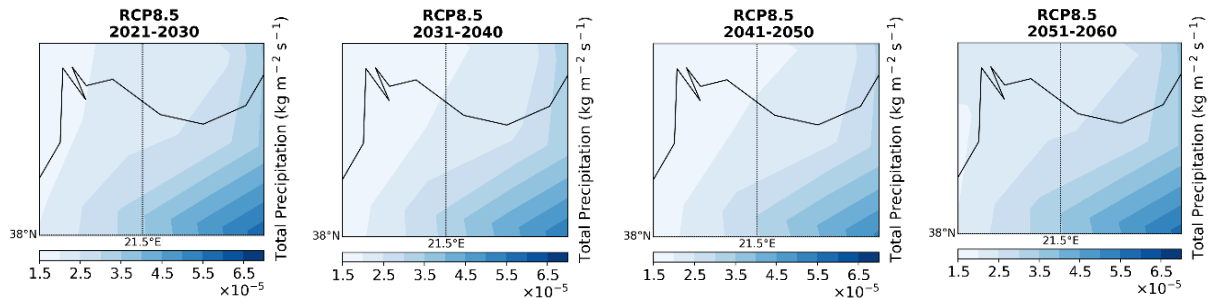
b)



c)

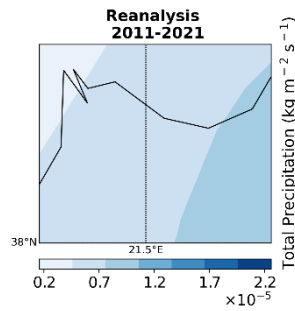


d)

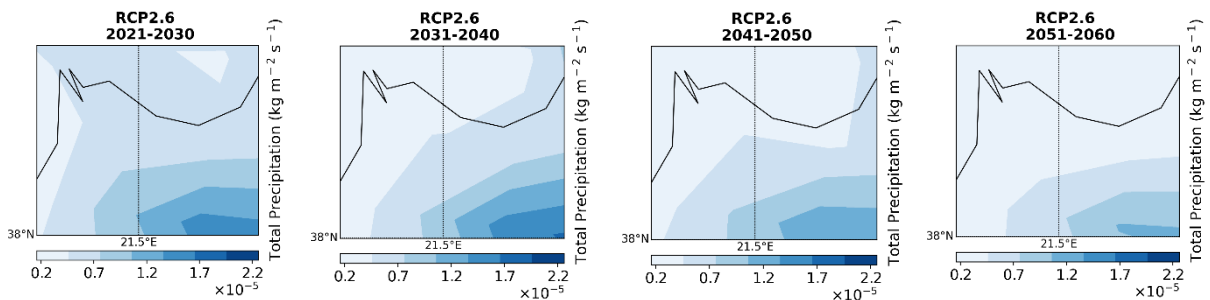


Σχήμα 15. Μέση εποχική βροχόπτωση κατά την ιστορική περίοδο (a) 2011-2021 και κατά τις μελλοντικές περιόδους 2021-2030, 2031-2040, 2041-2050, 2051-2060, για κλιματικά σενάρια (b) RCP2.6, (c) RCP4.5 και (d) RCP8.5 στην πιλοτική περιοχή κατά την ανοιξιάτικη περίοδο.

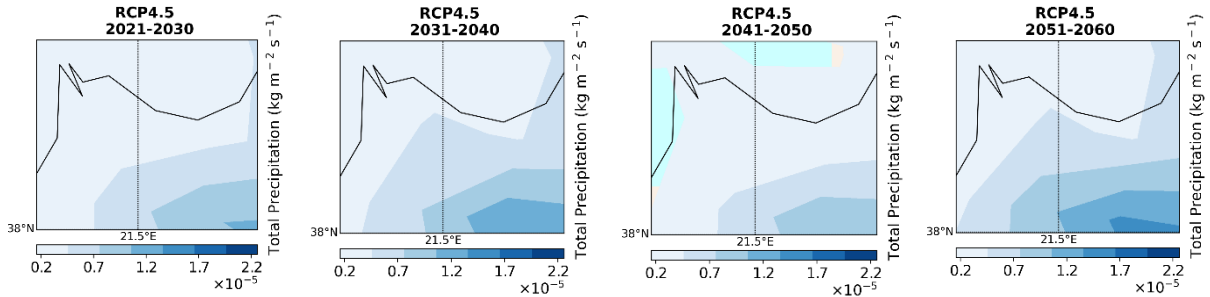
a)



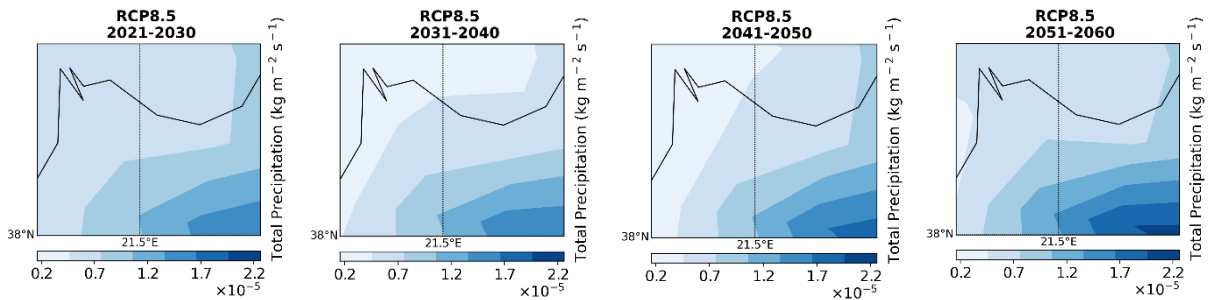
b)



c)

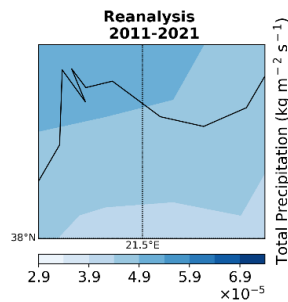


d)

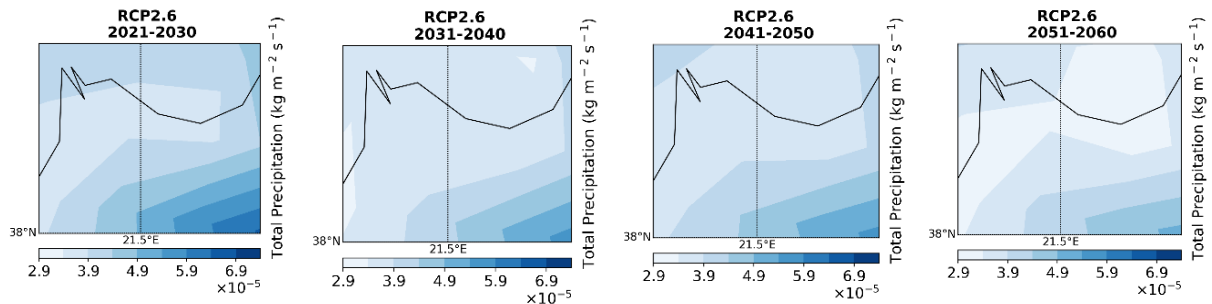


Σχήμα 16. Μέση εποχική βροχόπτωση κατά την ιστορική περίοδο (a) 2011-2021 και κατά τις μελλοντικές περιόδους 2021-2030, 2031-2040, 2041-2050, 2051-2060, για κλιματικά σενάρια (b) RCP2.6, (c) RCP4.5 και (d) RCP8.5 στην πιλοτική περιοχή κατά τη θερινή περίοδο.

