



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ



ΜΑΡΙΑ ΖΑΚΛΙΝ ΣΑΚΚΑ
Γεωλόγος

Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΣΤΑ ΕΠΙΠΕΔΑ PM_{2.5} ΣΕ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΚΛΙΜΑΚΑ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

Π.Μ.Σ. Μετεωρολογίας, Κλιματολογίας και Ατμοσφαιρικό Περιβάλλον

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

2023





ΜΑΡΙΑ ΖΑΚΛΙΝ ΣΑΚΚΑ

Γεωλόγος

Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΣΤΑ ΕΠΙΠΕΔΑ PM_{2.5} ΣΕ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΚΛΙΜΑΚΑ

CLIMATE CHANGE IMPACT ON FUTURE LEVELS OF PM_{2.5} IN GLOBAL SCALE

Υποβλήθηκε στα πλαίσια του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών
‘Μετεωρολογία, Κλιματολογία και Ατμοσφαιρικό Περιβάλλον’

Ημερομηνία Προφορικής Εξέτασης:

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:

Πρόδρομος Ζάνης, Καθηγητής, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ., Επιβλέπων
Δημήτριος Μελάς, Καθηγητής, Τμήμα Φυσικής, Α.Π.Θ., Μέλος Τριμελούς
Εξεταστικής Επιτροπής
Κωνσταντία Τολικά, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ., Μέλος
Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής



© Μαρία Ζακλίν Σακκά, Γεωλόγος, 2023

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΣΤΑ ΕΠΙΠΕΔΑ PM2.5
ΣΕ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΚΛΙΜΑΚΑ - Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

© Maria Zaklin Sakka, Geologist, 2023

All rights reserved.

CLIMATE CHANGE IMPACT ON FUTURE LEVELS OF PM2.5 IN
GLOBAL SCALE- Master Thesis

Citation :

Σακκά Μ.Ζ., 2023.- Η επίδραση της κλιματικής αλλαγής στα επίπεδα PM2.5. σε παγκόσμια κλίμακα. Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ.

Sakka M.Z., 2023.- Climate change impact of future levels of PM2.5 in global scale. Master Thesis, School of Geology, Aristotle University of Thessaloniki.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.



Στη μνήμη του αγαπημένου νονού μου,
Χρήστου

Στο πλαίσιο της διπλωματικής εργασίας μελετάται η επίδραση της κλιματικής αλλαγής κατά τον 21ο αιώνα στα επίπεδα των αιωρούμενων σωματιδίων με διάμετρο μικρότερη των 2.5 μm (PM2.5). Η μελέτη βασίζεται σε εξιδεικευμένες προσομοιώσεις που έγιναν με τρία διαφορετικά παγκόσμια μοντέλα (Earth System Models, ESMs) στο πλαίσιο του προγράμματος "Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6)". Η παρούσα διατριβή εκπονήθηκε στα πλαίσια του μεταπτυχιακού προγράμματος σπουδών «Μετεωρολογία, Κλιματολογία και Ατμοσφαιρικό Περιβάλλον» του τμήματος Γεωλογίας, του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης (Α.Π.Θ.).

Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζονται κάποιες γενικές πληροφορίες για την κλιματική αλλαγή, για την διαφοροποίηση του κλίματος με τον πέρασμα των χρόνων και για τα αιωρούμενα σωματίδια PM2.5. Στο δεύτερο κεφάλαιο αναφέρονται τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν και η διαδικασία επεξεργασίας τους. Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα και στο τέταρτο κεφάλαιο διεξάγονται τα συμπεράσματα και περιγράφεται περιληπτικά η μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία.

Έπειτα από την ολοκλήρωση της εργασίας μου, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαιτέρως τον επιβλέπων καθηγητή μου κ. Πρόδρομο Ζάνη, Καθηγητή στο Τομέα Μετεωρολογίας, Κλιματολογίας, Τμήμα Γεωλογίας στη Σχολή Θετικών Επιστημών. Ένα μεγάλο ευχαριστώ για την εμπιστοσύνη και την υπομονή που μου έδειξε και κυρίως για την καθοδήγησή του από την αρχή μέχρι το τέλος και την πολύ καλή συνεργασία που είχαμε. Θα ήθελα, ακόμη, να ευχαριστήσω τα υπόλοιπα μέλη της Τριμελούς Επιτροπής την κα Κωνσταντία Τολίκα, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια του Τμήματος Γεωλογίας και τον κ. Δημήτριο Μελά, Καθηγητή του Τμήματος Φυσικής του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης που βοήθησαν στην αξιολόγηση της διπλωματικής μου εργασίας. Ευχαριστώ πολύ τον Δημήτρη Ακριτίδη, Μεταδιδακτορικό ερευνητή του Τομέα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας και τον συμφοιτητή μου, Αλκιβιάδη Καλησώρα για τις υποδείξεις του και τη βοήθεια του στον προγραμματισμό. Ιδιαιτέρως δεν θα μπορούσα να παραλείψω από τις ευχαριστίες τους γονείς μου, τον αδερφό μου και όλα τα άτομα που στάθηκαν κοντά μου, κυρίως τη Μελίνα και την Κωνσταντίνα, για την υπομονή τους και το συνεχές ενδιαφέρον τους.

Η παρούσα εργασία εξετάζει την επίδραση της κλιματικής αλλαγής πάνω στα αιωρούμενα σωματίδια με διάμετρο μικρότερη από 2.5 μm , γνωστά και ως PM_{2.5}, σε παγκόσμια κλίμακα. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν προέρχονται από το Παγκόσμιο Ερευνητικό Πρόγραμμα του Κλίματος (-World Climate Research Programme), αφορούν την Έκτη φάση του Προγράμματος Σύγκρισης Συζευγμένων Μοντέλων, - (Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 - CMIP6) και αναφέρονται στη χρονική περίοδο από το 2015 μέχρι το 2100. Τα τρία κλιματικά μοντέλα που μελετώνται είναι το GFDL-ESM4, το GISS-E2-1-G και το MRI-ESM2-0. Για τη ξαγωγή των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκαν δύο πειράματα (ssp370SST και ssp370pdSST). Το πείραμα ssp370SST ακολουθεί το σενάριο ssp370 με χρονικά μεταβαλλόμενες θαλάσσιες επιφανειακές θερμοκρασίες (SSTs) που λήφθηκαν από προσομοιώσεις του πειράματος ssp370 με συζευγμένο παγκόσμιο κλιματικό μοντέλο ατμόσφαιρας-ωκεανού. Το πείραμα ssp370pdSST έχει παρόμοια πειραματική ρύθμιση με το ssp370SST με τη διαφορά ότι η θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας (SST) και ο θαλάσσιος πάγος λαμβάνονται από μια πρόσφατη κλιματολογία (περίοδος 2005–2014) που προήλθε από προσομοιώσεις του κάθε μοντέλου κατά την ιστορική περίοδο και παραμένουν σταθερές σε ολόκληρη την περίοδο των μελλοντικών προσομοιώσεων (2015–2100). Και στα δυο πειράματα ssp370SST και ssp370pdSST ακολουθούν το σενάριο SSP3_7.0 όπως περιγράφεται στο Turnock et al. (2020) και Griffiths et al. (2021). Πρακτικά, οι προσομοιώσεις ssp370pdSST απεικονίζουν την επίδραση μόνο των μελλοντικών εκπομπών διατηρώντας την κλιματική κατάσταση σύμφωνα με την κλιματολογία του πρόσφατου παρελθόντος (2005-2014), ενώ οι προσομοιώσεις ssp370SST τη συνδυασμένη επίδραση των αλλαγών του κλίματος και των εκπομπών. Ως εκ τούτου, με την διαφορά των πειραμάτων ssp370pdSST και το ssp370SST μπορεί να συναχθεί μόνο η επίδραση της μελλοντικής κλιματικής αλλαγής στα σωματίδια PM_{2.5}. Αυτό εκδηλώνεται με αλλαγές στη χημεία, τις μεταφορές, τις φυσικές εκπομπές και την εναπόθεση, με τις δύο τελευταίες διαδικασίες να αντιπροσωπεύονται στα μοντέλα με διαφορετικά επίπεδο διαδραστικότητας. Στη συνέχεια της εργασίας, υπολογίζεται η διαφορά των δύο πειραμάτων και κατασκευάζονται οι παγκόσμιοι χάρτες για δύο χρονικές περιόδους, 2021-2050 και 2070-2099 σε ετήσιο και εποχιακό επίπεδο σε σχέση με τρεις παραμέτρους, τα αιωρούμενα σωματίδια, PM_{2.5}, την βροχόπτωση και τη θερμοκρασία επιφάνειας. Μετά από την κατασκευή των χαρτών, πραγματοποιείται η ανάλυση του κάθε χάρτη για το κάθε κλιματικό μοντέλο και για την κάθε χρονική περίοδο σε ετήσια και εποχιακή κλίμακα. Από τα αποτελέσματα διαπιστώνεται ότι τα τρία κλιματικά μοντέλα βρίσκονται σε χαμηλή συμφωνία μεταξύ τους για το πόσο επηρεάζει η κλιματική αλλαγή τα PM_{2.5} και ότι η επίδραση της κλιματικής αλλαγής, θετική ή αρνητική, είναι μικρή στα αιωρούμενα σωματίδια, PM_{2.5} και έχει κυρίως τοπικό χαρακτήρα.



Abstract

This thesis examines the impact of climate change on particulate matter with a diameter smaller than 2.5, also known as PM_{2.5}, on a global scale. The data that was used come from the World Climate Research Programme, under the Sixth phase of the Coupled Models Intercomparison Project (CMIP6), and refer to the time period from 2015 to 2100. The three climate models that are studied are GFDL-ESM4, GISS-E2-1-G, and MRI-ESM2-0. For the analysis, two types of experiments were used (ssp370SST and ssp370pdSST). The ssp370SST experiment follows the ssp370 scenario with time-varying sea surface temperatures (SSTs) obtained from simulations of the ssp370 experiment with a coupled global atmosphere-ocean climate model. The ssp370pdSST experiment has a similar experimental setup to ssp370SST except that sea surface temperature (SST) and sea ice are obtained from a recent climatology (period 2005-2014) derived from simulations of each model during the historical period and remain constant throughout the period of future simulations (2015-2100). Both the ssp370SST and ssp370pdSST experiments follow the SSP3_7.0 scenario as described in Turnock et al. (2020) and Griffiths et al. (2021). In practice, the ssp370pdSST simulations depict the effect of future emissions only by maintaining the climate state according to the climatology of the recent past (2005-2014), while the ssp370SST simulations depict the combined effect of climate change and emissions. Hence, by subtracting ssp370pdSST from ssp370SST experiments the effect from climate change can be deduced for PM_{2.5}. This is manifested through changes in chemistry, transport, natural emissions, and deposition with the latter two depending on the level of interactiveness at which these processes are represented in the models. Afterwards, the difference of the two experiments is calculated and world maps are constructed for two time periods, 2021-2050 and 2070-2099 at the annual and seasonal level, in relation to three parameters: particulate matter, PM_{2.5}, precipitation and surface temperature. After the construction of the maps, analysis of each map is conducted for each climate model and for each time period on an annual and seasonal scale. The results show that the three climate models are in low agreement on how much climate change impacts PM_{2.5}, and that the impact of climate change, positive or negative, is small in particulate matter, PM_{2.5}, and is mostly local in nature.



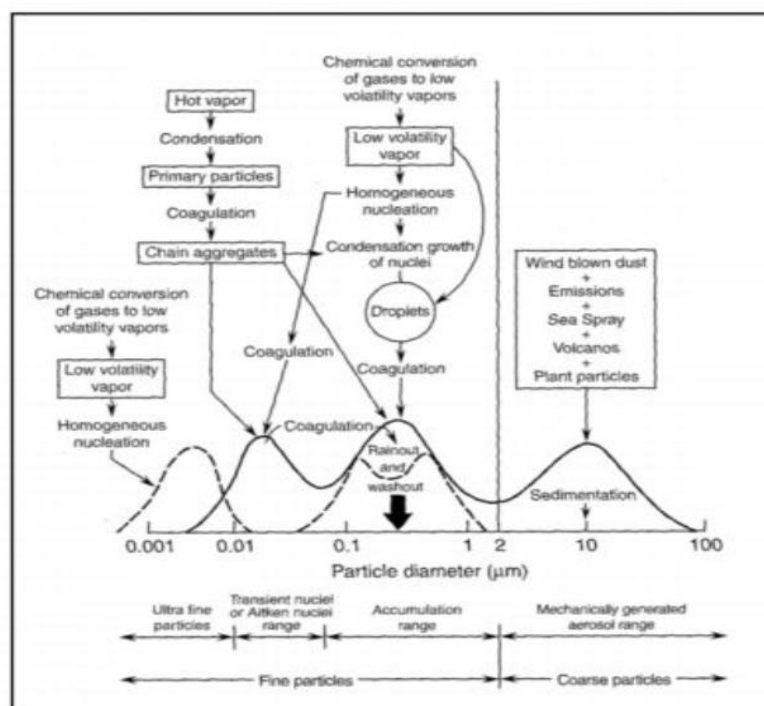
Περιεχόμενα:

Πρόλογος.....	vi
Περίληψη.....	vii
Abstract	viii
1.Εισαγωγή.....	1
2. Δεδομένα και Μεθοδολογία.....	8
3.Αποτελέσματα	13
4. Συζήτηση - Συμπεράσματα	61
5. Βιβλιογραφία.....	64

1.1 Αιωρούμενα σωματίδια PM2.5

Οι ρύποι της ατμόσφαιρας έχουν σοβαρές επιπτώσεις στον ανθρώπινο οργανισμό, στα οικοσυστήματα και στο κλίμα. Ένα σημαντικό ατμοσφαιρικό συστατικό αποτελούν τα αιωρούμενα σωματίδια τα οποία είναι στερεά ή υγρά μικρά τεμάχια ύλης και κατηγοριοποιούνται σύμφωνα με τη μορφή, το μέγεθος και τη χημική σύστασή τους.

Ανάλογα με το μέγεθος τους (Σχήμα 1.1.) ταξινομούνται στα Aitken σωματίδια με διάμετρο $0.001 - 0.2 \mu\text{m}$, σε λεπτά σωματίδια με διάμετρο $0.2 - 2 \mu\text{m}$, και σε γιγαντιαία ή χονδρόκοκκα σωματίδια με διάμετρο $> 2 \mu\text{m}$. Τα μικρά σωματίδια που έχουν διάμετρο μικρότερη από $2.5 \mu\text{m}$ (PM2.5), αποτελούνται από θεικικές και νιτρικές ενώσεις μέταλλα και οργανικές ενώσεις άνθρακα. Τα σωματίδια αυτά δεν συσσωματώνονται σε μεγαλύτερα, ούτε καθιζάνουν σε μικρότερα, αλλά προέρχονται από τη συμπύκνωση αερίων σε υπάρχοντα σωματίδια. Ο χρόνος παραμονής τους μπορεί να είναι από αρκετές μέρες μέχρι και εβδομάδες έτσι ώστε να μπορούν τα ταξιδεύουν σε μεγάλες αποστάσεις μέσω του ανέμου. Πιο συγκεκριμένα, η μεταφορά τους μπορεί να είναι τοπική ή απομακρυσμένη. Για παράδειγμα, οι τοπικές πηγές περιλαμβάνουν τις εκπομπές από οχήματα και βιομηχανίες στις πόλεις, ενώ οι απομακρυσμένες πηγές μπορεί να περιλαμβάνουν την καύση δασικών εκτάσεων και των καλλιεργειών στην ύπαιθρο, καθώς και τις εκπομπές από άλλες περιφερειακές ή παγκόσμιες πηγές (EPA, 2022).



Σχήμα 1.1. Η κατανομή των μεγεθών των αερολυμάτων της ατμόσφαιρας. Η διακεκομμένη γραμμή δείχνει την ύπαρξη λεπτόκοκκων σωματιδίων και το διπλό μέγιστο υποδηλώνει τα σωματίδια συσώρευσης (Finlayson-Pitts, B. J., & Pitts Jr, J. N. (1999)).

Επιπλέον, τα σωματίδια μπορούν να μεταφέρονται από άλλες περιοχές ή ακόμα και από άλλες χώρες, εξαιτίας των ατμοσφαιρικών ρευστών και των αέριων ρευμάτων σε διεθνές επίπεδο (Guleria et al., 2021). Στην Ευρώπη, οι σημαντικότερες πηγές των ατμοσφαιρικών σωματιδίων είναι οι καύσεις οχημάτων, οι βιομηχανικές εκπομπές και η καύση σε σταθμούς ενέργειας (EEA, 2020). Η καύση βιομάζας για θέρμανση και το κάψιμο αποβλήτων συνεισφέρουν επίσης στην παραγωγή σωματιδίων στην Ευρώπη. Οι βραχυπρόθεσμες γεωγραφικές συνθήκες, όπως οι στροβιλισμοί αέρα, μπορούν να οδηγήσουν σε τοπική αύξηση της συγκέντρωσης σωματιδίων. Σημαντικό ρόλο στην ατμοσφαιρική ρύπανση έχουν οι ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως η καύση ορυκτών καυσίμων και η βιομηχανική δραστηριότητα που αποτελούν σημαντικές πηγές σωματιδίων. Τα απόβλητα, η καύση δασικών εκτάσεων και η ατμοσφαιρική ρύπανση από βιομηχανικές εγκαταστάσεις μπορούν να προκαλέσουν την αύξηση των εκπομπών των σωματιδίων στην ατμόσφαιρα.

Τα αιωρούμενα σωματίδια επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό τις χημικές διαδικασίες της τροπόσφαιρας, στην ανάπτυξη νεφών και στην ορατότητα και η διάχυσή τους επιδρά στο ισοζύγιο της ηλιακής ακτινοβολίας. Ο κλιματικός εξαναγκασμός (Radiative Forcing) εξαιτίας της μεταβολής του ενεργειακού ισοζυγίου δέχεται μεγάλη επιρροή από τα θαλάσσια άλατα τα οποία δημιουργούν δευτερογενείς ρύπους καθώς αλληλοεπιδρούν με τους ρύπους της ατμόσφαιρας. Επομένως, τα αιωρούμενα σωματίδια μπορεί να σκεδάζουν την ακτινοβολία με αποτέλεσμα να δημιουργείται αρνητικό RF, που σημαίνει ένα ποσοστό της ακτινοβολίας να επιστρέφει στο διάστημα και να μειώνεται σε μεγάλο βαθμό η θερμοκρασία στην επιφάνεια της γης. Από την άλλη πλευρά, όμως, τα σωματίδια αυτά έχουν τη δυνατότητα και να απορροφούν την ακτινοβολία ώστε να δημιουργούν αρνητικό RF πάνω από ωκεανούς και δάση ή θετικό RF πάνω από πάγους, περιοχές με χιόνια ή ερήμους, με αποτέλεσμα την θέρμανση της ατμόσφαιρας. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, τα αιωρούμενα σωματίδια συμβάλουν στη δημιουργία των νεφών. Πιο αναλυτικά, όσο αυξάνονται τα αιωρούμενα σωματίδια στην ατμόσφαιρα, τόσο αυξάνονται οι νεφοσταγόνες και κατά συνέπεια επιδρούν στην ανακλαστικότητα του νεφών με αποτέλεσμα την ψύξη της επιφάνειας της γης. Επιπλέον, καθώς αυξάνεται ο αριθμός των σωματιδίων, αυξάνεται και διάρκεια ζωής των νεφών με αποτέλεσμα να διατηρούν περισσότερη ποσότητα υγρού νερού και έτσι να έχουν ένα σημαντικό ρόλο στην ανακλαστικότητα των νεφών. Ακόμη, η θέρμανση της ατμόσφαιρας που προκαλείται από την απορρόφηση της ακτινοβολίας μέσω των σωματιδίων, επηρεάζει την εξάτμιση των νεφοσταγόνων.

1.2. Κλιματική αλλαγή

Το κλίμα ορίζεται συνήθως ως η μέση καιρική κατάσταση ή ο μέσος καιρός ή, ακριβέστερα, ως η στατιστική περιγραφή όσον αφορά τη μέση τιμή και τη μεταβλητότητα των σχετικών μεγεθών (συνήθως επιφανειακές μεταβλητές όπως η θερμοκρασία, η βροχόπτωση και ο άνεμος) για μια χρονική περίοδο που κυμαίνεται από μήνες έως χιλιάδες ή εκατομμύρια χρόνια (Cubasch et al., 2013). Τυπικά, η περίοδος για τη μέση τιμή αυτών των μεταβλητών είναι 30 έτη, όπως ορίζεται από τον Παγκόσμιο Μετεωρολογικό Οργανισμό (WMO).

Ως κλιματική αλλαγή χαρακτηρίζεται μια αλλαγή στην κατάσταση του κλιματικού συστήματος, η οποία μπορεί να προσδιοριστεί από στατιστικά σημαντικές αλλαγές στη μέση τιμή και/ή στη μεταβλητότητα των ιδιοτήτων του και η οποία επιμένει για μεγάλο χρονικό διάστημα και μπορεί να οφείλεται τόσο σε φυσικά όσο και σε ανθρωπογενή αίτια (δεκαετίες ή περισσότερο) (Cubasch et al., 2013- Hartmann et al., 2013).

Τον τελευταίο αιώνα παρουσιάζεται αύξηση της θερμοκρασίας της

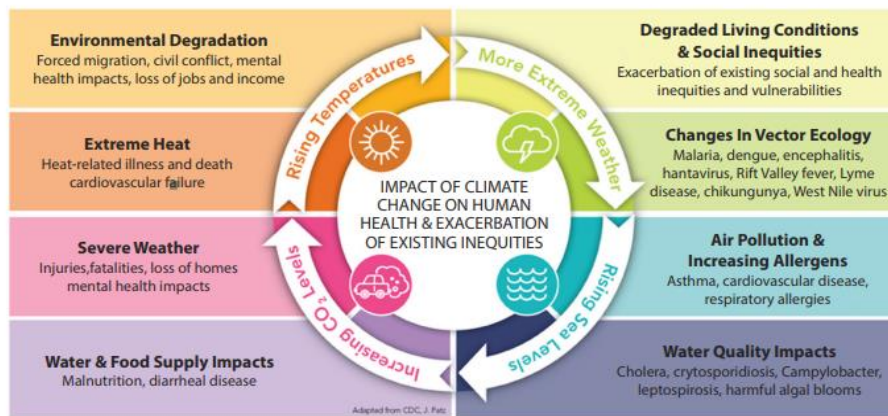
ατμόσφαιρας κατά 1.1°C - global warming- το οποίο προκαλείται από την ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου το οποίο βέβαια είναι απαραίτητο για να διατηρεί τη θερμοκρασία του πλανήτη σε επίπεδα ώστε να είναι βιώσιμος ο πλανήτης μας. Τα θερμοκηπικά αέρια, όπως είναι το μεθάνιο, το διοξείδιο του άνθρακα, το υποξείδιο του αζώτου, το όζον και αλογονούχες οργανικές ενώσεις δεν παράγονται μόνο από τη φύση, προέρχονται και από ανθρώπινες δραστηριότητες.

Τα αέρια αυτά επιτρέπουν την απορρόφηση ακτινοβολιών μικρού μήκους κύματος αλλά δεν αλληλοεπιδρούν με της γήινες υπέρυθρες ακτινοβολίες που είναι μεγάλου μήκους κύματος οι οποίες είναι υπεύθυνες για την θέρμανση της ατμόσφαιρας. Επομένως, η μεγάλη παραγωγή των αερίων αυτών από τον άνθρωπο επιδρά στο ενεργειακό ισοζύγιο του πλανήτη που έχει ως αποτέλεσμα την επιπλέον αύξηση της θερμοκρασίας που οδηγεί στην κλιματική αλλαγή και αποτελεί μία από τις μεγαλύτερες προκλήσεις που αντιμετωπίζει ο πλανήτης μας σήμερα.

Η ανθρωπογενής επίδραση στο κλίμα έχει αναγνωριστεί από την επιστημονική κοινότητα ως η βασική αιτία αυτών των αλλαγών. Σύμφωνα με τη Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC), η αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας έχει ήδη προκαλέσει αρνητικές επιπτώσεις σε παγκόσμιο επίπεδο, όπως η αύξηση της στάθμης της θάλασσας και η συχνότερη εμφάνιση ακραίων καιρικών φαινομένων (IPCC, 2018) και έχει προκαλέσει αλλαγές στο περιβάλλον και στη βιοποικιλότητα, θέτοντας σε κίνδυνο τη βιωσιμότητα του πλανήτη μας.

Η σύγχρονη αλλαγή του κλίματος αναφέρεται στην αλλαγή των κλιματικών συνθηκών σε ένα συγκεκριμένο γεωγραφικό χώρο σε σχέση με την κανονική του κλιματική κατάσταση λόγω ανθρωπογενών παραγόντων. Η αλλαγή του κλίματος αποτελεί μία από τις μεγαλύτερες προκλήσεις που αντιμετωπίζει ο πλανήτης μας σήμερα. Ενώ υπάρχουν αρκετοί λόγοι για αυτήν την αλλαγή, η εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου, ιδίως του διοξειδίου του άνθρακα, αποτελεί τον κύριο υπεύθυνο για αυτό.

Σύμφωνα με μια μελέτη του Οργανισμού Ηνωμένων Εθνών, η θερμοκρασία του πλανήτη έχει αυξηθεί κατά περίπου $1,1^{\circ}\text{C}$ από την εποχή της βιομηχανικής επανάστασης το 1750. Αυτή η αύξηση της θερμοκρασίας συνεχίζεται και αναμένεται να φτάσει περίπου στους $1,5^{\circ}\text{C}$ στα επόμενα 20 χρόνια, εάν δεν ληφθούν άμεσα μέτρα για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Η κλιματική αλλαγή διασυνδέεται με την ανθρώπινη υγεία καθώς η υπερθέρμανση του πλανήτη μπορεί να προκαλέσει εγκεφαλικά επεισόδια, ασθένειες αναπνευστικού συστήματος, αναπνευστική δυσλειτουργία, φλεγμονή στους πνεύμονες η οποία μπορεί να διαταράξει το ανοσοποιητικό σύστημα του ανθρώπου με αποτέλεσμα τις καρδιακές αρρυθμίες και τα καρδιακά επεισόδια. Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας, φαίνεται ότι το 2030 θα υπάρξει ένας τεράστιος αριθμός θανάτων λόγω της κλιματικής αλλαγής και πιο συγκεκριμένα μεταξύ του 2030 και 2050 θα σημειωθούν επιπλέον 250.000 θάνατοι σε κάθε έτος κυρίως στις αναπτυσσόμενες χώρες.



Σχήμα 1.2. Επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην ανθρώπινη υγεία και επιδείνωση των υφιστάμενων ανισοτήτων (Valentová, A., & Bostik, V., 2021)

Η αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της συχνότητας και της έντασης των ακραίων καιρικών φαινομένων (Σχήμα 1.1), όπως τα κύματα ζέστης, οι πλημμύρες και οι ξηρασίες. Συνεπώς, τα μολυσμένα νερά που μένουν από βροχές και καταιγίδες μπορούν να εμφανίσουν σοβαρές ασθένειες μεταδοτικές όπως είναι η χολέρα, η ηπατίτιδα κ.α. Σε πιο σπάνιες περιπτώσεις, η αύξηση της θερμοκρασίας προκαλεί νευρολογικές διαταραχές όπως απώλεια μνήμης, επιληπτικά επεισόδια. Επιπλέον, η κλιματική αλλαγή έχει σοβαρές συνέπειες για τη βιοποικιλότητα, καθώς απειλεί την επιβίωση πολλών ειδών και μειώνει τα επικοινωνιακά συστήματα στα οικοσυστήματα. Στην ουσία, η αλλαγή του κλίματος απειλεί την ίδια την ύπαρξη της ανθρωπότητας και της παγκόσμιας οικονομίας. Μια άλλη συνέπεια της διαφοροποίησης του κλίματος είναι η αύξηση της οξίνισης των ωκεανών, η οποία προκαλείται από την απορρόφηση μεγάλων ποσοτήτων διοξειδίου του άνθρακα και μειώνει το pH του θαλασσινού νερού. Η διαδικασία αυτή επηρεάζει τον βιότοπο των ωκεανών και επηρεάζει τη διατροφική αλυσίδα, με σοβαρές επιπτώσεις στην παγκόσμια αλιεία.

Στη βόρεια Αφρική, η αλλαγή του κλίματος είχε σοβαρές συνέπειες στη γεωργία και την παραγωγή τροφίμων. Τον τελευταίο αιώνα, οι θερμοκρασίες στην περιοχή έχουν αυξηθεί κατά 1 βαθμό Κελσίου, με αποτέλεσμα την εξάντληση του εδάφους και τη μείωση της παραγωγής. Η αλλαγή του κλίματος επίσης επηρέασε τη διαθεσιμότητα του νερού στην περιοχή και επιδείνωσε τις συνθήκες ζωής των ανθρώπων.

Στη Βόρεια Αμερική, η αλλαγή του κλίματος επηρεάζει τις δασικές περιοχές. Με την αύξηση της θερμοκρασίας, οι πυρκαγιές γίνονται πιο συχνές και έντονες, με αποτέλεσμα την καταστροφή του βλαστού και την απώλεια της βιοποικιλότητας. Επιπλέον, οι πιο συχνές και έντονες καταιγίδες μπορούν να έχουν σοβαρές επιπτώσεις στη χωροθέτηση και στα υδάτινα οικοσυστήματα.

Στην Ασία, η αλλαγή του κλίματος επηρεάζει την παραγωγή τροφίμων, καθώς η περιοχή είναι γεωργικά παραγωγική. Η αύξηση της θερμοκρασίας και οι ακραίες καιρικές συνθήκες μπορούν να έχουν σοβαρές συνέπειες στην παραγωγή ρυζιού, σόγιας και άλλων καλλιεργειών.

Τέλος, στην Ευρώπη, η αλλαγή του κλίματος επηρεάζει τη βιοποικιλότητα και τα αστικά συστήματα. Η αλλαγή του κλίματος μπορεί να οδηγήσει στη μείωση της παραγωγικότητας των χωραφιών και την αποδυνάμωση των οικοσυστημάτων. Επιπλέον, η αλλαγή του κλίματος μπορεί να επηρεάζει την υγεία των ανθρώπων, καθώς οι αυξανόμενες θερμοκρασίες μπορούν να οδηγήσουν σε αυξημένο κίνδυνο

θερμοπληξίας και άλλων ασθενειών, ενώ η ατμοσφαιρική ρύπανση μπορεί να επιδεινώσει αναπνευστικά προβλήματα.

Συνεπώς, η αλλαγή του κλίματος είναι μια σοβαρή πρόκληση για την ανθρωπότητα και απαιτεί τη λήψη άμεσων μέτρων για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και την προσαρμογή στις αλλαγές του κλίματος που ήδη συμβαίνουν.

1.3. Ιστορική αναδρομή της κλιματικής αλλαγής

Οι κλιματικές μεταβολές έχουν απασχολήσει την ανθρωπότητα εδώ και αιώνες. Παρατηρήσεις και ενδείξεις μεταβολής στο κλίμα αναφέρονται από πολλές αρχαιολογικές εκσκαφές, από τον κλασικό πολιτισμό των Ελλήνων και των Ρωμαίων, και από τον Μεσαίωνα.

Οι αρχαίοι Έλληνες παρατήρησαν τις μεταβολές στο κλίμα και την επίδρασή του στη γεωργία και την κοινωνία. Ο Θουκυδίδης, για παράδειγμα, σημειώνει τις κλιματικές μεταβολές που επηρέασαν την αθηναϊκή εκστρατεία στη Σικελία τον 5ο αιώνα π.Χ. (Luterbacher et al., 2004).

Στη συνέχεια, κατά τη διάρκεια της μεσαιωνικής περιόδου, η Ευρώπη έζησε μια περίοδο ψύχους που ονομάζεται "Μικρή Παγετώδης Περίοδος", η οποία διήρκεσε από τον 14ο έως τον 19ο αιώνα. Η περίοδος αυτή συνέβαλε στην εξάπλωση της πανούκλας και στη μείωση της γεωργικής παραγωγής, έχοντας σημαντικό αντίκτυπο στην οικονομία και την κοινωνία της εποχής (Bradley, 2003).

Η πρώτη αναφορά στην κλιματική αλλαγή ως αποτέλεσμα ανθρωπογενούς δραστηριότητας έγινε στη δεκαετία του 1890 από τον Σουηδό φυσικό Svante Arrhenius. Στην εργασία του, ο Arrhenius υπολόγισε την επίδραση της ανθρώπινης καύσης καυσίμων στο κλίμα. Αυτή η ιδέα δεν είχε μεγάλη επίδραση στην επιστημονική κοινότητα της εποχής του, αλλά επανήλθε δυναμικά τη δεκαετία του 1950.

Στα τέλη του 18ου αιώνα με αρχές του 19ου αιώνα άρχισε μία νέα εποχή για τον άνθρωπο και πιο συγκεκριμένα μια νέα γεωλογική εποχή. Η βιομηχανική επανάσταση, σύμφωνα με την έννοια <<Ανθρωπόκαινος>> από τους Stoermer και Crutzen, είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση του CO₂ και άλλων θερμοκηπικών αερίων. Η αύξηση αυτή που ευθύνεται στην αύξηση της ανθρώπινης δραστηριότητας οδήγησε στην υπερθέρμανση του πλανήτη και κατά συνέπεια στον όρο κλιματική αλλαγή.

Το 19ο αιώνα, οι επιστήμονες άρχισαν να μελετούν την κλιματική αλλαγή. Ο Γάλλος μαθηματικός και αστροφυσικός Joseph Fourier πρότεινε το 1824 ότι η ατμόσφαιρα λειτουργεί ως μια μάσκα που κρατάει τη θερμότητα και το κρύο, ενώ ο Ιρλανδός μετεωρολόγος John Tyndall ανακάλυψε το 1859 ότι ορισμένα αέρια, όπως το διοξείδιο του άνθρακα, το μεθάνιο και το οξείδιο του αζώτου, είναι απορροφητές ακτινοβολίας και μπορούν να παγιδεύουν τη θερμότητα στην ατμόσφαιρα.

Στη δεκαετία του 1890, ο Σουηδός φυσιολόγος Svante Arrhenius υπολόγισε ότι η ανθρωπογενής εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα θα μπορούσε να οδηγήσει σε αλλαγή του κλίματος, αυξάνοντας τη θερμοκρασία του πλανήτη. Το 1938, ο Βρετανός μετεωρολόγος και κλιματολόγος Guy Callendar παρουσίασε αναλύσεις που έδειξαν ότι η θερμοκρασία του πλανήτη είχε αυξηθεί κατά 0,1 βαθμούς Κελσίου σε σχέση με το 1850.

Στα τέλη της δεκαετίας του 1950, ο Αμερικανός κλιματολόγος Charles Keeling ξεκίνησε να μετρά το επίπεδο του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα στο Mauna Loa στη Χαβάη. Τα αποτελέσματα έδειξαν μια σημαντική αύξηση των επιπέδων διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα κατά τη διάρκεια της δεκαετίας

του 1950 και της δεκαετίας του 1960.

Το 1965, ο πρόεδρος των "ΗΠΑ Lyndon B. Johnson δήλωσε στο Κογκρέσο ότι η κλιματική αλλαγή αποτελεί μια σοβαρή απειλή και προέβη σε έκκληση για δράση. Την ίδια δεκαετία, η επιστημονική κοινότητα άρχισε να συνειδητοποιεί τη σημασία των αερίων του θερμοκηπίου στην αλλαγή του κλίματος και τη σχέση τους με την ανθρώπινη δραστηριότητα.

Το 1979, η Πρωτόκολλο του Τόκιο συνάπτεται μεταξύ των χωρών του ΟΟΣΑ (Οργανισμός Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης) για τη μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου. Αυτό σηματοδότησε την πρώτη διεθνή συμφωνία για τον περιορισμό των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Ωστόσο, αυτό το πρωτόκολλο δεν ήταν νομικά δεσμευτικό, οπότε η επίδρασή του ήταν περιορισμένη.

Την ίδια δεκαετία, η κλιματική αλλαγή άρχισε να προκαλεί ανησυχίες στη διεθνή κοινότητα. Το 1988, η Παγκόσμια Οργάνωση Υγείας (WHO) έθεσε το ζήτημα της κλιματικής αλλαγής υπό σοβαρή εξέταση και το 1990, η Διεθνής Επιτροπή Κλιματικής Αλλαγής (IPCC) ιδρύθηκε από τον ΟΗΕ και τον Παγκόσμιο Μετεωρολογικό Οργανισμό για τη μελέτη της κλιματικής αλλαγής.

