

Υδρομετεωρολογικές προγνώσεις στην πιλοτική περιοχή του ΥΥΣ Λαρισσού για διαφορετικά κλιματικά σενάρια



Iceland 
Liechtenstein
Norway grants



Αρετή Παππά, Μαθηματικός MSc & Ιωάννης Κιουτσιούκης, Αν. Καθηγητής ΠΠ

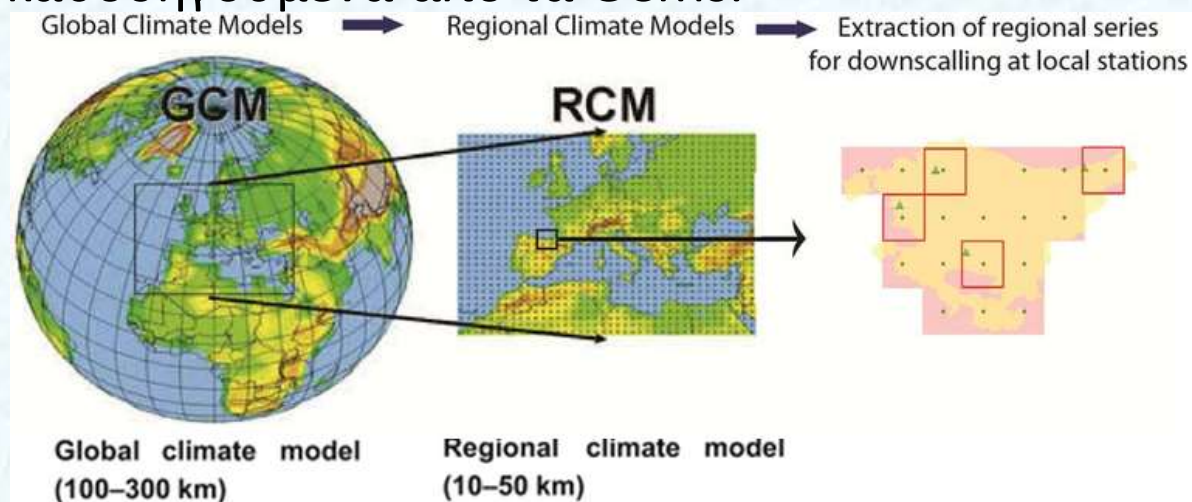
Κλιματική Αλλαγή

- Η μεταβολή του κλίματος που οφείλεται στον ανθρώπινο παράγοντα. Η 5η Έκθεση Αξιολόγησης της IPCC επισημαίνει την επιδείνωση του φαινομένου.
- Το ενεργειακό ισοζύγιο της γης επηρεάζεται από την προσθήκη τεράστιων συγκεντρώσεων αερολυμάτων και αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα.
- **Επιπτώσεις Κλιματικής Αλλαγής:** Εμφανείς σε τομείς όπως η υγεία, η γεωργία, ενέργεια.
- Αλλαγές στην ποσότητα και την τυπολογία ατμοσφαιρικών κατακρημνίσεων, στα υδρολογικά συστήματα και την προμήθεια γλυκού νερού, υποβάθμιση του εδάφους.



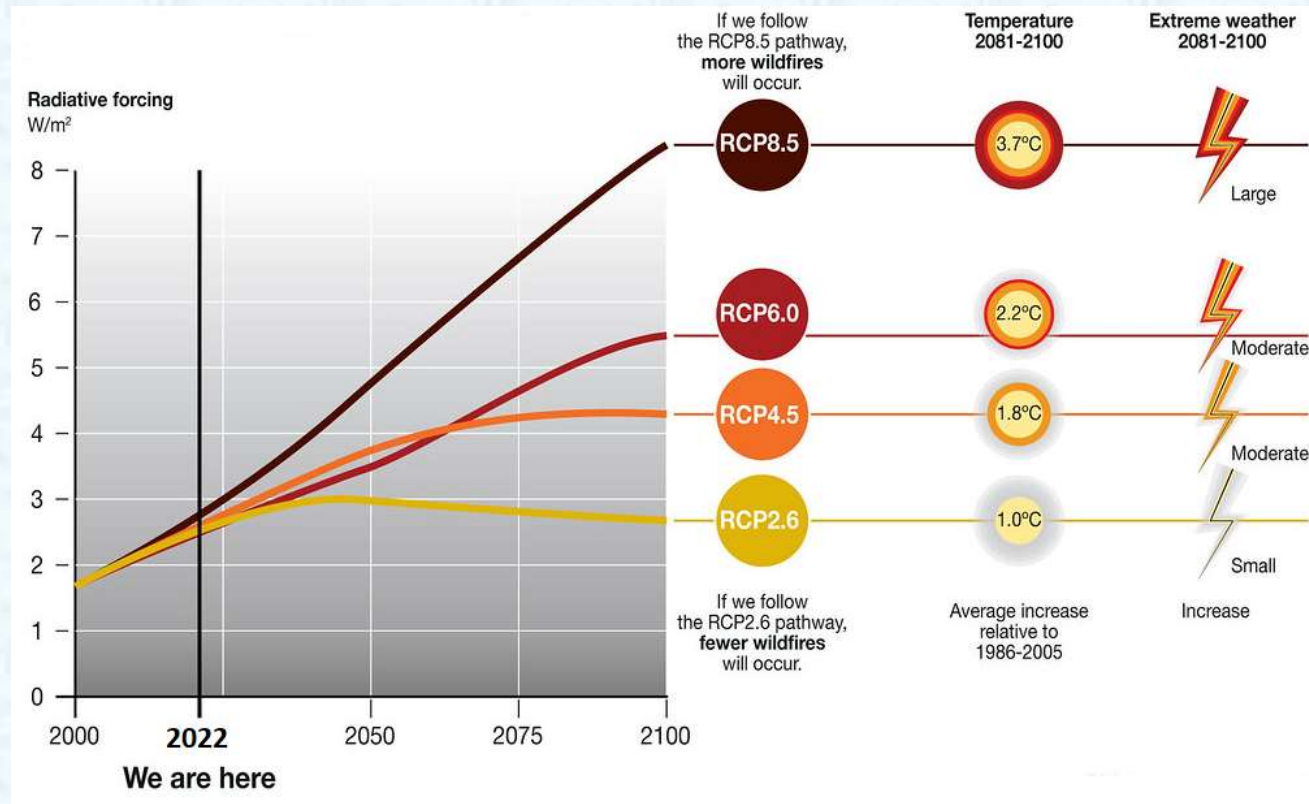
Κλιματικά Μοντέλα

- Τα κλιματικά μοντέλα είναι συστήματα μαθηματικών εξισώσεων που προσομοιώνουν την ατμόσφαιρα και την εξέλιξη του κλίματος. Επιλύονται αριθμητικά και δίνουν ως αποτέλεσμα τιμές μετεωρολογικών μεταβλητών.
- Τα μοντέλα γενικής κυκλοφορίας (**GCMs**) παρέχουν αξιόπιστες πληροφορίες για το κλίμα σε παγκόσμια κλίμακα, καλύπτοντας διαφορετικά τοπία και προβλέποντας ακραία φαινόμενα όπως πλημμύρες και ξηρασίες.
- Τα Περιφερειακά Κλιματικά Μοντέλα (**RCMs**) προσφέρουν λεπτομερέστερες προβλέψεις σε περιφερειακή κλίμακα, καθοδηγούμενα από τα GCMs.