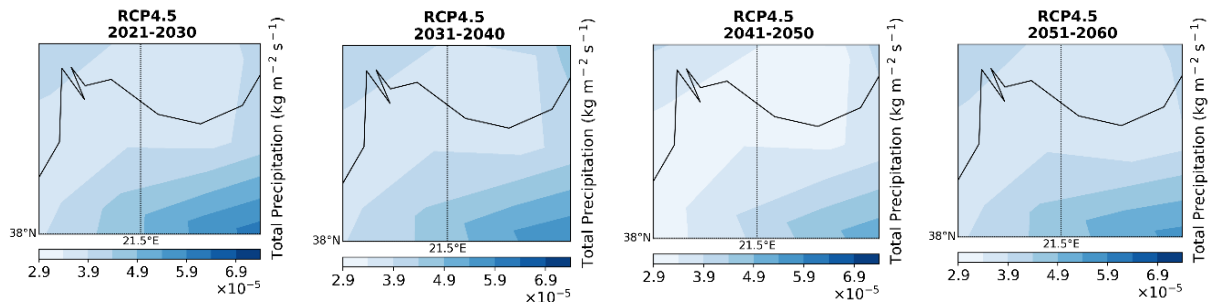
a)



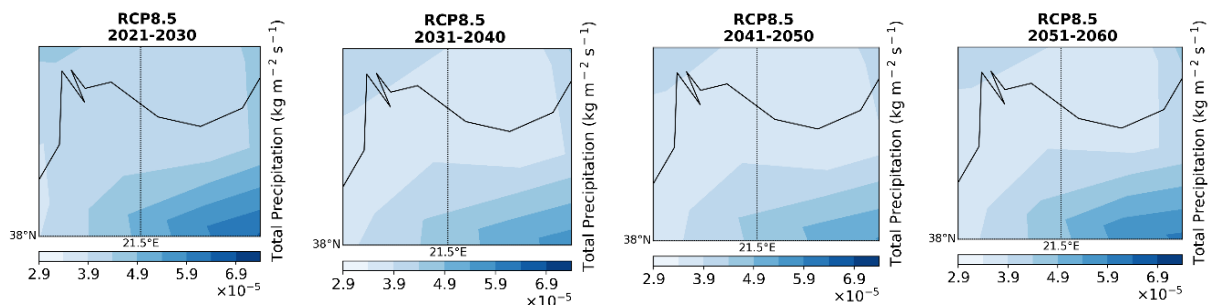
b)



c)

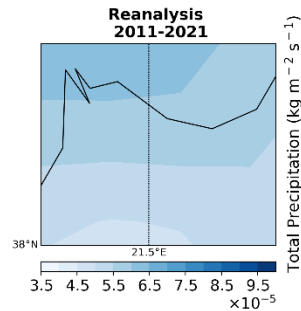


d)

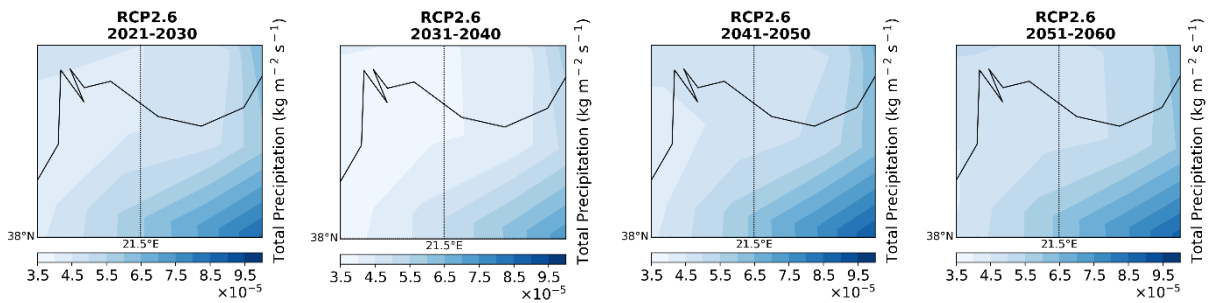


Σχήμα 17. Μέση εποχική βροχόπτωση κατά την ιστορική περίοδο (a) 2011-2021 και κατά τις μελλοντικές περιόδους 2021-2030, 2031-2040, 2041-2050, 2051-2060, για κλιματικά σενάρια (b) RCP2.6, (c) RCP4.5 και (d) RCP8.5 στην πιλοτική περιοχή κατά τη φθινοπωρινή περίοδο.

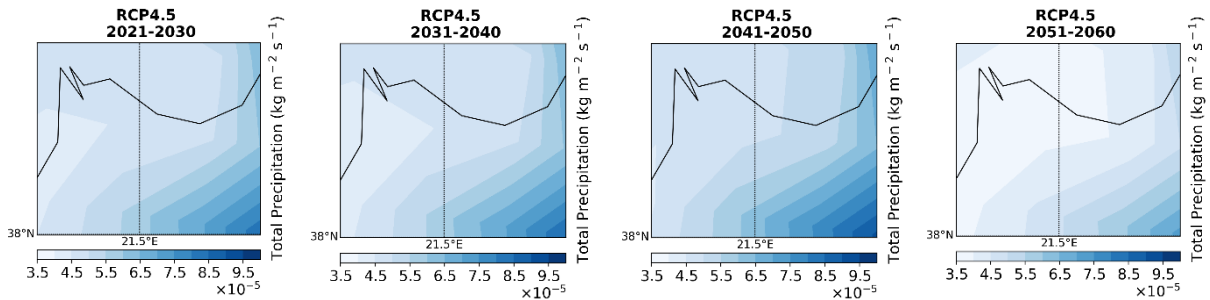
a)



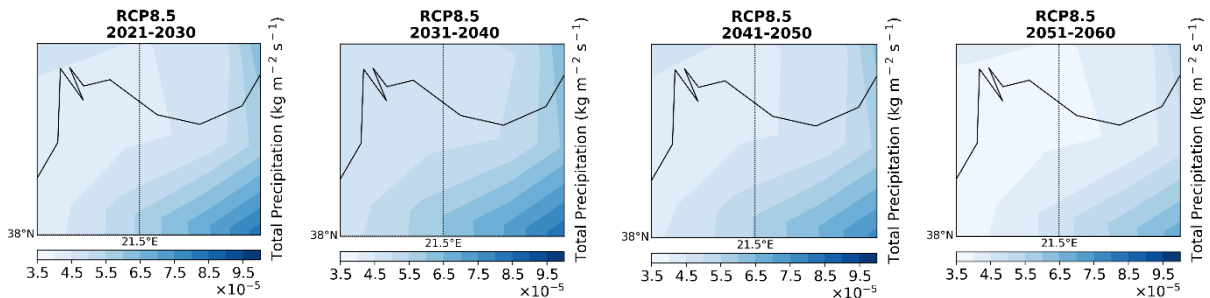
b)



c)



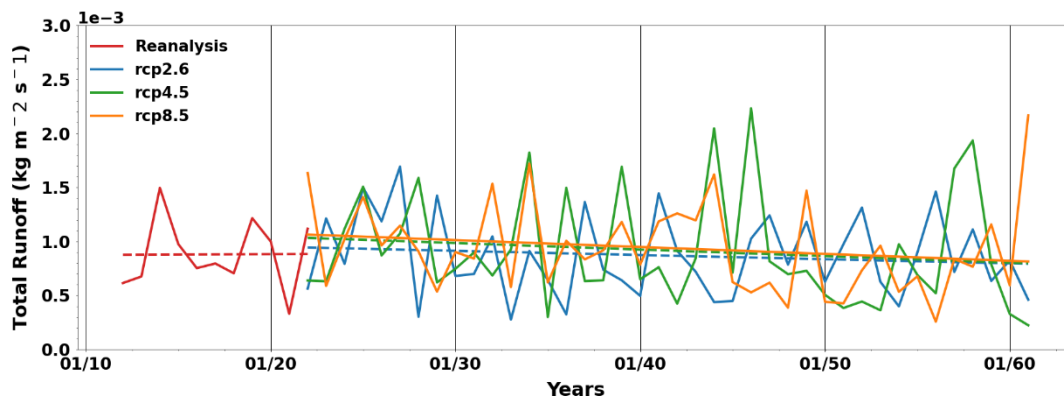
d)



Σχήμα 18. Μέση εποχική βροχόπτωση κατά την ιστορική περίοδο (a) 2011-2021 και κατά τις μελλοντικές περιόδους 2021-2030, 2031-2040, 2041-2050, 2051-2060, για κλιματικά σενάρια (b) RCP2.6, (c) RCP4.5 και (d) RCP8.5 στην πιλοτική περιοχή κατά τη χειμερινή περίοδο.

4.5 Ετήσια Απορροή

Στο **Σχήμα 19** απεικονίζονται οι χρονολογικές σειρές της μέσης ετήσιας βροχοπτώσης για την ιστορική περίοδο 2011-2021 και την μελλοντική περίοδο 2021-2060, για τα 3 κλιματικά σενάρια (RCP2.6, RCP4.5 και RCP8.5). Οι χρονολογικές σειρές δείχνουν την απορροή στην περιοχή να παραμένει σταθερή κατά την ιστορική περίοδο. Τα αποτελέσματα των κλιματικών προσομοιώσεων δείχνουν για τις επόμενες δεκαετίες, μείωση της μέσης απορροής στην περιοχή, σε σχέση με την περίοδο ιστορική περίοδο 2011-2021, σε όλα τα σενάρια και τις χρονικές περιόδους που μελετήθηκαν.



Σχήμα 19. Ετήσιες χρονολογικές σειρές της απορροής για την ιστορική περίοδο 2011-2021 (κόκκινη γραμμή), και για τη μελλοντική περίοδο 2021-2060, για τα τρία κλιματικά σενάρια το RCP2.6 (μπλε γραμμή) το RCP4.5 (πράσινη γραμμή) και το RCP8.5 (πορτοκαλί γραμμή) στην πιλοτική περιοχή.