Στα τέλη του 20ού αιώνα, η επιστημονική κοινότητα άρχισε να αναφέρεται στην ανθρωπογενή κλιματική αλλαγή και στην ανάγκη για δράση. Το 1990, η Παγκόσμια Οργάνωση Υγείας και το Περιβαλλοντικό Πρόγραμμα του ΟΗΕ δημοσίευσαν το πρώτο τους κοινό ανακοινωθέν για την κλιματική αλλαγή. Αυτό το κοινό ανακοινωθέν παρουσίασε την πιθανότητα της ανθρωπογενούς κλιματικής αλλαγής και προέβλεπε ότι η παγκόσμια θερμοκρασία θα αυξηθεί κατά 0,3°C σε κάθε δεκαετία.

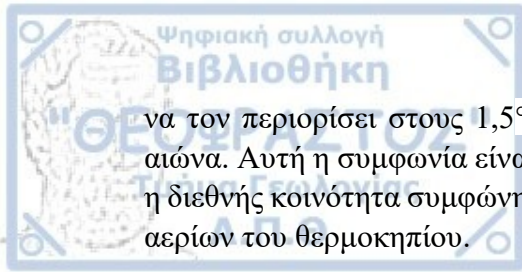
Το 1992, πραγματοποιήθηκε η Σύνοδος του Ρίο για το Περιβάλλον και τη Βιώσιμη Ανάπτυξη, όπου η Κλιματική Σύμβαση του ΟΗΕ εγκρίθηκε από 154 χώρες και τέθηκε σε ισχύ το 1994. Η Σύμβαση αποτελεί μια δέσμευση για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου σε παγκόσμιο επίπεδο, με στόχο τη διατήρηση της σταθερότητας του κλίματος σε ασφαλή επίπεδα.

Το 1997, η Συμφωνία του Κιότο υπογράφηκε από τα κράτη μέλη της UNFCCC, με στόχο τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Η συμφωνία αυτή επέβαλε στις ανεπτυγμένες χώρες στόχους μείωσης των εκπομπών τους και εισήγαγε μηχανισμούς εμπορίας εκπομπών και καθαίρεσης.

Το 2007, η Παγκόσμια Οργάνωση Υγείας (WHO) και η Παγκόσμια Μετεωρολογική Οργάνωση (WMO) κοινοποίησαν ότι η ανθρωπότητα αντιμετωπίζει σοβαρές απειλές λόγω της κλιματικής αλλαγής. Η αναφορά τους επισήμαινε ότι η αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη έχει ήδη προκαλέσει αύξηση των καρδιοπαθειών, της ρευματοειδούς αρθρίτιδας και άλλων νόσων, καθώς και αναπνευστικών προβλημάτων λόγω της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και των καιρικών φαινομένων που προκαλούνται από την κλιματική αλλαγή.

Το 2009, η διάσκεψη του ΟΗΕ για την κλιματική αλλαγή που διεξήχθη στην Κοπεγχάγη συμπέρανε ότι ο κόσμος πρέπει να περιορίσει την αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη σε 2°C πάνω από τα προ-βιομηχανικά επίπεδα, προκειμένου να αποτρέψει τις πλέον επιζήμιες συνέπειες της κλιματικής αλλαγής. Ωστόσο, από τότε, οι παγκόσμιες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου έχουν συνεχίσει να αυξάνονται και η παγκόσμια θερμοκρασία έχει ήδη αυξηθεί κατά περίπου 1°C σε σύγκριση με τα προ-βιομηχανικά επίπεδα.

Το 2015, το Παρίσι αποτέλεσε τη σκηνή μιας ιστορικής διάσκεψης για το κλίμα, η οποία είναι γνωστή ως Συνθήκη του Παρισιού. Στη συνεδρίαση αυτή, η διεθνής κοινότητα επιτέλους κατέληξε σε συμφωνία για τον περιορισμό της παγκόσμιας ανόδου της θερμοκρασίας κάτω από τους 2°C, με στόχο να προσπαθήσει



να τον περιορίσει στους 1,5°C, σε σχέση με τα προβιομηχανικά επίπεδα του 19ου αιώνα. Αυτή η συμφωνία είναι ιστορική, καθώς αντιπροσωπεύει την πρώτη φορά που η διεθνής κοινότητα συμφώνησε σε συγκεκριμένα μέτρα για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.

2. Δεδομένα και Μεθοδολογία

2.1. Δεδομένα

Τα δεδομένα που θα χρησιμοποιηθούν για την ανάλυση προέρχονται από το Παγκόσμιο Ερευνητικό Πρόγραμμα του Κλίματος (World Climate Research Programme) και αναφέρονται στην Έκτη φάση του Προγράμματος Σύγκρισης Συζευγμένων Μοντέλων, CMIP6. Για την μελέτη και τη δημιουργία των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκαν δύο πειράματα, το ssp370SST που αφορά την μελλοντική κλιματική αλλαγή και το ssp370pdSST που αναφέρεται στην σημερινή κλιματική κατάσταση με μελλοντικές εκπομπές. Συγκεκριμένα, το πείραμα ssp370SST ακολουθεί το σενάριο ssp370 με χρονικά μεταβαλλόμενες θαλάσσιες επιφανειακές θερμοκρασίες (SSTs) που λήφθηκαν από προσομοιώσεις του πειράματος ssp370 με συζευγμένο παγκόσμιο κλιματικό μοντέλο ατμόσφαιρας-ωκεανού. Το πείραμα ssp370pdSST έχει παρόμοια πειραματική ρύθμιση με το ssp370SST με τη διαφορά ότι η θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας (SST) και ο θαλάσσιος πάγος λαμβάνονται από μια πρόσφατη κλιματολογία (περίοδος 2005–2014) που προήλθε από προσομοιώσεις του κάθε μοντέλου κατά την ιστορική περίοδο και παραμένουν σταθερές σε ολόκληρη την περίοδο των μελλοντικών προσομοιώσεων (2015–2100). Και στα δυο πειράματα ssp370SST και ssp370pdSST οι μελλοντικές ανθρωπογενείς εκπομπές ακολουθούν το σενάριο SSP3_7.0 όπως περιγράφεται στο Turnock et al. (2020) και Griffiths et al. (2021). Πρακτικά, οι προσομοιώσεις ssp370pdSST απεικονίζουν την επίδραση μόνο των μελλοντικών εκπομπών, ενώ οι προσομοιώσεις ssp370SST τη συνδυασμένη επίδραση των αλλαγών του κλίματος και των εκπομπών. Ως εκ τούτου, αφαιρώντας το ssp370pdSST από το ssp370SST μπορεί να συναχθεί μόνο η επίδραση της κλιματικής αλλαγής στη σύσταση της ατμόσφαιρας και τα PM_{2.5} που επικεντρώνεται η παρούσα διπλωματική εργασία. Αυτό εκδηλώνεται με αλλαγές στη χημεία, τις μεταφορές, τις φυσικές εκπομπές και την εναπόθεση, με τις δύο τελευταίες διαδικασίες να αντιπροσωπεύονται στο μοντέλο με διαφορετικά επίπεδο διαδραστικότητας.

Τα κλιματικά μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν είναι τρία. Το πρώτο κλιματικό μοντέλο είναι το GFDL-EMS4, το δεύτερο είναι το GISS-E2-1-G και το τρίτο είναι το MR1-ESM2-0. Οι τρεις παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν για να αναπτυχθούν τα αποτελέσματα για το κάθε μοντέλο είναι τα αιωρούμενα σωματίδια p.m_{2.5}, η βροχόπτωση και η θερμοκρασία επιφανείας. Επιπλέον, το χρονικό διάστημα των δεδομένων ξεκινάει από το έτος 2015 μέχρι το έτος 2100. Στη συνέχεια, ακολουθεί η περιγραφή του CMIP, της 6ης Φάσης, των πειραμάτων και των τριών κλιματικών μοντέλων.

2.1.1 Coupled Model Intercomparison Project (CMIP) -Πρόγραμμα Σύγκρισης Συζευγμένων Μοντέλων

Το Πρόγραμμα Σύγκρισης Συζευγμένων Μοντέλων ξεκίνησε το έτος του 1995 από μία ομάδα που ασχολήθηκε με τη Συνδεδεμένη Μοντελοποίηση (<https://www.wcrp-climate.org/wgcm-cmip>). Τα πρώτα πειράματα αφορούσαν τη σύγκριση της απόκρισης του μοντέλου απέναντι στην αύξηση με σταθερό ρυθμό του CO₂ κατά 1% ετησίως. Μέχρι σήμερα, τα πειράματα αυτά συνεχίζουν να περιλαμβάνουν τις αποκρίσεις αυτές αλλά πλέον πραγματοποιούνται ορισμένες εκτιμήσεις των αλλαγών στις ιστορικές επιδράσεις της ακτινοβολίας και στο μέλλον.

Ο στόχος αυτού του προγράμματος είναι να γίνουν καλύτερα κατανοητές οι προηγούμενες, οι σημερινές και οι μελλοντικές αλλαγές του κλίματος λόγω της μεταβλητότητας ή λόγω των αλλαγών στην ακτινοβολία μέσα από ένα σύνολο πολλαπλών μοντέλων.

Στη συνέχεια, γίνονται μελέτες που αναφέρονται στις επιδόσεις των μοντέλων κατά την ιστορική περίοδο σε μακρά χρονική κλίμακα και στις προβλέψεις του κλιματικού συστήματος σε διάφορες χρονικές και χωρικές κλίμακες. Το Πρόγραμμα Σύγκρισης Συζευγμένων Μοντέλων στοχεύει στην δημόσια διαθεσιμότητα δημιουργίας πολλαπλών μοντέλων σε τυποποιημένη μορφή.

2.1.2. CMIP6 - Φάση 6

Η φάση 6 (<https://www.wcrp-climate.org/wgcm-cmip/wgcm-cmip6>, <https://gmd.copernicus.org/articles/9/1937/2016/gmd-9-1937-2016.html>) αποτελείται από τρία βασικά στοιχεία. Αρχικά, περιλαμβάνει ένα σύνολο κοινών πειραμάτων (DECK, Diagnostic, Evaluation and Characterization of Climate) και ιστορικών προσομοιώσεων από το 1850 έως σήμερα, δεύτερον ένα σύνολο από κοινά πρότυπα, συντονισμού και υποδομών που θα βοηθήσουν στο να παραχθούν τα αποτελέσματα των μοντέλων και τρίτον εγκεκριμένα έργα σύγκρισης των κλιματικών μοντέλων που θα αφορούν τη συγκεκριμένη φάση. Με αυτά τα βασικά στοιχεία θα μπορέσουν να αντιμετωπιστεί ένας μεγάλος αριθμός ερωτημάτων και επιστημονικών κενών που αναπτύχθηκαν στις προηγούμενες φάσεις.

Η φάση αυτή που περιεγράφηκε παραπάνω ασχολείται με τρία βασικά ερωτήματα. Το πρώτο ερώτημα αφορά την ανταπόκριση του γήινου συστήματος στην εξαναγκαστική επίδραση, το δεύτερο αναφέρεται στην προέλευση και στις συνέπειες των συστηματικών μεροληψιών των μοντέλων και το τρίτο στην αξιολόγηση των μελλοντικών κλιματικών αλλαγών με βάση την εσωτερική κλιματική μεταβλητότητα, την προβλεψιμότητα και την αβεβαιότητα των σεναρίων (Eyring, V., 2016).

2.1.3 Πειράματα

Οι προσομοιώσεις στο πλαίσιο των πειραμάτων AerChemMIP ssp370SST και ssp370pdSST χρησιμοποιήθηκαν για την ποσοτικοποίηση της επίδρασης της κλιματικής αλλαγής στα αιωρούμενα σωματίδια PM_{2.5}. Το πείραμα ssp370SST ακολουθεί το σενάριο ssp370 με χρονικά μεταβαλλόμενες SST από προσομοιώσεις συζευγμένων μοντέλων ssp370. Το πείραμα ssp370pdSST έχει παρόμοια πειραματική διάταξη με το ssp370SST με τη διαφορά ότι οι θερμοκρασίες της επιφάνειας της θάλασσας (SST) και οι συγκεντρώσεις θαλάσσιου πάγου λαμβάνονται από μια κλιματολογία της σημερινής ημέρας (2005-2014) από τη θεωρητική προσομοίωση κάθε μοντέλου και παραμένουν σταθερές κατά τη διάρκεια ολόκληρης της περιόδου του πειράματος (2015-2100). Και τα δύο πειράματα ssp370SST και ssp370pdSST εξετάζουν μελλοντικές ανθρωπογενείς εκπομπές σύμφωνα με το σενάριο SSP3_7.0, όπως περιγράφεται στα Turnock et al. (2020) και Griffiths et al. (2021).

Οι προσομοιώσεις του πειράματος ssp370SST δείχνουν την επιρροή των μεταβολών των εκπομπών ενώ το δεύτερο πείραμα απεικονίζει την επιρροή των μεταβολών των εκπομπών αλλά και του κλίματος. Η διαφορά των δύο πειραμάτων ssp370SST και ssp370pdSST υπολογίζει την αλλαγή του κλίματος για κάθε μοντέλο.

- AerChemMIP (Aerosol Chemistry Model Intercomparison Project)

Το Πρόγραμμα Σύγκρισης Χημικού Μοντέλου Αερολυμάτων είναι μέρος του CMIP6 και μελετάει τις επιπτώσεις των αερολυμάτων και των χημικών αερίων στην ποιότητα του αέρα και γενικότερα στο κλίμα. Τα χημικά αέρια είναι γνωστά με τον αγγλικό όρο, 'NTCFs', και θεωρούνται το μεθάνιο, το τροποσφαιρικό όζον, τα αερολύματα και οι πρόδρομες ουσίες τους και το οξείδιο του αζώτου και οι αλογονάνθρακες που μειώνουν το όζον. (Collins et al, 2017).

Ο κύριος στόχος των μοντέλων αυτών είναι να δώσει απαντήσεις σε ορισμένα ερωτήματα, όπως πώς η ανθρώπινη δραστηριότητα επηρέασε το κλιματικό σύστημα, πώς οι πολιτικές του μέλλοντος θα μπορούσαν να ελαχιστοποιήσουν τις εκπομπές των αερίων που αναφέρθηκαν παραπάνω και πόσο σημασία έχουν οι αναδράσεις του κλίματος απέναντι στην ατμόσφαιρα και στην ακτινοβολία.

2.1.4. Κλιματικά Μοντέλα

Στον Πίνακα 2.1 παρουσιάζονται τα μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν για την μελέτη της παρούσας εργασίας. Επιπλέον, δίνονται πληροφορίες για την ανάλυση του κάθε μοντέλου, για τα κατακόρυφα επίπεδα, για τον τύπο του κάθε μοντέλου, για τις προσομοιώσεις και οι αντίστοιχες αναφορές μέσω των οποίων πραγματοποιήθηκε η λήψη των παραπάνω πληροφοριών.

Πίνακας 2.1 Πληροφορίες σχετικά με την ανάλυση του μοντέλου, τα κατακόρυφα επίπεδα, τον τύπο, τις προσομοιώσεις και τις αναφορές (Zanis et al., 2022).

Μοντέλο	Ανάλυση	Κατακόρυφα επίπεδο	Τύπος μοντέλου	ssp370SST ssp370pdSST προσομειώση	Αναφορά
GFDL-ESM4	1°× 1.25°	49 levels; top level 0.01 hPa	ESM interactive chemistry	r1i1p1f1	Horowitz <i>et al</i> (2018a, 2018b)
MRI-ESM2-0	1.125°× 1.125°	80 levels; top level 0.01 hPa	ESM interactive chemistry	r1i1p1f1	Yukimoto <i>et al</i> (2019b, 2020)
GISS-E2-1-G	2°× 2.5°	40 levels; top level 0.1 hPa	CCM interactive chemistry	r1i1p3f1	NASA (2020a, 2020b)

- GFDL-ESM4

Το μοντέλο αυτό με την έκδοση 4.1 διαμορφώθηκε στο εργαστήριο Γεωφυσικής Δυναμικής Ρευστών και βασίζεται στα συστατικά στοιχεία των συζευγμένων μοντέλων κατά το χρονικό διάστημα 2013-2018 για να δείξει την προσομοίωση σύζευξης του άνθρακα, της χημείας και του κλίματος (Dunne J. P. et al., 2020). Με αυτό τον τρόπο συμβάλλει στην έκτη φάση του προγράμματος Συζευγμένων Μοντέλων. Η προηγούμενη έκδοση 4.0. εστιάζει στην ανάλυση των ωκεανών για το φυσικό κλίμα, ενώ η έκδοση 4.1 επικεντρώνεται στην πληρότητα των αλληλεπιδράσεων του γήινου συστήματος. Η 4.1 συγκεντρώνει τις πιο σημαντικές εξελίξεις της έκδοσης 4.0 που αφορούν τη δυναμική και τη φυσική της, τα αερολύματα και τις εκπομπές των αερολυμάτων, τη βλάστηση των χερσαίων οικοσυστημάτων και τις μεγάλες πυρκαγιές. Επιπλέον, το μοντέλο αυτό διαθέτει μια πιο βελτιωμένη αναπαράσταση των κλιματικών προτύπων και μεταβλητότητας από τις προηγούμενες εκδόσεις του GFDL και συνδέει ολοκληρωμένα τη χημεία, τον άνθρακα και τη σκόνη.

- GISS-E2-1-G

Το μοντέλο αυτό αναπτύχθηκε στο Ινστιτούτο Μελετών Goddard της Εθνικής Υπηρεσίας Αεροναυτικής και Διαστήματος (NASA) και συμβάλλει και αυτό στην 6η φάση του CMIP. Σε σύγκριση με το προηγούμενο μοντέλο GISS-E2, το GISS-E2-1 παρέχει πιο βελτιωμένες παραμετροποιήσεις των συνιστωσών των μοντέλων ατμόσφαιρας και ωκεανού, ενώ διατηρεί ίδια την ατμοσφαιρική ανάλυση.

Στη συνέχεια, συγκρίθηκαν τα αποτελέσματα του μοντέλου με πρόσφατες παρατηρήσεις από το χρονικό διάστημα 1979-2014 και έγινε φανερό ότι υπήρξε σημαντική αύξηση της απόδοσης του μοντέλου αυτού σε σχέση με την προηγούμενη έκδοση και ιδιαίτερα στο Νότιο Ωκεανό. (Kelley et al., 2020)

Σύμφωνα με τον Miller et al.,(2021) στο μοντέλο GISS-E2-1-G μέχρι το 2014 η θέρμανση της τροπόσφαιρας και η πρόσληψη θερμότητας από τους ωκεανούς είναι μικρότερες και η ευαισθησία του κλίματος είναι πιο υψηλή αλλά η επιτάχυνση λόγω των αερίων του θερμοκηπίου είναι μικρότερη σε σύγκριση με τις παρατηρήσεις του CMIP5.

Ακόμη, το κλιματικό μοντέλο προσαρμόζεται στις αλλαγές που προηγήθηκαν στις μετρήσεις στον ωκεανό και στην ατμόσφαιρα και προβλέπει την αύξηση της θερμοκρασίας που οφείλεται στα ορυκτά καύσιμα τα οποία αποτελούν την κύρια αιτία αύξησης του διοξειδίου του άνθρακα και άλλων θερμοκηπικών αερίων τους τελευταίους δύο αιώνες. (Miller et al., 2021)

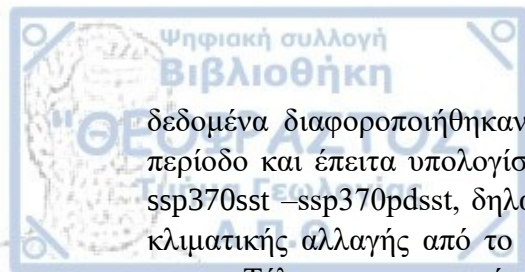
- MRI-ESM2-0

Σύμφωνα με τους Yukimoto et al. (2019a), Kawai et al. (2019), Griffiths et al. (2021) και Oshima et al. (2020) το MRI-ESM2-0 είναι η δεύτερη έκδοση του Μοντέλου Συστήματος Γης του Ινστιτούτου Μετεωρολογικών Ερευνών. Το μοντέλο περιλαμβάνει τέσσερα βασικά συστατικά στοιχεία. Το πρώτο είναι το ατμοσφαιρικό μοντέλο γενικής κυκλοφορίας που αναλύει τις διεργασίες της ξηράς, το δεύτερο κύριο στοιχείο είναι το μοντέλο γενικής κυκλοφορίας ωκεανών και παγετώνων, το τρίτο αφορά τη χημική μεταφορά αερολυμάτων και το τέταρτο περιλαμβάνει την χημεία της ατμόσφαιρας.

Το μοντέλο ατμοσφαιρικής χημείας, υπολογίζει την εξέλιξη και την κατανομή του όζοντος και άλλων αερίων στην τροπόσφαιρα και στην μέση ατμόσφαιρα (Yukimoto et al., 2019b, Deushi and Shibata, 2011). Το μοντέλο των αερολυμάτων αναλύει τις φυσικές και χημικές διεργασίες των αερολυμάτων στην ατμόσφαιρα και αντιμετωπίζει τον μαύρο άνθρακα, το θαλάσσιο άλας, την ορυκτή σκόνη, τα θειικά άλατα που δεν θεωρούνται θαλάσσιο άλας και τα πρόδρομα αέρια αερολύματος (Yukimoto et al., 2019b, Oshima et al., 2020).

2.2. Μεθοδολογία

Η επεξεργασία των δεδομένων πραγματοποιήθηκε μέσω του λογισμικού CDO (Climate Data Operators) που διαχειρίζεται κλιματικά δεδομένα και τα αναλύει. Μέσω του Χειριστή Κλιματικών Δεδομένων η χρονική περίοδος για το κάθε πείραμα, το κάθε κλιματικό μοντέλο και για την κάθε παράμετρο από το 2021 έως 2099 διαχωρίστηκε σε δύο χρονικά διαστήματα. Το πρώτο ξεκινάει από 2021 μέχρι 2050 και η δεύτερη χρονική περίοδος αρχίζει από 2070 έως 2099. Στη συνέχεια, τα



δεδομένα διαφοροποιήθηκαν σε ετήσια και σε εποχιακά δεδομένα για την κάθε περίοδο και έπειτα υπολογίστηκε η μέση τιμή της διαφοράς των δύο πειραμάτων, ssp370sst –ssp370pdsst, δηλαδή τη διαφορά των παραμέτρων με την επίδραση της κλιματικής αλλαγής από το σημερινό κλιματικό σύστημα χωρίς κάποια επίδραση.

Τέλος, η κατασκευή των χαρτών, για το κάθε κλιματικό μοντέλο και για την κάθε παράμετρο για τις δύο χρονικές περιόδους που αναφέρθηκαν παραπάνω, πραγματοποιήθηκε μέσω της γλώσσας προγραμματισμού Python.

Σ αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας σε μορφή χαρτών για δύο χρονικές περιόδους. Η πρώτη περίοδος περιλαμβάνει τα έτη 2021-2050 και η δεύτερη τη χρονοσειρά 2070-2099. Οι χάρτες απεικονίζουν τις μέσες τιμές της διαφοράς των δύο πειραμάτων, $ssp370sst - ssp370pdsst$ για τα τρία κλιματικά μοντέλα. Για κάθε κλιματικό μοντέλο και χρονική περίοδο παρατίθενται τα πρώτα αποτελέσματα σε ετήσια κλίμακα και έπειτα σε εποχιακή, για το χειμώνα, το καλοκαίρι και στη συνέχεια για την άνοιξη και το φθινόπωρο. Οι τρεις κλιματικές παράμετροι που μελετώνται είναι τα αιωρούμενα σωματίδια με διάμετρο 2.5, η βροχόπτωση και η θερμοκρασία επιφανείας.

3.1. PM2.5

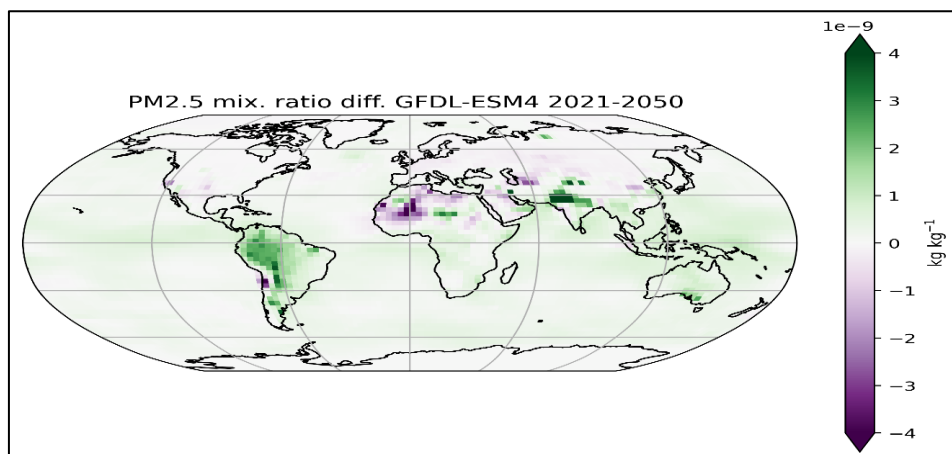
Ακολουθεί η παρουσίαση των χαρτών των διαφορών των μέσων τιμών της διαφοράς των δύο πειραμάτων όσον αφορά τα αιωρούμενα σωματίδια PM2.5. Το πράσινο χρώμα αναπαριστά τις θετικές τιμές της διαφοράς, το άσπρο την ουδετερότητα, ενώ το μωβ τις αρνητικές τιμές των δύο πειραμάτων. Το πρώτο κλιματικό μοντέλο για το οποίο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα σε ετήσια και εποχιακή κλίμακα είναι το GFDL-ESM4, ακολουθεί το GISS-E2-1-G και τέλος το MRI-ESM2-0, για τις περιόδους 2021-2050 και 2070-2099. Στο πρώτο κομμάτι αναλύονται τα ετήσια αποτελέσματα ακολουθώντας τα εποχιακά, για την χειμερινή και θερινή περίοδο κι έπειτα για την εαρινή και φθινοπωρινή.

3.1.1. GFDL-ESM4

Το κλιματικό μοντέλο GFDL-ESM4 παρουσιάζει τις μέσες τιμές της διαφοράς κυρίως στις χώρες της Ν Αμερικής, στις περιοχές της Αφρικανικής ηπείρου, στη Ν Ασία και στην Αυστραλία. Τα υπόλοιπα μέρη του Παγκόσμιου χάρτη απεικονίζονται με λευκό χρώμα που δηλώνει τις ουδέτερες μέσες τιμές. Στο πρώτο κομμάτι αναλύονται τα ετήσια αποτελέσματα και έπειτα εποχιακά αποτελέσματα, του χειμώνα και του θέρους και στη συνέχεια της άνοιξης και του φθινοπώρου, όπως φαίνεται παρακάτω.

Α. Ετήσια Αποτελέσματα

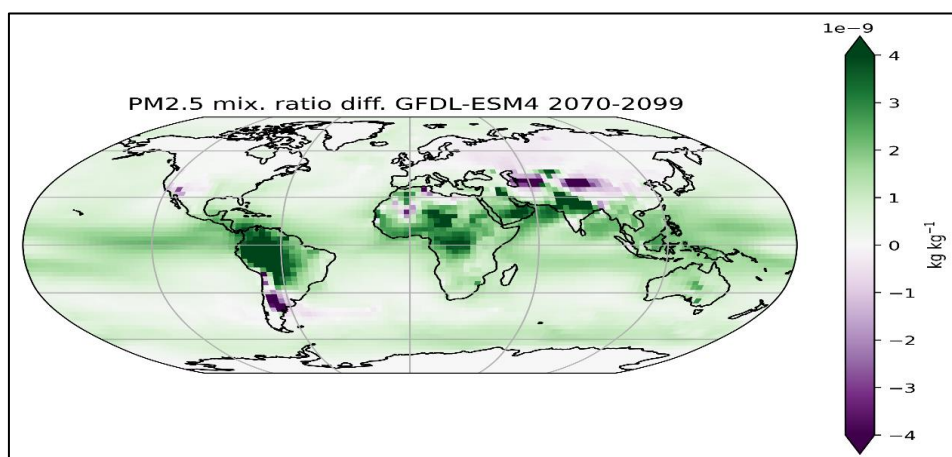
Α.1.2021-2050



Σχήμα 3.1 Χωρική κατανομή της μέσης διαφοράς των δύο πειραμάτων ($ssp370sst - ssp370pdsst$) σε σχέση με τα $PM_{2.5}$ για το μοντέλο GFDL-ESM4 για το χρονικό διάστημα 2021-2050 σε ετήσια κλίμακα.

Από το Σχήμα 3.1 φαίνεται ότι σε ετήσια βάση, η διαφορά των δύο πειραμάτων εμφανίζεται αρνητική στις περιοχές της ΒΔ Αφρικής (Σενεγάλη και Σαχάρα), στην ΝΔ Ασία και κυρίως στο Πακιστάν και στο Ιράν. Η διαφορά είναι θετική στις περιοχές της ΝΔ Αμερικής, με έμφαση στην Λατινική Αμερική, στην Ινδία και στην Ν Αυστραλία.

Α.2.2070-2099



Σχήμα 3.2 Χωρική κατανομή της μέσης διαφοράς των δύο πειραμάτων ($ssp370sst - ssp370pdsst$) σε σχέση με τα $PM_{2.5}$ για το μοντέλο GFDL-ESM4 για το χρονικό διάστημα 2070-2099 σε ετήσια κλίμακα.

Την χρονική περίοδο 2070-2099, εμφανίζονται θετικές διαφορές κοντά στη ζώνη του Ισημερινού και ιδιαίτερα στις χώρες της Ν Αμερικής, στην κεντρική Αφρική, στο Πακιστάν και στην Ινδία. Ένας μικρός αριθμός αρνητικών τιμών εντοπίζεται στην Αργεντινή και βόρεια της Ινδίας (Σχήμα 3.2).

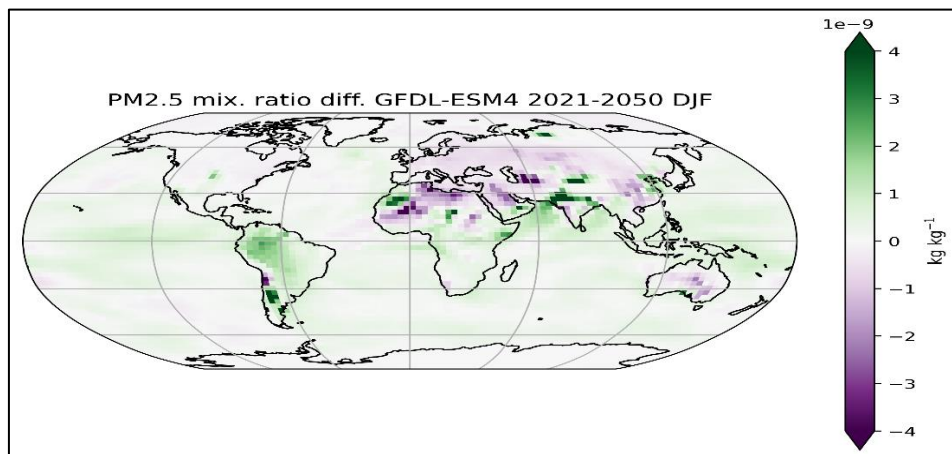
B.1.2021-2050

I. Χειμώνας - Καλοκαίρι

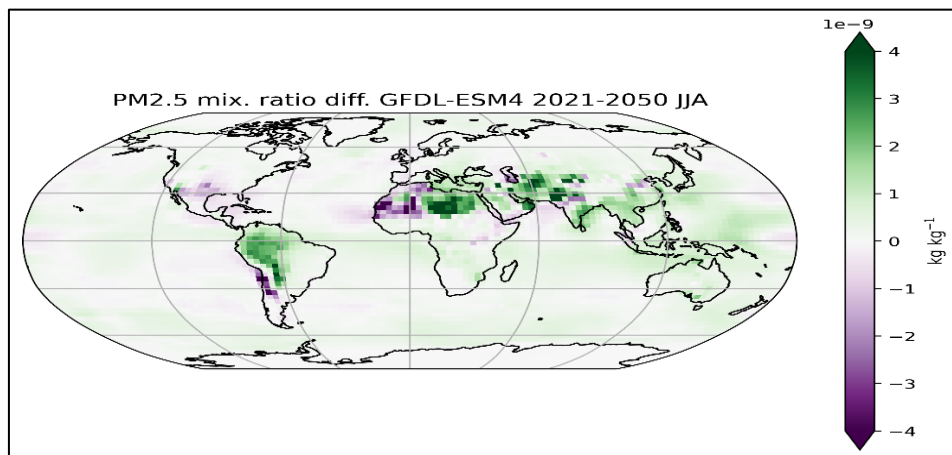
Από τα αποτελέσματα του Σχήματος 3.3 προκύπτει ότι κατά τη χειμερινή περίοδο θετικές τιμές εντοπίζονται στις περιοχές της Ν. Αμερικής, στη Σαχάρα, κοντά στο Πακιστάν και βόρεια της Ινδίας. Αρνητικές τιμές βρίσκονται νότια της Σαχάρας, στην κεντρική και Β. Αφρική και στην Αυστραλία.

Το καλοκαίρι τιμές αρνητικού πρόσημου τοποθετούνται περιμετρικά της Σαχάρας και νότια της Λατινικής Αμερικής. Οι θετικές τιμές επικρατούν σε πιο υψηλό βαθμό στην Λατινική Αμερική, στην κεντρική και Βόρεια Ευρώπη και σε ορισμένες περιοχές κοντά στο Πακιστάν (Σχήμα 3.4).

Γενικότερα με βάση τα αποτελέσματα για το κλιματικό μοντέλο GFDL-ESM4, παρατηρείται μία παρόμοια εικόνα κατάταξης των αρνητικών και θετικών τιμών της διαφοράς κατά τη χειμερινή και θερινή περίοδο.



Σχήμα 3.3 Χωρική κατανομή της μέσης διαφοράς των δύο πειραμάτων ($ssp370sst - ssp370pdsst$) σε σχέση με τα PM2.5 για το μοντέλο GFDL-ESM4 για το χρονικό διάστημα 2021-2050 για το χειμώνα.

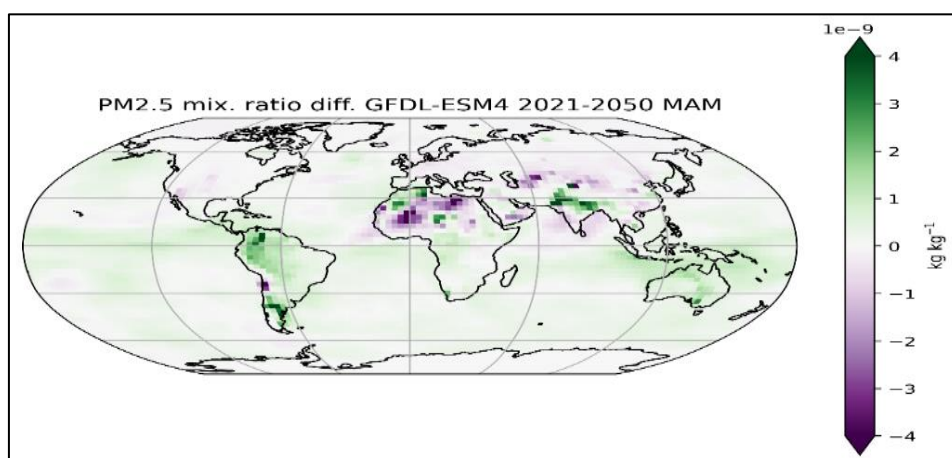


Σχήμα 3.4 Χωρική κατανομή της μέσης διαφοράς των δύο πειραμάτων ($ssp370sst - ssp370pdsst$) σε σχέση με τα PM2.5 για το μοντέλο GFDL-ESM4 για το χρονικό διάστημα 2021-2050 για το καλοκαίρι.

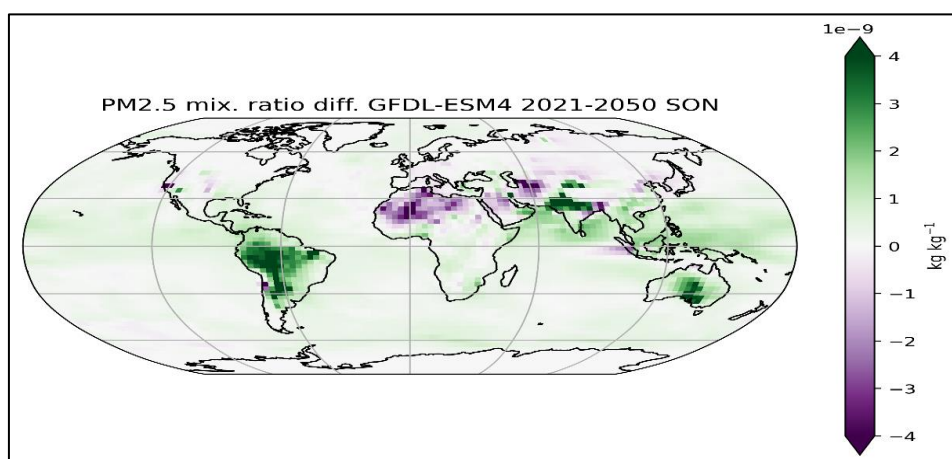
II. Άνοιξη - Φθινόπωρο

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του Σχήματος 3.5, κατά την εαρινή περίοδο εμφανίζονται χαμηλές θετικές τιμές στην Αργεντινή, κοντά στη Λατινική Αμερική, στη Σαχάρα και σε ένα μικρό τμήμα της Ινδίας. Οι τιμές με αρνητικό πρόσημο υπερисχύουν κοντά στην Αίγυπτο και κεντρική Ασία.