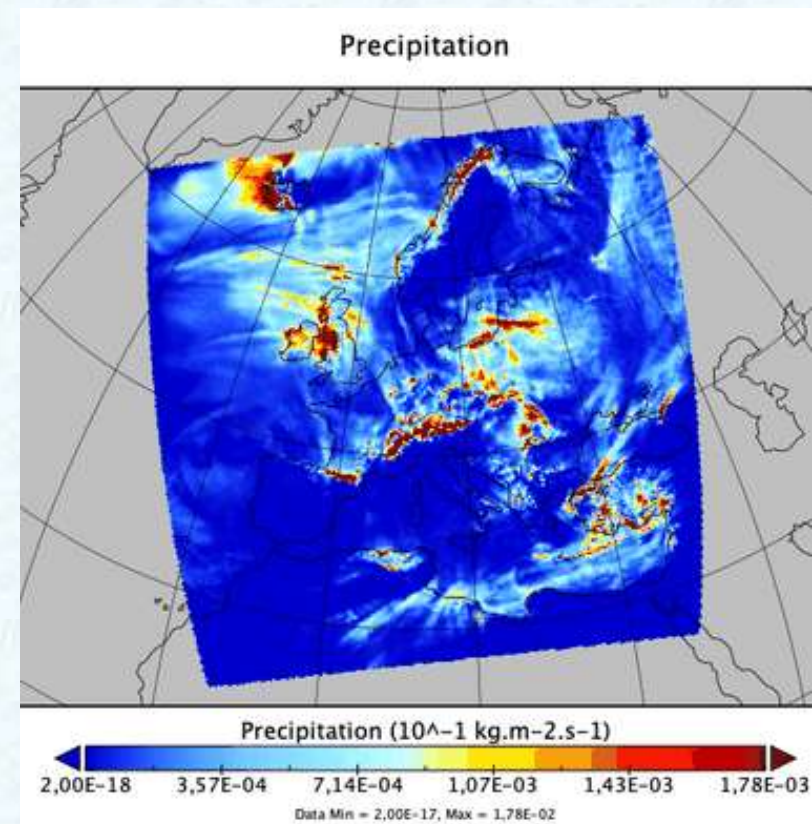
Κλιματικά Σενάρια

Τα σενάρια εκπομπών RCP (Representative Concentration Pathways) εκτιμούν τις μελλοντικές συγκεντρώσεις των θερμοκηπικών αερίων και τις επιπτώσεις τους στο ενεργειακό ισοζύγιο του πλανήτη.



CORDEX

- Το πρόγραμμα CORDEX συντονίζει παγκοσμίως κλιματικά πειράματα για τον υποβιβασμό της κλιματικής πληροφορίας με βάση ένα κοινό μεθοδολογικό πλαίσιο.
- Σκοπός του προγράμματος είναι η παραγωγή κλιματικών προσομοιώσεων υψηλής ανάλυσης για την πρόβλεψη του μελλοντικού κλίματος.
- Με χρήση πολλαπλών RCMs, καθοδηγούμενα από διάφορα GCMs και βασισμένων στα σενάρια εκπομπών (RCPs).



Επεξεργασία Δεδομένων

- Διερεύνηση πιθανών αλλαγών στις κλιματικές συνθήκες της περιοχής συγκρίνοντας την περίοδο 2021-2060 με τα ιστορικά δεδομένα της δεκαετίας 2011-2021.
- Χρησιμοποιήθηκαν προσομοιώσεις κλιματικών μεταβλητών για την μελλοντική περίοδο από κατάλληλο μοντέλο RCM στην περιοχή ΥΥΣ Λαρισσού.
- Η ανάλυση των τάσεων των κλιματικών δεικτών πραγματοποιήθηκε σε επίπεδο δεκαετίας, για διάφορους χρονικούς ορίζοντες και σενάρια.



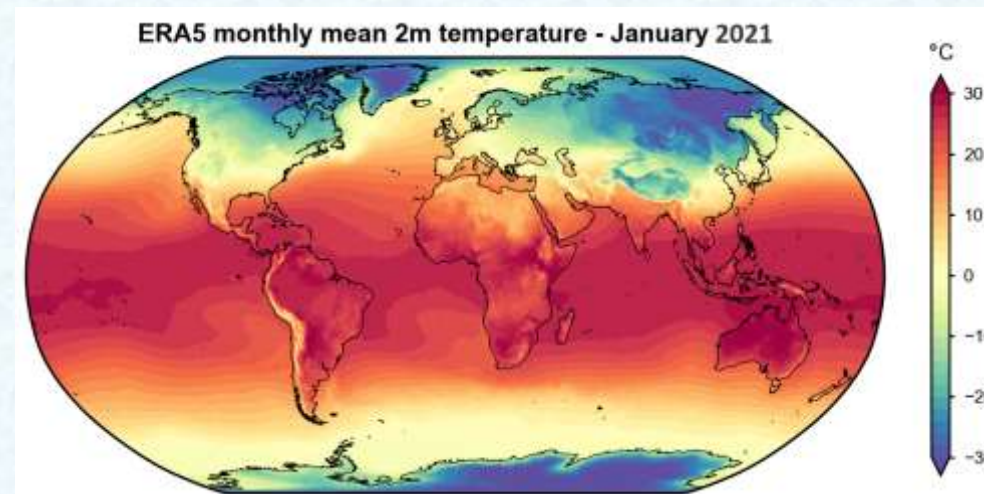
Αξιολόγηση Κλιματικών Μοντέλων

- Τα κλιματικά μοντέλα παρουσιάζουν συστηματικά σφάλματα λόγω απλοποιημένων θερμοδυναμικών και φυσικών διεργασιών, ανεπαρκούς κατανόησης του κλιματικού συστήματος.
- Η διόρθωση της μεροληψίας (**Bias Adjustment**) στα κλιματικά μοντέλα είναι απαραίτητη για την αξιοπιστία τους, και απαιτεί παρατηρησιακά δεδομένα.
- Σύγκριση των ιστορικών προσομοιώσεων του CORDEX με μετεωρολογικά δεδομένα που ανακτήθηκαν από την τελευταία γενιάς πλατφόρμα, ERA5 για την περίοδο 1981-2005 με στόχο την επικύρωση των προσομοιώσεων.



ERA5

- Open-access πλατφόρμα του Copernicus Climate Change Service, που παρέχει μετεωρολογικά δεδομένα σε παγκόσμια κλίμακα από το 1940- σήμερα.
- Δεδομένα υψηλής ακρίβειας με χωρική ανάλυση που κατεβαίνει $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ και ωριαία χρονική ανάλυση.
- **Reanalysis:** συνδυάζει δεδομένα μοντέλων με παρατηρήσεις, με την τεχνική (data assimilation) δημιουργώντας ένα αξιόπιστο σύνολο δεδομένων.