Στον Πίνακα 17 παρουσιάζονται οι (ποσοστιαίες) μεταβολές της απορροής σε σχέση με τις αντίστοιχες βροχοπτώσεις της ιστορικής περιόδου (2011-2021) για τις τέσσερις μελλοντικές δεκαετίες για τα 3 κλιματικά σενάρια (RCP2.6, RCP4.5 και RCP8.5). Για το ευνοϊκότερο σενάριο RCP2.6, η θερμοκρασία προβλέπεται να ακολουθεί καθοδική τάση μετά το 2030. Στην περίπτωση του ενδιάμεσου σεναρίου RCP4.5, προβλέπεται μια μικρή αύξηση της απορροής μέχρι το 2041 και στη συνέχεια μείωση. Σύμφωνα με το δυσμενές σενάριο RCP8.5, από το 2041 κι έπειτα θα αρχίσει η ποσότητα της απορροής να μειώνεται.

Πίνακας 17. Μεταβολή μέσης απορροής ($\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (ποσοστιαία μεταβολή %) για κάθε σενάριο παγκόσμιας εξέλιξης συγκεντρώσεων και χρονική περίοδο σε σχέση με την περίοδο αναφοράς.

| Μεταβολή της απορροής σε σχέση με την περίοδο αναφοράς (2011-2021) | | | | |
|--|---------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|
| Κλιματικό σενάριο | 2021-2030 | 2031-2040 | 2041-2050 | 2051-2060 |
| RCP2.6 | 1.14E-06 (0.14%) | -6.3E-07 (-0.1%) | -3.1 E-07 (-0.05%) | -2.5E-07 (-0.04%) |
| RCP4.5 | 8.34E-07 (0.1%) | 5.6E-07 (0.1%) | 4.1E-07 (0.07%) | -6.0E-07 (-0.1%) |
| RCP8.5 | 9.01E-07 (0.13%) | 1.1E-06 (0.2%) | -1.6E-07 (-0.03%) | -8.0 E-08 (-0.01%) |

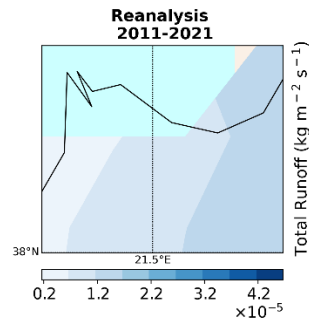
Στον Πίνακα 18 παρουσιάζονται οι ποσοστιαίες μεταβολές της απορροής για κάθε εποχή κατά την περίοδο 2021-2060. Στην πιλοτική περιοχή η μέση απορροή αναμένεται να μειωθεί την άνοιξη και να αυξηθεί το φθινόπωρο. Κατά τη θερινή περίοδο προβλέπεται μείωση για το ευνοϊκό (RCP2.6) και το ενδιάμεσο σενάριο (RCP4.5). Η μεγαλύτερη ποσοστιαία μείωση της απορροής προβλέπεται κατά τη χειμερινή περίοδο (0.5%) στην περίπτωση του ενδιάμεσου σεναρίου (RCP4.5).

Πίνακας 18. Μεταβολή μέσης απορροής ($\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (ποσοστιαία μεταβολή %) για κάθε σενάριο παγκόσμιας εξέλιξης συγκεντρώσεων και εποχή σε σχέση με την περίοδο αναφοράς.

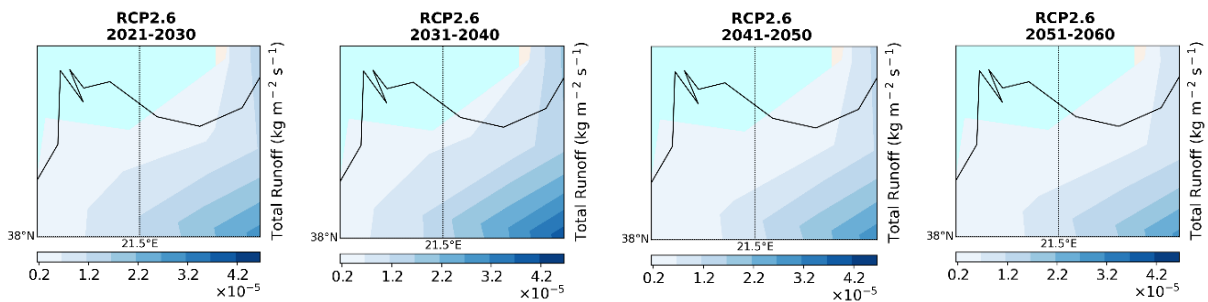
| Κλιματικό σενάριο | Άνοιξη | Καλοκαίρι | Φθινόπωρο | Χειμώνας |
|-------------------|----------------------|-----------------------|--------------------|---------------------|
| RCP2.6 | -1.2E-06 (-0.12%) | -5.3E-07 (-0.21%) | 8.3E-07 (0.3%) | 5.4E-07 (0.06%) |
| RCP4.5 | -2.3E-08 (0%) | -4.4 E-07 (-0.18%) | 1.6E-06 (0.5%) | -3.6E-07 (-0.5%) |
| RCP8.5 | -2.3E-06 (-0.24%) | 2.9 E-07 (0.12%) | 1.7 E-06 (0.6%) | 1.9 E-06 (0.21%) |

Στα παρακάτω σχήματα (Σχήμα 20-Σχήμα 23) απεικονίζονται οι χάρτες των μέσων συνολικών απορροών κάθε εποχή κατά την ιστορική περίοδο (2011-2021) και για την μελλοντική περίοδο (2021-2060) ανά σενάριο και χρονικό ορίζοντα.

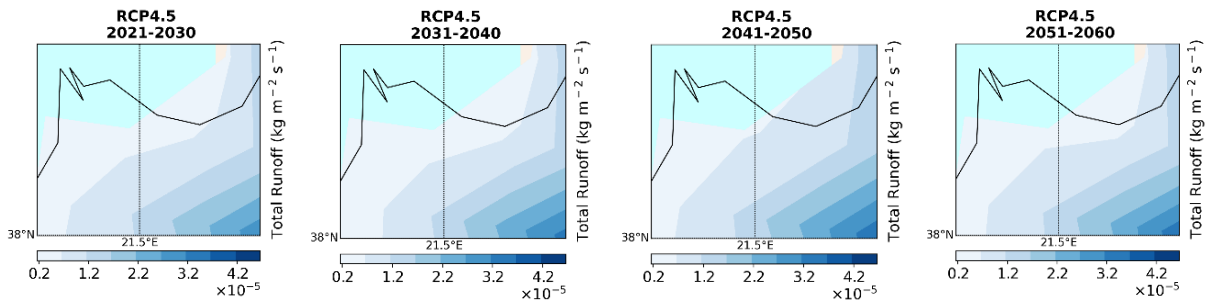
a)



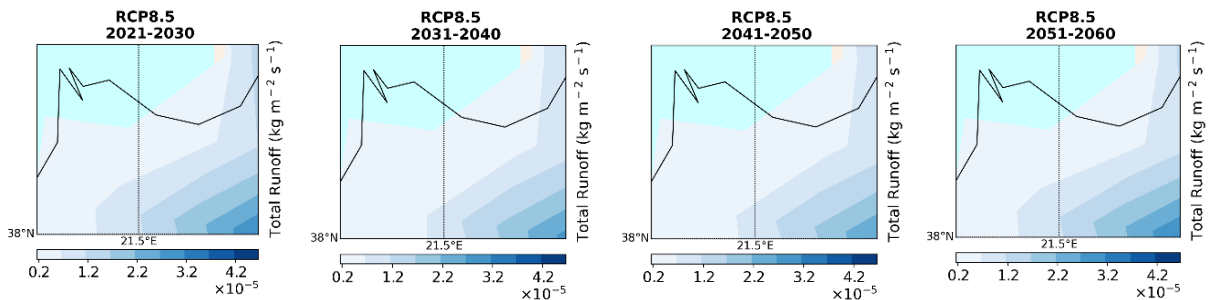
b)



c)

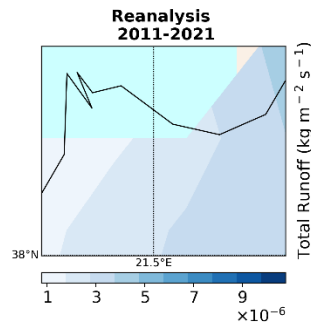


d)