Τη φθινοπωρινή περίοδο παρατηρούνται σε μεγάλο ποσοστό θετικές τιμές στη Λατινική Αμερική, Ινδία, και κεντρική και βόρεια Αυστραλία. Χαμηλές αρνητικές τιμές εντοπίζονται στην ΒΔ Αφρική (Σαχάρα και Μαρόκο) και στο Πακιστάν (Σχήμα 3.6).



Σχήμα 3.5 Χωρική κατανομή της μέσης διαφοράς των δύο πειραμάτων ($ssp370sst - ssp370pdsst$) σε σχέση με τα PM_{2.5} για το μοντέλο GFDL-ESM4 για το χρονικό διάστημα 2021-2050 για την άνοιξη.



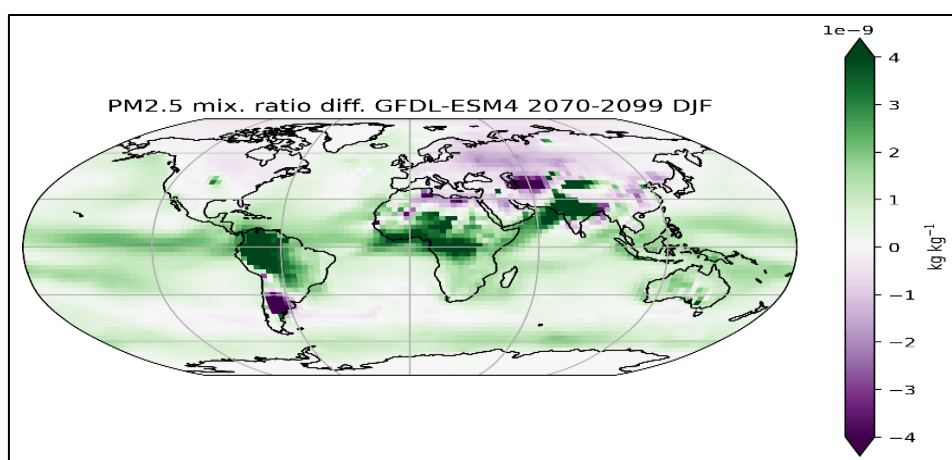
Σχήμα 3.6 Χωρική κατανομή της μέσης διαφοράς των δύο πειραμάτων ($ssp370sst - ssp370pdsst$) σε σχέση με τα PM_{2.5} για το μοντέλο GFDL-ESM4 για το χρονικό διάστημα 2021-2050 για το φθινόπωρο.

B.2.2070-2099

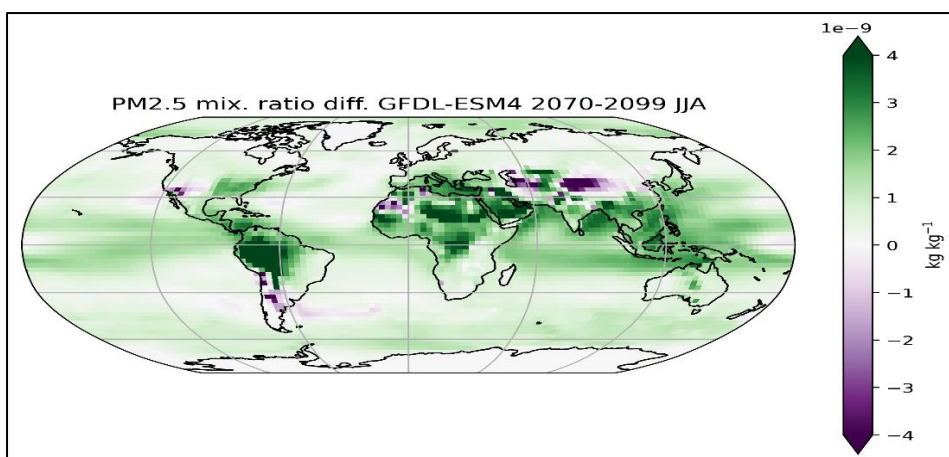
I. Χειμώνας - Καλοκαίρι

Βάσει του Σχήματος 3.7, κατά την χειμερινή εποχή της 2ης χρονικής περιόδου (2070-2099), οι τιμές του κλιματικού μοντέλου GFDL-ESM4 με θετικό πρόσημο εμφανίζονται στις περιοχές της Λατινικής Αμερικής, στην κεντρική Αφρική, Ινδία και Πακιστάν. Κοντά στην Αργεντινή και σε ένα μικρό τμήμα της κεντρικής Ασίας παρατηρούνται χαμηλές αρνητικές τιμές.

Το καλοκαίρι, θετικές τιμές παρατηρούνται στην πλειονότητα των περιοχών (Σχήμα 3.8). Πιο αναλυτικά, εμφανίζονται γύρω από τη Λατινική Αμερική, στη βόρεια και κεντρική Αφρική, καθώς και στην Ινδονησία. Περιορισμένης έκτασης περιοχές με αρνητικές διαφορές εμφανίζονται στα ΝΔ της Αμερικής και της Κίνας.



Σχήμα 3.7 Χωρική κατανομή της μέσης διαφοράς των δύο πειραμάτων ($ssp370sst - ssp370pdsst$) σε σχέση με τα PM2.5 για το μοντέλο GFDL-ESM4 για το χρονικό διάστημα 2070-2099 για το χειμώνα.



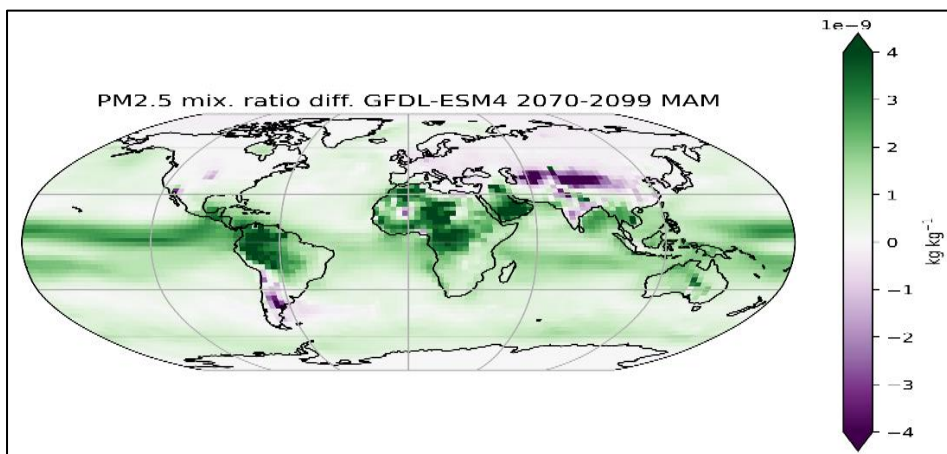
Σχήμα 3.8 Χωρική κατανομή της μέσης διαφοράς των δύο πειραμάτων ($ssp370sst - ssp370pdsst$) σε σχέση με τα PM2.5 για το μοντέλο GFDL-ESM4 για το χρονικό διάστημα 2070-2099 για το καλοκαίρι.

II. Άνοιξη-Φθινόπωρο

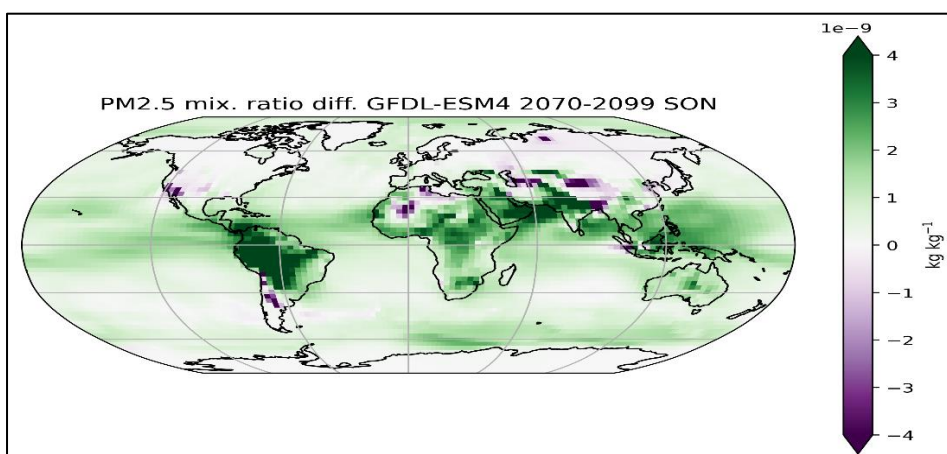
Από το Σχήμα 3.9 φαίνεται ότι οι θετικές διαφορές υπερисχύουν την εαρινή περίοδο, καθώς εμφανίζονται κατά μήκος του Ισημερινού. Συγκεκριμένα, στην Ν. Αμερική, στη Δ. Αφρική, στο Ιράν και νότια της Ασίας. Αρνητικές τιμές

παρατηρούνται περιμετρικά της Αργεντινής και στη ΝΔ Κίνα.

Οι αρνητικές διαφορές, την περίοδο του φθινοπώρου, περιορίζονται κοντά στην Αργεντινή και σε ένα μικρό τμήμα της κεντρικής Ασίας. Αντιθέτως, οι θετικές τιμές υπερτερούν χωρικά έναντι των αρνητικών, καθώς παρατηρούνται σε ολόκληρη την ζώνη του Ισημερινού, στη Λατινική Αμερική, στην κεντρική Αφρική, παρακείμενα της Ινδίας και στην Αυστραλία (Σχήμα 3.10).



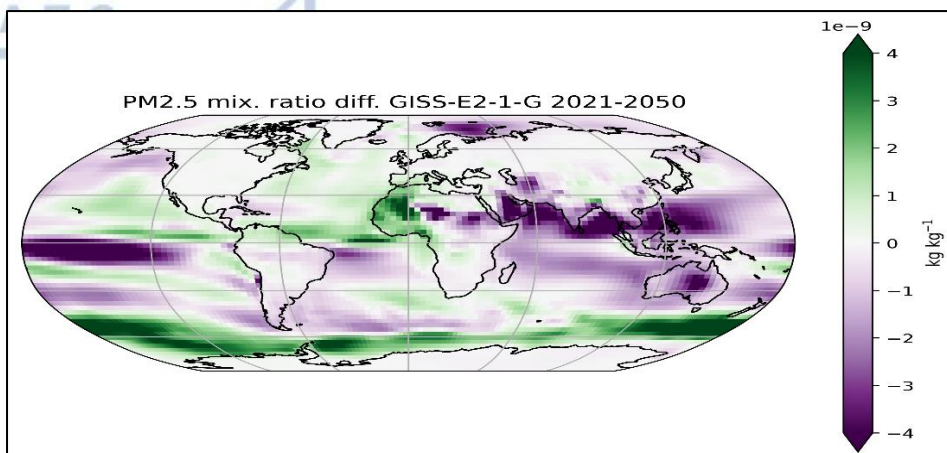
Σχήμα 3.9 Χωρική κατανομή της μέσης διαφοράς των δύο πειραμάτων ($ssp370sst - ssp370pdsst$) σε σχέση με τα $PM_{2.5}$ για το μοντέλο GFDL-ESM4 για το χρονικό διάστημα 2070-2099 για την άνοιξη.



Σχήμα 3.10 Χωρική κατανομή της μέσης διαφοράς των δύο πειραμάτων ($ssp370sst - ssp370pdsst$) σε σχέση με τα $PM_{2.5}$ για το μοντέλο GFDL-ESM4 για το χρονικό διάστημα 207-2099 για το φθινόπωρο.

3.1.2. GISS-E2-1-G

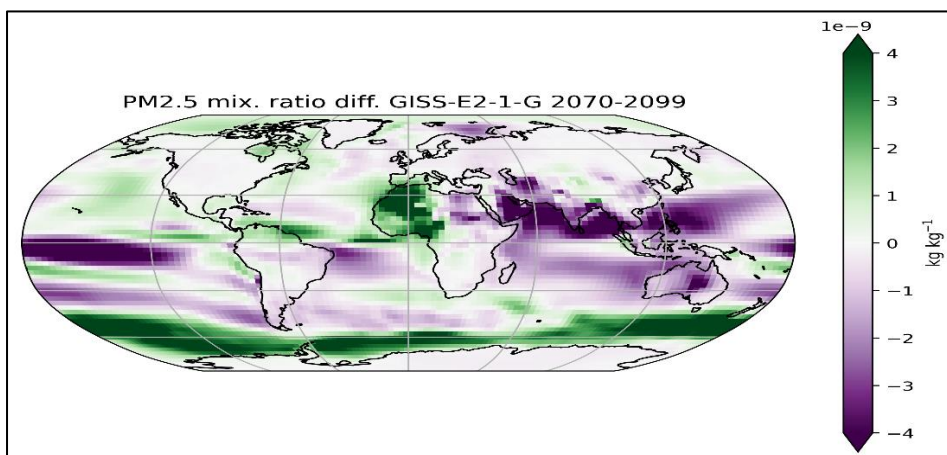
Το μοντέλο GISS-E2-1-G φαίνεται να καλύπτει ένα μεγάλο φάσμα περιοχών του πλανήτη. Τα αποτελέσματα εντοπίζονται κυρίως στη ζώνη της Ανταρκτικής, του Ισημερινού και του Αρκτικού κύκλου. Στην αρχή, παρουσιάζονται τα ετήσια αποτελέσματα για τις χρονικές περιόδους 2021-2050 και 2070-2099 και στη συνέχεια τα εποχιακά για τις αντίστοιχες περιόδους.



Σχήμα 3.11 Χωρική κατανομή της μέσης διαφοράς των δύο πειραμάτων ($ssp370sst - ssp370pdsst$) σε σχέση με τα PM2.5 για το μοντέλο GISS-E2-1-G για το χρονικό διάστημα 2021-2050 σε ετήσια κλίμακα.

Κατά την διάρκεια της χρονοσειράς 2021-2050, από το Σχήμα 3.11, φαίνεται να υπερισχύουν οι αρνητικές διαφορές. Συγκεκριμένα, υψηλές αρνητικές τιμές εμφανίζονται γύρω από τον Ειρηνικό Ωκεανό, στη Ν Ασία (Πακιστάν, Ιράν και Ινδία) και στην κεντρική Αυστραλία, ενώ, θετικές στην Ανταρκτική και ΒΔ Αφρική.

A.2.2070-2099

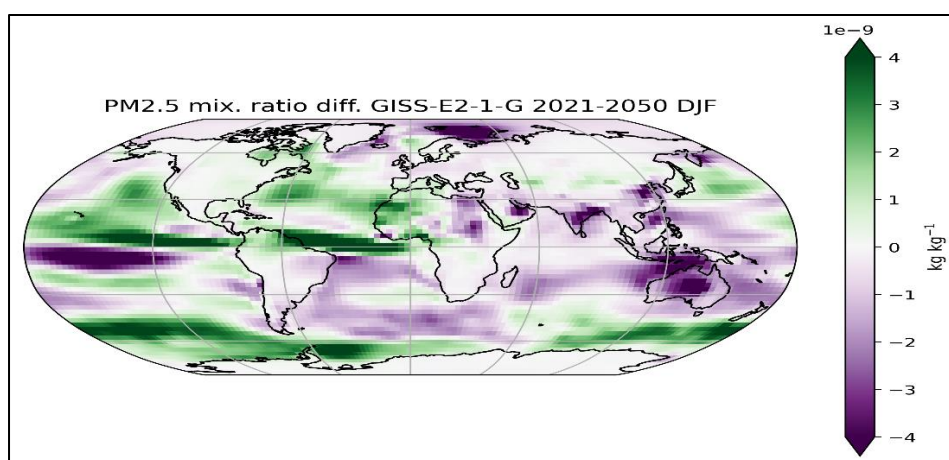


Σχήμα 3.12 Χωρική κατανομή της μέσης διαφοράς των δύο πειραμάτων ($ssp370sst - ssp370pdsst$) σε σχέση με τα PM2.5 για το μοντέλο GISS-E2-1-G για το χρονικό διάστημα 2070-2099 σε ετήσια κλίμακα.

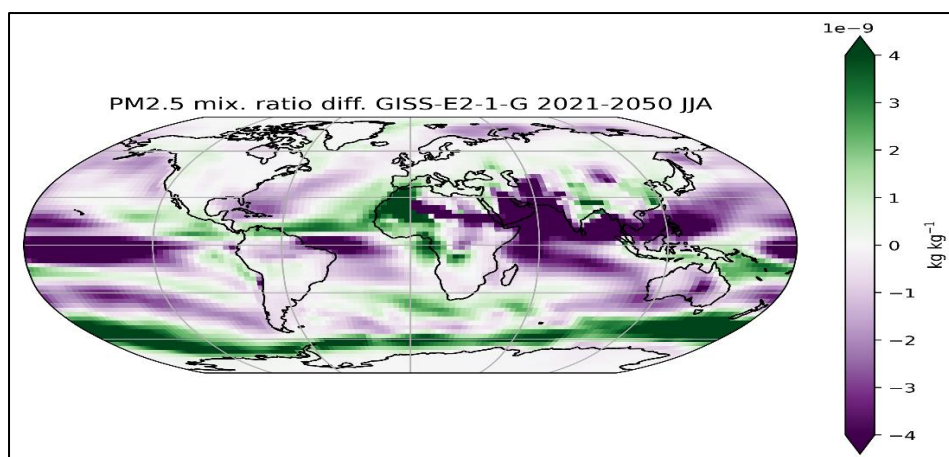
Την περίοδο 2070-2099 αρκετά θετικές τιμές απεικονίζονται στην Ανταρκτική και ΒΔ Αφρική (Σαχάρα και Σενεγάλη). Παράλληλα, αρνητικές διαφορές εντοπίζονται στον Ειρηνικό Ωκεανό και στο μεγαλύτερο μέρος της Ν Ασίας, ενώ σε μικρότερο ποσοστό στην κεντρική Αυστραλία (Σχήμα 3.12).

Τα Σχήματα 3.13 και 3.14 παρουσιάζουν τη μέση τιμή της διαφοράς των δύο πειραμάτων κατά τη χειμερινή και θερινή περίοδο για την χρονοσειρά 2021-2050. Το χειμώνα οι αρνητικές τιμές εμφανίζονται στον Ειρηνικό Ωκεανό, στην Ινδία, Αυστραλία και Ινδονησία, καθώς και σε ολόκληρη την Σκανδιναβία. Στη ΒΑ Βραζιλία, ΒΔ Αφρική και Ανταρκτική παρατηρούνται θετικές τιμές της διαφοράς.

Κατά τη θερινή περίοδο, θετικές διαφορές παρουσιάζονται κοντά στην Ανταρκτική και στη ΒΑ Αυστραλία, ενώ, αρνητικές στον Ειρηνικό Ωκεανό, στην Ινδία και ΒΔ και κεντρική Αυστραλία.



Σχήμα 3.13 Χωρική κατανομή της μέσης διαφοράς των δύο πειραμάτων ($ssp370sst - ssp370pdsst$) σε σχέση με τα PM2.5 για το μοντέλο GISS-E2-1-G για το χρονικό διάστημα 2021-2050 για το χειμώνα



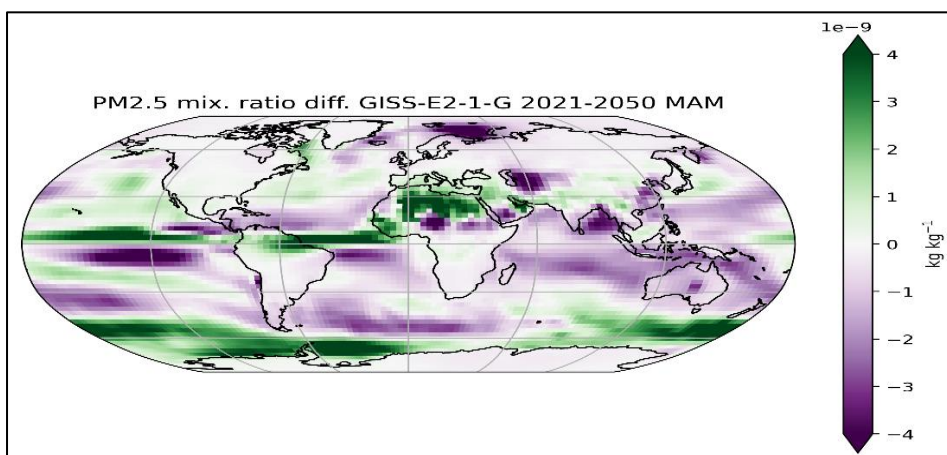
Σχήμα 3.14 Χωρική κατανομή της μέσης διαφοράς των δύο πειραμάτων ($ssp370sst - ssp370pdsst$) σε σχέση με τα PM2.5 για το μοντέλο GISS-E2-1-G για το χρονικό διάστημα 2021-2050 για το καλοκαίρι.

II. Άνοιξη-Φθινόπωρο

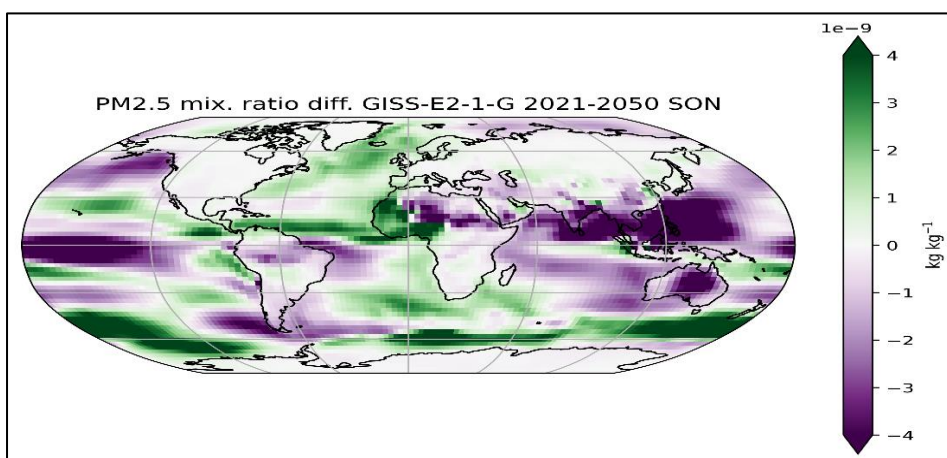
Όπως φαίνεται από το Σχήμα 3.15, την άνοιξης υπερισχύουν οι αρνητικές τιμές της διαφοράς στο μεγαλύτερο μέρος του πλανήτη. Θετικές διαφορές απεικονίζονται στις περιοχές της Α Βραζιλίας, σε ορισμένα τμήματα της Ανταρκτικής, και στο Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

μεγαλύτερο μέρος της βόρειας και κεντρικής Αφρικής. Αντιθέτως, μετά την εκτέλεση του μοντέλου προέκυψαν αρνητικές τιμές στην Ινδία, στο Ιράν, στη Σουηδία και σε μικρότερο βαθμό στην Αυστραλία.

Παρατηρώντας το Σχήμα 3.16 για το φθινόπωρο, φαίνεται ότι οι υψηλές αρνητικές τιμές τοποθετούνται στην Αργεντινή, στην κεντρική Αφρική, Ινδία, Ταϊλάνδη και κεντρική Αυστραλία. Θετικές τιμές προκύπτουν για τις περιοχές του Ν Πόλου, της Καραϊβικής και Σαχάρας.



Σχήμα 3.15 Χωρική κατανομή της μέσης διαφοράς των δύο πειραμάτων ($ssp370sst - ssp370pdsst$) σε σχέση με τα $PM_{2.5}$ για το μοντέλο GISS-E2-1-G για το χρονικό διάστημα 2021-2050 για την άνοιξη.

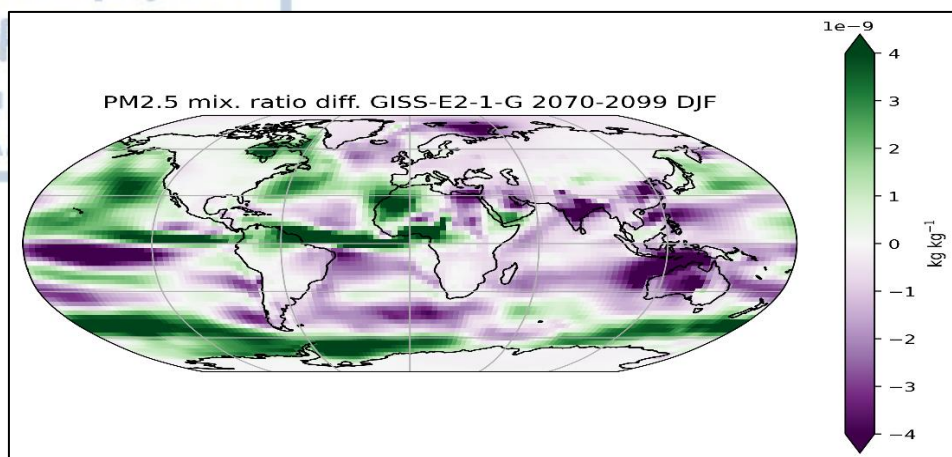


Σχήμα 3.16 Χωρική κατανομή της μέσης διαφοράς των δύο πειραμάτων ($ssp370sst - ssp370pdsst$) σε σχέση με τα $PM_{2.5}$ για το μοντέλο GISS-E2-1-G για το χρονικό διάστημα 2021-2050 για το φθινοπώρο.

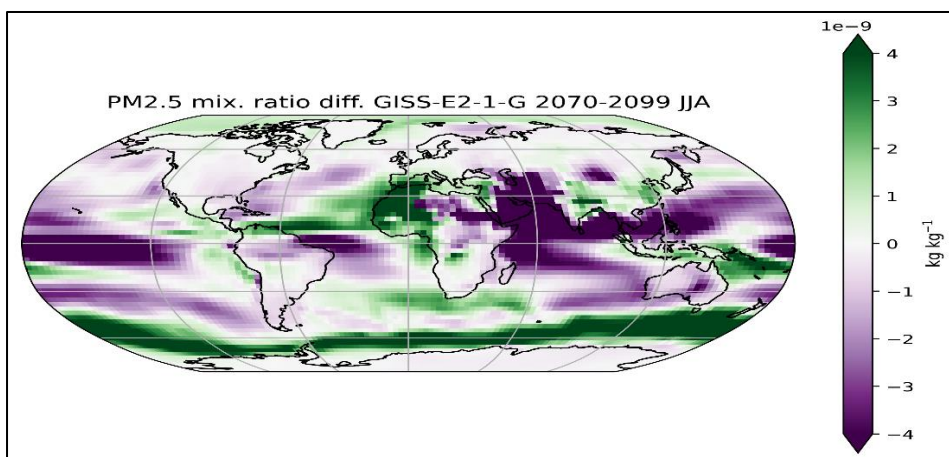
B.2.2070-2099

I. Χειμώνας-Καλοκαίρι

Για τη χρονική 2070-2099, κατά την διάρκεια του χειμώνα ένα υψηλό ποσοστό θετικών τιμών παρουσιάζεται στις περιοχές της Ανταρκτικής, ΒΔ Βραζιλίας, ΒΔ Αφρικής και σε ένα μικρό τμήμα της ΒΑ Αφρικής. Επιπροσθέτως, στην Ινδία, Σκανδιναβία και στη ΒΔ και κεντρική Αυστραλία παρατηρούνται αρνητικές διαφορές (Σχήμα 3.17). Κατά το καλοκαίρι, όπως προκύπτει από το Σχήμα 3.18, αρνητικές είναι οι τιμές στην Ινδία, στο Πακιστάν και γενικότερα σε ένα μεγάλο τμήμα της Ν Ασίας, καθώς και στη ΒΑ Βραζιλία. Στα ΒΑ της Αφρικής, στη Βενεζουέλα και την Ανταρκτική, οι τιμές είναι θετικές.



Σχήμα 3.17 Χωρική κατανομή της μέσης διαφοράς των δύο πειραμάτων ($ssp370sst - ssp370pdsst$) σε σχέση με τα PM2.5 για το μοντέλο GISS-E2-1-G για το χρονικό διάστημα 2070-2099 για το χειμώνα.

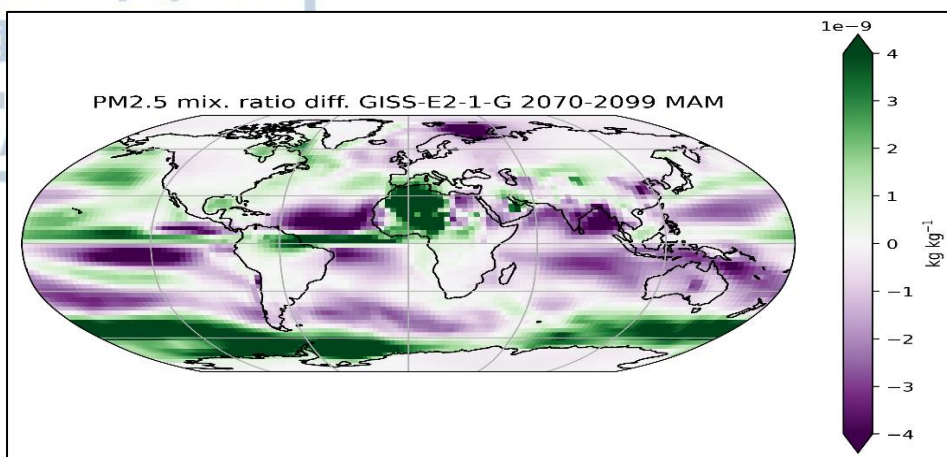


Σχήμα 3.18 Χωρική κατανομή της μέσης διαφοράς των δύο πειραμάτων ($ssp370sst - ssp370pdsst$) σε σχέση με τα PM2.5 για το μοντέλο GISS-E2-1-G για το χρονικό διάστημα 2070-2099 για το καλοκαίρι.

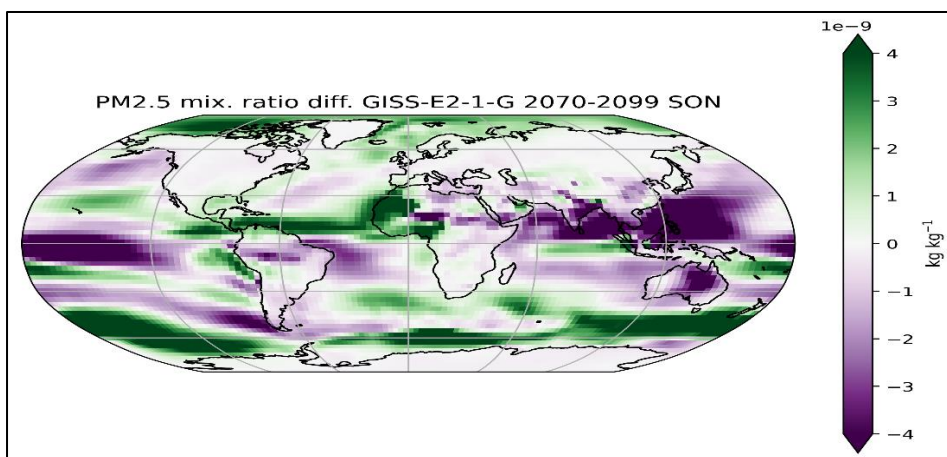
II .Άνοιξη-Φθινόπωρο

Βάσει των αποτελεσμάτων του Σχήματος 3.19, την άνοιξη υπάρχουν υψηλές θετικές διαφορές στις περιοχές του Ν Πόλου, σε ένα μικρό κομμάτι της Βραζιλίας, στο Μαρόκο, στην Τυνησία και Αλγερία. Αρνητικές τιμές επικρατούν κυρίως σε ένα τμήμα της Σκανδιναβίας Σκανδιναβική χερσόνησο (Σουηδία), στην Ινδία και σε περιοχές στα ανατολικά της. Αρνητικές τιμές παρατηρούνται δυτικά και ανατολικά τις Ν Αμερικής.

Κατά τη φθινοπωρινή περίοδο οι θετικές τιμές της διαφοράς υπερισχύουν πάνω από την Ανταρκτική, στα νησιά της Καραϊβικής, στη Δ Αφρική. και πάνω από την Αλάσκα, κοντά στον Καναδά . Από την άλλη μεριά, σε ένα μεγάλο τμήμα της Β Αυστραλίας, στην Ινδία και στις περιοχές δυτικά αυτής παρατηρούνται υψηλές αρνητικές τιμές.



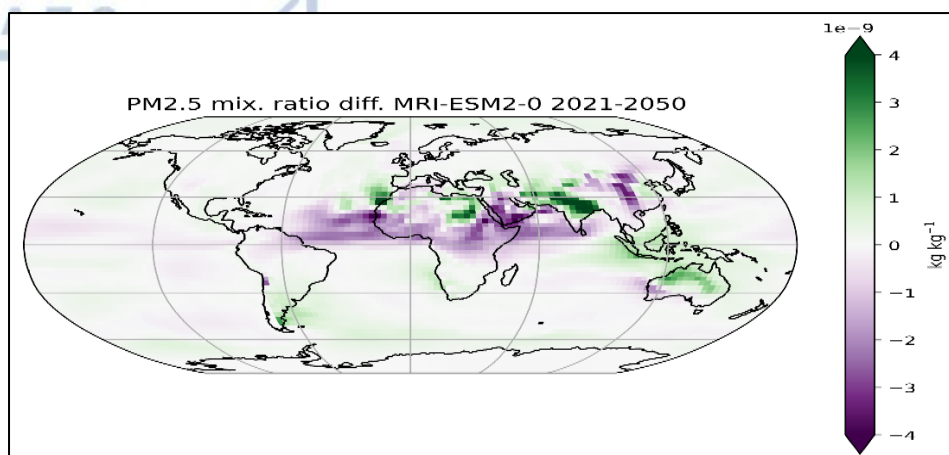
Σχήμα 3.19 Χωρική κατανομή της μέσης διαφοράς των δύο πειραμάτων ($ssp370sst - ssp370pdsst$) σε σχέση με τα $PM_{2.5}$ για το μοντέλο GISS-E2-1-G για το χρονικό διάστημα 2070-2099 για την άνοιξη.



Σχήμα 3.20 Χωρική κατανομή της μέσης διαφοράς των δύο πειραμάτων ($ssp370sst - ssp370pdsst$) σε σχέση με τα $PM_{2.5}$ για το μοντέλο GISS-E2-1-G για το χρονικό διάστημα 2070-2099 για το φθινόπωρο.

3.1.3. MRI-ESM2-0

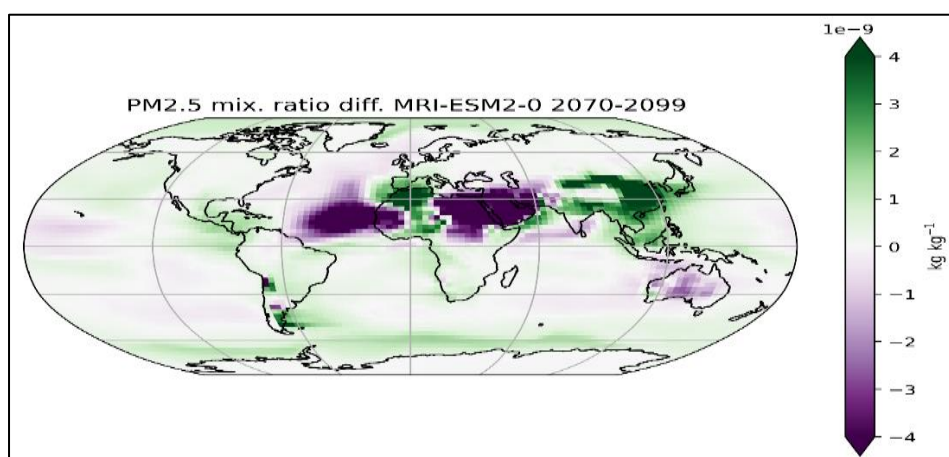
Το τρίτο κλιματικό μοντέλο που μελετάται στην παρούσα εργασία είναι το MRI-ESM2-0. Η περιοχή που επικεντρώνεται το μοντέλο αυτό είναι οι περιοχές της Αφρικανικής ηπείρου, η Ν Ασία και η Αυστραλία. Αρχικά, παρουσιάζονται παρακάτω τα αποτελέσματα για τα χρονικά διαστήματα, 2021-2050 και 2070-2099 σε ετήσια κλίμακα και στη συνέχεια σε εποχιακή κλίμακα.