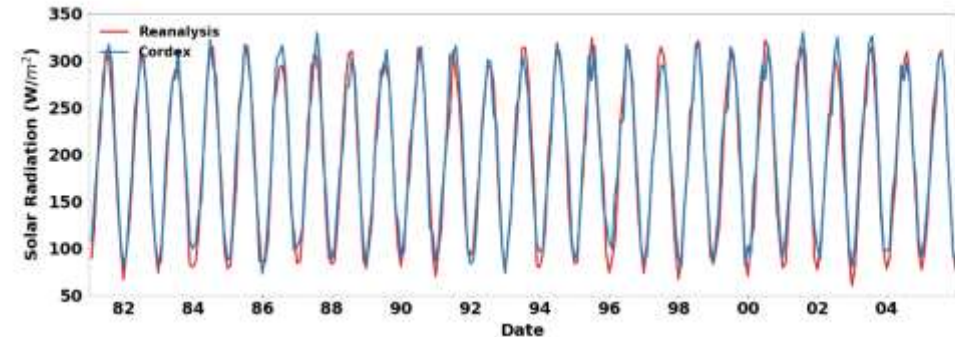
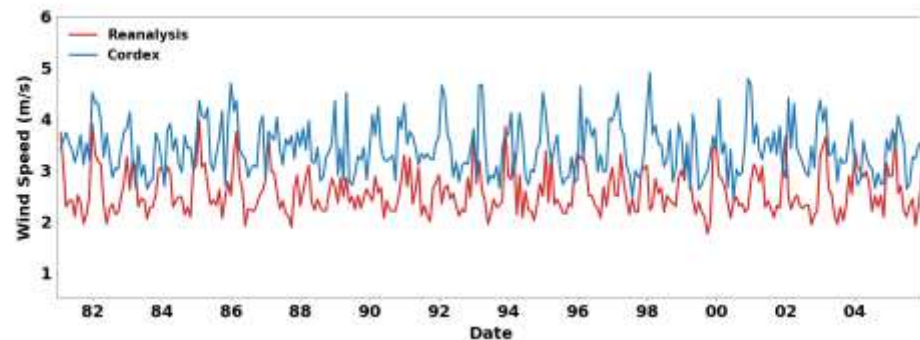
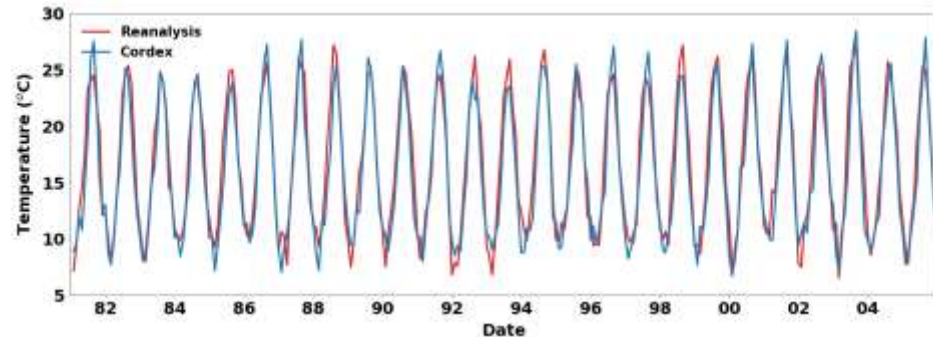


Μεταβλητές

COPERNICUS	VARIABLES	Units	Temporal coverage	Horizontal resolution	Temporal resolution
ERA5 / CORDEX	Total run-off flux	$\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$	2021-2021 2022-2060	0.11x0.11 (RCP 2.6, 4.5, 8.5)	Monthly means
ERA5 / CORDEX	Mean precipitation flux	$\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$	2021-2021 2022-2060	0.11x0.11 (RCP 2.6, 4.5, 8.5)	Monthly means
ERA5 / CORDEX	Mean evaporation flux	$\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$	2021-2021 2022-2060	0.11x0.11 (RCP 2.6, 4.5, 8.5)	Monthly means
ERA5 / CORDEX	2m air temperature	k	2021-2021 2022-2060	0.11x0.11 (RCP 2.6, 4.5, 8.5)	Monthly means
ERA5 / CORDEX	10m wind speed	m s^{-1}	2021-2021 2022-2060	0.11x0.11 (RCP 2.6, 4.5, 8.5)	Monthly means
ERA5 / CORDEX	Surface solar radiation downwards	W m^{-2}	2021-2021 2022-2060	0.11x0.11 (RCP 2.6, 4.5, 8.5)	Monthly means

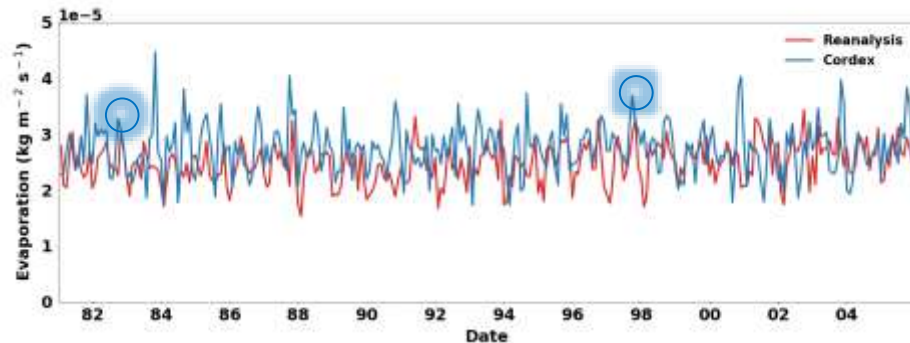
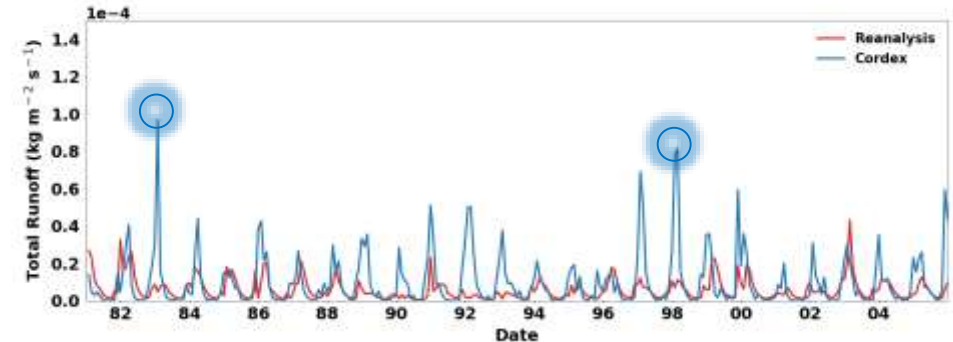
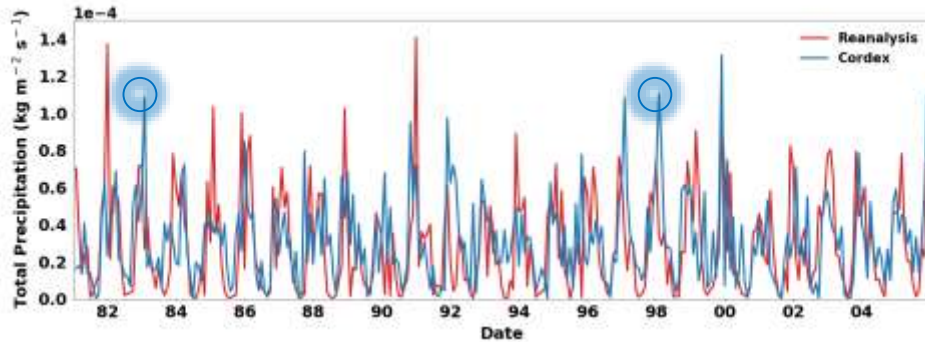