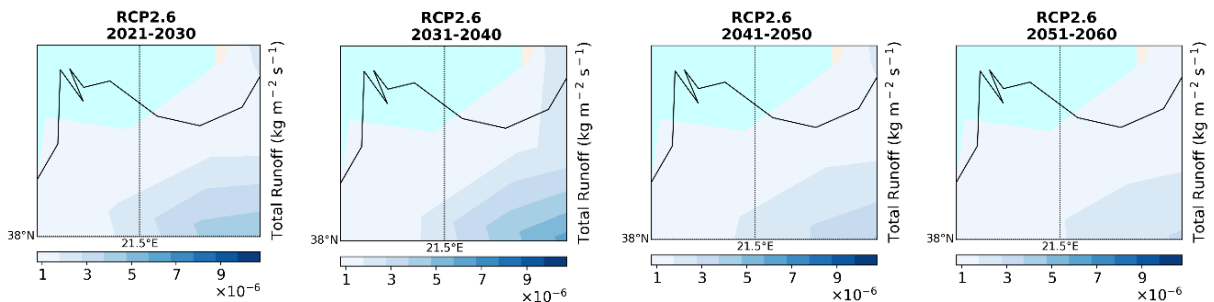


Σχήμα 20. Μέση εποχική απορροφή κατά την ιστορική περίοδο (a) 2011-2021 και κατά τις μελλοντικές περιόδους 2021-2030, 2031-2040, 2041-2050, 2051-2060, για κλιματικά σενάρια (b) RCP2.6, (c) RCP4.5 και (d) RCP8.5 στην πιλοτική περιοχή κατά την ανοιξιάτικη περίοδο.

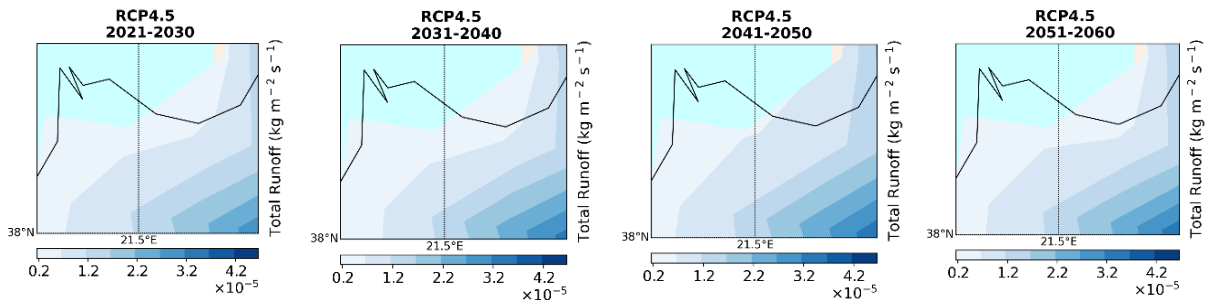
a)



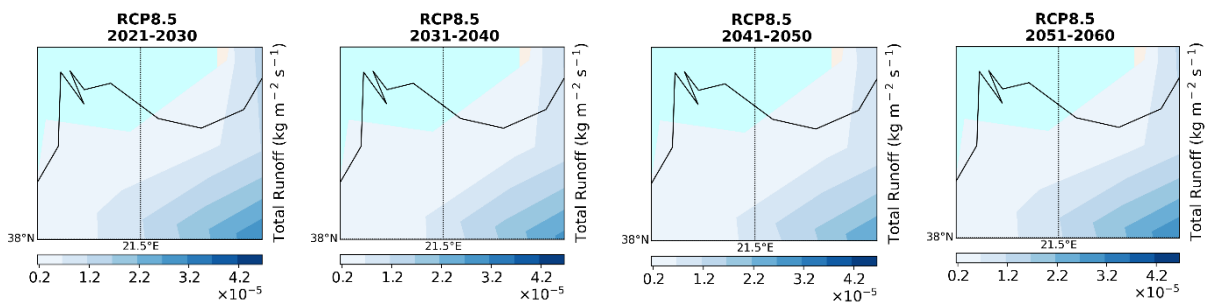
b)



c)

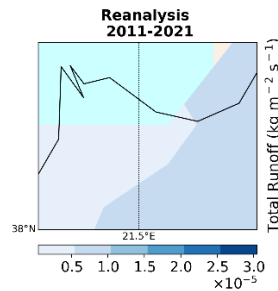


d)

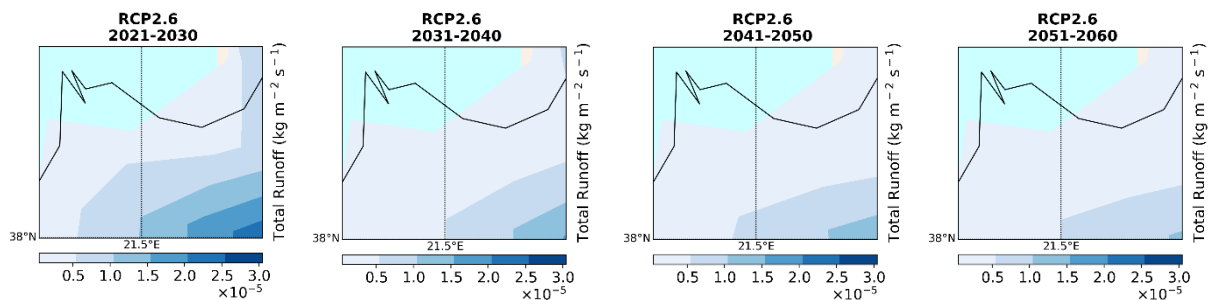


Σχήμα 21. Μέση εποχική απορροφή κατά την ιστορική περίοδο (a) 2011-2021 και κατά τις μελλοντικές περιόδους 2021-2030, 2031-2040, 2041-2050, 2051-2060, για κλιματικά σενάρια (b) RCP2.6, (c) RCP4.5 και (d) RCP8.5 στην πιλοτική περιοχή κατά τη θερινή περίοδο.

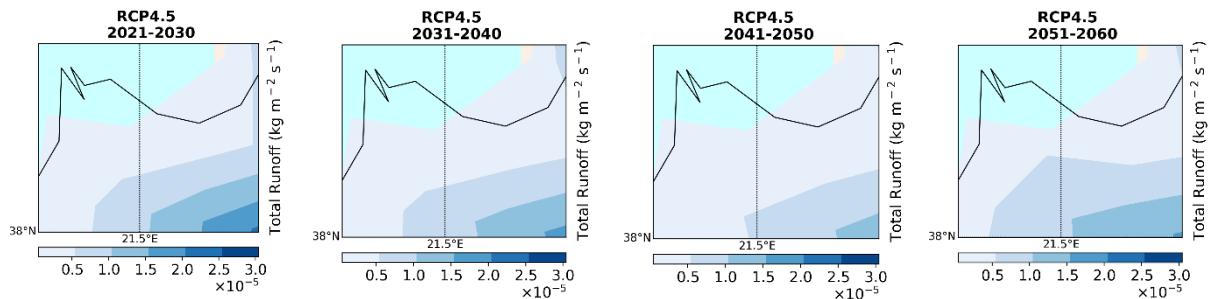
a)



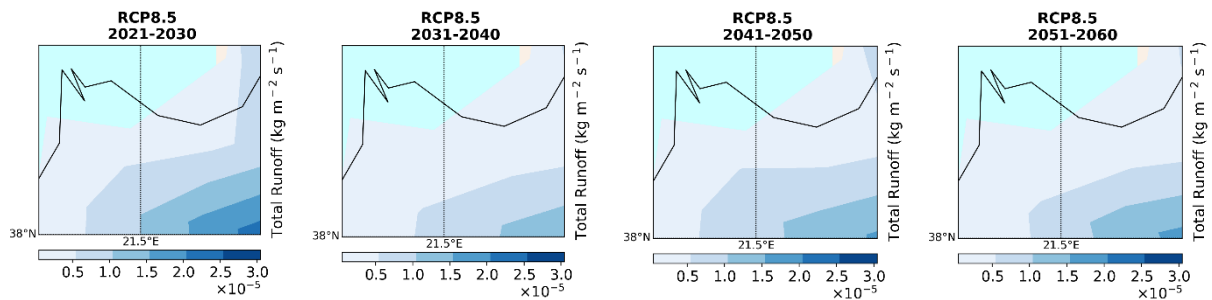
b)



c)

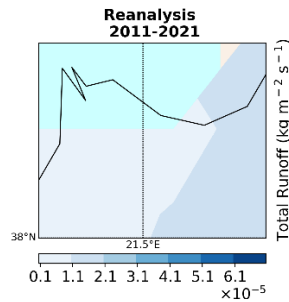


d)