Σχήμα 3.21 Χωρική κατανομή της μέσης διαφοράς των δύο πειραμάτων ($ssp370sst - ssp370pdsst$) σε σχέση με τα PM2.5 για το μοντέλο MRI-ESM2-0 για το χρονικό διάστημα 2021-2050 σε ετήσια κλίμακα

Στο Σχήμα 3.21 παρουσιάζονται χαμηλές αρνητικές τιμές στις περιοχές πάνω από τον Ισημερινό και κυρίως στην Δ και Κεντρική Αφρική και πάνω από την Ινδία. Οι λίγες θετικές διαφορές απεικονίζονται κυρίως στην Ινδία και στη Β Αυστραλία.

A.2.2070-2099

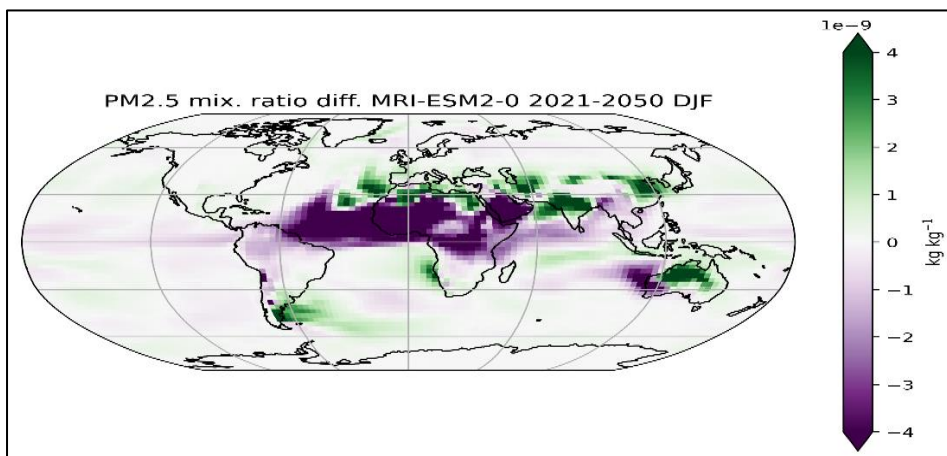


Σχήμα 3.22 Χωρική κατανομή της μέσης διαφοράς των δύο πειραμάτων ($ssp370sst - ssp370pdsst$) σε σχέση με τα PM2.5 για το μοντέλο MRI-ESM2-0 για το χρονικό διάστημα 2070-2099 σε ετήσια κλίμακα.

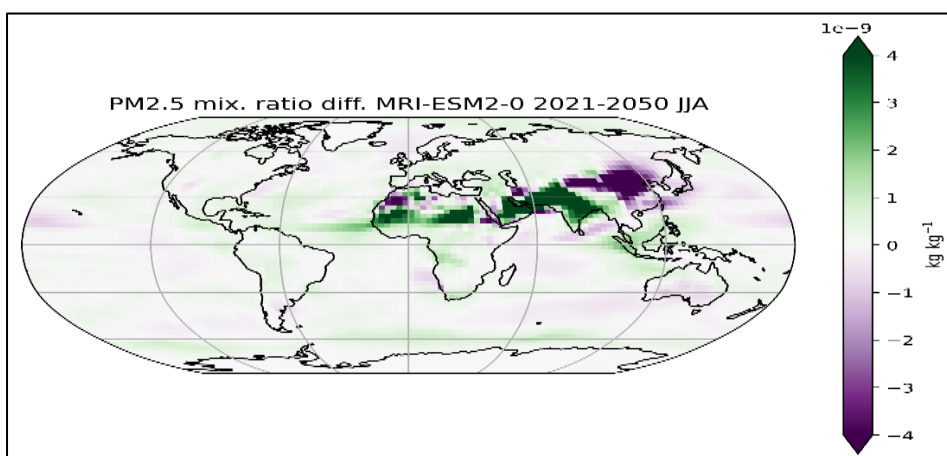
Οι διαφορές σύμφωνα με το Σχήμα 3.22 εμφανίζονται σε μεγάλο ποσοστό αρνητικές στη Σενεγάλη, στην Αίγυπτο και στις περισσότερες περιοχές της Αυστραλίας. Οι θετικές τιμές παρατηρούνται στις περιοχές Αλγερίας, τις Ισπανίας, Πορτογαλίας και στη Ν Κίνα.

Το χειμώνα στο κλιματικό μοντέλο MRI-ESM2-0 παρουσιάζονται περισσότερες αρνητικές τιμές της διαφοράς πάνω από τη ζώνη του Ισημερινού. Ξεκινάνε από ένα μικρό ανατολικό τμήμα της Βραζιλίας και φτάνουν μέχρι τη Σαουδική Αραβία. Κατά το χειμώνα, οι θετικές τιμές είναι ελάχιστες και εμφανίζονται κυρίως στη Β Αφρική και σε ορισμένες χώρες της Μεσογείου, την Ισπανία, την Γαλλία, στο Πακιστάν και σε μικρό κομμάτι της Β Αυστραλίας. Ακόμη, θετικές τιμές παρατηρούνται και σε ένα μικρό μέρος της Α Αργεντινής.

Το καλοκαίρι οι αρνητικές τιμές είναι ελάχιστες και επικρατούν κυρίως στο μεγαλύτερο μέρος της Κίνας και σε ένα μικρό κομμάτι της Αφρικής, ανάμεσα στη Σαχάρα και στο Μαρόκο. Οι θετικές τιμές παρατηρούνται νότια από τη Σαχάρα, στην Κεντρική Αφρική, στο Ιράν, στο Πακιστάν και στην Ινδία.



Σχήμα 3.23 Χωρική κατανομή της μέσης διαφοράς των δύο πειραμάτων ($ssp370sst - ssp370pdsst$) σε σχέση με τα $PM_{2.5}$ για το μοντέλο MRI-ESM2-0 για το χρονικό διάστημα 2021-2050 για το χειμώνα

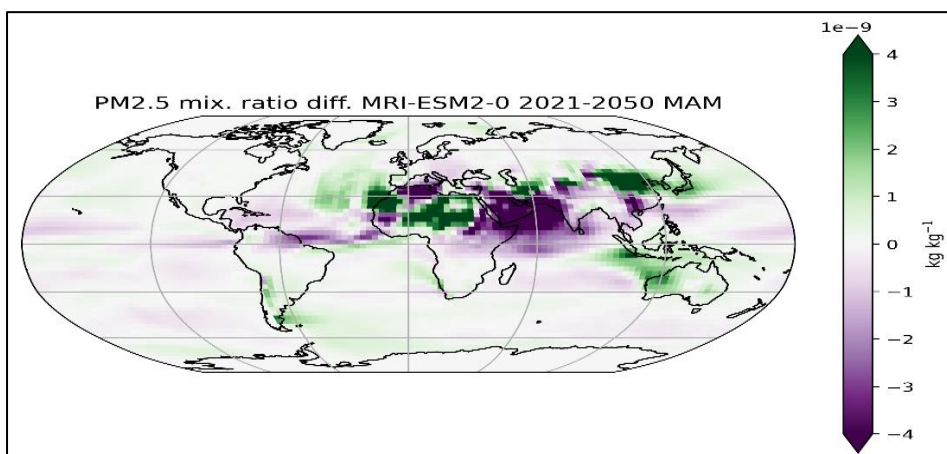


Σχήμα 3.24 Χωρική κατανομή της μέσης διαφοράς των δύο πειραμάτων ($ssp370sst - ssp370pdsst$) σε σχέση με τα $PM_{2.5}$ για το μοντέλο MRI-ESM2-0 για το χρονικό διάστημα 2021-2050 για το καλοκαίρι.

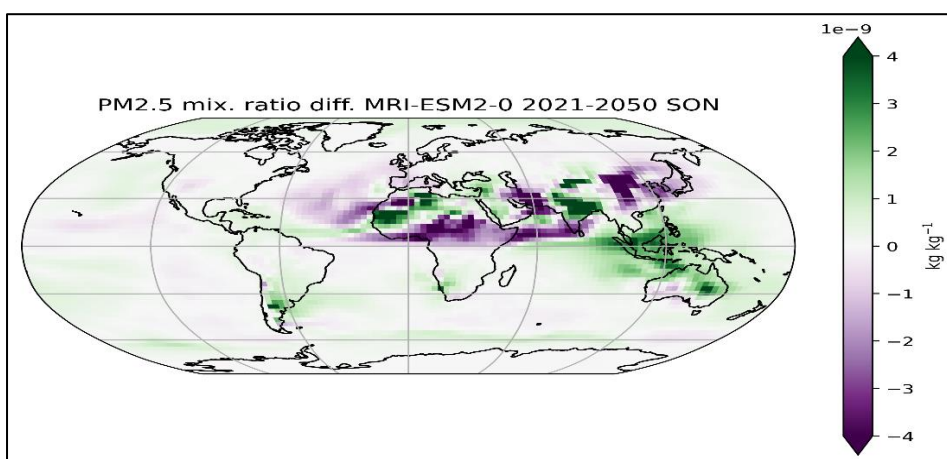
II. Άνοιξη-Φθινόπωρο

Στο Σχήμα 3.25 φαίνεται να παρουσιάζονται ορισμένες θετικές τιμές στη Σαχάρα, στην Κεντρική Αφρική, βόρεια από το Ιράν, στην Κίνα και σε ένα χαμηλό βαθμό στην Δ Αυστραλία και πάνω από αυτήν. Σε ένα μικρό τμήμα της Αλγερίας, στο Ιράν και στο Πακιστάν παρατηρούνται υψηλές αρνητικές τιμές.

Το φθινόπωρο παρουσιάζονται αρνητικές τιμές στο βόρειο κομμάτι της Αλγερίας, στο Ιράν και στο Πακιστάν. Οι υψηλές θετικές τιμές εμφανίζονται στο μεγαλύτερο μέρος της Σαχάρας και της Κεντρικής Αφρικής. Επιπλέον, παρατηρούνται στη Ν Κίνα και σε χαμηλό βαθμό βόρεια από την Αυστραλία.



Σχήμα 3.25 Χωρική κατανομή της μέσης διαφοράς των δύο πειραμάτων ($ssp370sst - ssp370pdsst$) σε σχέση με τα PM_{2.5} για το μοντέλο MRI-ESM2-0 για το χρονικό διάστημα 2021-2050 για την άνοιξη.



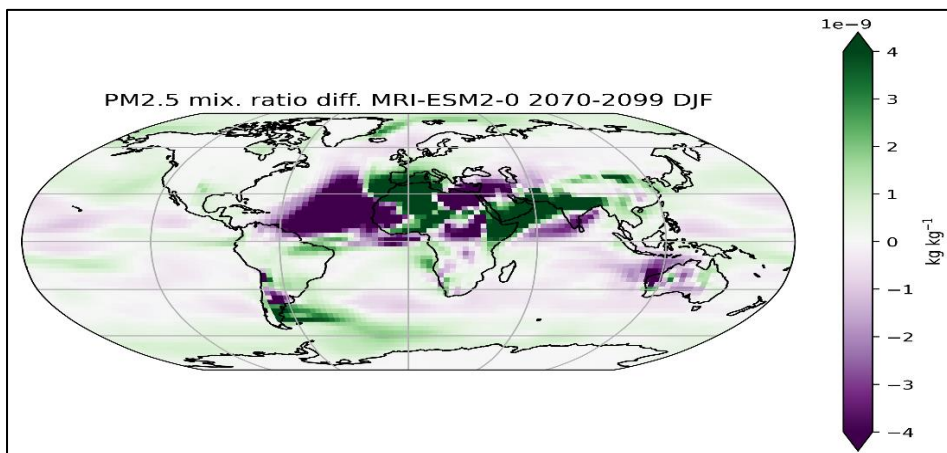
Σχήμα 3.26 Χωρική κατανομή της μέσης διαφοράς των δύο πειραμάτων ($ssp370sst - ssp370pdsst$) σε σχέση με τα PM_{2.5} για το μοντέλο MRI-ESM2-0 για το χρονικό διάστημα 2021-2050 για το φθινόπωρο.

B.2.2070-2099

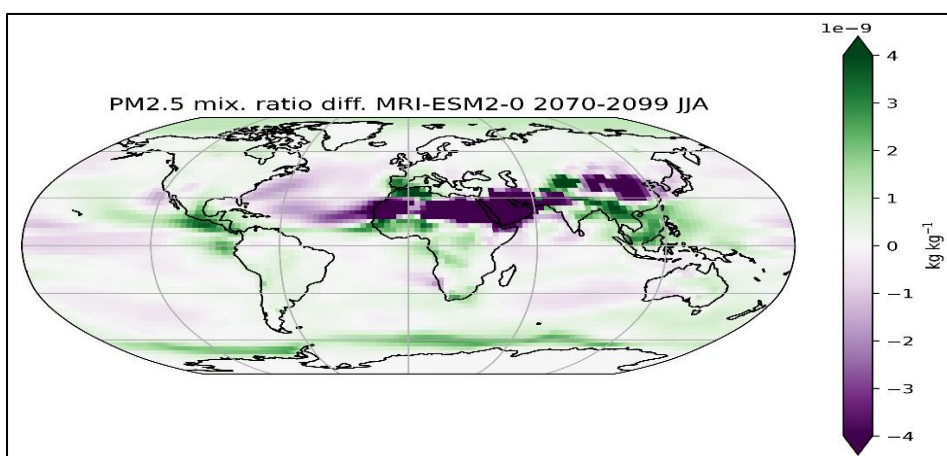
I. Χειμώνας-Καλοκαίρι

Το χειμώνα, το Σχήμα 3.27 δείχνει ότι οι τιμές με αρνητικό πρόσημο επικρατούν κυρίως στη Μαυριτανία, στη Δ Σαχάρα, στην Αίγυπτο και σε ένα μικρό κομμάτι της Δ Αυστραλίας. Ακόμη, αρνητικές τιμές εντοπίζονται και σε ορισμένες περιοχές της Ν Αργεντινής. Οι θετικές τιμές βρίσκονται στο Μαρόκο και στις περιοχές της Αλγερίας, στη Σαουδική Αραβία, στο Ιράν, στο νότιο τμήμα της Ινδίας και στο βόρειο και δυτικό τμήμα της Αυστραλίας.

Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού υπερισχύουν κυρίως οι αρνητικές τιμές της διαφοράς σε σχέση με τις θετικές. Αναλυτικότερα, οι αρνητικές τιμές επικρατούν στο Μαρόκο, στην Κεντρική Αφρική, στο Ιράν, στο Πακιστάν και στο νότιο και ανατολικό τμήμα της Κίνας. Οι τιμές με θετικό πρόσημο που παρατηρούνται είναι ελάχιστες και τοποθετούνται κυρίως βόρεια από τη ζώνη του Ισημερινού.



Σχήμα 3.27 Χωρική κατανομή της μέσης διαφοράς των δύο πειραμάτων ($ssp370sst - ssp370pdsst$) σε σχέση με τα $PM_{2.5}$ για το μοντέλο MRI-ESM2-0 για το χρονικό διάστημα 2070-2099 για το χειμώνα.

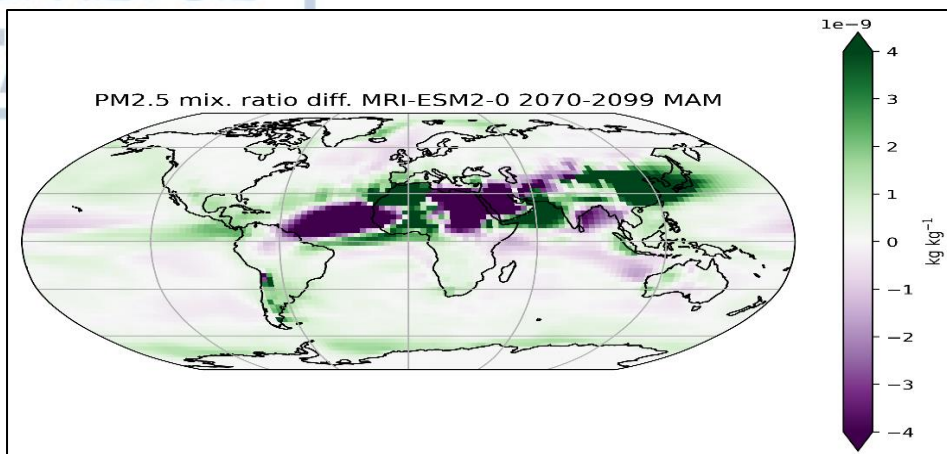


Σχήμα 3.28 Χωρική κατανομή της μέσης διαφοράς των δύο πειραμάτων ($ssp370sst - ssp370pdsst$) σε σχέση με τα $PM_{2.5}$ για το μοντέλο MRI-ESM2-0 για το χρονικό διάστημα 2070-2099 για το καλοκαίρι.

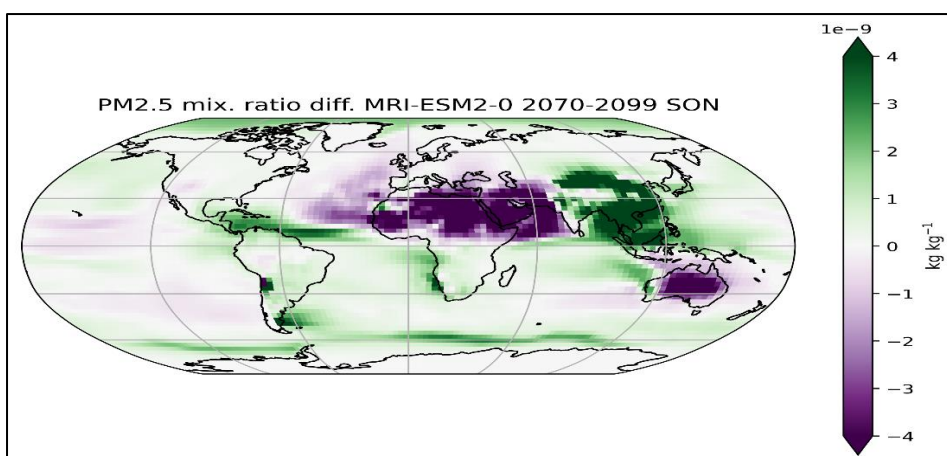
II. Άνοιξη-Φθινόπωρο

Το μοντέλο MRI-ESM2-0 την άνοιξη φαίνεται να εμφανίζει στον ίδιο βαθμό περίπου τις θετικές και τις αρνητικές τιμές της διαφοράς. Πιο συγκεκριμένα, οι αρνητικές τιμές παρουσιάζονται γύρω από την Δ Αφρική, στη βόρεια και κεντρική Αφρική και στη Σαουδική Αραβία. Από την άλλη μεριά, η Αλγερία, οι περιοχές κάτω από τη Σαουδική Αραβία και το νότιο τμήμα της Κίνας εμφανίζουν θετικές τιμές της διαφοράς.

Η φθινοπωρινή περίοδος (Σχήμα 3.30) δείχνει ότι οι αρνητικές τιμές είναι περισσότερες από τις θετικές σε παγκόσμιο επίπεδο. Οι πολύ υψηλές αρνητικές τιμές υπερισχύουν στο μεγαλύτερο μέρος της Β και της κεντρικής Αφρικής και στην Κεντρική Αυστραλία. Οι ελάχιστες τιμές με θετικό πρόσημο βρίσκονται στην Ν Κίνα και στο νότιο και ανατολικό κομμάτι της Ασίας.



Σχήμα 3.29 Χωρική κατανομή της μέσης διαφοράς των δύο πειραμάτων ($ssp370sst - ssp370pdsst$) σε σχέση με τα $PM_{2.5}$ για το μοντέλο MRI-ESM2-0 για το χρονικό διάστημα 2070-2099 για την άνοιξη.

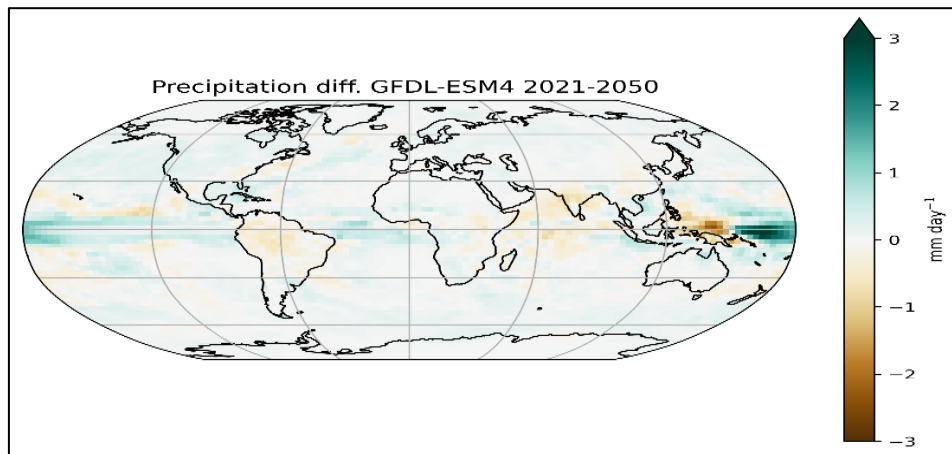


Σχήμα 3.30 Χωρική κατανομή της μέσης διαφοράς των δύο πειραμάτων ($ssp370sst - ssp370pdsst$) σε σχέση με τα $PM_{2.5}$ για το μοντέλο MRI-ESM2-0 για το χρονικό διάστημα 2070-2099 για το φθινόπωρο.

3.2. Βροχόπτωση

Στη δεύτερη ενότητα παρουσιάζονται οι μέσες τιμές της διαφοράς των δύο πειραμάτων όσον αφορά τα ετήσια και τα εποχιακά ύψη βροχής. Οι αρνητικές τιμές στους χάρτες φαίνονται με το καφέ χρώμα ενώ οι τιμές με θετικό πρόσημο απεικονίζονται με κυανό. Το λευκό χρώμα δείχνει τις ουδέτερες τιμές της διαφοράς πάνω στον χάρτη.

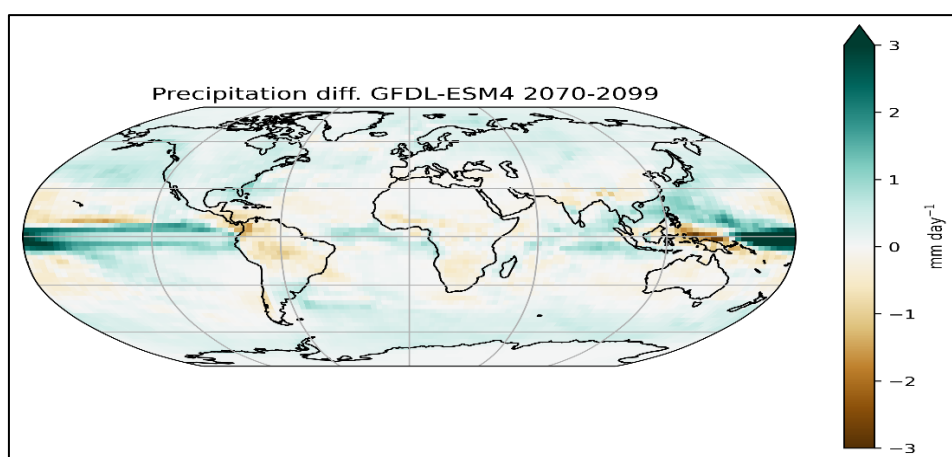
Οι πρώτοι χάρτες αναφέρονται στο GFDL-ESM4, οι μετέπειτα χάρτες αφορούν το μοντέλο GISS-E2-1-G και οι τελευταίοι χάρτες δείχνουν τα αποτελέσματα του κλιματικού μοντέλου MRI-ESM2-0. Οι περιοχές που μελετώνται για το κάθε μοντέλο έχουν αναφερθεί παραπάνω. Αρχικά, αναλύονται τα ετήσια αποτελέσματα για την περίπτωση της βροχόπτωσης από το 2021 έως το 2050 και το 2070 έως το 2099 και έπειτα εμφανίζονται τα αποτελέσματα εποχιακής κλίμακας.



Σχήμα 3.31 Χωρική κατανομή της μέσης διαφοράς των δύο πειραμάτων ($ssp370sst - ssp370pdsst$) σε σχέση με τη βροχόπτωση για το μοντέλο GFDL-ESM4 για το χρονικό διάστημα 2021-2050 σε ετήσια κλίμακα.

Το Σχήμα 3.31 παρουσιάζει σε ετήσια κλίμακα χαμηλές θετικές τιμές της διαφοράς των δύο πειραμάτων στη ζώνη του Ισημερινού. Πιο συγκεκριμένα, ξεκινάνε από τον Ειρηνικό Ωκεανό δυτικά της Ν Αμερικής και φτάνει έως πάνω από την Αυστραλία. Στο κέντρο του παραπάνω χάρτη οι θετικές τιμές είναι ελάχιστες και σε πολύ μικρό βαθμό. Οι αρνητικές τιμές τοποθετούνται κυρίως πάνω από την Αυστραλία και κοντά στις Φιλιππίνες.

A.2.2070-2099

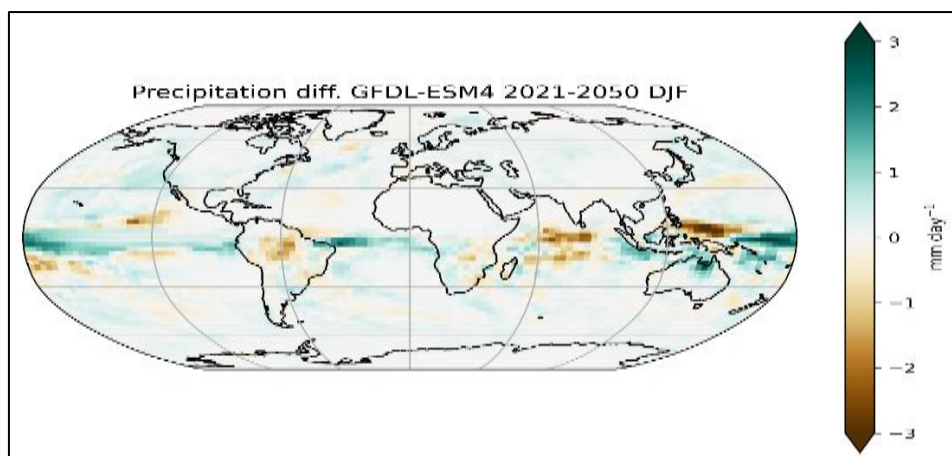


Σχήμα 3.32 Χωρική κατανομή της μέσης διαφοράς των δύο πειραμάτων ($ssp370sst - ssp370pdsst$) σε σχέση με τη βροχόπτωση για το μοντέλο GFDL-ESM4 για το χρονικό διάστημα 2070-2099 σε ετήσια κλίμακα.

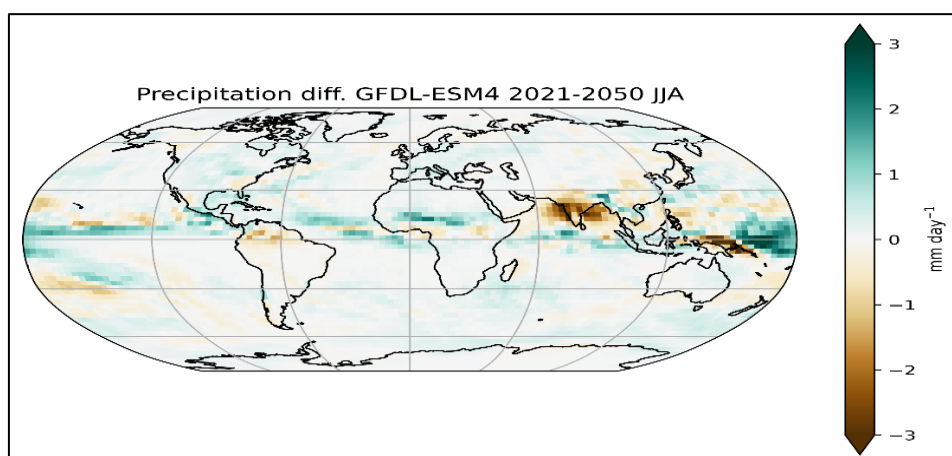
Η διαφορά των δύο πειραμάτων εμφανίζει αρνητικές τιμές κάτω από τις Φιλιππίνες. Ακόμη, ελάχιστες αρνητικές τιμές βρίσκονται γύρω από την Καραϊβική. Οι θετικές τιμές παρατηρούνται στη ζώνη του Ισημερινού και σε πιο υψηλό βαθμό δυτικά της Ν Αμερικής και ανατολικά από τις Φιλιππίνες.

Οι αρνητικές τιμές το χειμώνα(Σχήμα 3.33)εμφανίζονται στην Κεντρική Ν Αμερική, νότια από την Ινδία και κοντά στις Φιλιππίνες. Οι θετικές τιμές εντοπίζονται στη ζώνη του Ισημερινού. Οι πιο υψηλές θετικές τιμές φαίνονται ανατολικά της Ν Αμερικής και ανατολικά της Αυστραλίας.

Το θέρος φαίνεται να παρουσιάζει χαμηλές θετικές τιμές στη ζώνη του Ισημερινού. Πιο αναλυτικά, παρατηρούνται γύρω από την Καραϊβική, σε ένα μικρό κομμάτι της Κεντρικής Αφρικής και στα νότια και ανατολικά των Φιλιππίνων. Οι αρνητικές τιμές της διαφοράς είναι ελάχιστες και εμφανίζονται στην Ινδία και βόρεια και ανατολικά της Αυστραλίας.



Σχήμα 3.33 Χωρική κατανομή της μέσης διαφοράς των δύο πειραμάτων ($ssp370sst - ssp370pdsst$) σε σχέση με τη βροχόπτωση για το μοντέλο GFDL-ESM4 για το χρονικό διάστημα 2021-2050 για το χειμώνα.

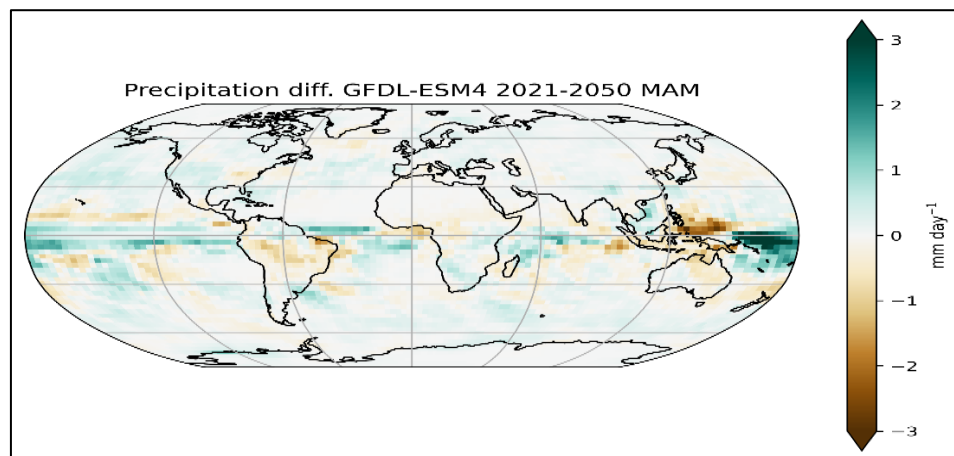


Σχήμα 3.34 Χωρική κατανομή της μέσης διαφοράς των δύο πειραμάτων ($ssp370sst - ssp370pdsst$) σε σχέση με τη βροχόπτωση για το μοντέλο GFDL-ESM4 για το χρονικό διάστημα 2021-2050 για το καλοκαίρι.

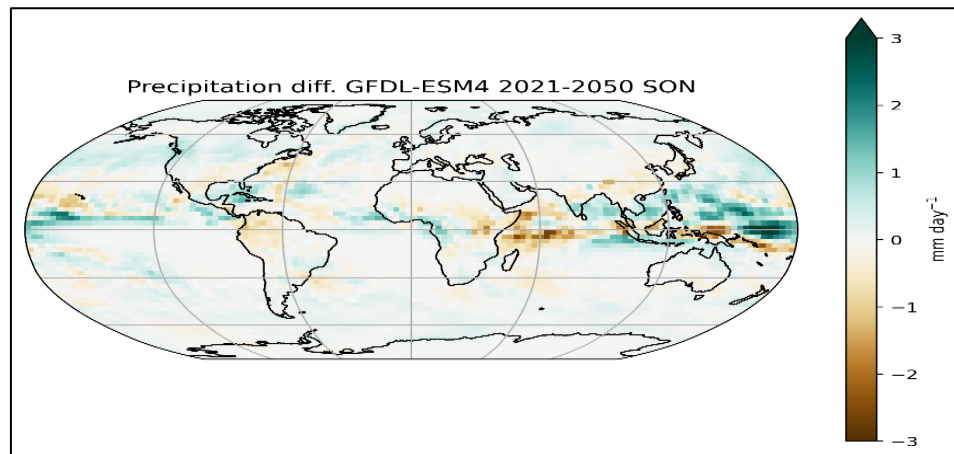
II. Άνοιξη-Φθινόπωρο

Η άνοιξη (Σχήμα 3.35) παρουσιάζει μικρές αρνητικές τιμές στις περιοχές των Φιλιππίνων και ελάχιστες τιμές ανάμεσα στο βόρειο τμήμα της Λατινικής Αμερικής και στη Βραζιλία. Στη ζώνη του Ισημερινού και ειδικότερα στο κομμάτι που βρίσκεται βόρεια και ανατολικά της Αυστραλίας παρατηρούνται οι θετικές τιμές.

Κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου οι αρνητικές τιμές εμφανίζονται ανατολικά της Αφρικής και κοντά στις Φιλιππίνες. Οι θετικές τιμές εντοπίζονται στα νησιά της Καραϊβικής, σε ένα μικρό κομμάτι δυτικά της Αφρικής και πάνω από τις Φιλιππίνες. Επιπλέον, θετικές τιμές παρατηρούνται στην Ινδία και νότια από αυτήν.



Σχήμα 3.35 Χωρική κατανομή της μέσης διαφοράς των δύο πειραμάτων ($ssp370sst - ssp370pdsst$) σε σχέση με τη βροχόπτωση για το μοντέλο GFDL-ESM4 για το χρονικό διάστημα 2021-2050 για την άνοιξη.



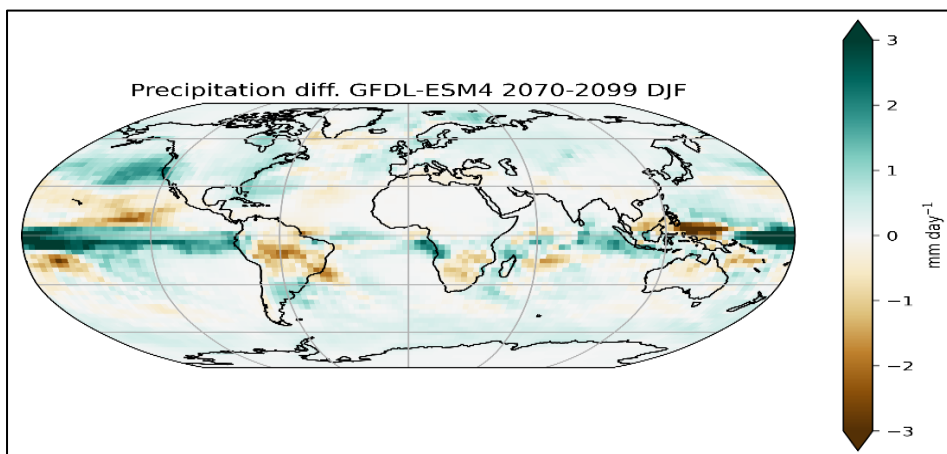
Σχήμα 3.36 Χωρική κατανομή της μέσης διαφοράς των δύο πειραμάτων ($ssp370sst - ssp370pdsst$) σε σχέση με τη βροχόπτωση για το μοντέλο GFDL-ESM4 για το χρονικό διάστημα 2021-2050 για το φθινόπωρο.