Αξιολόγηση Κλιματικών Μοντέλων



- Συμφωνία μοντέλου & παρατηρήσεων στις μεταβλητές της **θερμοκρασίας** και της **ακτινοβολίας**.
- Συστηματικό σφάλμα, της τάξης του 1 m/s, στην ταχύτητα του ανέμου.

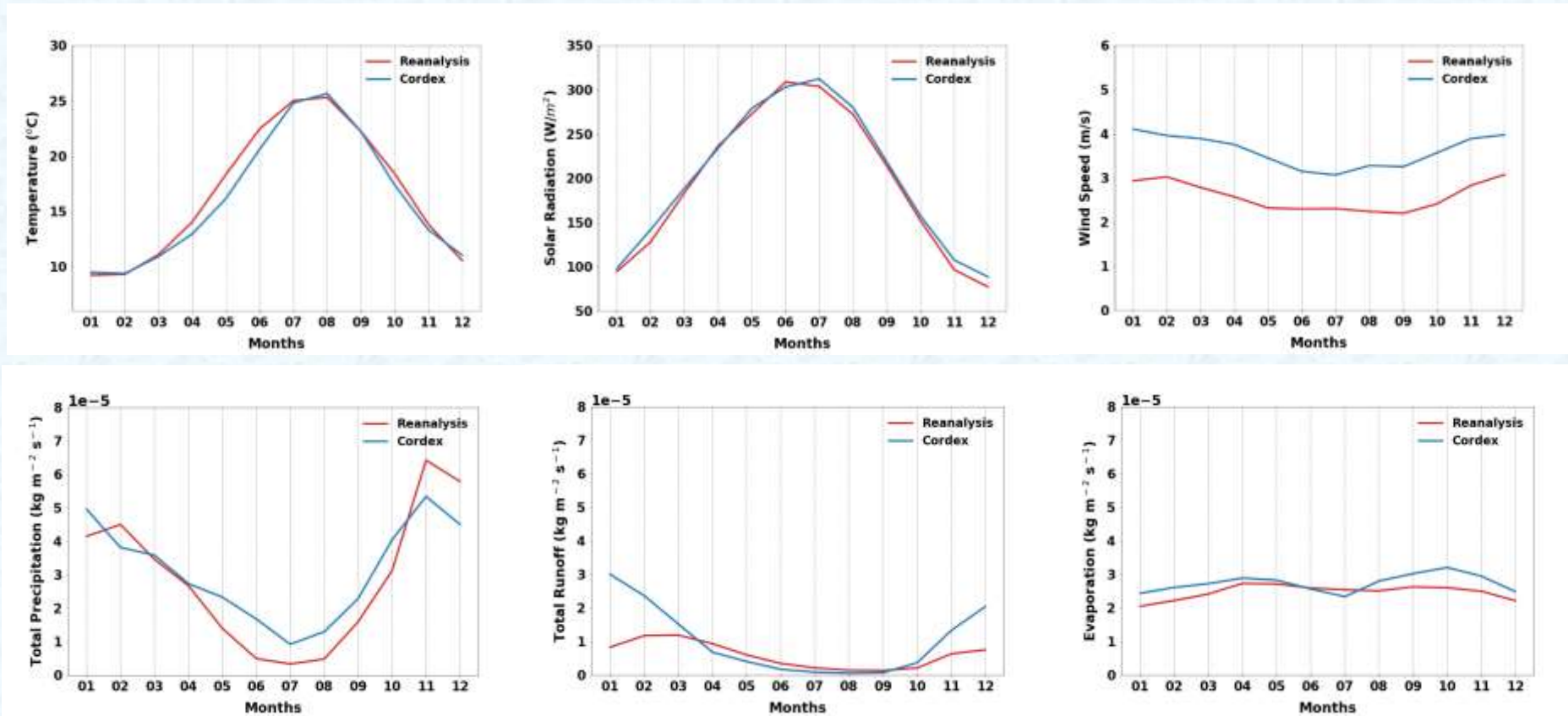
Αξιολόγηση Κλιματικών Μοντέλων



- Οι υδρομετεωρολογικές μεταβλητές εμφανίζουν σημαντική μεροληψία και μεγάλα σφάλματα.
- Οι προσομοιώσεις της απορροής παρουσιάζουν τη μικρότερη συμφωνία με τα μετεωρολογικά δεδομένα.
- Τα **peaks** των υδρομετεωρολογικών μεταβλητών συγχρονίζονται.



Αξιολόγηση Κλιματικών Μοντέλων

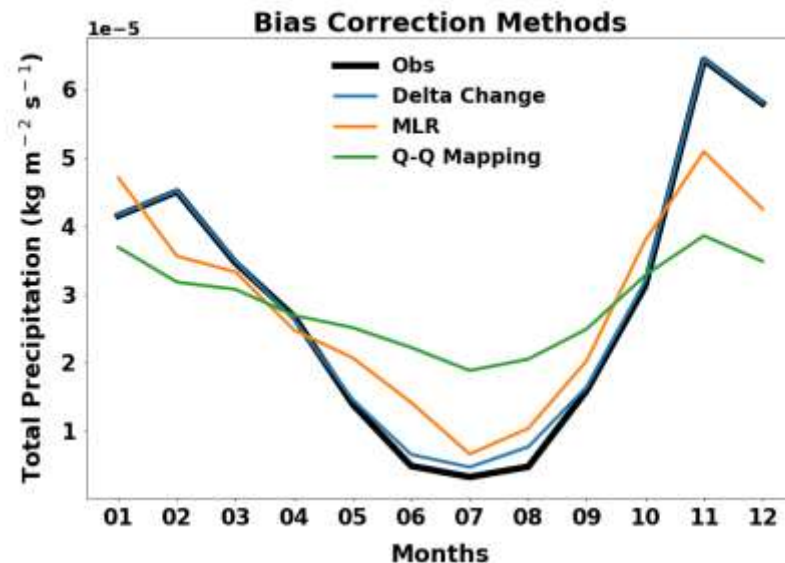


- **Κύκλος Θερμοκρασίας & Ακτινοβολίας:** Προσομοίωση με μικρά σφάλματα.
- **Βροχόπτωση:** Θετική μεροληψία την θερμή περίοδο, σημαντική υποτίμηση το Δεκέμβριο.
- **Απορροή:** Σημαντική υπερέτιμηση τους χειμερινούς μήνες.
- **Εξάτμιση:** Κυρίαρχη τάση υπερεκτίμησης, ειδικά τους φθινοπωρινούς μήνες.