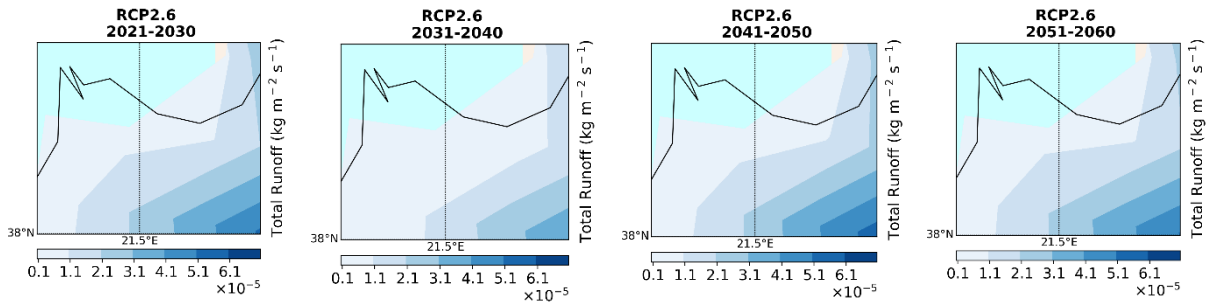


Σχήμα 22. Μέση εποχική απορροή κατά την ιστορική περίοδο (a) 2011-2021 και κατά τις μελλοντικές περιόδους 2021-2030, 2031-2040, 2041-2050, 2051-2060, για κλιματικά σενάρια (b) RCP2.6, (c) RCP4.5 και (d) RCP8.5 στην πιλοτική περιοχή κατά τη φθινοπωρινή περίοδο.

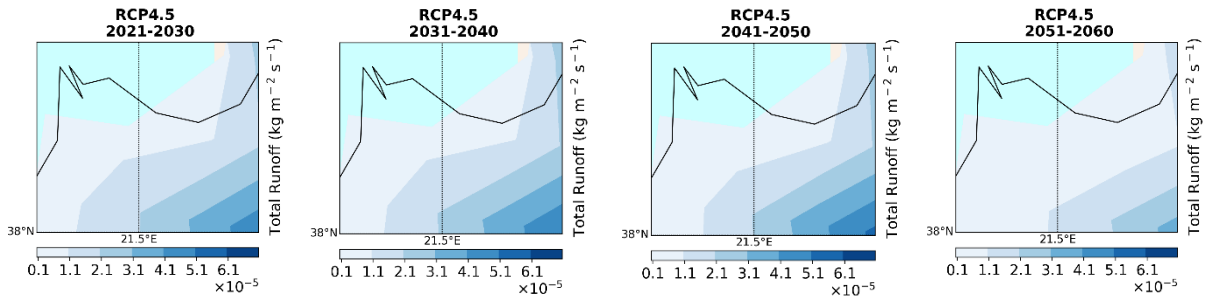
a)



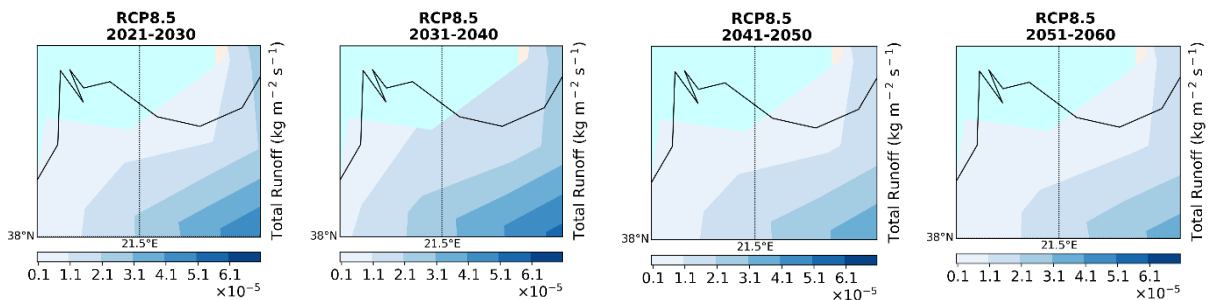
b)



c)



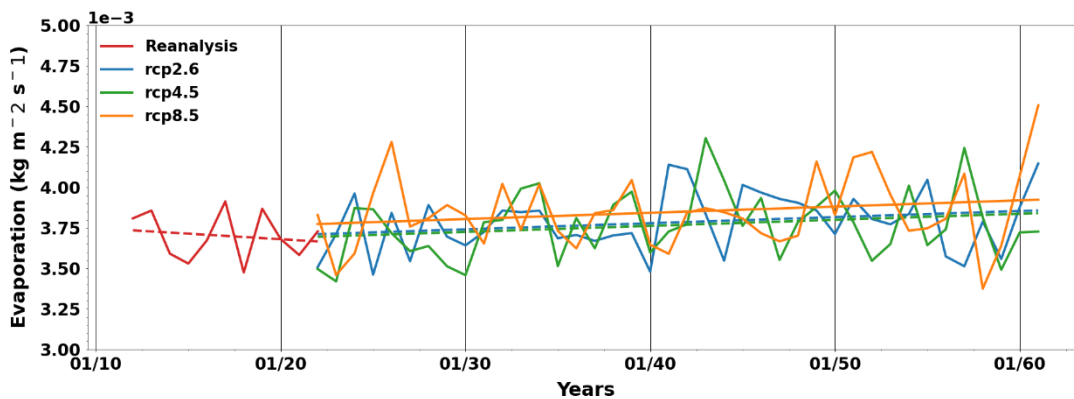
d)



Σχήμα 23. Μέση εποχική απορροή κατά την ιστορική περίοδο (a) 2011-2021 και κατά τις μελλοντικές περιόδους 2021-2030, 2031-2040, 2041-2050, 2051-2060, για κλιματικά σενάρια (b) RCP2.6, (c) RCP4.5 και (d) RCP8.5 στην πιλοτική περιοχή κατά τη χειμερινή περίοδο.

4.6 Εξάτμιση

Στο **Σχήμα 24** απεικονίζονται οι χρονολογικές σειρές της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης για την ιστορική περίοδο 2011-2021 και την μελλοντική περίοδο 2021-2060, για τα 3 κλιματικά σενάρια (RCP2.6, RCP4.5 και RCP8.5). Οι χρονολογικές σειρές δείχνουν την εξάτμιση να έχει ελαφρώς πτωτική τάση στην περιοχή να κατά την ιστορική περίοδο και να ακολουθεί ανοδική τάση κατά την μελλοντική περίοδο. Τα αποτελέσματα των κλιματικών προσομοιώσεων δείχνουν για τις επόμενες δεκαετίες, αύξηση της μέσης εξάτμισης στην περιοχή, σε σχέση με την περίοδο ιστορική περίοδο 2011-2021, σε όλα τα σενάρια και τις χρονικές περιόδους που μελετήθηκαν. Για το δυσμενές σενάριο RCP8.5, προβλέπεται η μεγαλύτερη αύξηση της εξάτμισης για την περιοχή



Σχήμα 24. Ετήσιες χρονολογικές σειρές της για την ιστορική περίοδο 2011-2021 (κόκκινη γραμμή), και για τη μελλοντική περίοδο 2021-2060, για τα τρία κλιματικά σενάρια το RCP2.6 (μπλε γραμμή) το RCP4.5 (πράσινη γραμμή) και το RCP8.5 (πορτοκαλί γραμμή) στην πιλοτική περιοχή.

Στον Πίνακα 19 παρουσιάζονται οι (ποσοστιαίες) μεταβολές της εξάτμισης σε σχέση με τις αντίστοιχες της ιστορικής περιόδου (2011-2021) για τις τέσσερις μελλοντικές δεκαετίες για τα 3 κλιματικά σενάρια (RCP2.6, RCP4.5 και RCP8.5). Η θετική ποσοστιαία μεταβολή δηλώνει την αύξηση μέσης τιμής της εξάτμισης στη μετάβαση από τη μία χρονική περίοδο στην άλλη. Με εξαίρεση το βραχυπρόθεσμο ορίζοντα (2021-2030), η εξάτμιση έχει κυρίως αυξητική τάση σε όλα τα σενάρια για όλες τις επιμέρους δεκαετίες.