B.2.2070-2099

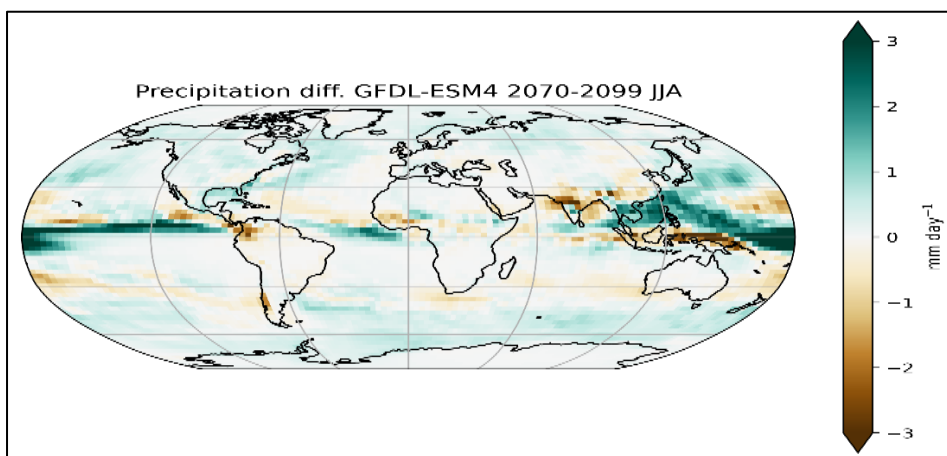
I. Χειμώνας-Καλοκαίρι

Κατά το χρονικό διάστημα από το 2070 έως το 2099, φαίνεται ότι οι θετικές τιμές της διαφοράς των δύο πειραμάτων για την περίπτωση της βροχόπτωσης υπερिशύουν σε σχέση με τις αρνητικές τιμές. Πιο συγκεκριμένα, εντοπίζονται στη ζώνη του Ισημερινού στα δυτικά της Ν Αμερικής, σε ορισμένες περιοχές της Αργεντινής, στην Αγκόλα της Αφρικής, νότια της Ινδίας και στα ανατολικά των Φιλιππίνων. Οι θετικές τιμές στην Αργεντινή είναι χαμηλές. Αντίθετα, οι αρκετά υψηλές αρνητικές τιμές βρίσκονται στο κέντρο της Ν Αμερικής και ειδικότερα ανάμεσα στην Μπολιβία και στη Βραζιλία. Ακόμη, οι υπόλοιπες εμφανίζονται γύρω από την Ουρουγουάη και κάτω από την Ασία, στις Φιλιππίνες.

Το καλοκαίρι (Σχήμα 3.38) οι αρνητικές τιμές παρατηρούνται κοντά στην Κολομβία, σε ένα κομμάτι της Χιλής, στην Ασία και πιο συγκεκριμένα στο Πακιστάν και στα βόρεια και ανατολικά της Αυστραλίας. Οι θετικές τιμές εμφανίζονται σε χαμηλό βαθμό σε ορισμένες περιοχές της Κεντρικής Αφρικής και σε υψηλό βαθμό στην Ταϊλάνδη και στις Φιλιππίνες και γύρω από αυτές.



Σχήμα 3.37 Χωρική κατανομή της μέσης διαφοράς των δύο πειραμάτων ($ssp370sst - ssp370pdsst$) σε σχέση με τη βροχόπτωση για το μοντέλο GFDL-ESM4 για το χρονικό διάστημα 2070-2099 για το χειμώνα.

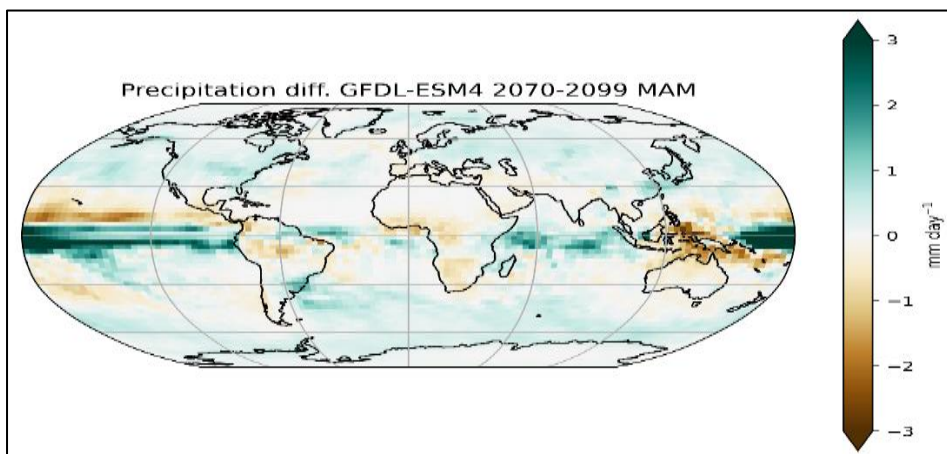


Σχήμα 3.38 Χωρική κατανομή της μέσης διαφοράς των δύο πειραμάτων ($ssp370sst - ssp370pdsst$) σε σχέση με τη βροχόπτωση για το μοντέλο GFDL-ESM4 για το χρονικό διάστημα 2070-2099 για το καλοκαίρι.

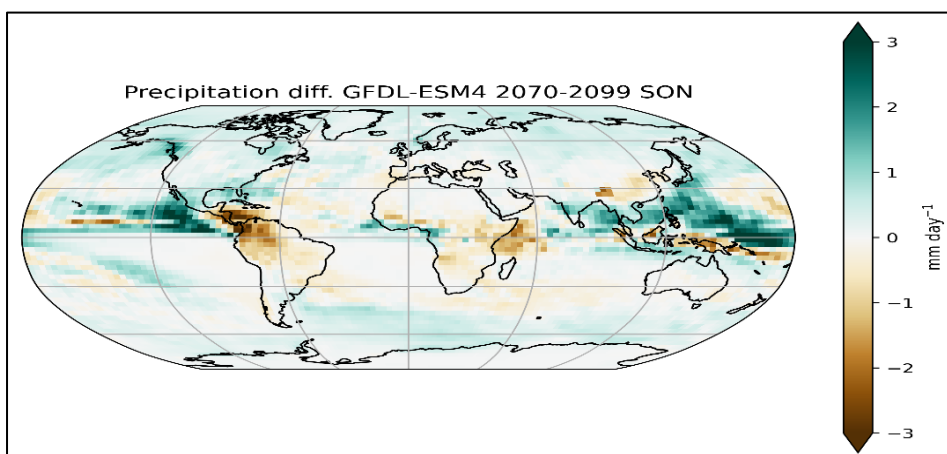
II. Άνοιξη-Φθινόπωρο

Την άνοιξη οι θετικές τιμές εμφανίζονται στη ζώνη του Ισημερινού, ένα μικρό ποσοστό παρατηρείται στην Ουρουγουάη και στη νότια και ανατολική Κίνα. Οι αρνητικές τιμές βρίσκονται στα βόρεια της Αυστραλίας, κοντά στη Ινδονησία και νότια των Φιλιππίνων (Σχήμα 3.39).

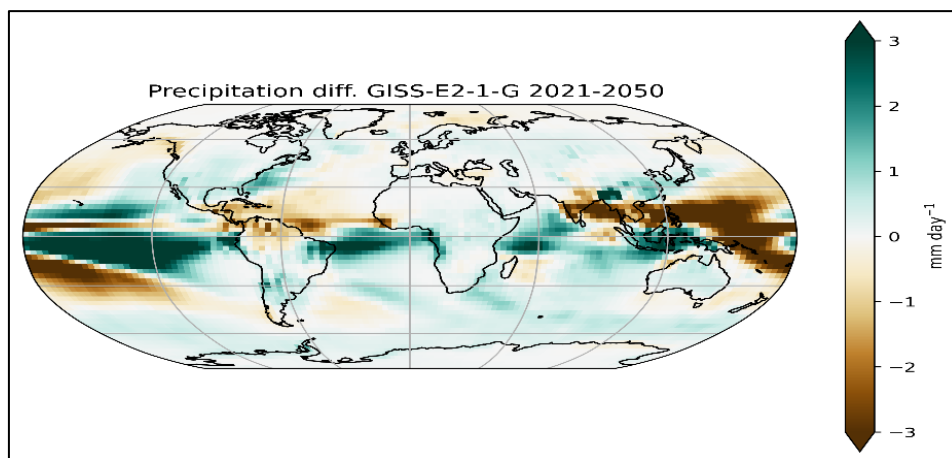
Το φθινόπωρο παρατηρείται ότι ένα μικρό ποσοστό θετικών τιμών εντοπίζεται στη δυτική πλευρά του Καναδά, οι πιο υψηλές θετικές τιμές βρίσκονται στα δυτικά της Ν Αμερικής, στη Λιβερία, στη Νιγηρία και στο μεγαλύτερο μέρος νότια της Ασίας και πιο συγκεκριμένα στην Ινδία και στις Φιλιππίνες. Οι αρνητικές τιμές εμφανίζονται στα νησιά της Καραϊβικής και στη Β Λατινική Αμερική, ιδιαίτερα στην Κολομβία, στην Αιθιοπία, σε ένα μικρό κομμάτι βόρεια του Νεπάλ και γύρω από την Ινδονησία.



Σχήμα 3.39 Χωρική κατανομή της μέσης διαφοράς των δύο πειραμάτων ($ssp370sst - ssp370pdsst$) σε σχέση με τη βροχόπτωση για το μοντέλο GFDL-ESM4 για το χρονικό διάστημα 2070-2099 για την άνοιξη.



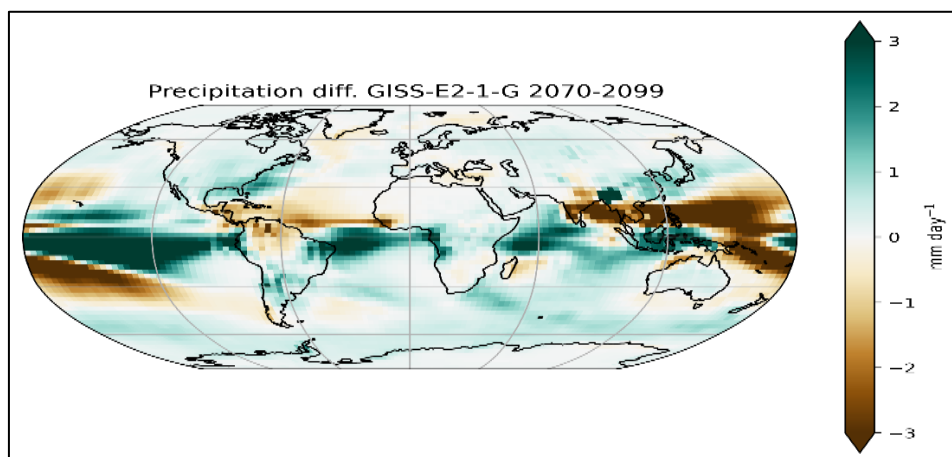
Σχήμα 3.40 Χωρική κατανομή της μέσης διαφοράς των δύο πειραμάτων ($ssp370sst - ssp370pdsst$) σε σχέση με τη βροχόπτωση για το μοντέλο GFDL-ESM4 για το χρονικό διάστημα 2070-2099 για το φθινόπωρο.



Σχήμα 3.41 Χωρική κατανομή της μέσης διαφοράς των δύο πειραμάτων ($ssp370sst - ssp370pdsst$) σε σχέση με τη βροχόπτωση για το μοντέλο GISS-E2-1-G για το χρονικό διάστημα 2021-2050 σε ετήσια κλίμακα.

Στο Σχήμα 3.41 παρατηρούνται υψηλές θετικές και αρνητικές τιμές της διαφοράς των δύο πειραμάτων για την βροχόπτωση. Σε ετήσια κλίμακα οι θετικές τιμές εμφανίζονται δυτικά της Ν Αμερικής, στις περιοχές της Βραζιλίας και ανατολικά από αυτήν, στις χώρες της Δ Αφρικής, σε ένα μικρό κομμάτι βόρεια από το Νεπάλ και ανάμεσα στην Ασία και στην Αυστραλία, κοντά στην Ινδονησία. Οι αρνητικές τιμές εντοπίζονται γύρω από την Καραϊβική, στη Βενεζουέλα, στη Κολομβία, κοντά στη Γουινέα, στην Ινδία, στα ανατολικά της και νότια των Φιλιππίνων.

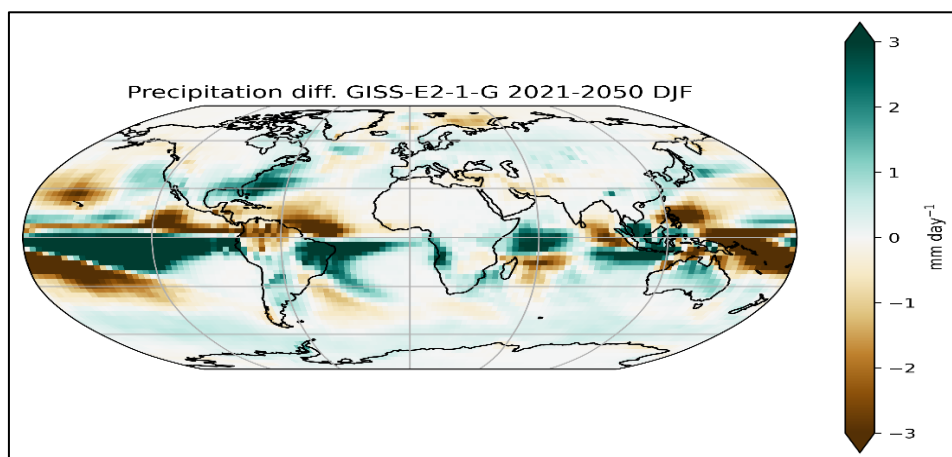
A.2.2070-2099



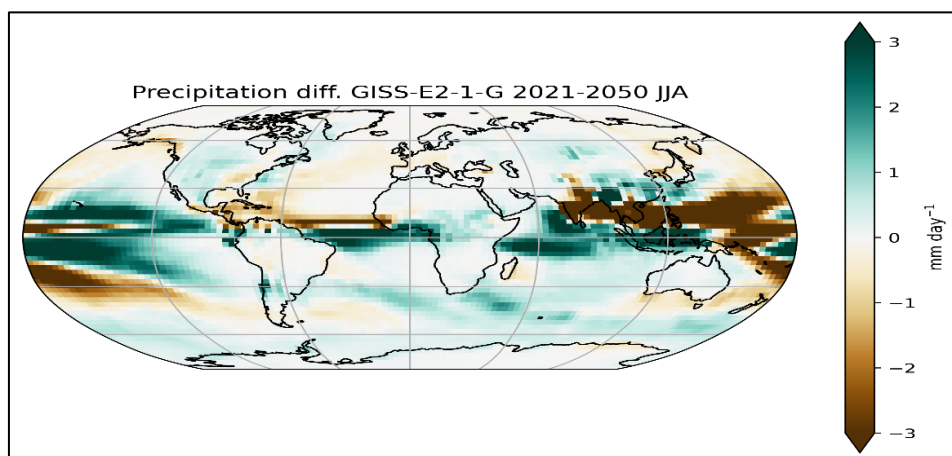
Σχήμα 3.42 Χωρική κατανομή της μέσης διαφοράς των δύο πειραμάτων ($ssp370sst - ssp370pdsst$) σε σχέση με τη βροχόπτωση για το μοντέλο GISS-E2-1-G για το χρονικό διάστημα 2070-2099 σε ετήσια κλίμακα.

Οι υψηλές θετικές τιμές εμφανίζονται στη δυτική πλευρά της Λατινικής Αμερικής, στην ανατολική πλευρά της Βραζιλίας, στην Κεντρική και Δυτική Αφρική, σε ένα τμήμα της Ν Κίνας και νότια από την Ασία. Οι αρνητικές τιμές βρίσκονται γύρω από τα νησιά της Καραϊβικής, στις περιοχές της Ινδίας και σε ένα μικρό κομμάτι ανατολικά της Ν Ασίας.

Το χειμώνα (Σχήμα 3.43) οι αρνητικές τιμές εμφανίζονται στα νησιά της Καραϊβικής και γύρω από αυτά, σε ένα κομμάτι στην ανατολική πλευρά της Ν Αφρικής, νότια από την Ινδία, γύρω από τις Φιλιππίνες και στα νησιά του Ειρηνικού Ωκεανού βόρεια και ανατολικά από την Αυστραλία. Οι θετικές εντοπίζονται κοντά στο Εκουαδόρ και σε ορισμένα τμήματα της Α Βραζιλίας. Επιπλέον, ορισμένες θετικές τιμές εμφανίζονται στην ανατολική πλευρά της Κεντρικής Αφρικής, νότια από την Ασία ενώ πιο χαμηλές θετικές τιμές βρίσκονται στην Β Αυστραλία. Το θέρος οι τιμές με αρνητικό πρόσημο βρίσκονται στη Γουινέα και ένα μεγάλο ποσοστό αρχίζει από την Ινδία και φτάνει μέχρι βόρεια και ανατολικά από την Αυστραλία. Οι θετικές τιμές εντοπίζονται ανατολικά της Βραζιλίας, στην Κεντρική και νότια πλευρά της Αφρικής, στα νότια και δυτικά από την Ινδία, στην Ινδονησία και γύρω από αυτήν(Σχήμα 3.44).



Σχήμα 3.43 Χωρική κατανομή της μέσης διαφοράς των δύο πειραμάτων ($ssp370sst - ssp370pdsst$) σε σχέση με τη βροχόπτωση για το μοντέλο GISS-E2-1-G για το χρονικό διάστημα 2021-2050 για το χειμώνα.

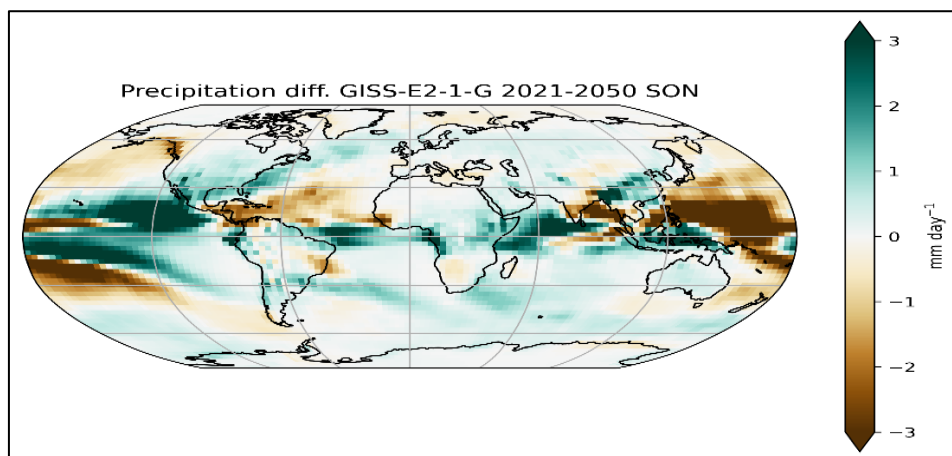


Σχήμα 3.44 Χωρική κατανομή της μέσης διαφοράς των δύο πειραμάτων ($ssp370sst - ssp370pdsst$) σε σχέση με τη βροχόπτωση για το μοντέλο GISS-E2-1-G για το χρονικό διάστημα 2021-2050 για το καλοκαίρι.

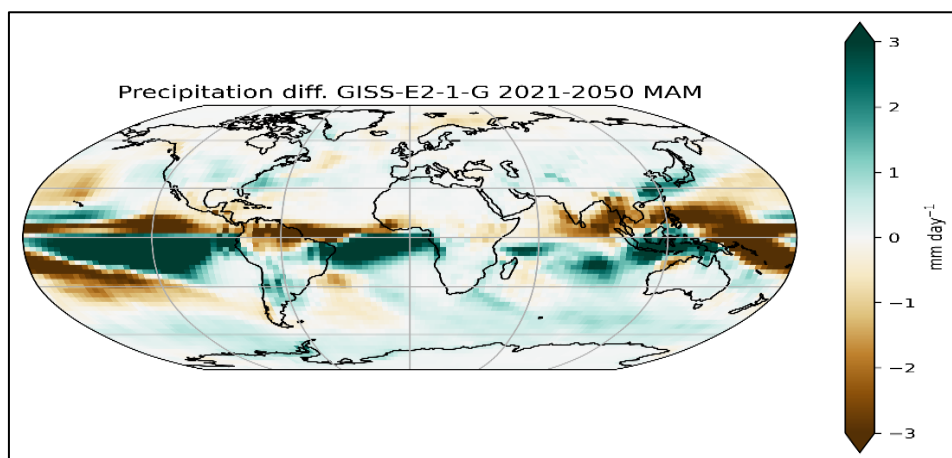
II .Άνοιξη-Φθινόπωρο

Η άνοιξη (Σχήμα 3.45) εμφανίζει χαμηλές αρνητικές τιμές νότια του Μεξικού και πιο συγκεκριμένα στην Κόστα Ρίκα, στη Κούβα, στην Τζαμάικα και σε ένα μικρό τμήμα της Δ Βραζιλίας. Επιπλέον, ορισμένες εντοπίζονται κοντά στη Γουινέα, στο μεγαλύτερο μέρος της Ινδίας και σε ορισμένα τμήματα νότια από την Ασία. Οι θετικές τιμές παρατηρούνται στην Καλιφόρνια και στο Μεξικό, σε ένα μικρό τμήμα της Κολομβίας, γύρω από τη Νιγηρία, κοντά στην Αιθιοπία, βόρεια από το Νεπάλ και γύρω από την Ινδονησία.

Κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου (Σχήμα 3.46) εμφανίζονται θετικές τιμές στην δυτική πλευρά της Ν Αμερικής, στο ανατολικό κομμάτι της Κεντρικής Βραζιλίας νότια από τη ζώνη του Ισημερινού, σε ένα μικρό τμήμα της νότιας και δυτικής Αφρικής, στη Γουινέα και νότια από την Ασία, γύρω από την Ινδονησία. Επιπλέον, χαμηλές θετικές τιμές παρατηρούνται στη Χιλή και στη νότια και ανατολική Κίνα. Οι αρνητικές τιμές παρουσιάζονται δυτικά των νησιών της Καραϊβικής, στα βόρεια της Βραζιλίας, στη Βενεζουέλα, νότια από την Ινδία και στα νησιά του Ειρηνικού Ωκεανού από την ανατολική πλευρά της Ασίας.



Σχήμα 3.45 Χωρική κατανομή της μέσης διαφοράς των δύο πειραμάτων ($s_{sp370sst} - s_{sp370pdsst}$) σε σχέση με τη βροχόπτωση για το μοντέλο GISS-E2-1-G για το χρονικό διάστημα 2021-2050 για την άνοιξη.



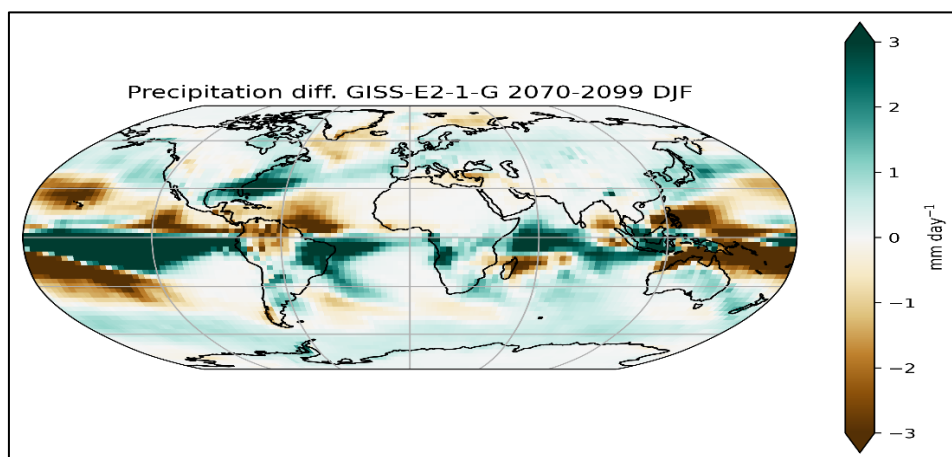
Σχήμα 3.46 Χωρική κατανομή της μέσης διαφοράς των δύο πειραμάτων ($s_{sp370sst} - s_{sp370pdsst}$) σε σχέση με τη βροχόπτωση για το μοντέλο GISS-E2-1-G για το χρονικό διάστημα 2021-2050 για το φθινόπωρο.

B.2.2070-2099

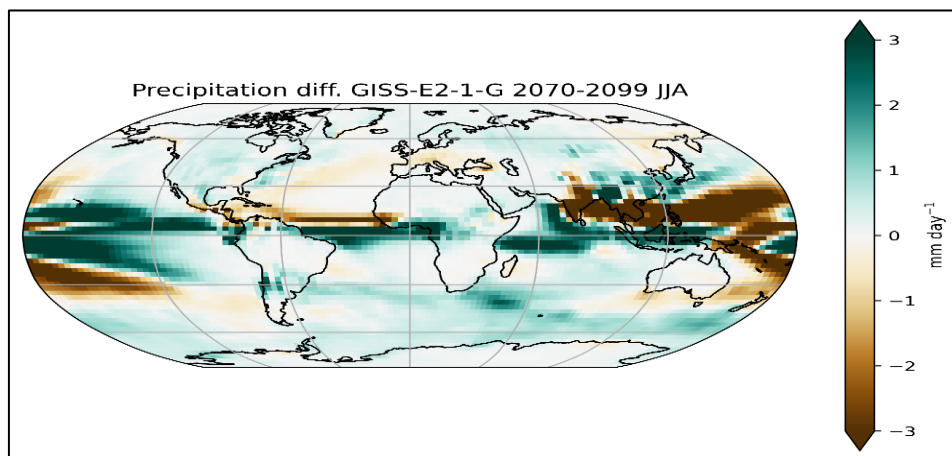
Ι. Χειμώνας-Καλοκαίρι

Ο χειμώνας εμφανίζει αρνητικές τιμές στα νησιά της Καραϊβικής, σε ένα μικρό τμήμα της Ν Χιλής, στη Μαδαγασκάρη, σε ένα μικρό κομμάτι της Ινδίας, στη βόρεια πλευρά της Αυστραλίας και σε ένα μεγάλο μέρος γύρω από την Ινδονησία και τις Φιλιππίνες. Οι θετικές τιμές βρίσκονται βορειοδυτικά της Ν Αμερικής, στην Αργεντινή, γύρω από τη Φλόριντα, στον κόλπο του Μεξικού, στην ανατολική πλευρά της Βραζιλίας, σε ένα μικρό κομμάτι της Δ και Α Αφρικής και κοντά στην Ινδονησία. Ακόμη, χαμηλές θετικές τιμές εντοπίζονται στο μεγαλύτερο μέρος της Αυστραλίας (Σχήμα 3.47).

Το καλοκαίρι (Σχήμα 3.48) φαίνεται ότι οι αρνητικές τιμές παρουσιάζονται σε περιορισμένη έκταση πάνω από τη Ν Αμερική, στον κόλπο του Μεξικού μέχρι τη Σενεγάλη και ανατολικά από τη Ν Αυστραλία. Στη συνέχεια, οι αρνητικές τιμές με υψηλό ποσοστό παρουσιάζονται στις περιοχές της Ινδίας, στα τμήματα κάτω από την Κίνα και στα νησιά του Ειρηνικού Ωκεανού από τη πλευρά των Φιλιππίνων. Αντιθέτως, οι υψηλές θετικές τιμές εντοπίζονται στην Κολομβία, στον Παναμά, στη Χιλή, στα ανατολικά της Βραζιλίας, στη Νιγηρία, στα νησιά που βρίσκονται νότια από την Ινδία, όπως είναι η Σρι Λάνκα και σε ένα μικρό κομμάτι γύρω από την Ινδονησία.



Σχήμα 3.47 Χωρική κατανομή της μέσης διαφοράς των δύο πειραμάτων ($ssp370sst - ssp370pdsst$) σε σχέση με τη βροχόπτωση για το μοντέλο GISS-E2-1-G για το χρονικό διάστημα 2070-2099 για το χειμώνα.

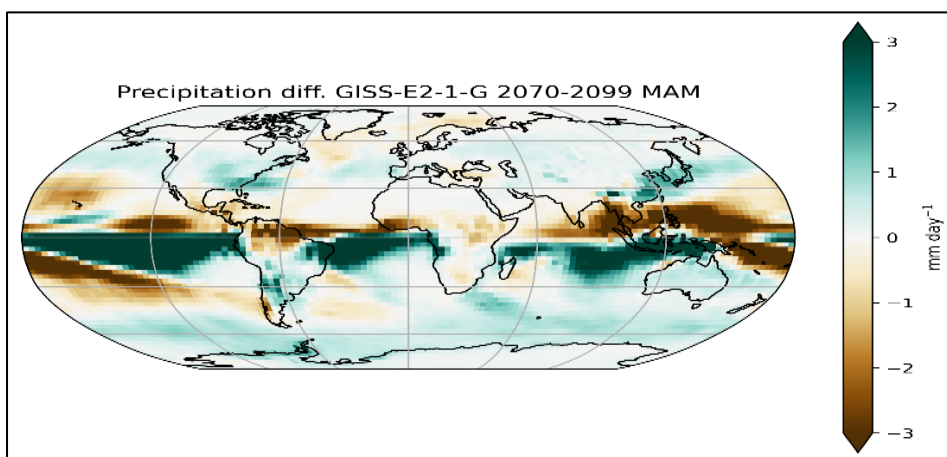


Σχήμα 3.48 Χωρική κατανομή της μέσης διαφοράς των δύο πειραμάτων ($ssp370sst - ssp370pdsst$) σε σχέση με τη βροχόπτωση για το μοντέλο GISS-E2-1-G για το χρονικό διάστημα 2070-2099 για το καλοκαίρι.

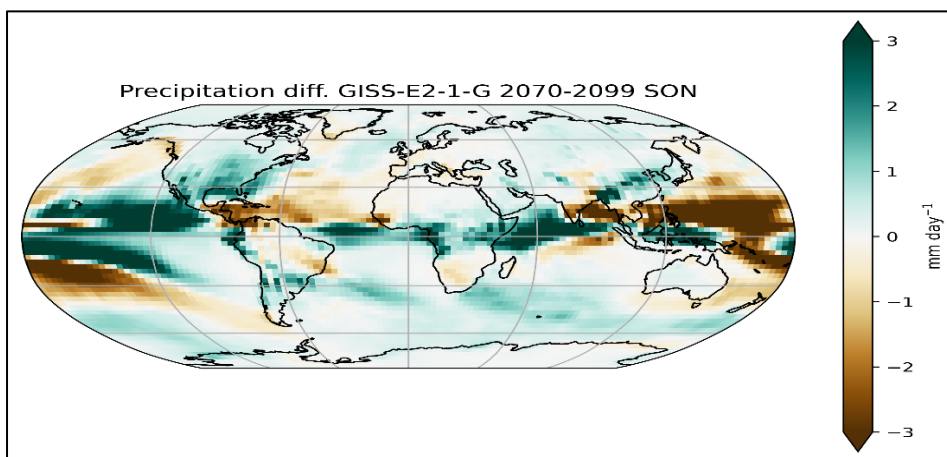
II. Άνοιξη-Φθινόπωρο

Την άνοιξη οι αρνητικές τιμές εντοπίζονται κοντά στην Καλιφόρνια και στο Μεξικό, στο βόρειο τμήμα της Βραζιλίας, στη Χιλή, στη Σενεγάλη, στη Γκάμπια, στη Γουινέα, στο νότιες περιοχές της Ινδίας και νότια από αυτήν και βόρεια από τη ζώνη του Ισημερινού, γύρω από τις Φιλιππίνες. Οι θετικές τιμές παρουσιάζονται στο βορειο και δυτικό τμήμα της Ν Αμερικής και πιο συγκεκριμένα κοντά στον Παναμά και στο Εκουαδόρ, σε ένα μικρό κομμάτι της Χιλής, στην δυτική πλευρά της Βραζιλίας, στη Νιγηρία και στο Καμερούν. Ακόμη, σε ένα μικρό κομμάτι της Ν Κίνας και βόρεια από την Αυστραλία, γύρω από την Ινδονησία εμφανίζονται θετικές τιμές της διαφοράς (Σχήμα 3.49).

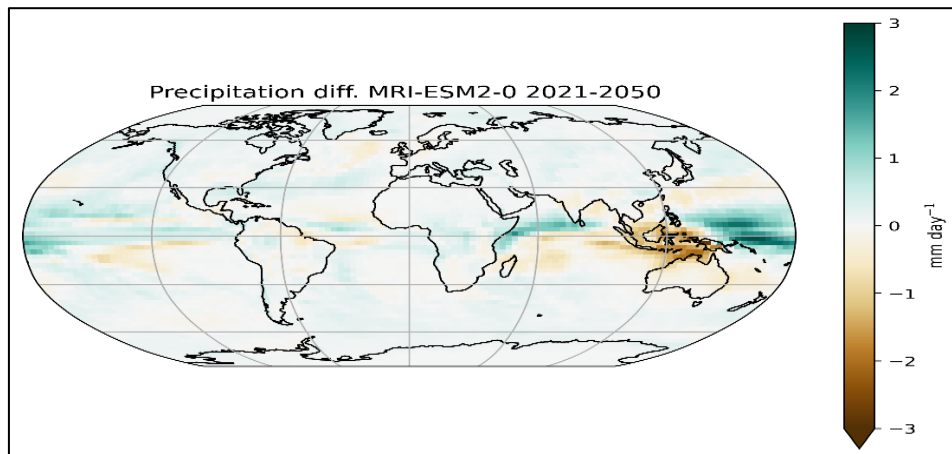
Κατά το φθινόπωρο (Σχήμα 3.50) οι υψηλές αρνητικές τιμές εντοπίζονται γύρω από την Κούβα, την Τζαμάικα, το Πουέρτο Ρίκο, στο μεγαλύτερο μέρος της Ινδίας και κάτω από τη νότια και ανατολική πλευρά της Ασίας, γύρω από τις Φιλιππίνες. Επιπλέον, χαμηλές αρνητικές τιμές παρατηρούνται σε ένα μικρό κομμάτι της Α Βραζιλίας και σε ένα μικρό τμήμα της Δ Αφρικής. Οι θετικές τιμές παρατηρούνται στην πόλη του Μεξικού, στο Εκουαδόρ, στον Παναμά, στο Περού, σε ορισμένα μικρά τμήματα της Αργεντινής, στη ΝΔ και ΝΑ Αφρική. Ακόμη, ορισμένες φθινοπωρινές θετικές τιμές παρουσιάζονται βόρεια από το Νεπάλ και στην Ινδονησία.



Σχήμα 3.49 Χωρική κατανομή της μέσης διαφοράς των δύο πειραμάτων ($ssp370sst - ssp370pdsst$) σε σχέση με τη βροχόπτωση για το μοντέλο GISS-E2-1-G για το χρονικό διάστημα 2070-2099 για την άνοιξη.



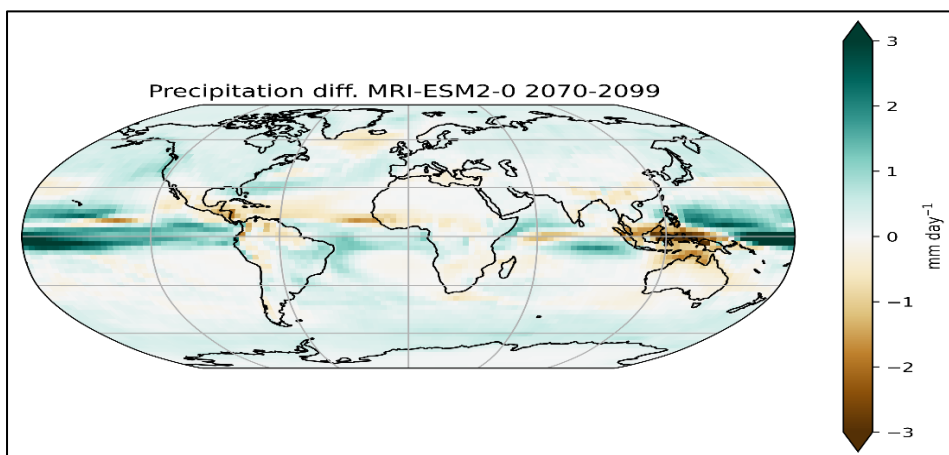
Σχήμα 3.50 Χωρική κατανομή της μέσης διαφοράς των δύο πειραμάτων ($ssp370sst - ssp370pdsst$) σε σχέση με τη βροχόπτωση για το μοντέλο GISS-E2-1-G για το χρονικό διάστημα 2070-2099 για το φθινόπωρο.



Σχήμα 3.51 Χωρική κατανομή της μέσης διαφοράς των δύο πειραμάτων ($ssp370sst - ssp370pdsst$) σε σχέση με τη βροχόπτωση για το μοντέλο MRI-ESM2-0 για το χρονικό διάστημα 2021-2050 σε ετήσια κλίμακα.

Σε ετήσια κλίμακα οι τιμές με θετικό πρόσημο εντοπίζονται στη ζώνη του Ισημερινού, στην ανατολική πλευρά της Αφρικανικής ηπείρου και στα νότια και ανατολικά της Ασίας, γύρω από τις Φιλιππίνες. Από την άλλη πλευρά, οι αρνητικές τιμές παρουσιάζονται ανάμεσα από την Ασία και την Αυστραλία και στις περιοχές της Ινδονησίας (Σχήμα 3.51).

A.2.2070-2099



Σχήμα 3.52 Χωρική κατανομή της μέσης διαφοράς των δύο πειραμάτων ($ssp370sst - ssp370pdsst$) σε σχέση με τη βροχόπτωση για το μοντέλο MRI-ESM2-0 για το χρονικό διάστημα 2070-2099 σε ετήσια κλίμακα.