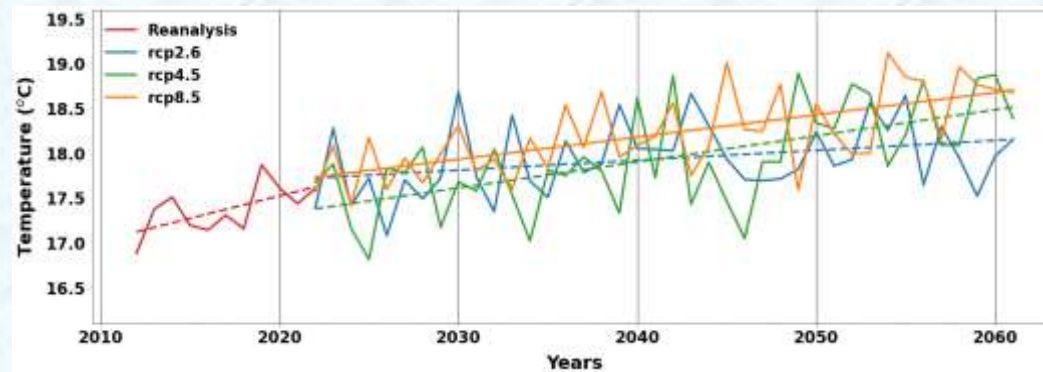
Bias Adjustment

- **Multiple linear regression:** Με βάση τις παραμέτρους της παλινδρόμησης που προκύπτουν, από τις ιστορικές παρατηρήσεις και προγνώσεις του μοντέλου δημιουργούνται προσαρμοσμένες χρονοσειρές για το μέλλον.
- **Quantile mapping:** Μετασχηματισμός των συναρτήσεων κατανομής των μοντελοποιημένων μεταβλητών στις αντίστοιχες παρατηρηθείσες χρησιμοποιώντας μια μαθηματική συνάρτηση.
- **Delta change:** Υπολογισμών των «κλιματικών ανωμαλιών» από τη μοντελοποιημένη και την παρατηρηθείσα χρονοσειρά και αφαίρεση αυτών



Εκτίμηση των κλιματικών μεταβολών

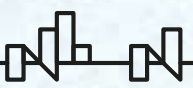
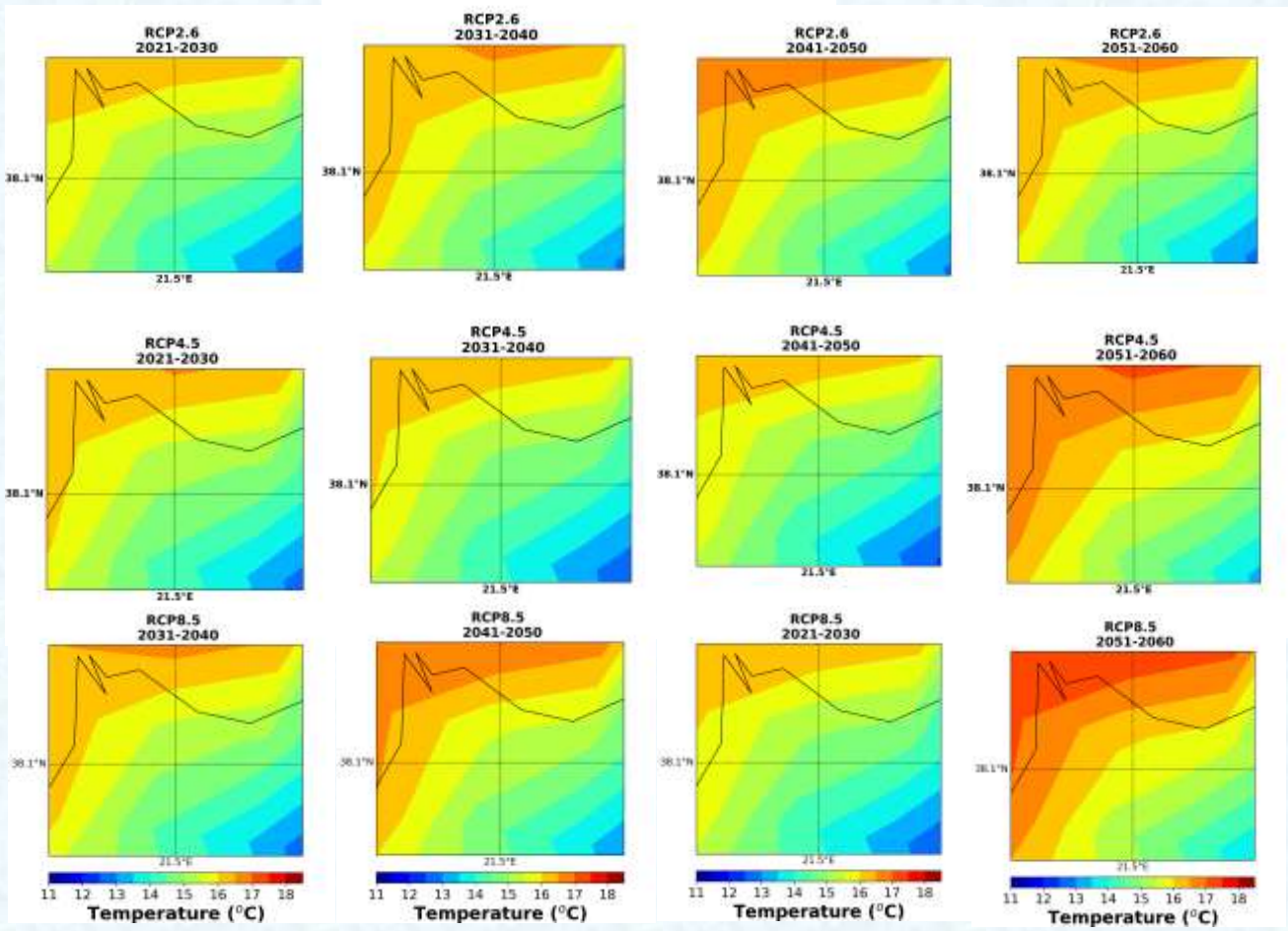
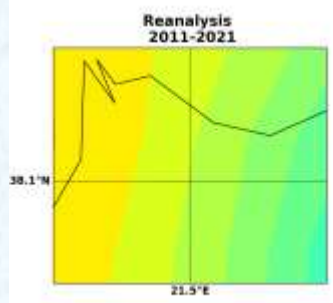
Θερμοκρασία



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%)