Πίνακας 19. Μεταβολή μέσης εξάτμισης ($\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (ποσοστιαία μεταβολή %) για κάθε σενάριο παγκόσμιας εξέλιξης συγκεντρώσεων και χρονική περίοδο σε σχέση με την περίοδο αναφοράς.

| Κλιματικό σενάριο | 2021-2030 | 2031-2040 | 2041-2050 | 2051-2060 |
|-------------------|-----------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------------|
| RCP2.6 | -5.1E-07 (-0.02%) | -7.2E-09 (0%) | 6.9E-07 (0.03%) | 8.9E-09 (0%) |
| RCP4.5 | -9.4E-07 (-0.04%) | 1.3E-07 (0.01%) | 4.9E-07 (0.02%) | -1.6E-07 (-0.01%) |
| RCP8.5 | 2.7E-07 (0.01%) | 1.4E-07 (0.01%) | 5.7E-07 (0.02%) | 8.0E-07 (0.03%) |

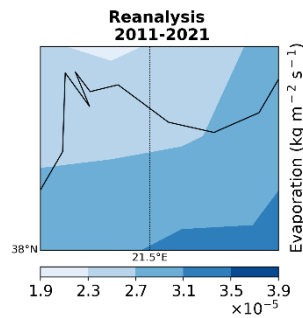
Στον Πίνακα 20 παρουσιάζονται οι (ποσοστιαίες) μεταβολές της εξάτμισης για κάθε εποχή σε σχέση με τις αντίστοιχες εποχές της ιστορικής περιόδου (2011-2021) για τα 3 κλιματικά σενάρια (RCP2.6, RCP4.5 και RCP8.5). Στην πιλοτική περιοχή η μέση εξάτμιση αναμένεται να αυξηθεί την άνοιξη και τον χειμώνα και να παραμείνει σταθερή κατά τη θερινή περίοδο. Ωστόσο, κατά τη φθινοπωρινή περίοδο προβλέπεται μείωση της εξάτμισης. Η μεγαλύτερη αύξηση της εξάτμισης σημειώνεται κατά τη χειμερινή περίοδο.

Πίνακας 20 Μεταβολή μέσης εξάτμισης ($\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (ποσοστιαία μεταβολή %) για κάθε σενάριο παγκόσμιας εξέλιξης συγκεντρώσεων και εποχή σε σχέση με την περίοδο αναφοράς.

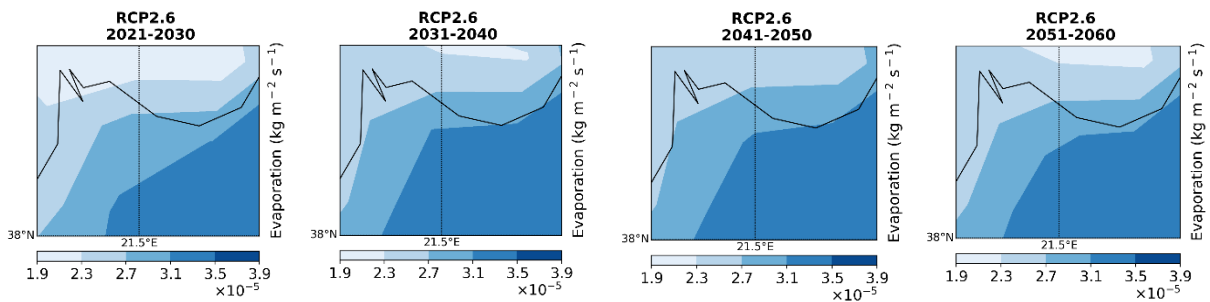
| Κλιματικό σενάριο | Άνοιξη | Καλοκαίρι | Φθινόπωρο | Χειμώνας |
|-------------------|-----------------------------|-------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| RCP2.6 | 3.3E-07 (0.01%) | 8.0E-07 (0%) | -4.6E-07 (-0.02%) | 1.3E-06 (0.06%) |
| RCP4.5 | -3.2E-07 (-0.01%) | -7.4E-07 (0%) | -8.5E-07 (-0.03%) | 1.4E-06 (0.06%) |
| RCP8.5 | 2.9 E-07 (0.01%) | 9.0E-07 (0%) | -6.0E-07 (-0.02%) | 2.0 E-06 (0.09%) |

Στα παρακάτω σχήματα (Σχήμα 25-Σχήμα 28) απεικονίζονται οι χάρτες των μέσων συνολικών απορροών κάθε εποχή κατά την ιστορική περίοδο (2011-2021) και για την μελλοντική περίοδο (2021-2060) ανά σενάριο και χρονικό ορίζοντα.

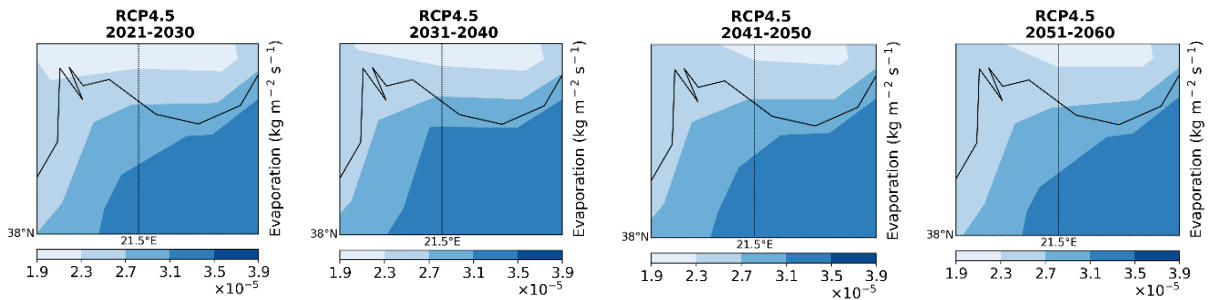
a)



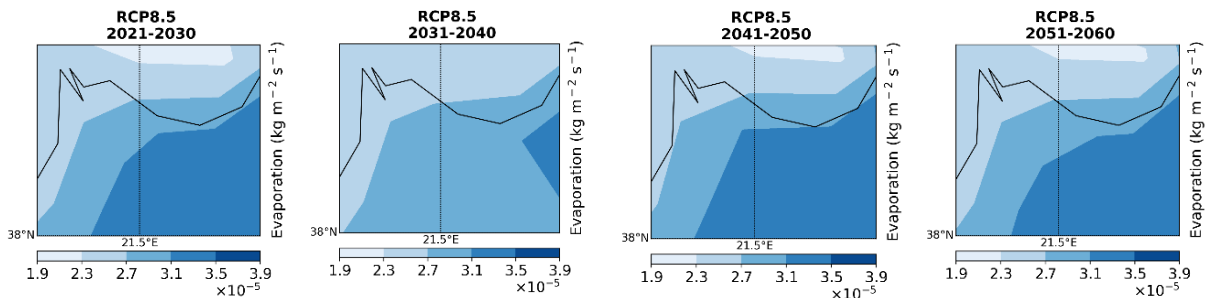
b)



c)

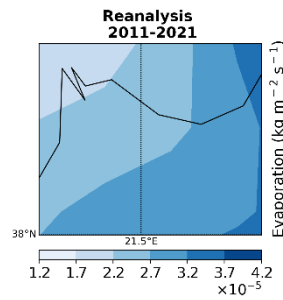


d)

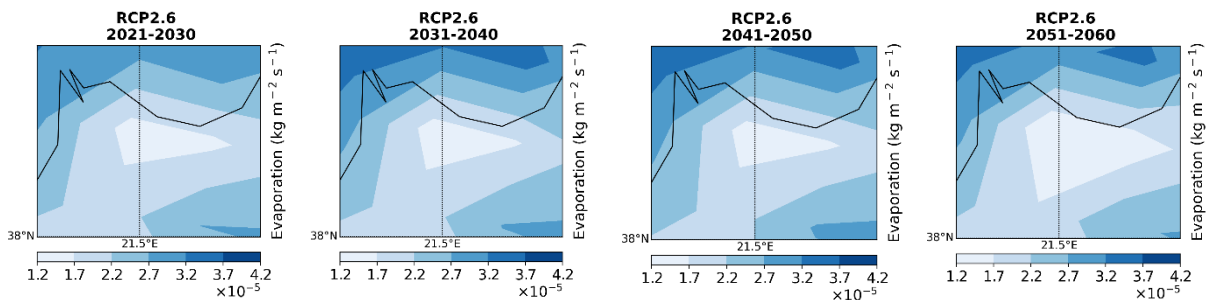


Σχήμα 25. Μέση εποχική εξάτμιση κατά την ιστορική περίοδο (a) 2011-2021 και κατά τις μελλοντικές περιόδους 2021-2030, 2031-2040, 2041-2050, 2051-2060, για κλιματικά σενάρια (b) RCP2.6, (c) RCP4.5 και (d) RCP8.5 στην πιλοτική περιοχή κατά την ανοιξιάτικη περίοδο.