Για το κλιματικό μοντέλο MRI-ESM2-0 παρατηρείται ότι οι θετικές τιμές εμφανίζονται στην δυτική πλευρά της Ν Αμερικής και γύρω από τις Φιλιππίνες. Ακόμη, ένα μικρό χαμηλό ποσοστό βρίσκεται στα δυτικά της Βραζιλίας και σε ένα μικρό κομμάτι της Κεντρικής και Α Αφρικής. Στα νησιά της Καραϊβικής, στην

Γκάμπια και στα νησιά του Ειρηνικού Ωκεανού, πάνω από την Αυστραλία, παρατηρούνται οι αρνητικές τιμές.

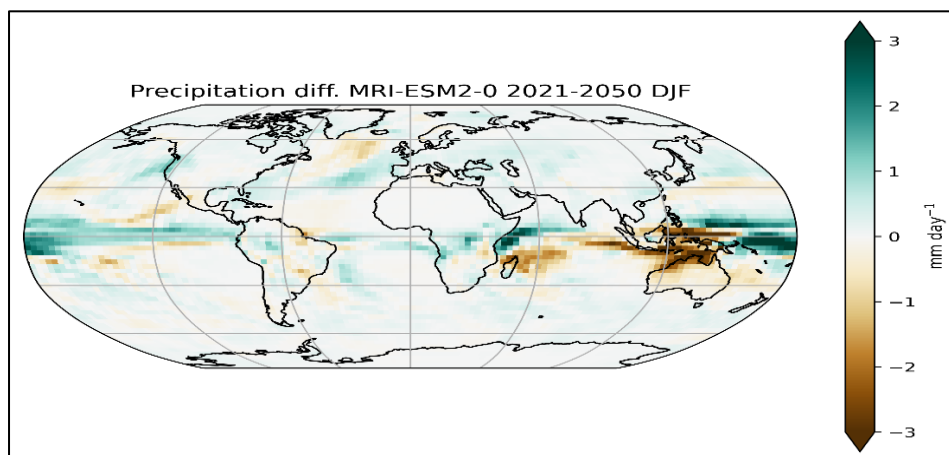
Β. Εποχιακά Αποτελέσματα

Β.1.2021-2050

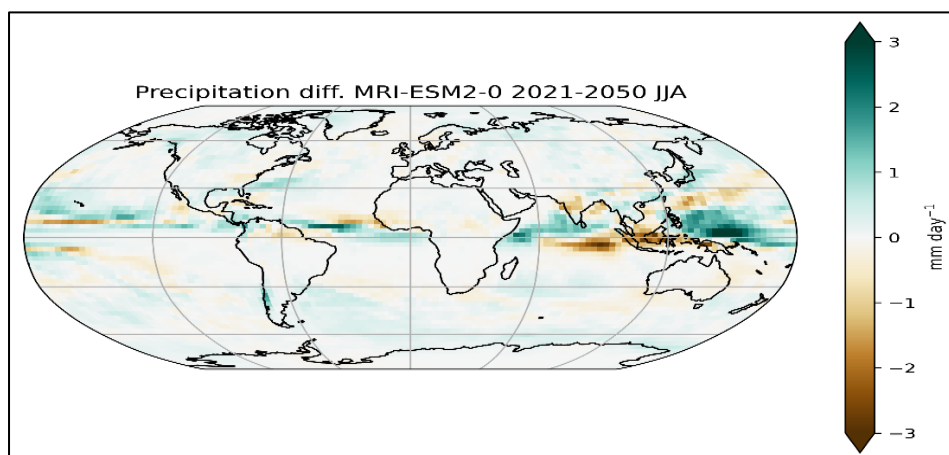
Ι. Χειμώνας-Καλοκαίρι

Το χειμώνα (Σχήμα 3.53) οι υψηλές θετικές τιμές βρίσκονται κοντά στην Κένυα, στην Ουγκάντα και στα νησιά του Ειρηνικού Ωκεανού στη ΒΔ Αυστραλία. Οι θετικές τιμές χαμηλού επιπέδου εντοπίζονται στη Ν Αμερική, ανάμεσα στο Περού και στην Βραζιλία και σε ένα μικρό τμήμα της Κεντρικής Αφρικής. Αντιθέτως, οι χαμηλές αρνητικές τιμές εμφανίζονται στη Μαδαγασκάρη και γύρω από αυτήν και σε ένα μικρό κομμάτι της Αργεντινής. Οι αρνητικές τιμές υψηλού επιπέδου παρατηρούνται στη Β Αυστραλία και στα νησιά βόρεια από αυτήν.

Το θέρος οι χαμηλές θετικές τιμές εντοπίζονται στη Χιλή, στη ΒΑ Βραζιλία, στα ανατολικά της Αιθιοπίας και γύρω από της Φιλιππίνες. Ένα μικρό ποσοστό χαμηλών αρνητικών τιμών εμφανίζεται νότια της Ινδίας και στην Ινδονησία (Σχήμα 3.54).



Σχήμα 3.53 Χωρική κατανομή της μέσης διαφοράς των δύο πειραμάτων ($ssp370sst - ssp370pdsst$) σε σχέση με τη βροχόπτωση για το μοντέλο MRI-ESM2-0 για το χρονικό διάστημα 2021-2050 για το χειμώνα.

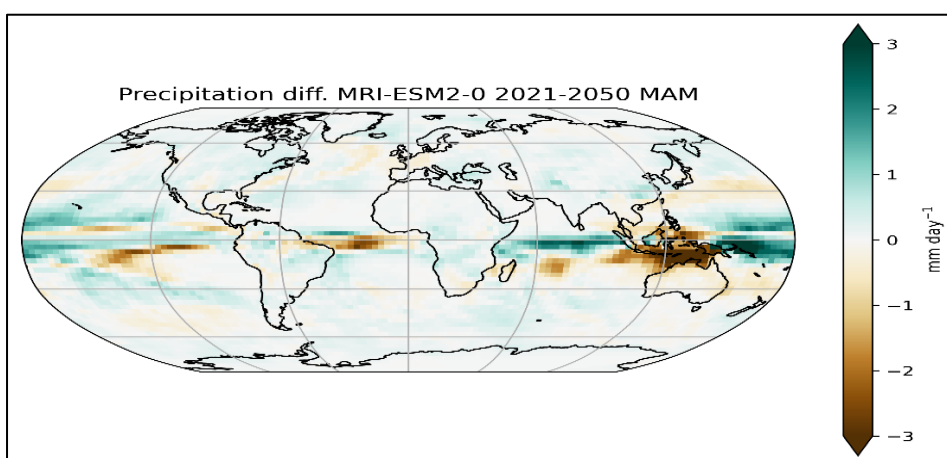


Σχήμα 3.54 Χωρική κατανομή της μέσης διαφοράς των δύο πειραμάτων ($ssp370sst - ssp370pdsst$) σε σχέση με τη βροχόπτωση για το μοντέλο MRI-ESM2-0 για το χρονικό διάστημα 2021-2050 για το καλοκαίρι.

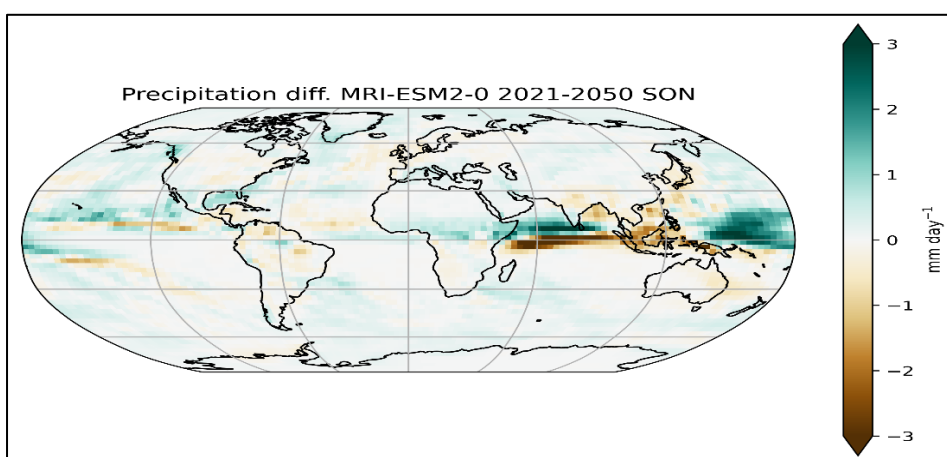
II Άνοιξη-Φθινόπωρο

Η άνοιξη παρουσιάζει αρνητικές και θετικές τιμές κοντά στη ζώνη του Ισημερινού. Οι αρνητικές τιμές εντοπίζονται ανάμεσα στη Βραζιλία και στη ΝΑ Αφρική, νότια από την Ασία και στο βόρειο τμήμα της Αυστραλίας. Οι ελάχιστες θετικές τιμές εντοπίζονται στη Ν Αμερική, στο μεγαλύτερο μέρος της Βραζιλίας, στη νότια πλευρά της Αφρικανικής ηπείρου, νότια από την Ασία και στη ΒΑ Αυστραλία(Σχήμα 3.55).

Το φθινόπωρο (Σχήμα 3.56) νότια από την Ινδία και νότια από τις Φιλιππίνες παρατηρούνται θετικές τιμές, ενώ από τη ΝΑ Αφρική μέχρι την Ινδονησία εμφανίζονται αρνητικές τιμές. Επιπλέον, ορισμένες χαμηλές θετικές τιμές βρίσκονται στην Κεντρική Αφρική και στον κόλπο του Μεξικού.



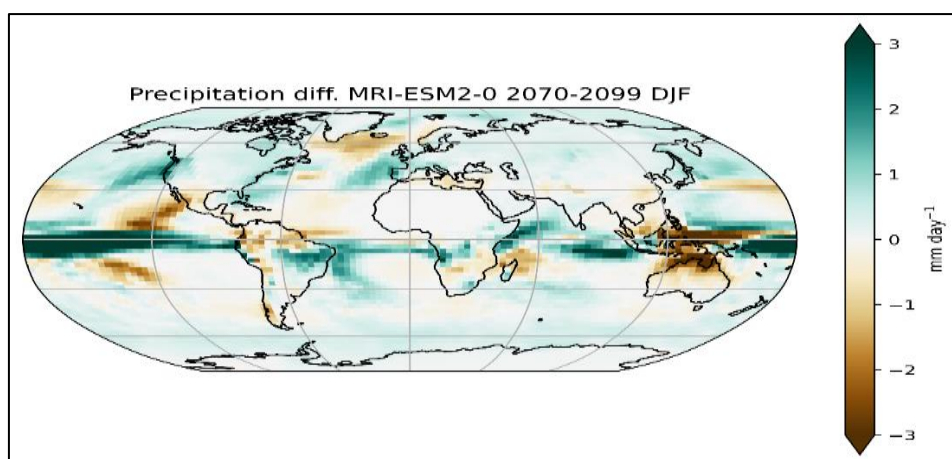
Σχήμα 3.55 Χωρική κατανομή της μέσης διαφοράς των δύο πειραμάτων ($ssp370sst - ssp370pdsst$) σε σχέση με τη βροχόπτωση για το μοντέλο MRI-ESM2-0 για το χρονικό διάστημα 2021-2050 για την άνοιξη.



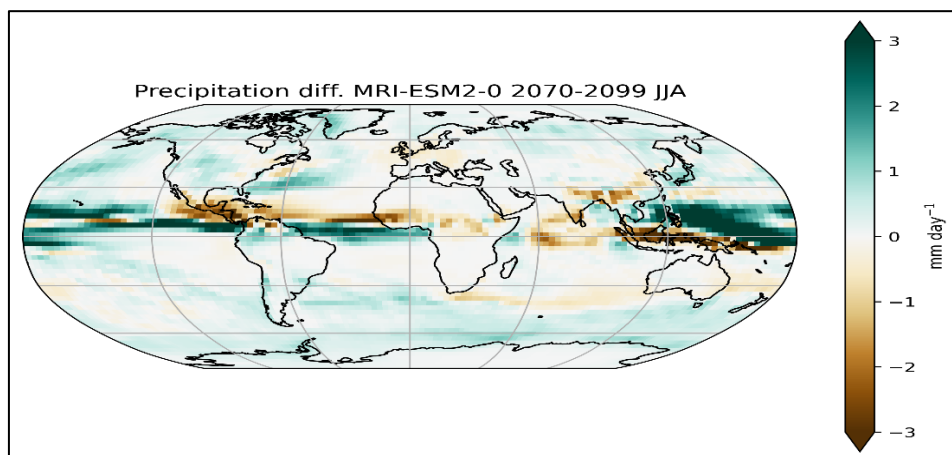
Σχήμα 3.56 Χωρική κατανομή της μέσης διαφοράς των δύο πειραμάτων ($ssp370sst - ssp370pdsst$) σε σχέση με τη βροχόπτωση για το μοντέλο MRI-ESM2-0 για το χρονικό διάστημα 2021-2050 για το φθινόπωρο.

Το Σχήμα 3.57 δείχνει ότι ο χειμώνας εμφανίζει θετικές τιμές στα βόρεια και δυτικά του Παναμά, στην Α Βραζιλία, στην Αγκόλα, στο Ζάρε, στην Κένυα, νότια από την Ασία και στα νησιά του Ειρηνικού Ωκεανού, στα ανατολικά της Ινδονησίας. Ακόμη, ορισμένες χαμηλές θετικές τιμές εμφανίζονται στην Καλιφόρνια και στην Ισπανία και Γαλλία. Οι αρνητικές τιμές εντοπίζονται στο Μεξικό, στις χώρες της Ν Αμερικής, στη Χιλή, σε ένα μικρό τμήμα της Β Βραζιλίας, γύρω από τη Μαδαγασκάρη, στη Β Αυστραλία και βόρεια από αυτήν. Ένα χαμηλό ποσοστό αρνητικών τιμών εμφανίζεται κοντά στην Ισλανδία.

Το θέρος (Σχήμα 3.58) φαίνεται ότι οι αρνητικές τιμές εντοπίζονται στο Μεξικό, γύρω από τα νησιά της Καραϊβικής, στη Γουινέα, σε ορισμένα τμήματα της Κεντρικής Αφρικής, στην Ινδία και νότια από αυτήν, στη ΝΑ Κίνα και στην Ινδονησία και στα γύρω νησιά. Οι θετικές τιμές παρουσιάζονται στη Ν Καραϊβική, στη ζώνη του Ισημερινού, κοντά στη Γκάνα και στα νησιά γύρω από τις Φιλιππίνες. Οι χαμηλές θετικές τιμές παρατηρούνται στον Β Καναδά, στην Κεντρική Αμερική, στην Κολομβία, στη Χιλή και στο μεγαλύτερο μέρος της Ασίας.



Σχήμα 3.57 Χωρική κατανομή της μέσης διαφοράς των δύο πειραμάτων ($ssp370sst - ssp370pdsst$) σε σχέση με τη βροχόπτωση για το μοντέλο MRI-ESM2-0 για το χρονικό διάστημα 2070-2099 για το χειμώνα.

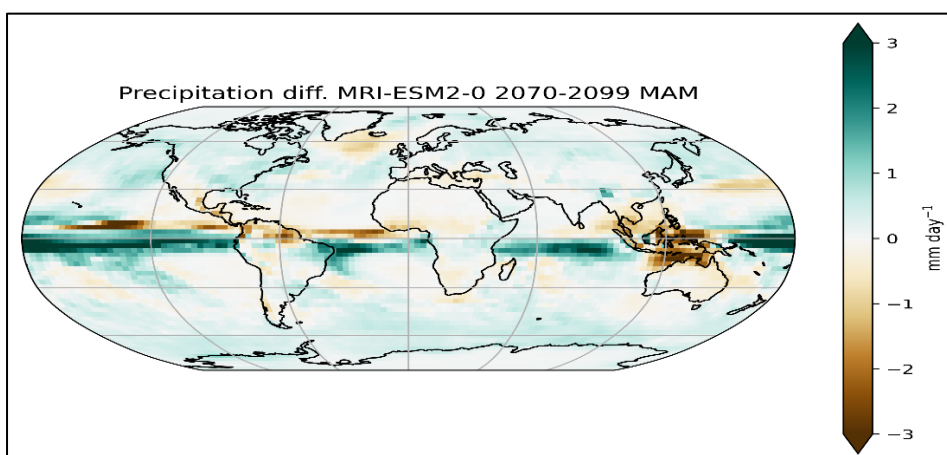


Σχήμα 3.58 Χωρική κατανομή της μέσης διαφοράς των δύο πειραμάτων ($ssp370sst - ssp370pdsst$) σε σχέση με τη βροχόπτωση για το μοντέλο MRI-ESM2-0 για το χρονικό διάστημα 2070-2099 για το καλοκαίρι, βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

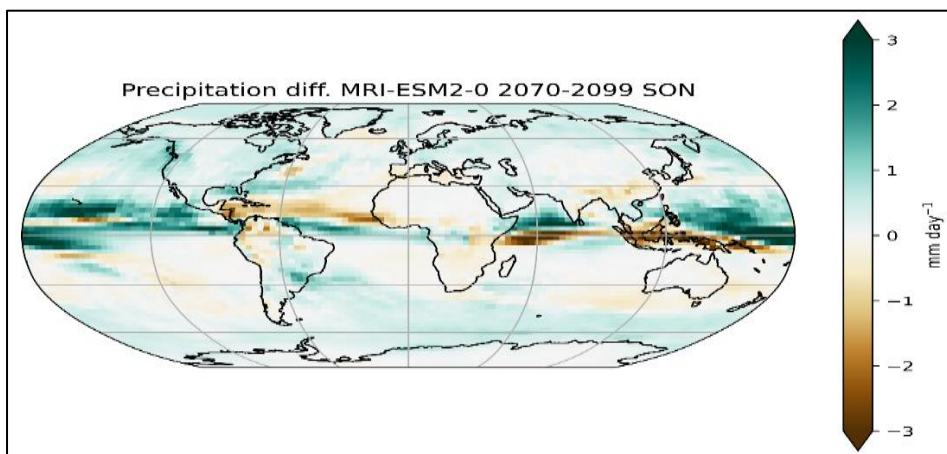
II Άνοιξη-Φθινόπωρο

Την άνοιξη (Σχήμα 3.59) οι θετικές τιμές παρατηρούνται στη ζώνη του Ισημερινού. Οι χαμηλές θετικές παρουσιάζονται κοντά στην Αλαμπάμα και στο Μισισίπι, σε ένα μικρό κομμάτι της Αργεντινής, στην Κένυα, στην Ουγκάντα και στην Ασία. Οι θετικές τιμές υψηλού επιπέδου εντοπίζονται στη δυτική πλευρά της Ν Αμερικής, στην Α Βραζιλία, στην Τανζανία και στις Φιλιππίνες. Στο βόρειο τμήμα μεταξύ Λατινικής Αμερικής και Βραζιλίας, στη Β Αυστραλία και στα νησιά βόρεια από την ήπειρο εμφανίζονται οι αρνητικές τιμές.

Το φθινόπωρο οι θετικές τιμές παρουσιάζονται ανάμεσα στο Όρεγκον και στην Καλιφόρνια και στο ανατολικό τμήμα της Β Αμερικής, στον κόλπο του Μεξικού, στο Μεξικό, κοντά στην Κολομβία, στην Αργεντινή, στο κέντρο της Αφρικανικής ηπείρου, νότια από την Ινδία και κοντά στις Φιλιππίνες. Οι χαμηλές θετικές παρατηρούνται στη Β Ασία. Γύρω από την Τζαμάικα και την Κούβα, στο βόρειο τμήμα της Ν Αμερικής, στη Δ Αφρική, κοντά στην Ουγκάντα και στα νησιά νότια από την Ασία εντοπίζονται οι αρνητικές τιμές (Σχήμα 3.60).



Σχήμα 3.59 Χωρική κατανομή της μέσης διαφοράς των δύο πειραμάτων ($ssp370sst - ssp370pdsst$) σε σχέση με τη βροχόπτωση για το μοντέλο MRI-ESM2-0 για το χρονικό διάστημα 2070-2099 για την άνοιξη.



Σχήμα 3.60 Χωρική κατανομή της μέσης διαφοράς των δύο πειραμάτων ($ssp370sst - ssp370pdsst$) σε σχέση με τη βροχόπτωση για το μοντέλο MRI-ESM2-0 για το χρονικό διάστημα 2070-2099 για το φθινόπωρο.

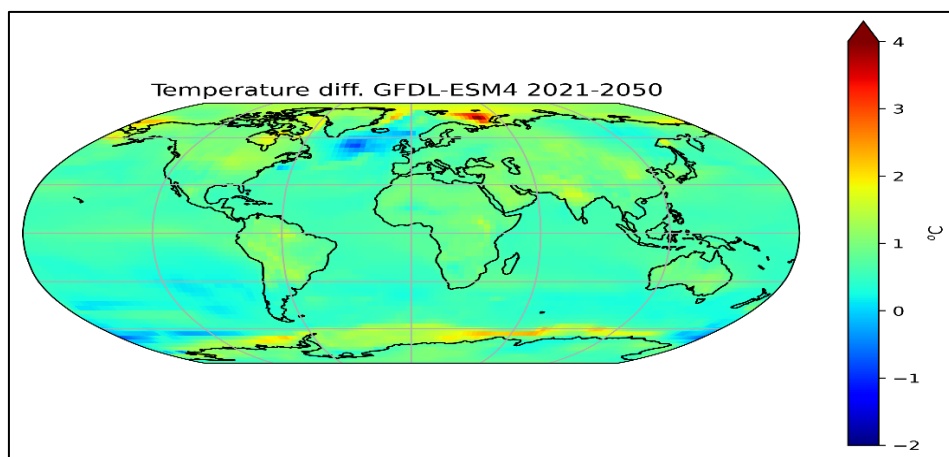
3.3. Θερμοκρασία Επιφανείας

Το τελευταίο μέρος των αποτελεσμάτων εστιάζει στην θερμοκρασία επιφανείας ως κλιματική παράμετρος. Με κόκκινο χρώμα απεικονίζονται οι πολύ υψηλές θετικές τιμές της διαφοράς και οι χαμηλές θετικές τιμές φαίνονται με πράσινο και κίτρινο. Αντίθετα, οι τιμές με αρνητικό πρόσημο εμφανίζονται με σκούρο μπλε χρώμα. Οι ουδέτερες τιμές της διαφοράς παρουσιάζονται με ανοιχτό γαλάζιο χρώμα στα παρακάτω σχήματα. Η δομή των ετησίων και εποχικών αποτελεσμάτων είναι παρόμοια με τη δομή των αιωρούμενων σωματιδίων και της βροχόπτωσης.

3.3.1. GFDL-ESM4

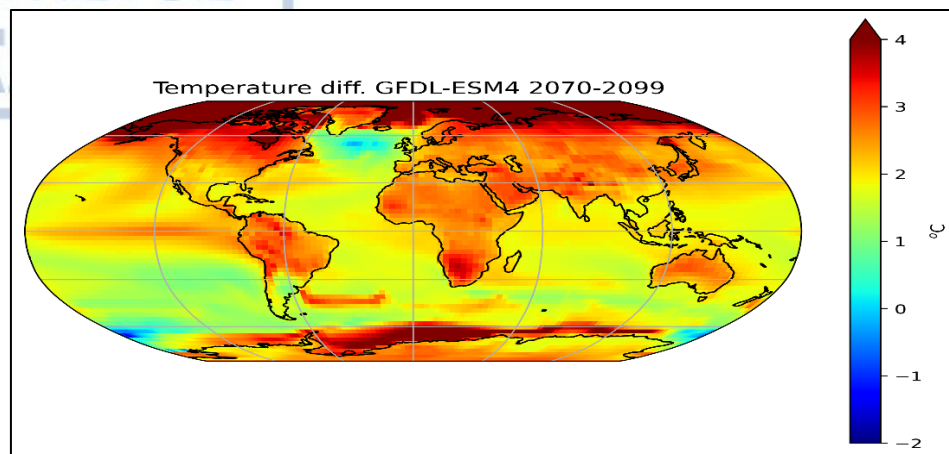
A. Ετήσια Αποτελέσματα

A.1.2021-2050



Σχήμα 3.61 Χωρική κατανομή της μέσης διαφοράς των δύο πειραμάτων ($ssp370sst - ssp370pdsst$) σε σχέση με τη θερμοκρασία επιφανείας για το μοντέλο GFDL-ESM4 για το χρονικό διάστημα 2021-2050 σε ετήσια κλίμακα.

Σε ετήσια κλίμακα οι αρνητικές τιμές εμφανίζονται κοντά στην Ισλανδία και Αγγλία και βόρεια από τη δυτική πλευρά του Νότιου Πόλου. Οι χαμηλές θετικές τιμές κατανέμονται στο μεγαλύτερο μέρος του παγκόσμιου χάρτη. Οι υψηλές εντοπίζονται βόρεια από την Ανταρκτική, γύρω από τις Σκανδιναβικές χώρες, στην Α και Β Αμερική, στη Βραζιλία, στην Αργεντινή, στην Ινδία, στο κέντρο της Ασίας και στην Αυστραλία(Σχήμα 3.61).



Σχήμα 3.62 Χωρική κατανομή της μέσης διαφοράς των δύο πειραμάτων ($ssp370sst - ssp370pdsst$) σε σχέση με τη θερμοκρασία επιφανείας για το μοντέλο GFDL-ESM4 για το χρονικό διάστημα 2070-2099 σε ετήσια κλίμακα.

Οι αρνητικές τιμές βρίσκονται στα δυτικά και στα ανατολικά πάνω από την Ανταρκτική, σε ένα μικρό τμήμα της Αργεντινής και νότια από τη Γροιλανδία. Οι υψηλές θετικές τιμές εντοπίζονται στις χώρες της Ν Αμερικής, στην Αλάσκα, στον Β Καναδά, γύρω από την Αρκτική, στη Σκανδιναβία, στην Ασία, στην Ν Αφρική, στην Αυστραλία και στον Ν Πόλο(Σχήμα 3.62).

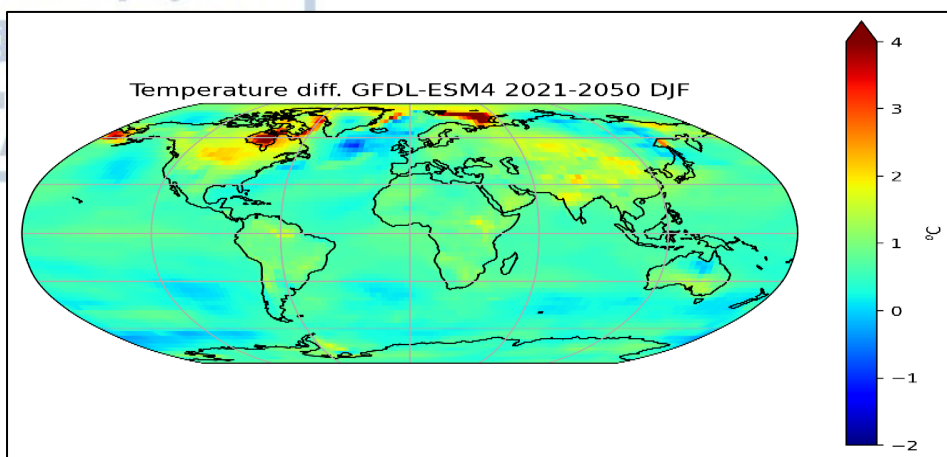
Β. Εποχιακά Αποτελέσματα

Β.1.2021-2050

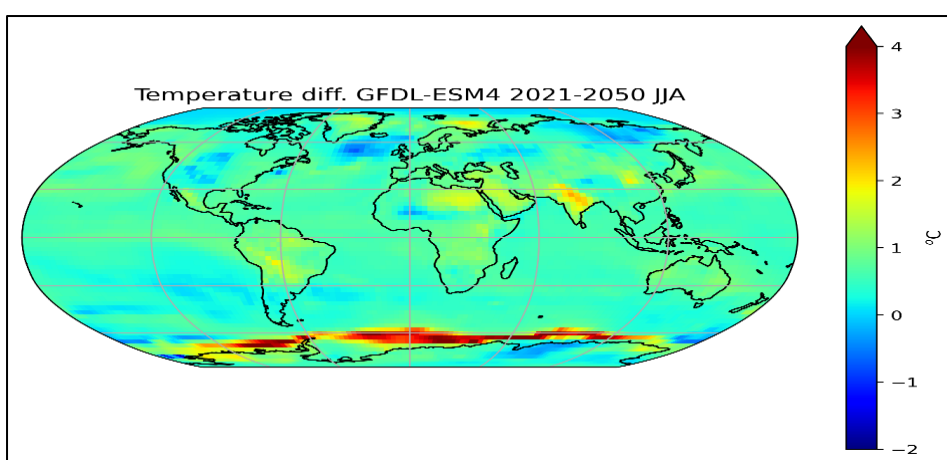
Ι. Χειμώνας-Καλοκαίρι

Το χειμώνα (Σχήμα 3.63) οι υψηλές θετικές τιμές εμφανίζονται στη δυτική πλευρά της Αλάσκας, στο ανατολικό τμήμα της Β Αμερικής, γύρω από τη Γροιλανδία, σε ορισμένα τμήματα της Ν Αμερικής, της Α Αφρικής, στη Δ Ρωσία, στην Κεντρική Ασία και στη Ν Αυστραλία. Ένα μικρό ποσοστό των χαμηλών αρνητικών τιμών βρίσκεται κάτω από τη Γροιλανδία, ανάμεσα στην Αμερική και την Ευρωπαϊκή ήπειρο. Τα υπόλοιπα τμήματα του παγκόσμιου χάρτη παρουσιάζονται με χαμηλές θετικές τιμές της διαφοράς.

Το καλοκαίρι (Σχήμα 3.64) οι αρνητικές τιμές εντοπίζονται στο κεντρικό και δυτικό τμήμα της Β Αμερικής, νότια από τη Γροιλανδία, σε ένα μικρό κομμάτι της Κεντρικής Αφρικής και ανάμεσα από τη Ρωσία και την Ασία. Οι υψηλές θετικές τιμές παρουσιάζονται στο βόρειο τμήμα της Ανταρκτικής.



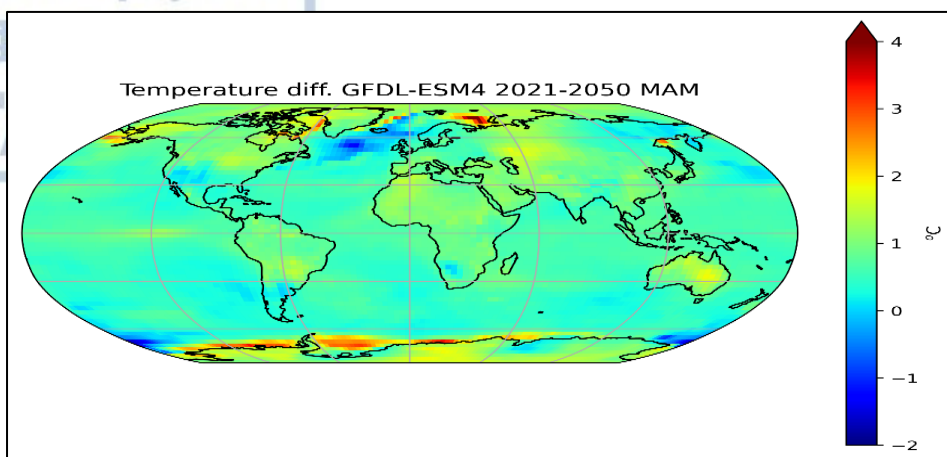
Σχήμα 3.63 Χωρική κατανομή της μέσης διαφοράς των δύο πειραμάτων ($ssp370sst - ssp370pdsst$) σε σχέση με τη θερμοκρασία επιφανείας για το μοντέλο GFDL-ESM4 για το χρονικό διάστημα 2021-2050 για το χειμώνα.



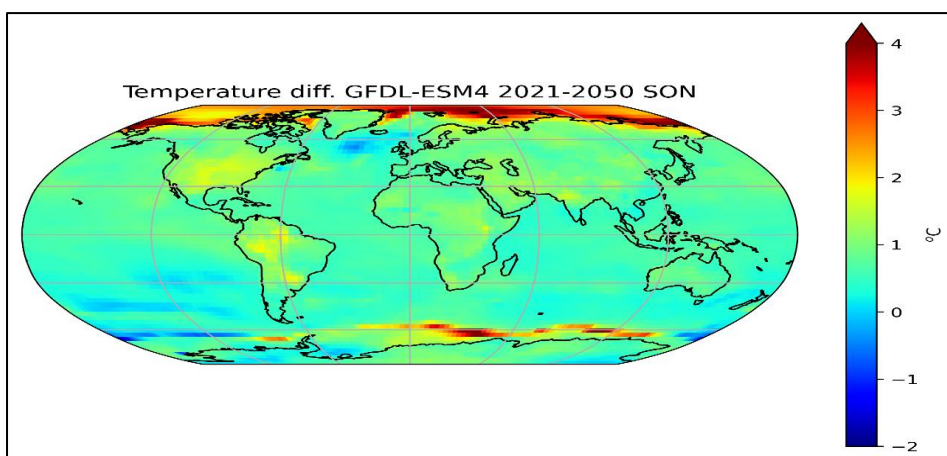
Σχήμα 3.64 Χωρική κατανομή της μέσης διαφοράς των δύο πειραμάτων ($ssp370sst - ssp370pdsst$) σε σχέση με τη θερμοκρασία επιφανείας για το μοντέλο GFDL-ESM4 για το χρονικό διάστημα 2021-2050 για το καλοκαίρι.

II. Άνοιξη-Φθινόπωρο

Την άνοιξη οι αρνητικές τιμές παρουσιάζονται στην Καλιφόρνια και νότια της Γροιλανδίας. Οι υψηλές θετικές εντοπίζονται στη Δ Αλάσκα, στο ανατολικό τμήμα του Καναδά, στην Αργεντινή, σε ένα μικρό κομμάτι βόρεια από την Ανταρκτική, στη Δ Ασία, στη Δ Ρωσία και στην Α Αυστραλία. Οι υπόλοιπες περιοχές των ηπείρων καλύπτονται από τις χαμηλές θετικές τιμές (Σχήμα 3.65). Κατά το φθινόπωρο οι υψηλές θετικές τιμές βρίσκονται στο μεγαλύτερο μέρος της Αλάσκας και του Καναδά, βόρεια από την Ανταρκτική, από τη Γροιλανδία και στη Ρωσία. Οι τιμές με αρνητικό πρόσημο εντοπίζονται στο δυτικό τμήμα του Νότιου Πόλου και σε ένα μικρό κομμάτι γύρω από τη Γροιλανδία (Σχήμα 3.66).



Σχήμα 3.65 Χωρική κατανομή της μέσης διαφοράς των δύο πειραμάτων ($ssp370sst - ssp370pdsst$) σε σχέση με τη θερμοκρασία επιφανείας για το μοντέλο GFDL-ESM4 για το χρονικό διάστημα 2021-2050 για την άνοιξη.



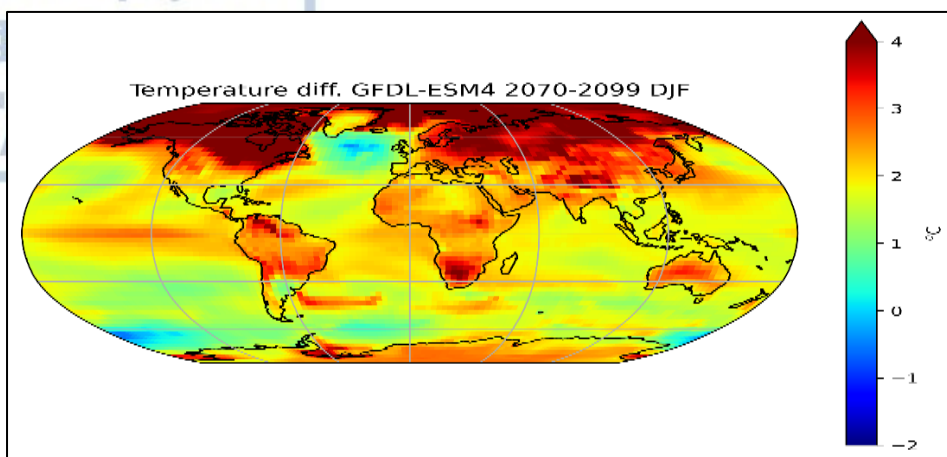
Σχήμα 3.66 Χωρική κατανομή της μέσης διαφοράς των δύο πειραμάτων ($ssp370sst - ssp370pdsst$) σε σχέση με τη θερμοκρασία επιφανείας για το μοντέλο GFDL-ESM4 για το χρονικό διάστημα 2021-2050 για το φθινόπωρο.