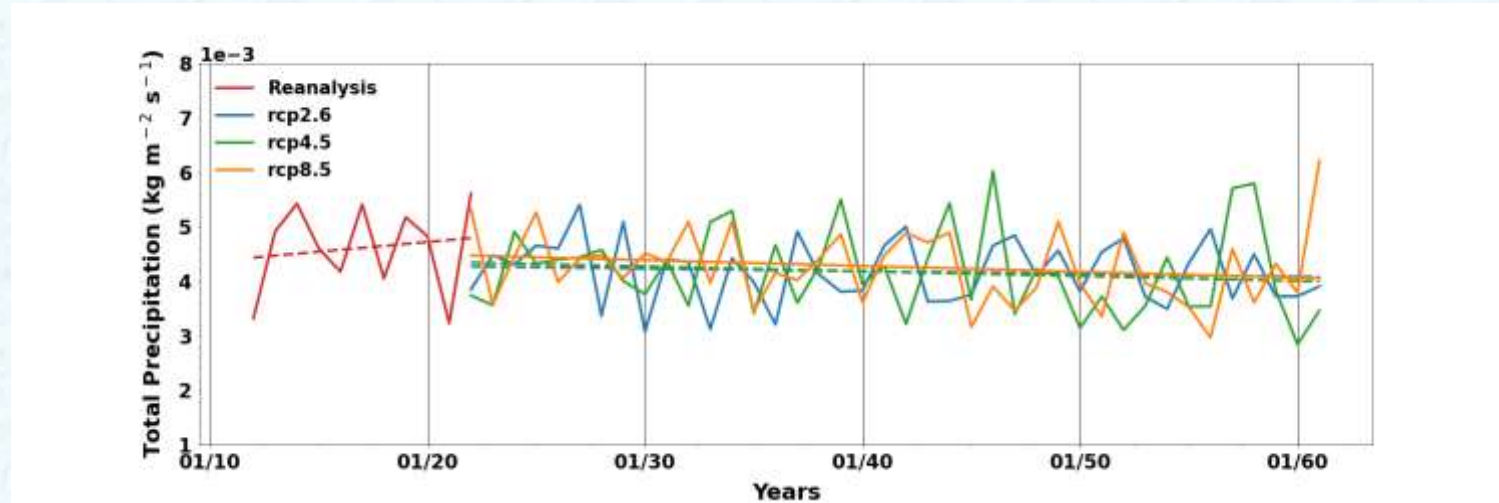
Μεταβολή της μέσης εποχικής θερμοκρασίας (°C) σε σχέση με την περίοδο αναφοράς				
Κλιματικό σενάριο	Άνοιξη	Καλοκαίρι	Φθινόπωρο	Χειμώνας
RCP2.6	0.5 (2.9%)	0.68 (2.7%)	0.58 (3.1%)	0.52 (5.1%)
RCP4.5	0.4 (2.7%)	0.86 (3.4%)	0.53 (2.8%)	0.45 (4.4%)
RCP8.5	0.63 (4.2%)	1.04 (4.1%)	1 (5.3%)	0.68 (6.6%)





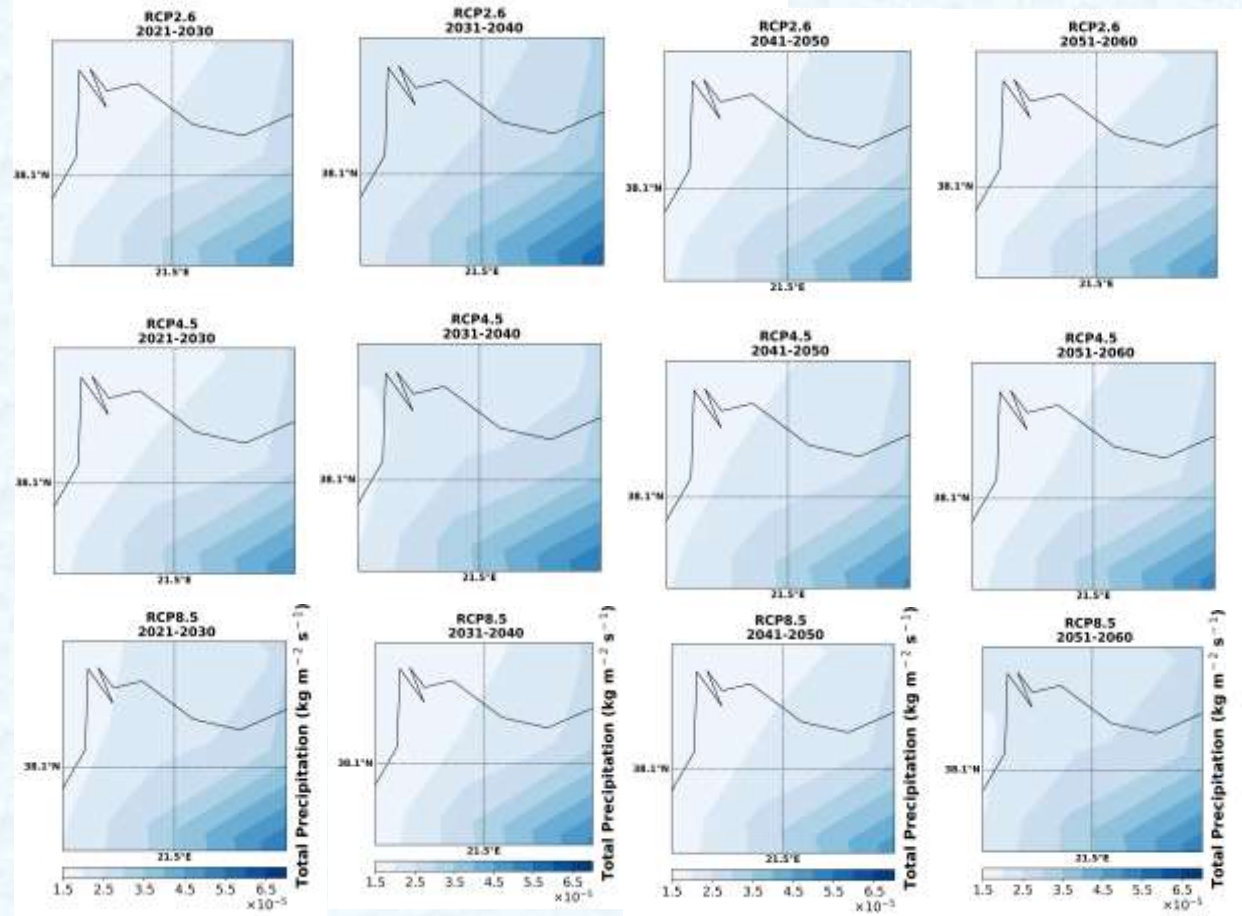
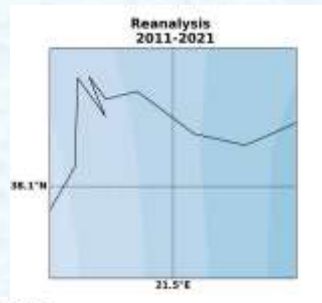
Εκτίμηση των κλιματικών μεταβολών

Αθροιστική Βροχόπτωση



- Η τάση της βροχόπτωσης προβλέπεται να είναι πτωτική κατά την μελλοντική περίοδο για όλα τα σενάρια κυρίως στον μακροπρόθεσμο χρονικό ορίζοντα (2051-2060).
- Ελαφρώς μεγαλύτερη σε σχέση με τα υπόλοιπα σενάρια στον χρονικό ορίζοντα (2051-2060), στην περίπτωση του ενδιάμεσου σεναρίου RCP4.5.