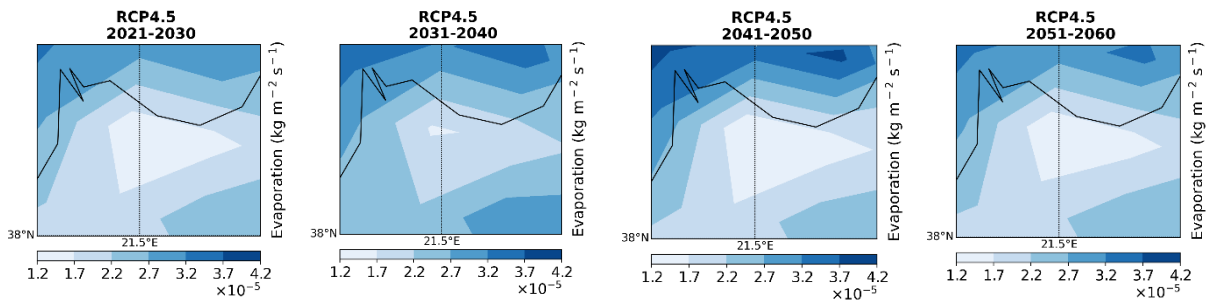
a)



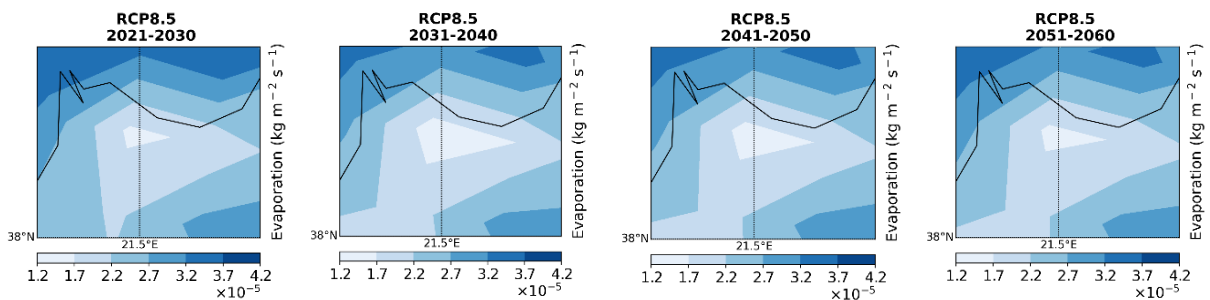
b)



c)

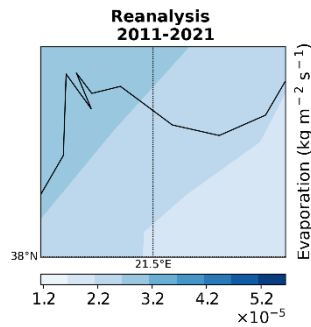


d)

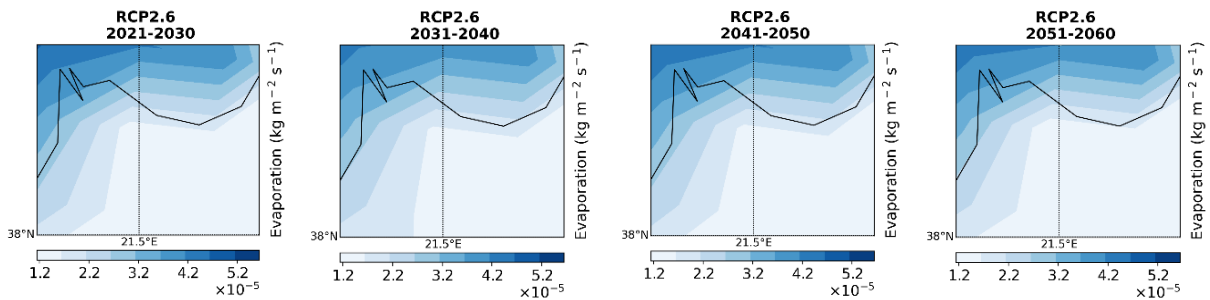


Σχήμα 26. Μέση εποχική εξάτμιση κατά την ιστορική περίοδο (a) 2011-2021 και κατά τις μελλοντικές περιόδους 2021-2030, 2031-2040, 2041-2050, 2051-2060, για κλιματικά σενάρια (b) RCP2.6, (c) RCP4.5 και (d) RCP8.5 στην πιλοτική περιοχή κατά τη θερινή περίοδο.

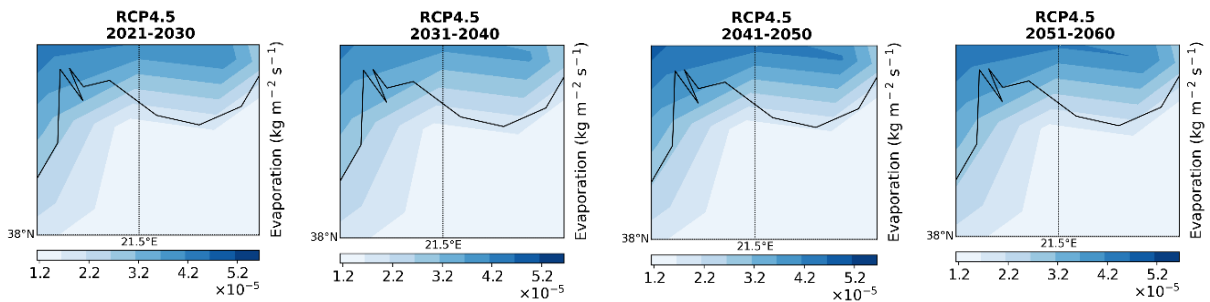
a)



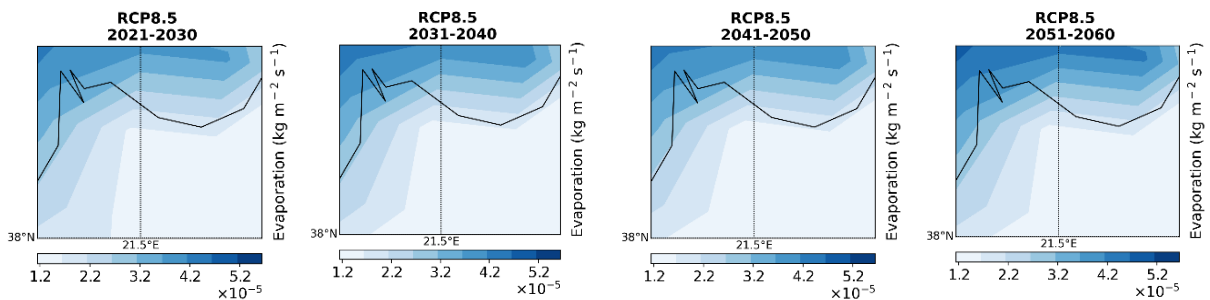
b)



c)

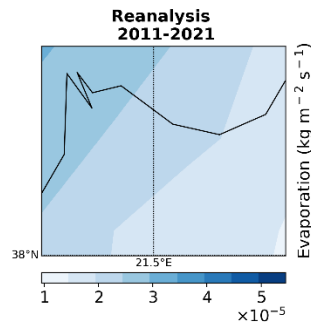


d)

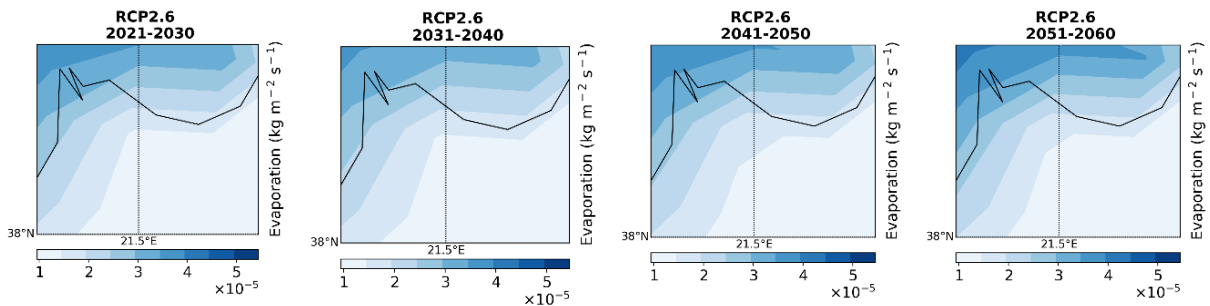


Σχήμα 27. Μέση εποχική εξάτμιση κατά την ιστορική περίοδο (a) 2011-2021 και κατά τις μελλοντικές περιόδους 2021-2030, 2031-2040, 2041-2050, 2051-2060, για κλιματικά σενάρια (b) RCP2.6, (c) RCP4.5 και (d) RCP8.5 στην πιλοτική περιοχή κατά τη φθινοπωρινή περίοδο.