B.2.2070-2099

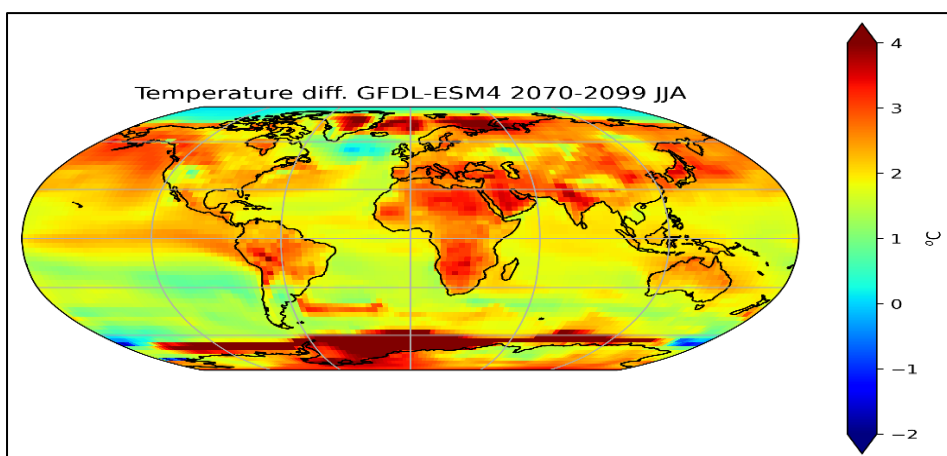
I. Χειμώνας-Καλοκαίρι

Το χειμώνα (Σχήμα 3.67) οι θετικές τιμές εντοπίζονται στο βόρειο τμήμα της Αμερικής, στον Καναδά, στην Αλάσκα, στη Σκανδιναβία, στη Ρωσία και στη Β Ασία. Ακόμη, θετικές τιμές υψηλού βαθμού εμφανίζονται στο μεγαλύτερο κομμάτι της Ν Αμερικής, στην Ανταρκτική, στην Ευρώπη, στη Ν Αφρική, στα βόρεια από την Ινδία και στην Κεντρική Αυστραλία. Ένας μικρός αριθμός χαμηλών αρνητικών τιμών εντοπίζεται νότια από την Ισλανδία και δυτικά και ανατολικά του Νότιου Πόλου.

Το θέρος για το κλιματικό μοντέλο GFDL-ESM4 (Σχήμα 3.68) οι ελάχιστες χαμηλές τιμές βρίσκονται στην Αγγλία, στα βόρεια από την Αλάσκα και από τη Ρωσία και στα δυτικά και ανατολικά της Ανταρκτικής. Οι υψηλές θετικές απεικονίζονται στην Αρκτική, στην Ανταρκτική, στη δυτική πλευρά της Αλάσκας, στο Περού και στη Χιλή, στην Ευρώπη, στο μεγαλύτερο μέρος της Αφρικανικής ηπείρου, στη Σαουδική Αραβία, στις περιοχές της Ινδίας και γύρω από την Ιαπωνία. Στις υπόλοιπες περιοχές του χάρτη επικρατούν οι χαμηλές θετικές.



Σχήμα 3.67 Χωρική κατανομή της μέσης διαφοράς των δύο πειραμάτων ($ssp370sst - ssp370pdsst$) σε σχέση με τη θερμοκρασία επιφανείας για το μοντέλο GFDL-ESM4 για το χρονικό διάστημα 2070-2099 για το χειμώνα

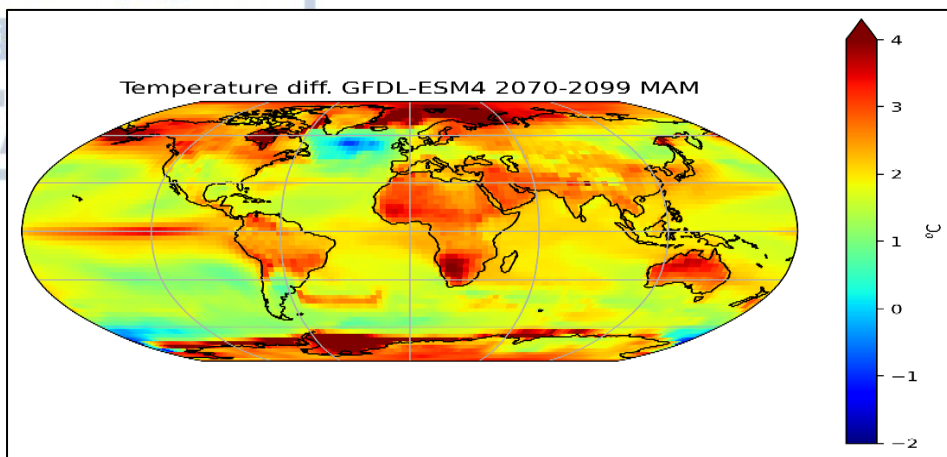


Σχήμα 3.68 Χωρική κατανομή της μέσης διαφοράς των δύο πειραμάτων ($ssp370sst - ssp370pdsst$) σε σχέση με τη θερμοκρασία επιφανείας για το μοντέλο GFDL-ESM4 για το χρονικό διάστημα 2070-2099 για το καλοκαίρι.

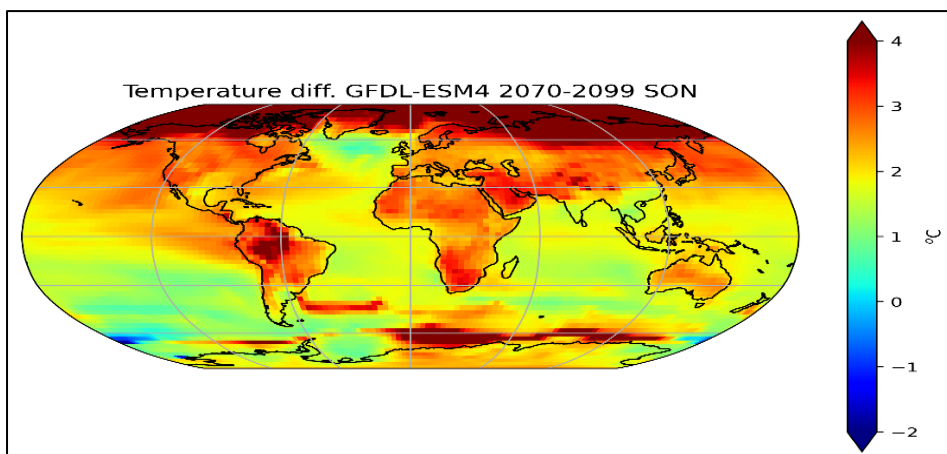
II. Άνοιξη-Φθινόπωρο

Οι υψηλές θετικές τιμές της άνοιξης εμφανίζονται γύρω από την Αλάσκα, σε ορισμένα τμήματα της Β Αμερικής, στην Κολομβία, στη Χιλή, στη Ν Βραζιλία, στο μεγαλύτερο κομμάτι της Αφρικής και της Ευρώπης, στην Αρκτική, στη ΝΔ Ασία και στη Β Αυστραλία. Οι αρνητικές τιμές παρουσιάζονται νότια από τη Γροιλανδία, σε ένα μικρό τμήμα της Αργεντινής και στα δυτικά και ανατολικά του Νότιου Πόλου. Οι λιγότερες υψηλές θετικές τιμές επικρατούν στα υπόλοιπα τμήματα του χάρτη (Σχήμα 3.69).

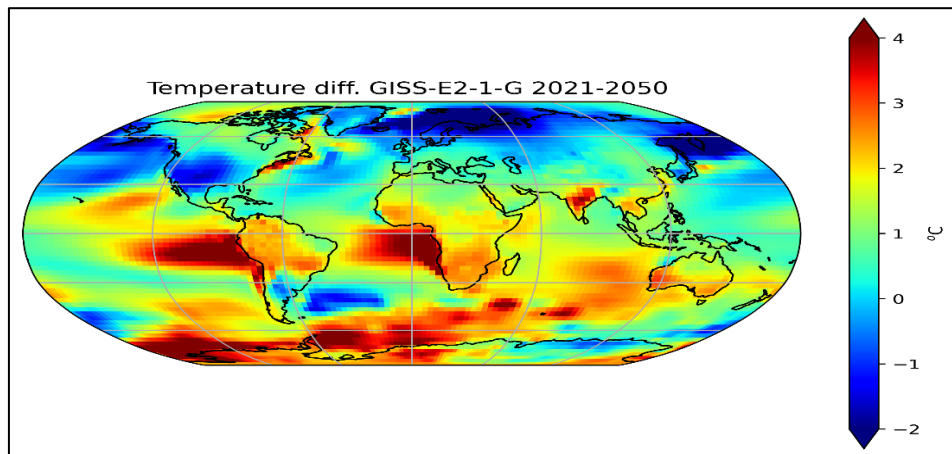
Κατά το φθινόπωρο (Σχήμα 3.70) οι υψηλές θετικές τιμές εμφανίζονται στο Βόρειο Πόλο, στις χώρες της Ν Αμερικής, βόρεια από την Ανταρκτική, στις περιοχές της Ν Αφρικής, στην Ευρώπη, στη Σαουδική Αραβία, στο μεγαλύτερο κομμάτι της Ασίας και στην Κεντρική Αυστραλία. Οι ελάχιστες αρνητικές βρίσκονται σε ένα μικρό τμήμα της Αργεντινής, στα ΝΔ του Νότιου Πόλου, στα δυτικά του Ηνωμένου Βασιλείου και κοντά στην Ταϊλάνδη. Οι θετικές τιμές χαμηλότερου βαθμού καλύπτουν τον υπόλοιπο παγκόσμιο χάρτη.



Σχήμα 3.69 Χωρική κατανομή της μέσης διαφοράς των δύο πειραμάτων ($ssp370sst - ssp370pdsst$) σε σχέση με τη θερμοκρασία επιφανείας για το μοντέλο GFDL-ESM4 για το χρονικό διάστημα 2070-2099 για την άνοιξη.



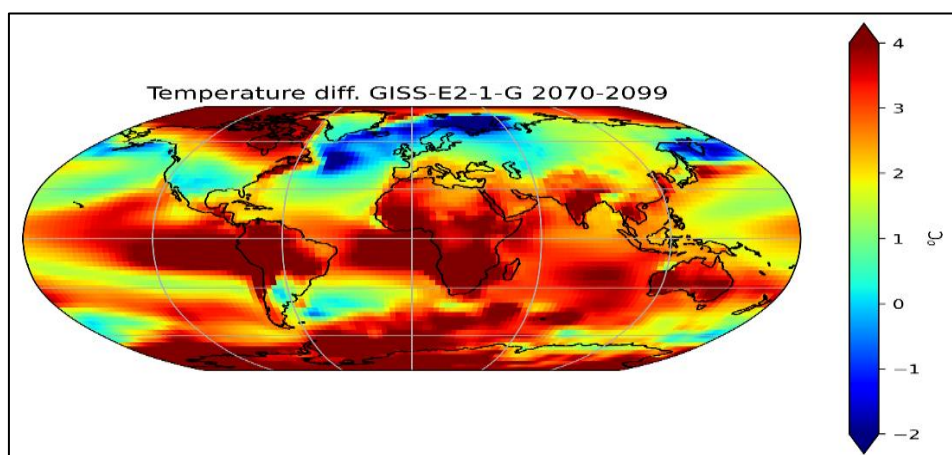
Σχήμα 3.70 Χωρική κατανομή της μέσης διαφοράς των δύο πειραμάτων ($ssp370sst - ssp370pdsst$) σε σχέση με τη θερμοκρασία επιφανείας για το μοντέλο GFDL-ESM4 για το χρονικό διάστημα 2070-2099 για το φθινόπωρο.



Σχήμα 3.71 Χωρική κατανομή της μέσης διαφοράς των δύο πειραμάτων ($ssp370sst - ssp370pdsst$) σε σχέση με τη θερμοκρασία επιφανείας για το μοντέλο GISS-E2-1-G για το χρονικό διάστημα 2021-2050 σε ετήσια κλίμακα.

Οι υψηλές αρνητικές τιμές παρατηρούνται κοντά στις χώρες της Σκανδιναβίας και γύρω από την Ιαπωνία. Οι αρνητικές τιμές σε χαμηλότερο επίπεδο βρίσκονται στην Καλιφόρνια, στη Νεβάδα, σε ένα μικρό τμήμα της Αργεντινής και στα ανατολικά από αυτήν. Από την άλλη πλευρά, οι χαμηλές θετικές εμφανίζονται στο μεγαλύτερο μέρος του παγκόσμιου χάρτη και κυρίως στην Β Αφρική, στον Β Καναδά και στην Κεντρική Ασία. Οι θετικές τιμές σε υψηλό επίπεδο γίνονται φανερές στο ανατολικό τμήμα της Β Αμερικής, στο Εκουαδόρ, στο Περού και στη Χιλή, στη Δ Αφρική, στην Ανταρκτική, στην Ινδία και στη Δ Αυστραλία (Σχήμα 3.71).

A.2.2070-2099



Σχήμα 3.72 Χωρική κατανομή της μέσης διαφοράς των δύο πειραμάτων ($ssp370sst - ssp370pdsst$) σε σχέση με τη θερμοκρασία επιφανείας για το μοντέλο GISS-E2-1-G για το χρονικό διάστημα 2070-2099 σε ετήσια κλίμακα.

Οι αρνητικές τιμές εμφανίζονται στην Ισλανδία, στην Σκανδιναβία και στην Ιαπωνία. Οι θετικές τιμές υψηλού επιπέδου εντοπίζονται στην Αλάσκα, στον Καναδά, στο μεγαλύτερο μέρος της Β Αμερικής, στη Ν Αμερική, στην Αφρική, στην Ινδία,

βόρεια από την Ανταρκτική και στην Αυστραλία. Στις υπόλοιπες περιοχές του χάρτη επικρατούν οι τιμές με θετικό πρόσημο αλλά χαμηλότερου επιπέδου.

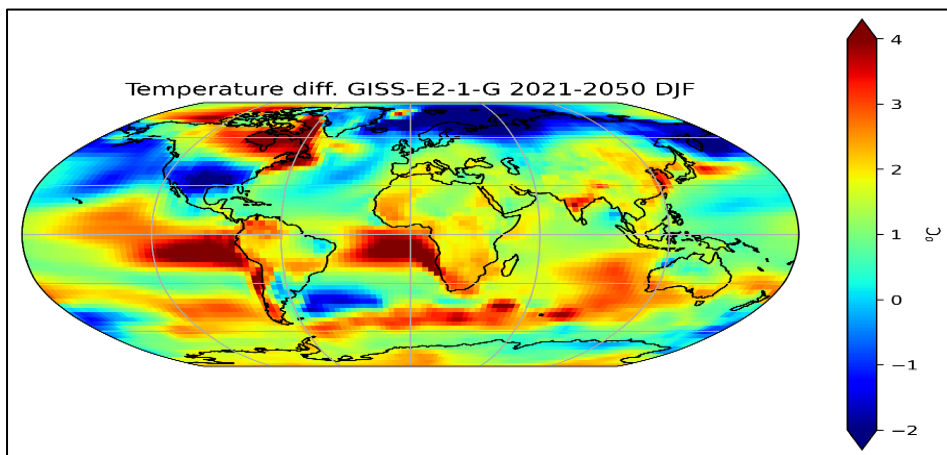
Β. Εποχικά Αποτελέσματα

Β.1.2021-2050

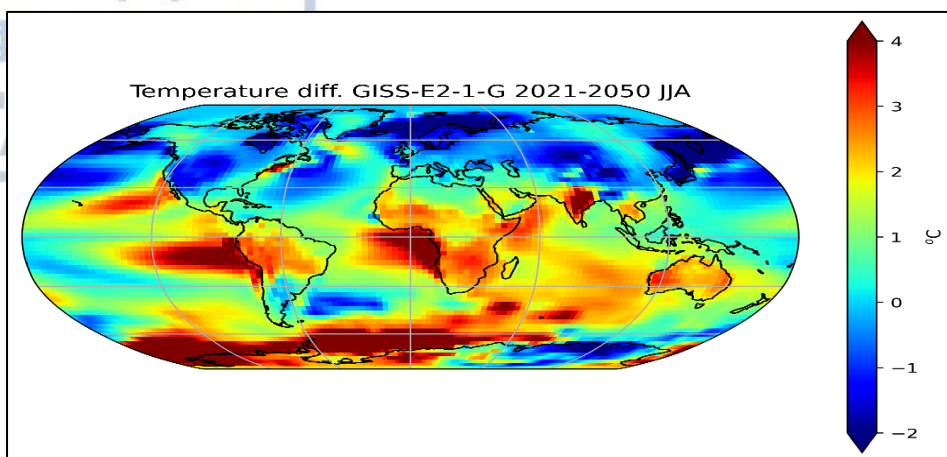
Ι. Χειμώνας-Καλοκαίρι

Ο χειμώνας (Σχήμα 3.73) δείχνει ότι οι υψηλές αρνητικές τιμές εντοπίζονται στη Β Αμερική, στο Μεξικό και στην Καλιφόρνια, δυτικά της Αργεντινής και στη Ρωσία. Αντίθετα, οι υψηλές θετικές βρίσκονται στην Αλάσκα, στον ΝΑ Καναδά και στη ΒΑ Αμερική, στην δυτική πλευρά του Περού και της Χιλής, στη ΝΔ Αφρική, βόρεια από το Νότιο Πόλο, στην Ινδία και γύρω από την Ιαπωνία. Επιπλέον, ορισμένες υψηλές θετικές τιμές παρατηρούνται ανάμεσα από τη Γροιλανδία και τη Σκανδιναβία. Οι θετικές τιμές χαμηλού επιπέδου καλύπτουν τον υπόλοιπο παγκόσμιο χάρτη.

Το καλοκαίρι οι υψηλές θετικές εντοπίζονται σε ένα μικρό τμήμα της ΒΑ Αμερικής, κοντά στην Καλιφόρνια, στο Περού και στη Χιλή, στην Ανταρκτική, στη ΝΔ Αφρική, στην Ινδία και σε ένα μικρό κομμάτι της Δ Αυστραλίας. Από την άλλη πλευρά, οι τιμές με αρνητικό πρόσημο υψηλού βαθμού εμφανίζονται στην Καλιφόρνια, ανατολικά της Αργεντινής, στην Ευρώπη, στις Σκανδιναβικές χώρες, στο μεγαλύτερο μέρος της Κίνας, στην Ιαπωνία και στο ανατολικό τμήμα της Ανταρκτικής(Σχήμα 3.74).



Σχήμα 3.73 Χωρική κατανομή της μέσης διαφοράς των δύο πειραμάτων ($ssp370sst - ssp370pdsst$) σε σχέση με τη θερμοκρασία επιφανείας για το μοντέλο GISS-E2-1-G για το χρονικό διάστημα 2021-2050 για το χειμώνα

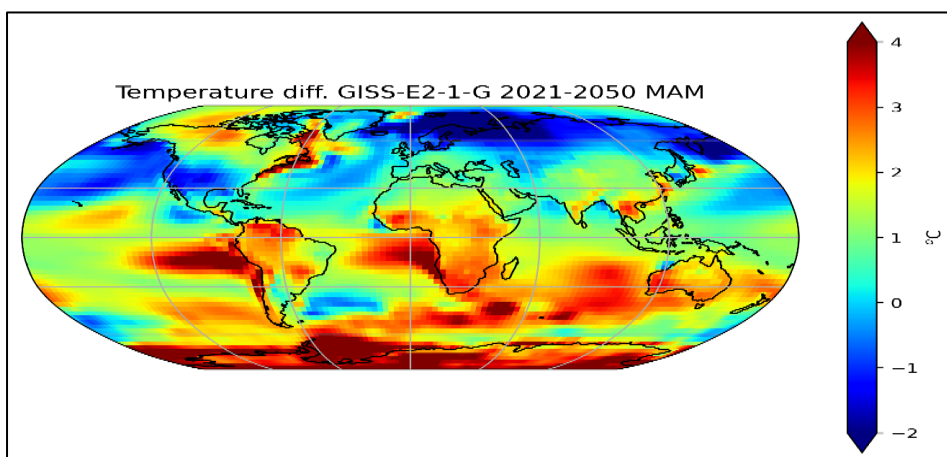


Σχήμα 3.74 Χωρική κατανομή της μέσης διαφοράς των δύο πειραμάτων ($ssp370sst - ssp370pdsst$) σε σχέση με τη θερμοκρασία επιφανείας για το μοντέλο GISS-E2-1-G για το χρονικό διάστημα 2021-2050 για το καλοκαίρι.

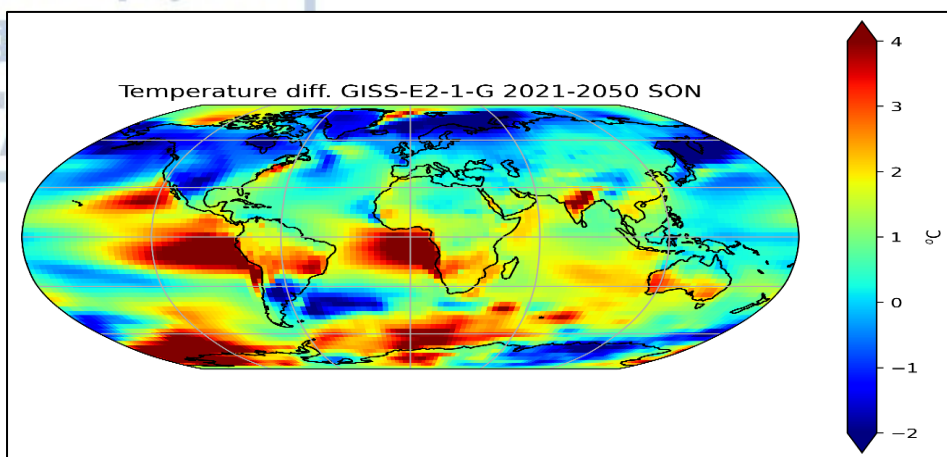
II. Άνοιξη-Φθινόπωρο

Την άνοιξη(Σχήμα 3.75) το κλιματικό μοντέλο GISS-E2-1G παρουσιάζει υψηλές θετικές τιμές στη Ν Αμερική, στη Βραζιλία, στην ανατολική πλευρά της Β Αμερικής, στην Ανταρκτική, στη ΝΔ Αφρική, κοντά στην Ταϊλάνδη και στο δυτικό τμήμα της Αυστραλίας. Οι υψηλές αρνητικές τιμές εντοπίζονται στην ΒΔ Αμερική, κοντά στην Καλιφόρνια και στο Μεξικό, στον Αρκτικό κύκλο, στη Ρωσία και βόρεια από την Ιαπωνία. Οι θετικές τιμές χαμηλού επιπέδου καλύπτουν τον υπόλοιπο χάρτη.

Το φθινόπωρο οι αρνητικές τιμές εμφανίζονται στο μεγαλύτερο μέρος της Β Αμερικής, στην Αργεντινή, στις περιοχές της Αρκτικής και γύρω από την Ιαπωνία. Οι υψηλές θετικές βρίσκονται στο Περού, στην Χιλή, σε ένα μικρό κομμάτι της Α Βραζιλίας, σε ορισμένα τμήματα του Νότιου Πόλου, στη ΝΔ Αφρική, στην Ινδία, στη Δ Αυστραλία και κοντά στη Γροιλανδία(Σχήμα 3.76).



Σχήμα 3.75 Χωρική κατανομή της μέσης διαφοράς των δύο πειραμάτων ($ssp370sst - ssp370pdsst$) σε σχέση με τη θερμοκρασία επιφανείας για το μοντέλο GISS-E2-1-G για το χρονικό διάστημα 2021-2050 για την άνοιξη.



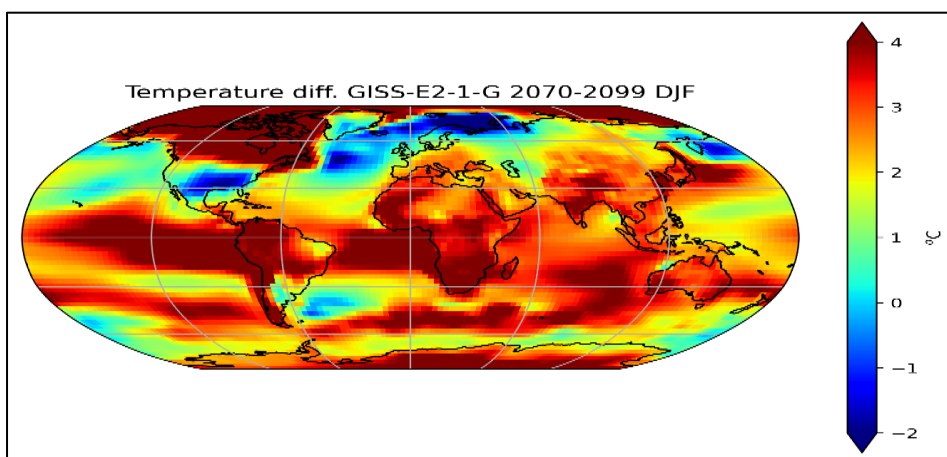
Σχήμα 3.76 Χωρική κατανομή της μέσης διαφοράς των δύο πειραμάτων ($ssp370sst - ssp370pdsst$) σε σχέση με τη θερμοκρασία επιφανείας για το μοντέλο GISS-E2-1-G για το χρονικό διάστημα 2021-2050 για το φθινόπωρο.

B.2.2070-2099

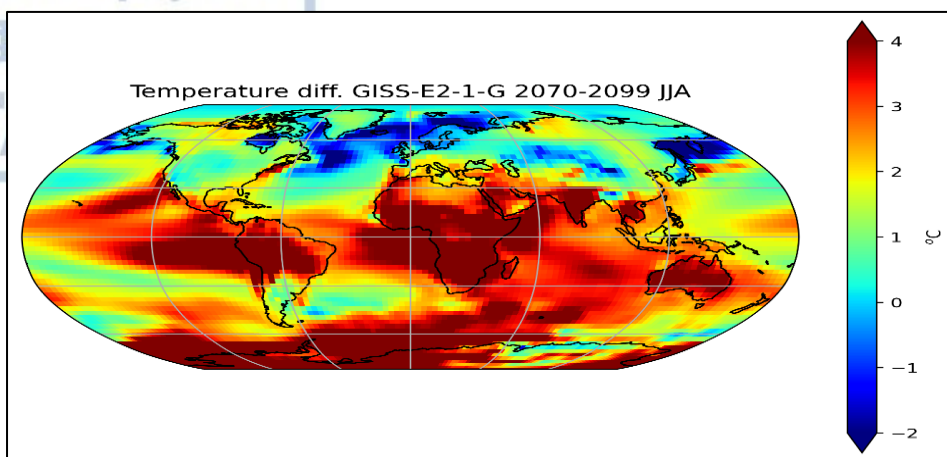
I. Χειμώνας-Καλοκαίρι

Κατά το χειμώνα ο Καναδάς, η Αλάσκα, το βόρειο τμήμα της Βόρειας Αμερικής, η Ν Αμερική, η Βραζιλία, η Ανταρκτική, η Αφρική, η Ν Ασία και η Αυστραλία εμφανίζουν θετικές τιμές. Αντιθέτως, οι ελάχιστες χαμηλές αρνητικές τιμές φαίνονται σε ένα μικρό τμήμα της Β Αμερικής, στις Σκανδιναβικές χώρες και κοντά στην Ιαπωνία (Σχήμα 3.77).

Τη θερινή περίοδο (Σχήμα 3.78) οι υψηλές θετικές τιμές της διαφοράς εντοπίζονται στις χώρες της Ν Αμερικής, στην Αφρική, γύρω από την Ανταρκτική, στις περιοχές της Ινδίας, κοντά στην Ταϊλάνδη και στην Αυστραλία. Οι χαμηλές τιμές με αρνητικό πρόσημο βρίσκονται στη Δ Αλάσκα, γύρω από τη Γροιλανδία, στη Σκανδιναβία, σε ένα μικρό κομμάτι της Κεντρικής Ασίας και στις περιοχές της Ιαπωνίας.



Σχήμα 3.77 Χωρική κατανομή της μέσης διαφοράς των δύο πειραμάτων ($ssp370sst - ssp370pdsst$) σε σχέση με τη θερμοκρασία επιφανείας για το μοντέλο GISS-E2-1-G για το χρονικό διάστημα 2070-2099 για το χειμώνα

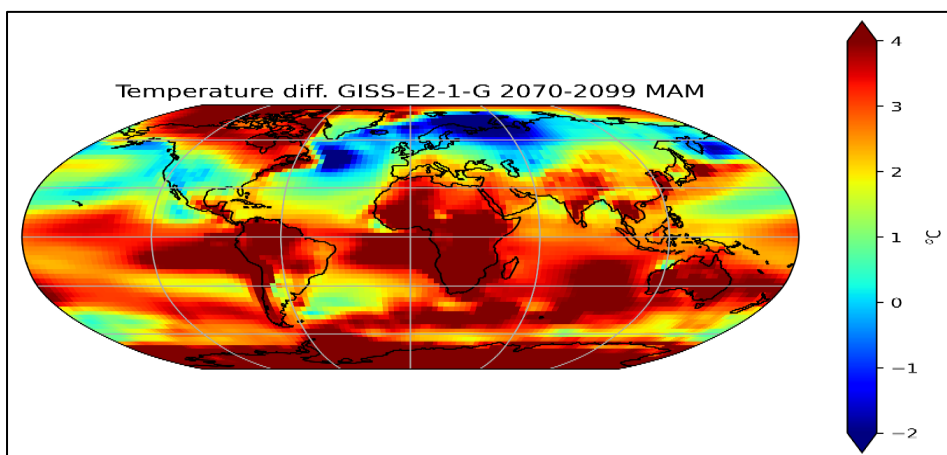


Σχήμα 3.78 Χωρική κατανομή της μέσης διαφοράς των δύο πειραμάτων ($ssp370sst - ssp370pdsst$) σε σχέση με τη θερμοκρασία επιφανείας για το μοντέλο GISS-E2-1-G για το χρονικό διάστημα 2070-2099 για το καλοκαίρι.

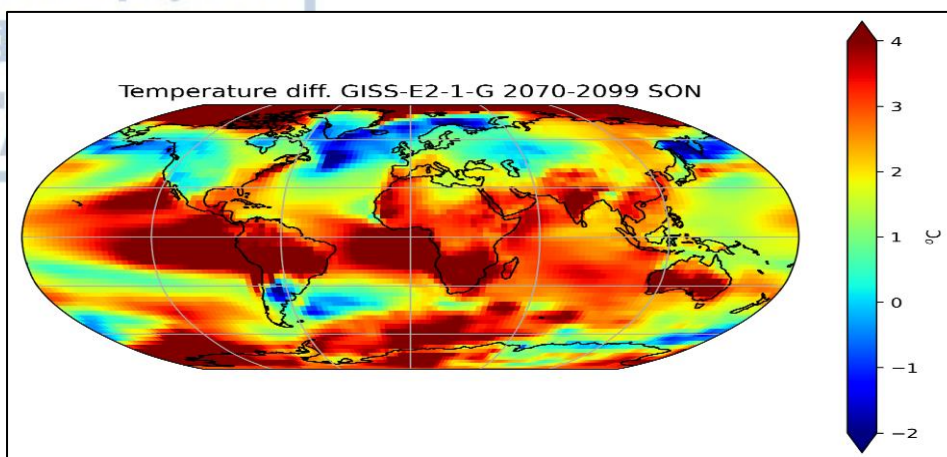
II. Άνοιξη-Φθινόπωρο

Την άνοιξη οι τιμές με αρνητικό πρόσημο εμφανίζονται κοντά στη Νέα Υόρκη, στις περιοχές της Αρκτικής, γύρω από την Ευρώπη και στα ανατολικά της Ασίας, κοντά στη Ρωσία. Οι υψηλές θετικές τιμές παρουσιάζονται στο μεγαλύτερο μέρος της Β Αμερικής, στη Ν Αμερική, στην Αφρική, στη Ν Ασία, κοντά στην Ινδία και στη Ταϊλάνδη, στην Α Ιαπωνία και στην Αυστραλία (Σχήμα 3.79).

Το φθινόπωρο (Σχήμα 3.80) οι αρνητικές εμφανίζονται ανάμεσα από την Αμερική και την Ευρώπη, νότια από τη Γροιλανδία, γύρω από τις Σκανδιναβικές χώρες, στο νότιο τμήμα της Ν Αμερικής και στην Α Ασία, βόρεια από την Ιαπωνία. Οι θετικές τιμές χαμηλού βαθμού εντοπίζονται στο μεγαλύτερο κομμάτι της Β Αμερικής, στη Δ Ασία και στην Ευρώπη.



Σχήμα 3.79 Χωρική κατανομή της μέσης διαφοράς των δύο πειραμάτων ($ssp370sst - ssp370pdsst$) σε σχέση με τη θερμοκρασία επιφανείας για το μοντέλο GISS-E2-1-G για το χρονικό διάστημα 2070-2099 για την άνοιξη.

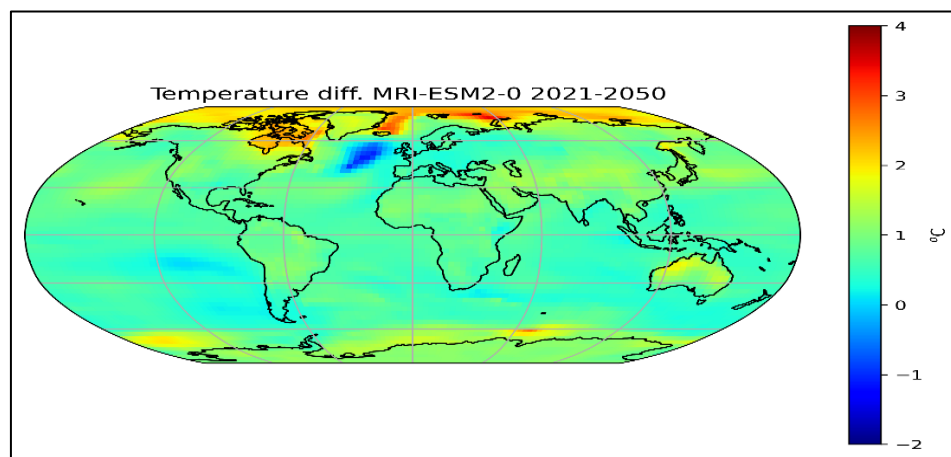


Σχήμα 3.80 Χωρική κατανομή της μέσης διαφοράς των δύο πειραμάτων ($ssp370sst - ssp370pdsst$) σε σχέση με τη θερμοκρασία επιφανείας για το μοντέλο GISS-E2-1-G για το χρονικό διάστημα 2070-2099 για το φθινόπωρο.

3.3.3. MRI-ESM2-0

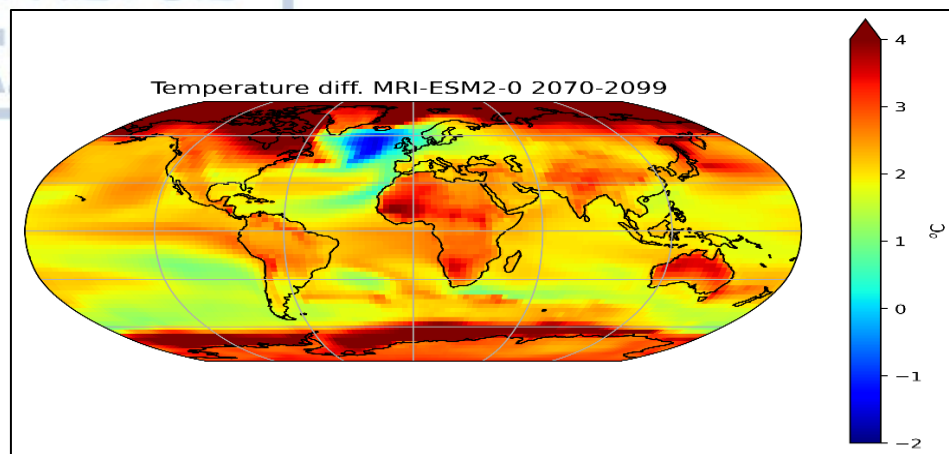
A. Ετήσια Αποτελέσματα

A.1.2021-2050



Σχήμα 3.81 Χωρική κατανομή της μέσης διαφοράς των δύο πειραμάτων ($ssp370sst - ssp370pdsst$) σε σχέση με τη θερμοκρασία επιφανείας για το μοντέλο MRI-ESM2-0 για το χρονικό διάστημα 2021-2050 σε ετήσια κλίμακα.

Στο Σχήμα 3.81 παρουσιάζονται οι αρνητικές τιμές κοντά στην Αγγλία. Οι θετικές τιμές εμφανίζονται στο μεγαλύτερο μέρος της Αμερικής, της Αφρικής, της Ευρώπης, της Ασίας και της Αυστραλίας. Οι λιγότερο χαμηλές τιμές με θετικό πρόσημο επικρατούν σε ορισμένα τμήματα της Ν Αμερικής, στον Β Καναδά, κοντά στο Νότιο Πόλο, στη Ν Ασία και στη Αυστραλία.



Σχήμα 3.82 Χωρική κατανομή της μέσης διαφοράς των δύο πειραμάτων ($ssp370sst - ssp370pdsst$) σε σχέση με τη θερμοκρασία επιφανείας για το μοντέλο MRI-ESM2-0 για το χρονικό διάστημα 2070-2099 σε ετήσια κλίμακα.