Αξιολόγηση Κλιματικών Μοντέλων

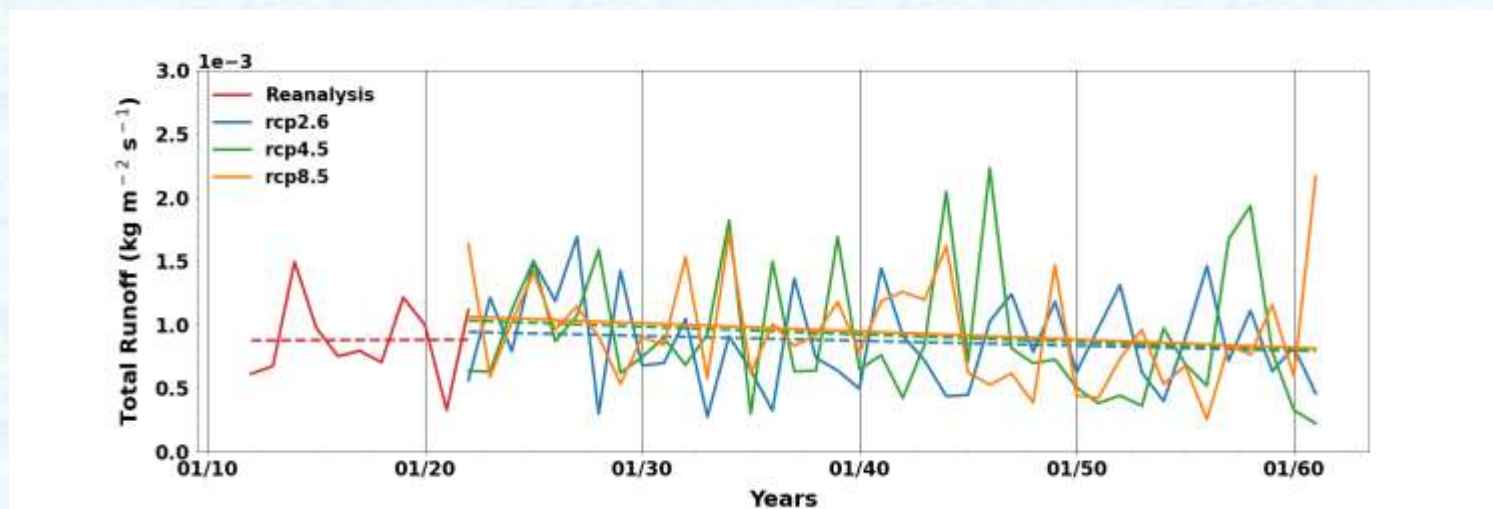
Ημέρες με έντονη βροχόπτωση				
Κλιματικό σενάριο	2021-2030	2031-2040	2041-2050	2051-2060
RCP2.6	157	64	172	159
RCP4.5	164	184	168	160
RCP8.5	175	188	187	153

- Παρόλη τη διαπιστωμένη μειωτική τάση των βροχοπτώσεων συγκριτικά με το παρελθόν, οι ημέρες με υψηλές ποσότητες βροχής δεν μειώνονται, καταλήγοντας στο να απορρέει αναξιοποίητο το μεγαλύτερο μέρος του νερού από βροχοπτώσεις μεγάλης έντασης.



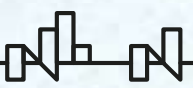
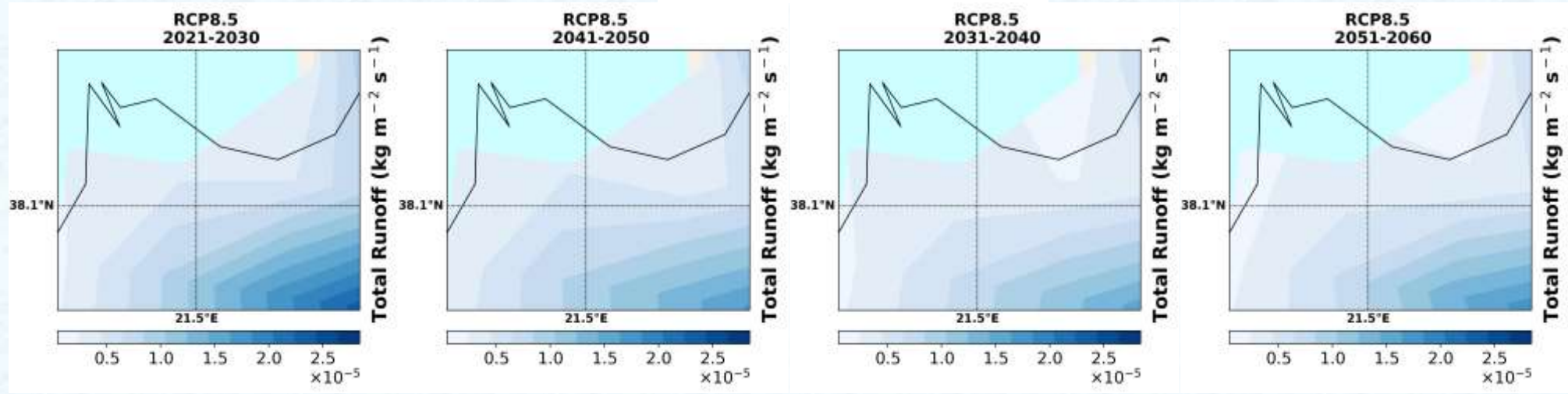
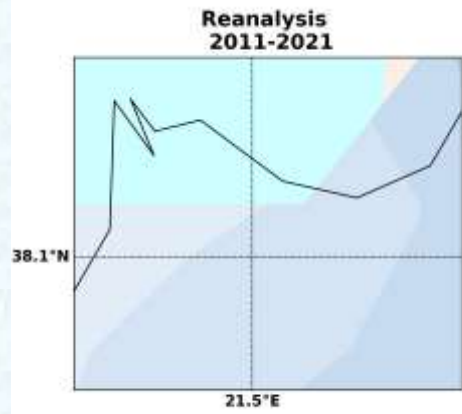
Εκτίμηση των κλιματικών μεταβολών