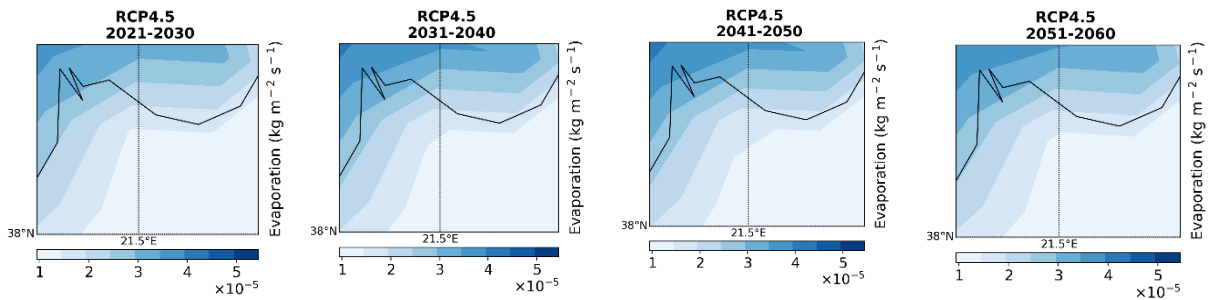
a)



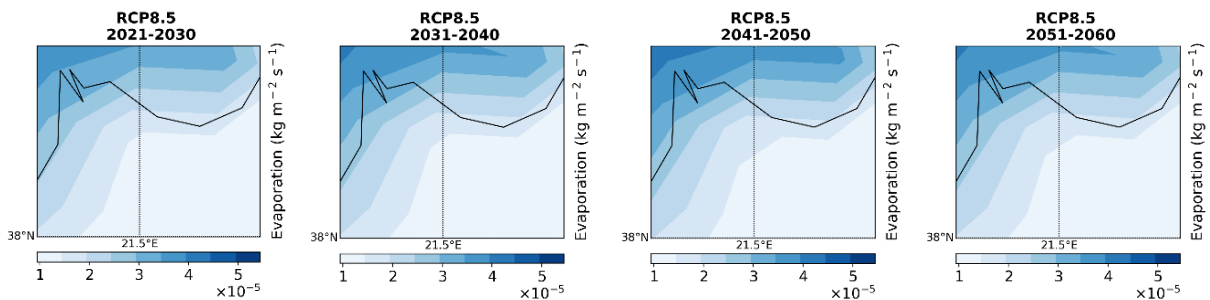
b)



c)



d)



Σχήμα 28. Μέση εποχική εξάτμιση κατά την ιστορική περίοδο (a) 2011-2021 και κατά τις μελλοντικές περιόδους 2021-2030, 2031-2040, 2041-2050, 2051-2060, για κλιματικά σενάρια (b) RCP2.6, (c) RCP4.5 και (d) RCP8.5 στην πιλοτική περιοχή κατά τη χειμερινή περίοδο.

5. Συμπεράσματα

Όπως προκύπτει από την παραπάνω ανάλυση, το κλίμα στην πιλοτική περιοχή στο μέλλον θα είναι πιο θερμό και πιο ξηρό. Στις μεταβλητές της θερμοκρασίας και της ακτινοβολίας, η τάση που παρατηρείται είναι συνεχώς αυξητική, ενώ για την ταχύτητα του ανέμου παραμένει σταθερή. Για τις υδρολογικές μεταβλητές η τάση είναι πτωτική στην περίπτωση της βροχόπτωσης και της απορροής, και ανοδική για την εξάτμιση με τη μεγαλύτερη μεταβολή να παρατηρείται μετά το 2050. Συνοπτικά οι κλιματικές μεταβολές που εκτιμήθηκαν για την περιοχή αναφέρονται παρακάτω:

- Προβλέπεται **αύξηση της μέσης θερμοκρασίας** στην περιοχή, για τη μελλοντική περίοδο 2021-2060, σε σχέση με την περίοδο ιστορική περίοδο 2011-2021, για τα 3 σενάρια παγκόσμιας εξέλιξης συγκεντρώσεων.
- Η **μεγαλύτερη αύξηση** της θερμοκρασίας σημειώνεται στον μακροπρόθεσμο χρονικό ορίζοντα (**2051 - 2060**), και κυμαίνεται από 0.72 °C (RCP2.6) μέχρι και τους 1.23°C (RCP8.5).
- Κατά τη **θερινή περίοδο προβλέπεται η μεγαλύτερη αύξηση**, με εύρος 0.68 °C (RCP2.6) μέχρι 1.04 °C (RCP8.5).
- Προβλέπεται **αύξηση της μέσης ηλιακής ακτινοβολίας** στην περιοχή, για τη μελλοντική περίοδο 2021-2060, σε σχέση με την περίοδο ιστορική περίοδο 2011-2021, για τα 3 σενάρια παγκόσμιας εξέλιξης συγκεντρώσεων.
- Η **μεγαλύτερη αύξηση** (+9.6 W/m²) της ακτινοβολίας σημειώνεται στον μακροπρόθεσμο χρονικό ορίζοντα (**2051 - 2060**), για το ευνοϊκό σενάριο (**RCP2.6**).
- **Από πλευράς ανέμων δεν αναμένονται σημαντικές αλλαγές στην περιοχή** σε σχέση με την περίοδο αναφοράς.
- Οι **βροχοπτώσεις αναμένεται σταδιακά να μειωθούν** για όλα τα σενάρια κυρίως στον μακροπρόθεσμο χρονικό ορίζοντα (2050-2060).
- Ελαφρώς μεγαλύτερη μείωση της βροχόπτωσης προβλέπεται στον μακροπρόθεσμο χρονικό ορίζοντα (2051 - 2060), στην περίπτωση του ενδιάμεσου σεναρίου (**RCP4.5**).



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
& ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Iceland
Liechtenstein
Norway grants

Δράσεις για τη βελτίωση της ποιοτικής και ποσοτικής κατάστασης του παράκτιου Υπόγειου Υδατικού Συστήματος π. Λαρισσού της ΛΑΠ Πείρου-Βέργα-Πηνειού του Υδατικού Διαμερίσματος Βόρειας Πελοποννήσου και την προσαρμογή του στην κλιματική αλλαγή

- Η μέση βροχόπτωση αναμένεται να μειωθεί σε όλες τις εποχές με μόνη **εξαιρέση το φθινόπωρο**.
- Αντίστοιχα με τη βροχόπτωση, **αναμένεται σταδιακά να μειωθεί και η απορροή στην περιοχή**.
- Η μεγαλύτερη ποσοστιαία μείωση της απορροής προβλέπεται κατά τη **χειμερινή περίοδο (0.5%)** στην περίπτωση του ενδιάμεσου σεναρίου (**RCP4.5**).
- Η τάση της **εξάτμισης είναι κυρίως αυξητική** με εξαίρεση το βραχυπρόθεσμο ορίζοντα.
- Η μεγαλύτερη αύξηση της εξάτμισης σημειώνεται κατά τη χειμερινή περίοδο.



Αναφορές

- Jacob D, Teichmann C, Sobolowski S, Katragkou E, Anders I, Belda M, Wulfmeyer V. Regional climate downscaling over Europe: perspectives from the EURO-CORDEX community. Reg Environ Change 2020;20(2):1–20.
- Cardoso, R. M., Soares, P. M. M., Lima, D. C. A., and Miranda, P. M. A.: Mean and extreme temperatures in a warming climate: EURO CORDEX and WRF regional climate high resolution projections for Portugal, Clim.Dynam., 52, 129–157, <https://doi.org/10.1007/s00382-018-4124-4>, 2019.
- Markantonis, I., Vlachogiannis, D., Sfetsos, A., and Kioutsioukis, I.: Investigation of the extreme wet–cold compound events changes between 2025–2049 and 1980–2004 using regional simulations in Greece, Earth Syst. Dynam., 13, 1491–1504, <https://doi.org/10.5194/esd-13-1491-2022>, 2022.
- Spiridonov, V., Somot, S., and Déqué, M.: ALADIN-Climate: from the origins to present date, ALADIN Newslett., 29, 89–92, 2005
- Kotlarski, S., Keuler, K., Christensen, O. B., Colette, A., Déqué, M., Gobiet, A., Goergen, K., Jacob, D., Lüthi, D., van Meijgaard, E., Nikulin, G., Schär, C., Teichmann, C., Vautard, R., Warrach-Sagi, K., and Wulfmeyer, V.: Regional climate modeling on European scales: a joint standard evaluation of the EUROCORDEX RCM ensemble, Geosci. Model Dev., 7, 1297–1333, <https://doi.org/10.5194/gmd-7-1297-2014>, 2014.
- Hersbach H, Bell B, Berrisford P, Hirahara S, Horányi A, Muñoz-Sabater J, Simmons A. The ERA5 global reanalysis. Q J R Meteorol Soc 2020;146(730): 1999–2049.
- Giorgi, F., & Gutowski, W. J. (2015). Regional Dynamical Downscaling and the CORDEX Initiative. Annual Review of Environment and Resources, 40(1), 467–490. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-102014-021217>