Συνολική Απορροή



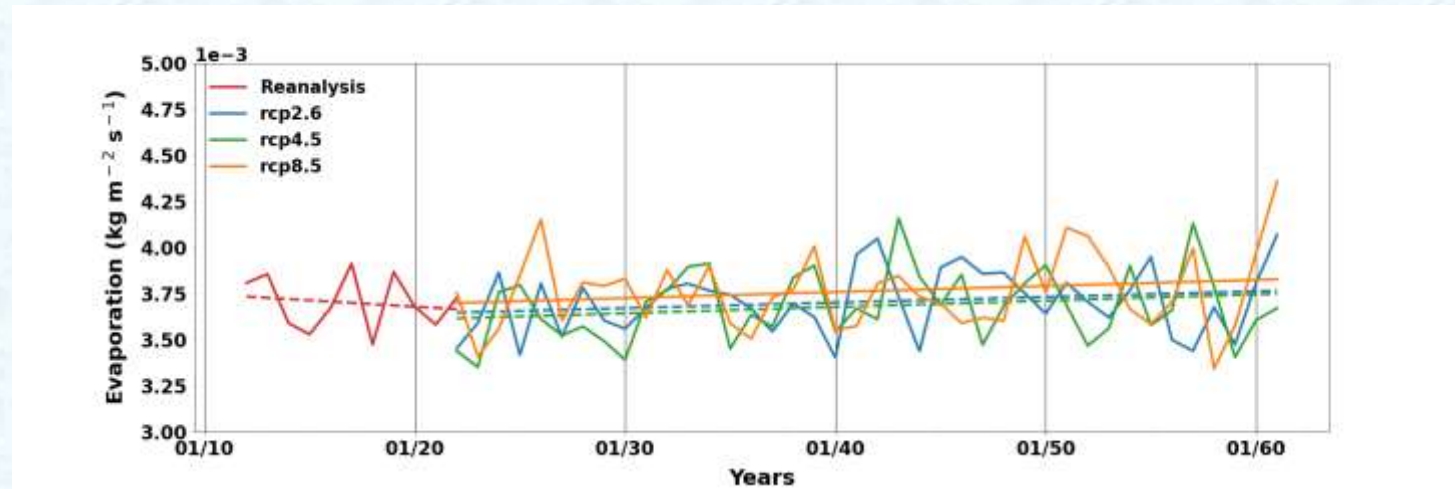
- Η απορροή στην περιοχή να παραμένει σταθερή κατά την ιστορική περίοδο.
- Μείωση της μέσης απορροής στην περιοχή, σε σχέση με την περίοδο ιστορική περίοδο, σε όλα τα σενάρια και τις επόμενες δεκαετίες.



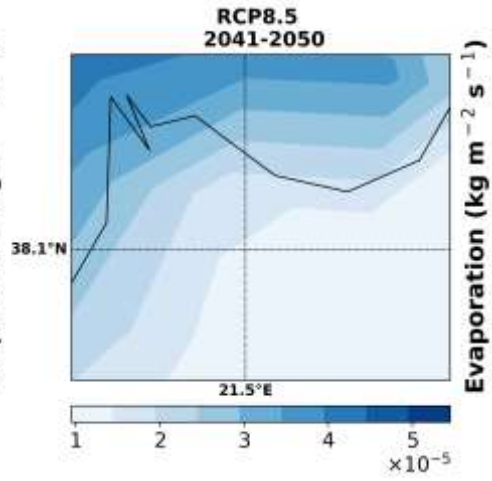
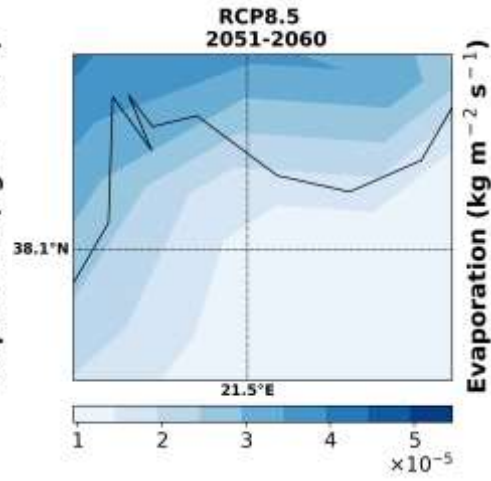
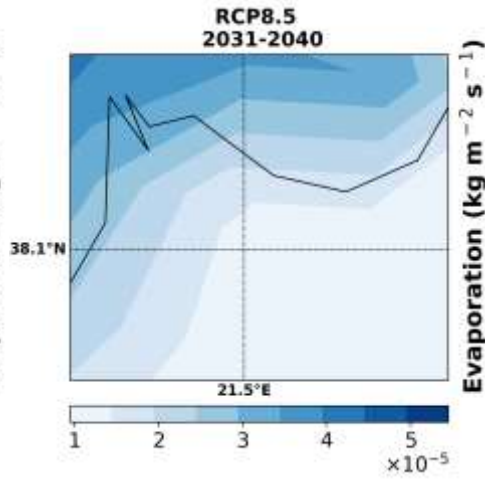
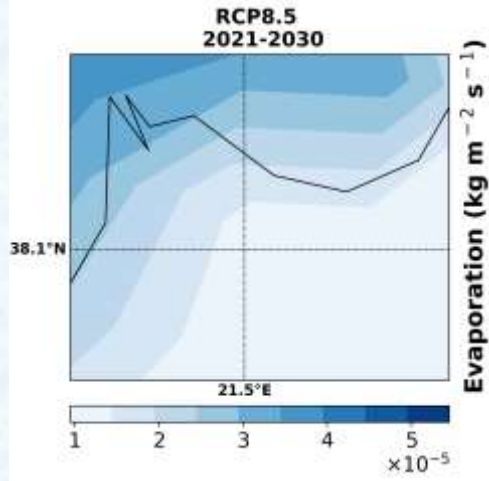
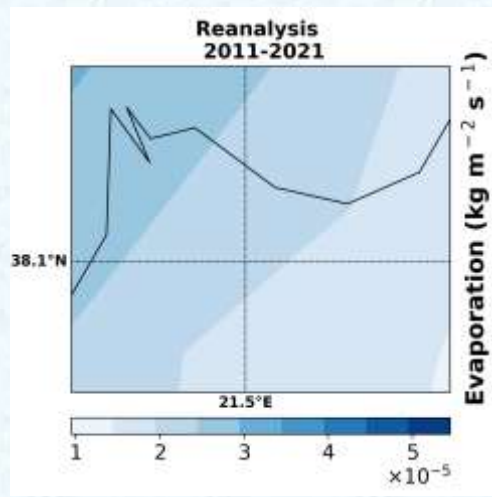


Εκτίμηση των κλιματικών μεταβολών

Εξάτμιση



- Ελαφρώς πτωτική τάση στην περιοχή να κατά την ιστορική περίοδο
- Ανοδική τάση κατά την μελλοντική περίοδο σε όλα τα σενάρια



Συμπεράσματα

- Η πιλοτική περιοχή στο μέλλον αναμένεται να γίνει πιο θερμή και ξηρή, με αυξητικές τάσεις σε θερμοκρασία και ακτινοβολία, σταθερότητα στον άνεμο και μειωμένη αθροιστική βροχόπτωση και απορροή.
- 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).
- **Από πλευράς ανέμων δεν αναμένονται σημαντικές αλλαγές στην περιοχή** σε σχέση με την περίοδο αναφοράς.



Συμπεράσματα

- Οι ποσότητα της αθροιστικής **βροχόπτωσης** αναμένεται σταδιακά να μειωθεί 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**).
- Αντίστοιχα με τη βροχόπτωση, **αναμένεται σταδιακά να μειωθεί και η απορροή** στην περιοχή.
- Η τάση της **εξάτμισης είναι κυρίως αυξητική** με εξαίρεση το βραχυπρόθεσμο ορίζοντα.



Thank you!