Από το 2070 έως το 2099 οι θετικές τιμές επικρατούν στο μεγαλύτερο μέρος του παγκόσμιου χάρτη ενώ οι αρνητικές τιμές βρίσκονται νότια από την Ισλανδία. Οι θετικές τιμές εντοπίζονται στην ΒΑ Αμερική, στη Ν Αμερική, στην Ευρώπη, στο κεντρικό τμήμα της Ασίας και στα νησιά του Ειρηνικού Ωκεανού. Οι υψηλές θετικές τιμές εμφανίζονται στον Καναδά, σε ένα μικρό τμήμα της Χιλής, στον Νότιο Πόλο, στο μεγαλύτερο μέρος της Αφρικανικής ηπείρου, στην Αρκτική, στη Ρωσία και στην Αυστραλία (Σχήμα 3.82).

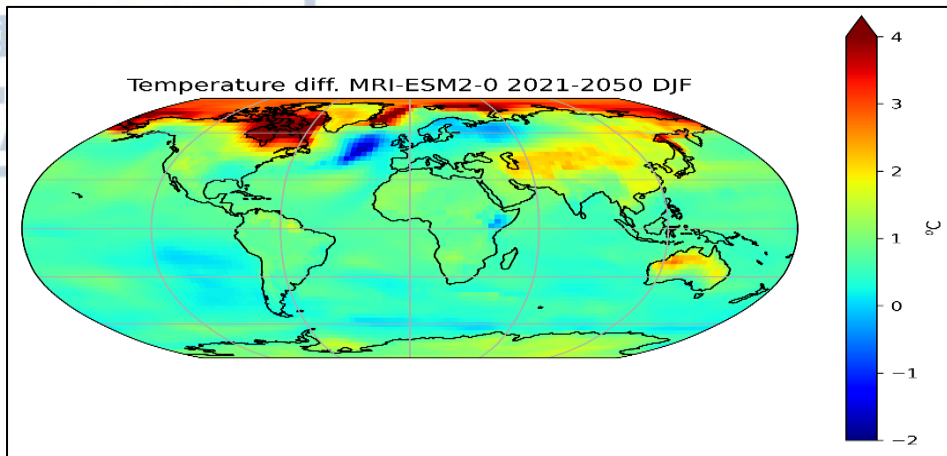
Β. Εποχιακά Αποτελέσματα

Β.1.2021-2050

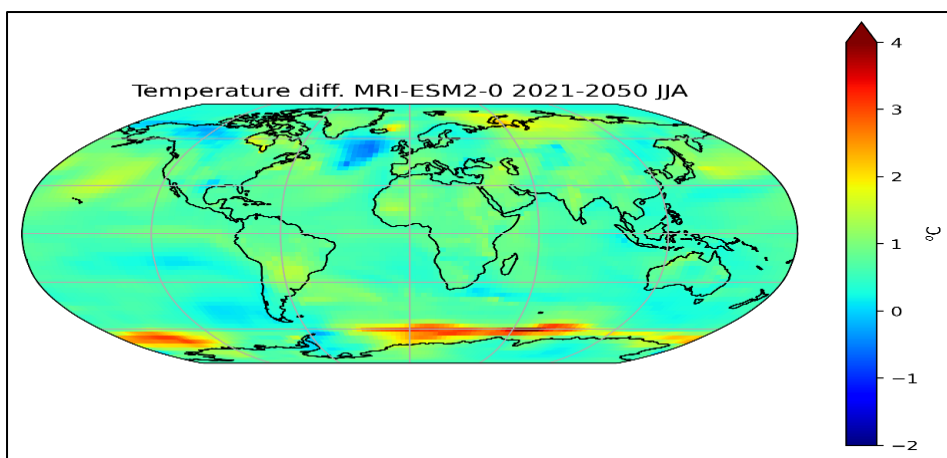
Ι. Χειμώνας-Καλοκαίρι

Κατά τη διάρκεια του χειμώνα (Σχήμα 3.83) ότι οι αρνητικές τιμές της διαφοράς εμφανίζονται κοντά στην Ισλανδία, στο δυτικό τμήμα της Ρωσίας και γύρω από την Αιθιοπία. Αντίθετα, οι τιμές με θετικό πρόσημο χαμηλού βαθμού βρίσκονται στην Αμερική, στην Αφρική, στην Ευρώπη, στην Ν Ασία ενώ στην Αλάσκα, στον Β Καναδά, στην Αρκτική, στη Ρωσία, στην Κεντρική Ασία και στο βόρειο τμήμα της Αυστραλίας παρουσιάζονται οι υψηλές θετικές τιμές.

Το θέρος παρουσιάζει ένα μεγάλο ποσοστό χαμηλών θετικών τιμών ενώ οι ελάχιστες αρνητικές τιμές παρατηρούνται κοντά στο Ηνωμένο Βασίλειο και σε ένα μικρό κομμάτι της Β Αμερικής. Οι υψηλές θετικές τιμές της διαφοράς εντοπίζονται στην Αργεντινή, πάνω από το Νότιο Πόλο, γύρω από τον Βόρειο Πόλο, στην Ινδία και στην Ιαπωνία (Σχήμα 3.84).



Σχήμα 3.83 Χωρική κατανομή της μέσης διαφοράς των δύο πειραμάτων ($ssp370sst - ssp370pdsst$) σε σχέση με τη θερμοκρασία επιφανείας για το μοντέλο MRI-ESM2-0 για το χρονικό διάστημα 2021-2050 για το χειμώνα.

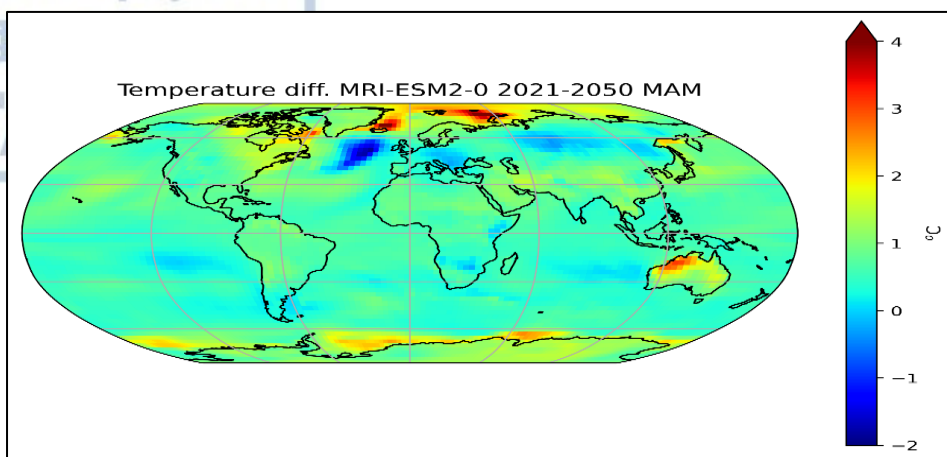


Σχήμα 3.84 Χωρική κατανομή της μέσης διαφοράς των δύο πειραμάτων ($ssp370sst - ssp370pdsst$) σε σχέση με τη θερμοκρασία επιφανείας για το μοντέλο MRI-ESM2-0 για το χρονικό διάστημα 2021-2050 για το καλοκαίρι.

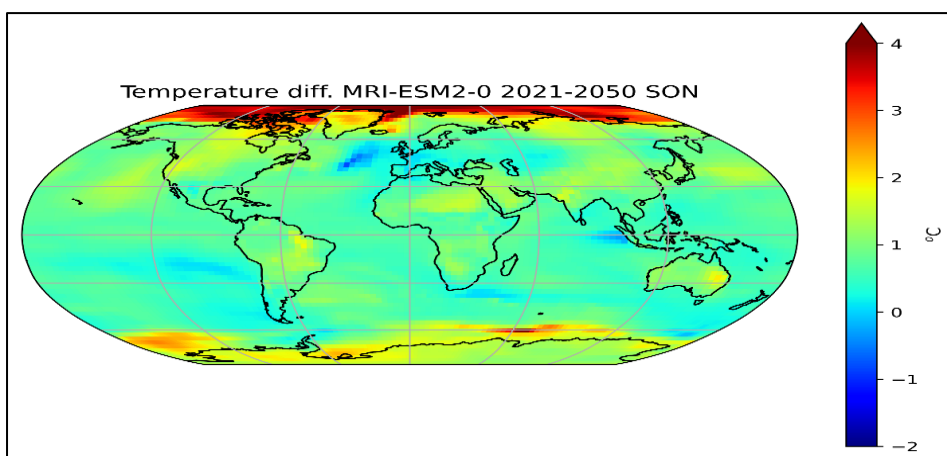
II. Άνοιξη-Φθινόπωρο

Την άνοιξη (Σχήμα 3.85) παρατηρείται ότι οι θετικές τιμές χαμηλού επιπέδου εντοπίζονται στο μεγαλύτερο μέρος της Β Αμερικής, της Αφρικανικής ηπείρου, της Ευρώπης και σε ορισμένα τμήματα της Ασίας. Επιπλέον, οι υψηλές θετικές εμφανίζονται βόρεια από την Ανταρκτική, στην ανατολική πλευρά του Καναδά και της Β Αμερικής, γύρω από την Ισλανδία, στην Αρκτική και στη ΒΔ Αυστραλία. Αντίθετα, οι ελάχιστες χαμηλές τιμές εντοπίζονται νότια από την Αγγλία.

Το φθινόπωρο οι αρνητικές τιμές εμφανίζονται νότια από την Αγγλία. Οι θετικές τιμές υψηλού επιπέδου παρουσιάζονται στην Αλάσκα, στον Β Καναδά, στον Αρκτικό Κύκλο και βόρεια από τη Ρωσία. Οι τιμές μεσαίου επιπέδου επικρατούν στο Νότιο Πόλο, στο κεντρικό τμήμα της Β Αμερικής, στη Βραζιλία, στην Αργεντινή, σε ορισμένα τμήματα του Βόρειου Πόλου, στην Αίγυπτο, στο Σουδάν, στην Αγκόλα, στο Ιράν, στην Κίνα, στα ανατολικά της Ασίας και στο ανατολικό κομμάτι της Αυστραλίας (Σχήμα 3.86).



Σχήμα 3.85 Χωρική κατανομή της μέσης διαφοράς των δύο πειραμάτων ($ssp370sst - ssp370pdsst$) σε σχέση με τη θερμοκρασία επιφανείας για το μοντέλο MRI-ESM2-0 για το χρονικό διάστημα 2021-2050 για την άνοιξη.



Σχήμα 3.86 Χωρική κατανομή της μέσης διαφοράς των δύο πειραμάτων ($ssp370sst - ssp370pdsst$) σε σχέση με τη θερμοκρασία επιφανείας για το μοντέλο MRI-ESM2-0 για το χρονικό διάστημα 2021-2050 για το φθινόπωρο.

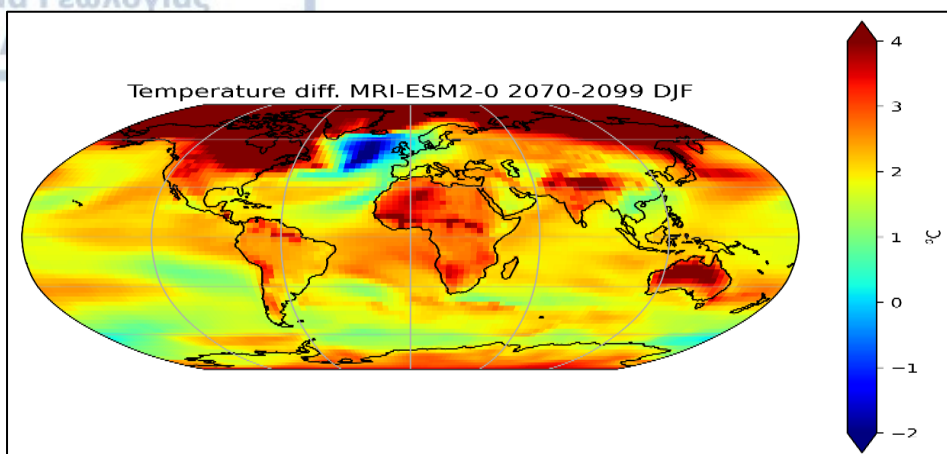
B.2.2070-2099

I. Χειμώνας-Καλοκαίρι

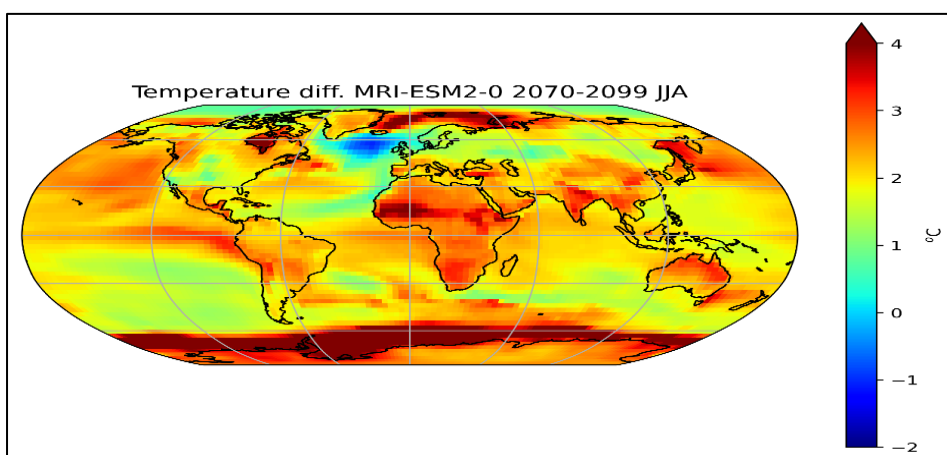
Κατά τη χειμερινή περίοδο (Σχήμα 3.87) αρνητικές τιμές εντοπίζονται κάτω από την Αρκτική ανάμεσα στην Αμερική και στην Ευρώπη. Οι πολύ υψηλές τιμές καλύπτουν το μεγαλύτερο μέρος της Β Αμερικής, τον Καναδά, την Αλάσκα, την Αρκτική και τη Ρωσία. Επιπλέον, παρατηρούνται ανάμεσα στο Περού και στην Χιλή, στο βόρειο τμήμα της Βραζιλίας, στη Δ Αφρική, στη Ν Κίνα και σχεδόν σε όλη την Αυστραλία. Οι χαμηλότερες θετικές τιμές εντοπίζονται σε ορισμένα τμήματα της Ν Αμερικής, γύρω από το Μεξικό, στην Ευρώπη, στην Κεντρική Ασία και στην Ανταρκτική.

Το θέρος οι τιμές με αρνητικό πρόσημο παρουσιάζονται στην Ιρλανδία και στο Ηνωμένο Βασίλειο. Οι θετικές τιμές εμφανίζονται κοντά στη Νέα Υόρκη, στη Χιλή, γύρω από τη Σκανδιναβία, στο κεντρικό και στο νότιο κομμάτι της Αφρικανικής

ηπείρου, στην Ινδία, στην Ιαπωνία, στη ΝΑ Αυστραλία και στην Ανταρκτική (Σχήμα 3.88).



Σχήμα 3.87 Χωρική κατανομή της μέσης διαφοράς των δύο πειραμάτων ($ssp370sst - ssp370pdsst$) σε σχέση με τη θερμοκρασία επιφανείας για το μοντέλο MRI-ESM2-0 για το χρονικό διάστημα 2070-2099 για το χειμώνα

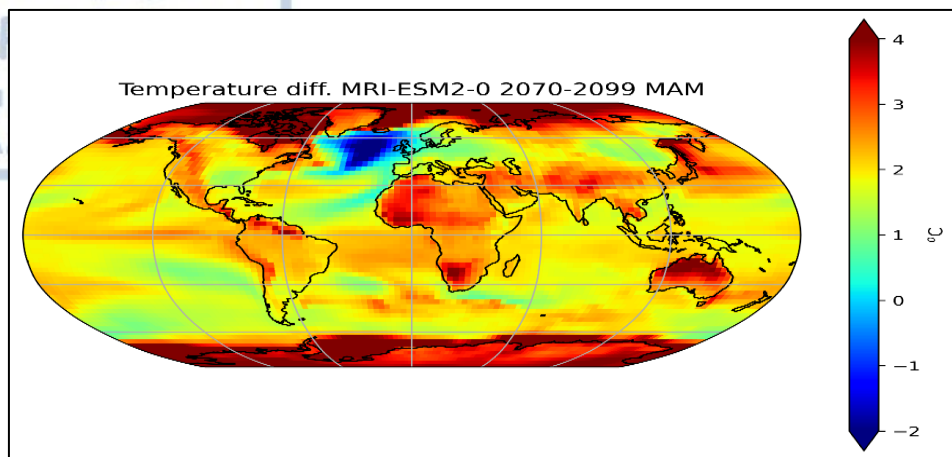


Σχήμα 3.88 Χωρική κατανομή της μέσης διαφοράς των δύο πειραμάτων ($ssp370sst - ssp370pdsst$) σε σχέση με τη θερμοκρασία επιφανείας για το μοντέλο MRI-ESM2-0 για το χρονικό διάστημα 2070-2099 για το καλοκαίρι.

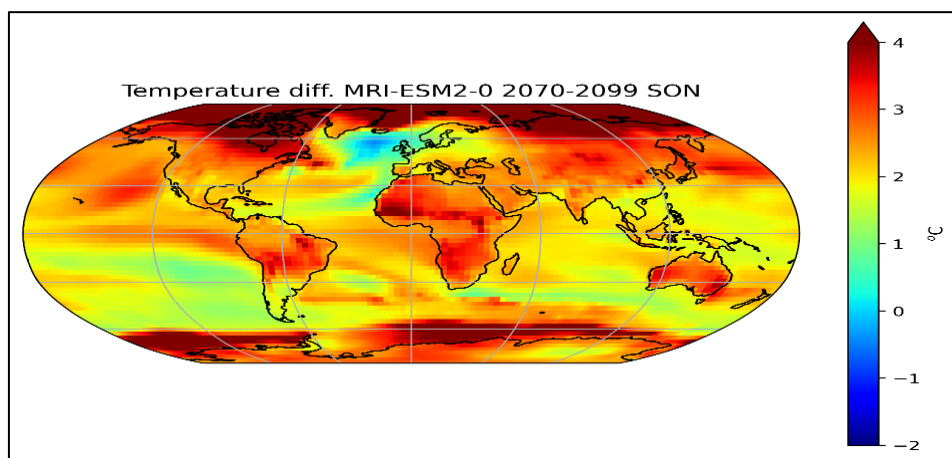
II. Άνοιξη-Φθινόπωρο

Την άνοιξη (Σχήμα 3.89) οι θετικές τιμές εντοπίζονται κυρίως ανάμεσα από την Β Αμερική και την Ευρώπη, στο ύψος του Ηνωμένου Βασιλείου. Από την άλλη πλευρά, οι θετικές τιμές καλύπτουν το υπόλοιπο του χάρτη. Οι τιμές υψηλού επιπέδου βρίσκονται γύρω από τους πόλους, τον Βόρειο και τον Νότιο, στο δυτικό τμήμα της Β Αμερικής, γύρω από το Μεξικό, στη Β Βραζιλία, σε ένα μικρό τμήμα της Χιλής, στη ΝΔ Αφρική, στη Ν Ασία, κοντά στην Ιαπωνία και στο μεγαλύτερο κομμάτι της Αυστραλίας.

Την φθινοπωρινή περίοδο οι υψηλές θετικές τιμές εμφανίζονται στον Καναδά, σε ένα μικρό κομμάτι της Βραζιλίας και της Χιλής, στο Νότιο Πόλο, πάνω από την Ισλανδία, στην Κεντρική Αφρική και στο νότιο τμήμα της, στο Ρωσικό κομμάτι και στη ΝΔ Αυστραλία (Σχήμα 3.90).



Σχήμα 3.89 Χωρική κατανομή της μέσης διαφοράς των δύο πειραμάτων ($ssp370sst - ssp370pdsst$) σε σχέση με τη θερμοκρασία επιφανείας για το μοντέλο MRI-ESM2-0 για το χρονικό διάστημα 2070-2099 για την άνοιξη.



Σχήμα 3.90 Χωρική κατανομή της μέσης διαφοράς των δύο πειραμάτων ($ssp370sst - ssp370pdsst$) σε σχέση με τη θερμοκρασία επιφανείας για το μοντέλο MRI-ESM2-0 για το χρονικό διάστημα 2070-2099 για το φθινόπωρο.

4. Συζήτηση - Συμπεράσματα

Οι αλλαγές του κλίματος επιδρούν στους ρύπους της ατμόσφαιρας μέσω των φυσικών αλλαγών που αφορούν τις μετεωρολογικές συνθήκες, των χημικών μεταβολών που σχετίζονται με τη διάρκεια ζωής των ρύπων και μέσω των βιολογικών αλλαγών (Kirtman et al., 2013).

Η παρούσα εργασία βασίζεται στην ανάλυση της φάσης 6, CMIP6 και στις μελέτες μοντελοποίησης σύμφωνα με το Πρόγραμμα Σύγκρισης Χημικού Μοντέλου Αερολυμάτων (AerChemMIP) σε παγκόσμιο επίπεδο. Σκοπός της συγκεκριμένης διπλωματικής είναι η μελέτη της επίδρασης της κλιματικής αλλαγής στα αιωρούμενα σωματίδια PM_{2.5} σε παγκόσμια κλίμακα. Συγκεκριμένα, μελετώνται δύο πειράματα που αναλύουν τις μεταβολές των εκπομπών χωρίς και με την επίδραση της κλιματικής αλλαγής σε δύο μελλοντικές χρονικές περιόδους, 2021-2050 και 2070-2099, ετησίως και εποχιακά. Για την διερεύνηση χρησιμοποιήθηκαν τρία κλιματικά μοντέλα, τα GFDL-ESM4, GISS-E2-1-G, MR1-ESM2-0 και εκτός από τον παράγοντα των αιωρούμενων σωματιδίων, έγινε η χρήση των δύο κλιματικών παραμέτρων, της βροχόπτωσης και της θερμοκρασίας επιφανείας. Επιπλέον, υπολογίστηκαν οι διαφορές των δύο πειραμάτων και κατασκευάστηκαν οι παγκόσμιοι χάρτες που απεικονίζουν την επίδραση της κλιματικής αλλαγής, θετική ή αρνητική, στα αιωρούμενα σωματίδια PM_{2.5} αλλά και σε σχέση με τη θερμοκρασία επιφανείας και τη βροχόπτωση.

Γενικότερα διαπιστώνεται ότι η επίδραση της κλιματικής αλλαγής, είτε θετική, είτε αρνητική, στα αιωρούμενα σωματίδια PM_{2.5} είναι μικρή και εντοπίζεται κυρίως στη Ν Αμερική, στη Ν Ασία και στην Αφρική. Επιπλέον, τα τρία κλιματικά μοντέλα βρίσκονται σε μικρή συμφωνία μεταξύ τους σε ετήσια κλίμακα σε σχέση με το πόσο επηρεάζουν οι μεταβολές του κλίματος, θετικά ή αρνητικά, τα PM_{2.5}. Πιο αναλυτικά ορισμένα συμπεράσματα που προκύπτουν από τα παραπάνω σχήματα για τα τρία κλιματικά μοντέλα είναι:

1.GFDL-ESM4

Συγκρίνοντας τις χρονικές περιόδους 2021-2050 και 2070-2099 σε ετήσια και σε εποχιακή κλίμακα παρατηρείται ότι για το πρώτο χρονικό διάστημα η επίδραση της κλιματικής αλλαγής είναι πολύ μεγαλύτερη, ιδιαίτερα στη Ν. Αμερική και στην Αφρική, σε σχέση με το δεύτερο διάστημα που παρατηρούνται μεταβολές εκπομπών στις ίδιες περιοχές αλλά η κλιματική αλλαγή δεν επηρεάζει τα αιωρούμενα σωματίδια.

2.GISS-E2-1-G

Στο δεύτερο κλιματικό μοντέλο φαίνεται ότι για τα δύο χρονικά διαστήματα, 2021-2050 και 2070-2099, η κλιματική αλλαγή δεν θα επηρεάσει σε μεγάλο βαθμό τις συγκεντρώσεις των σωματιδίων στις περιοχές της ΒΔ Αφρικής και βόρεια από Ν Πόλο. Εκτός από τις περιοχές που αναφέρθηκαν, οι μεταβολές του κλίματος θα είναι έντονες από το 2021 έως το 2099 σε παγκόσμια κλίμακα.

3.MR1-ESM2-0

Την περίοδο 2021-2050 η κλιματική αλλαγή θα επιδράσει στα PM_{2.5} στις περιοχές της Αφρικής και στη Ν Ασία ενώ το διάστημα 2070-2099, οι μεταβολές του κλίματος θα είναι έντονες στις περιοχές της Αυστραλίας αλλά και στο μεγαλύτερο τμήμα της Αφρικής. Συγκρίνοντας τις δύο χρονικές περιόδους, φαίνεται ότι το 2070-2099 η κλιματική αλλαγή θα επηρεάσει σε πολύ μεγαλύτερο βαθμό σε παγκόσμια κλίμακα τα αιωρούμενα σωματίδια.

-Γενικά Συμπεράσματα

Κάποιοι από τους βασικούς παράγοντες που επηρεάζουν τη συγκέντρωση και τη χημεία των αιωρούμενων σωματιδίων, σύμφωνα με τους Kirtman et al., 2013, είναι οι μεταβολές στις εκπομπές, στις χημικές διεργασίες, στην εναπόθεση, στη θερμοκρασία, στις βροχοπτώσεις. Η εκτίμηση των μεταβολών αυτών δεν είναι εύκολη οπότε δεν είναι εφικτό να καθοριστεί το πόσο επιδρά η κλιματική αλλαγή στα PM_{2.5}.

Το 2013 διαπιστώθηκε, σύμφωνα με τους Megaritis et al., ότι η θερμοκρασία, το διοξείδιο του θείου και το νιτρικό αμμώνιο αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους. Πιο συγκεκριμένα, όσο πιο υψηλές είναι οι θερμοκρασίες, τόσο μεγαλύτερη είναι η αντίδραση του διοξειδίου του θείου στην μετατροπή θεικών αλάτων και τόσο περισσότερο ευνοείται η εξάτμιση του νιτρικού αμμωνίου.

Σε γενικές γραμμές, οι μεταβολές του κλίματος θα επηρεάσουν σε μεγάλο βαθμό τα επίπεδα συγκέντρωσης της σκόνης στην ατμόσφαιρα και θα αυξηθούν σε μεγάλο βαθμό οι δασικές πυρκαγιές. Επιπλέον, ένας σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει τα αιωρούμενα σωματίδια αποτελεί η βροχόπτωση. Αυτό το οποίο παίζει σημαντικό ρόλο, όσον αφορά την βροχόπτωση, δεν είναι τόσο η ένταση της βροχοπτώσεων αλλά η συχνότητα τους που σχετίζεται την υγρή εναπόθεση ως η κύρια δεξαμενή απορρόφησης των σωματιδίων.

Στη συνέχεια, μια άλλη παράμετρος που επιδρά στα αιωρούμενα σωματίδια είναι ο άνεμος και πιο συγκεκριμένα η ταχύτητα του ανέμου. Ακόμη, η ατμοσφαιρική στασιμότητα και το χαμηλό ύψος του οριακού στρώματος αυξάνουν τα επίπεδα συγκέντρωσης των PM_{2.5}.

Σύμφωνα με το CMIP6, φαίνεται ότι υπάρχει μια χαμηλή συμφωνία των μοντέλων που χρησιμοποιήθηκαν όσον αφορά το πρόσημο της κλιματικής αλλαγής στα αιωρούμενα σωματίδια, PM_{2.5} σε παγκόσμια κλίμακα. Οι περισσότερες μελέτες που πραγματοποιήθηκαν για τις μελλοντικές συγκεντρώσεις των σωματιδίων έχουν κυρίως περιφερειακό χαρακτήρα. Ο χαρακτήρας αυτός οφείλεται στην τυπική διάρκεια ζωής τους στην ατμόσφαιρα που είναι οι λίγες ημέρες.

Ένα από τα κύρια αποτελέσματα της μελλοντικής κλιματικής αλλαγής είναι οι αλλαγές που συμβαίνουν στη χημική σύνθεση των αιωρούμενων σωματιδίων. Οι αλλαγές αυτές θα επηρεάσουν την υγεία του ανθρώπου και το περιβάλλον αλλά, προς το παρόν, τα δεδομένα είναι ελάχιστα και η εκτίμηση των αποτελεσμάτων τους είναι χαμηλή, όπως περιγράφεται στη διεθνή βιβλιογραφία (Im et al., 2012- Jiang et al., 2013- Megaritis et al., 2013- Gonzalez-Abraham et al., 2015- Gao et al., 2018- He et al., 2018- Cholakian et al., 2019). Γενικά, φαίνεται ότι η επίδραση της κλιματικής

αλλαγής, θετική ή αρνητική, στα αιωρούμενα σωματίδια, PM2.5 είναι χαμηλή.

Η αντιμετώπιση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι σημαντική για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής. Οι προσπάθειες που καταβάλλονται για τη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, όπως η μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου, μπορούν να συμβάλλουν στη μείωση της επίδρασης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην κλιματική αλλαγή. Η μείωση αυτή θα μπορέσει να έχει άμεσα οφέλη για ανθρώπινη υγεία.

Συνολικά, η κλιματική αλλαγή είναι ένα πολύπλοκο θέμα με πολλούς παράγοντες που συνεισφέρουν στην αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη και στις επιπτώσεις της στο περιβάλλον και τους ανθρώπους. Δεν αποτελεί μια πρόκληση που μπορεί να αντιμετωπιστεί από μια χώρα, μια κοινότητα ή έναν τομέα μόνο τους, αλλά απαιτεί συντονισμένες προσπάθειες από όλους μας σε παγκόσμιο επίπεδο. Επομένως, χρειάζεται να δημιουργηθεί παγκόσμια συναίνεση για επιβράδυνση της κλιματικής αλλαγής όχι μόνο για εμάς τους ανθρώπους και την υγεία μας αλλά και για τον πλανήτη μας.

Η αποτελεσματική αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής απαιτεί δραστική δράση και συνεχή παρακολούθηση των επιπτώσεών της, προκειμένου να διασφαλιστεί η βιωσιμότητα του πλανήτη μας και η διατήρηση της παγκόσμιας οικονομίας και κοινωνικής ευημερίας (IPCC, 2018).

5. Βιβλιογραφία

Allen, R.J., W. Landuyt, and S.T. Rumbold, 2016: An increase in aerosol burden and radiative effects in a warmer world. *Nature Climate Change*, **6(3)**, 269–274, doi:10.1038/nclimate2827. 57

Allen, R.J., T. Hassan, C.A. Randles, and H. Su, 2019: Enhanced land–sea warming contrast elevates aerosol pollution in a warmer world. *Nature Climate Change*, doi:10.1038/s41558-019-0401-4.

Arrhenius, S. (1896). On the influence of carbonic acid in the air upon the temperature of the ground. *Philosophical Magazine and Journal of Science*, 5(41), 237-276. doi: 10.1080/14786449608620846

Bradley, R. S. (2003). *Paleoclimatology: Reconstructing Climates of the Quaternary*. Elsevier, Amsterdam, Netherlands.

Cholakian, A., A. Colette, I. Coll, G. Ciarelli, and M. Beekmann, 2019: Future climatic drivers and their effect on PM10 components in Europe and the Mediterranean Sea. *Atmospheric Chemistry and Physics*, **19(7)**, 4459–4484, doi:10.5194/acp-19-4459-2019.

"Climate Change and Biodiversity." Convention on Biological Diversity. 2021. <https://www.cbd.int/climate/>

"Climate Change and Oceans." Intergovernmental Panel on Climate Change, 2019, www.ipcc.ch/srocc/.

"Climate Change 2021: The Physical Science Basis." Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2021. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>

"Climate Change and Health." World Health Organization. 2021. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/climate-change-and-health>

"Climate Change: Evidence and Causes." Royal Society and National Academy of Sciences, The Royal Society, 2022, [royalsociety.org/-/media/policy/projects/climate-evidence-causes/climate-change-evidence-causes-full-report.pdf](https://royalsocietypublishing.org/royalsocietypublishing.org/media/policy/projects/climate-evidence-causes/climate-change-evidence-causes-full-report.pdf).

"Climate Change and Global Warming." National Geographic, National Geographic Society, 2022, www.nationalgeographic.com/environment/global-warming/global-warming-overview/

Collins, W. J., Lamarque, J.-F., Schulz, M., Boucher, O., Eyring, V., Hegglin, M. I., Maycock, A., Myhre, G., Prather, M., Shindell, D., and Smith, S. J.: AerChemMIP: quantifying the effects of chemistry and aerosols in CMIP6, *Geosci. Model Dev.*, 10, 585–607, <https://doi.org/10.5194/gmd-10-585-2017>, 2017

Cubasch, U., D. Wuebbles, D. Chen, M.C. Facchini, D. Frame, N. Mahowald, and J.-G. Winther, 2013: Introduction. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Deushi, M. and Shibata, K.: Development of a Meteorological Research Institute Chemistry-Climate Model version 2 for the Study of Tropospheric and Stratospheric Chemistry, *Pap. Meteorol. Geophys.*, 62, 1–46, <https://doi.org/10.2467/mripapers.62.1>, 2011.

Dunne, J. P., Horowitz, L. W., Adcroft, A. J., Ginoux, P., Held, I. M., John, J. G., Krasting, J. P., Malyshev, S., Naik, V., Paulot, F., Shevliakova, E., Stock, C. A., Zadeh, N., Balaji, V., Blanton, C., Dunne, K. A., Dupuis, C., Durachta, J., Dussin, R., Gauthier, P. P. G., Griffies, S. M., Guo, H., Hallberg, R. W., Har-rison, M., He, J., Hurlin, W., McHugh, C., Menzel, R., Milly, P. C. D., Ni-konov, S., Paynter, D. J., Ploshay, J., Radhakrishnan, A., Rand, K., Reichl, B. G., Robinson, T., Schwarzkopf, D. M., Sentman, L. T., Underwood, S., Vah-lenkamp, H., Winton, M., Wittenberg, A. T., Wyman, B., Zeng, Y., and Zhao, M. , 2020: The GFDL Earth System Model version 4.1 (GFDL-ESM4.1): Overall coupled model description and simulation characteristics, *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 12, e2019MS002015, <https://doi.org/10.1029/2019ms002015>.



European Environment Agency (EEA). (2020). Air quality in Europe - 2020 report.

Retrieved from <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2020-report>

Environmental Protection Agency (EPA). (2022). Particulate matter (PM) pollution.

Retrieved from <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics#where>

Eyring, V., Righi, M., Lauer, A., Evaldsson, M., Wenzel, S., Jones, C., Anav, A., Andrews, O., Cionni, I., Davin, E. L., Deser, C., Ehbrecht, C., Friedlingstein, P., Gleckler, P., Gottschaldt, K.-D., Hagemann, S., Juckes, M., Kindermann, S., Krasting, J., Kunert, D., Levine, R., Loew, A., Mäkelä, J., Martin, G., Mason, E., Phillips, A. S., Read, S., Rio, C., Roehrig, R., Senftleben, D., Sterl, A., van Ulft, L. H., Walton, J., Wang, S., and Williams, K. D.: ESMValTool (v1.0) – a community diagnostic and performance metrics tool for routine evaluation of Earth system models in CMIP, *Geosci. Model Dev.*, 9, 1747–1802, <https://doi.org/10.5194/gmd-9-1747-2016>, 2016.

Eyring, V., Bony, S., Meehl, G. A., Senior, C. A., Stevens, B., Stouffer, R. J., and Taylor, K. E.: Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization, *Geosci. Model Dev.*, 9, 1937–1958, <https://doi.org/10.5194/gmd-9-1937-2016>, 2016.

Deushi, M. and Shibata, K.: Development of a Meteorological Research Institute Chemistry-Climate Model version 2 for the Study of Tropospheric and Stratospheric Chemistry, *Pap. Meteorol. Geophys.*, 62, 1–46, <https://doi.org/10.2467/mripapers.62.1>, 2011.

Fowler, D., Pilegaard, K., Sutton, M. A., Ambus, P., Raivonen, M., Duyzer, J., Simpson, D., Fagerli, H., Fuzzi, S., Schjoerring, J. K., Granier, C., Neftel, A., Isaksen, I. S. A., Laj, P., Maione, M., Monks, P. S., Burkhardt, J., Daemmgen, U., Neiryneck, J., Personne, E., Wichink-Kruit, R., Butterbach-Bahl, K., Flechard, C., Tuovinen, J. P., Coyle, M., Gerosa, G., Loubet, B., Altimir, N., Gruenhage, L., Ammann, C., Cieslik, S., Paoletti, E., Mikkelsen, T. N., Ro-Poulsen, H., Cellier, P., Cape, J. N., Horváth, L., Loreto, F., Niinemets, Ü., Palmer, P. I., Rinne, J., Misztal, P., Nemitz, E., Nilsson, D., Pryor, S., Gallagher, M. W., Vesala, T., Skiba, U., Brüggemann, N., Zechmeister-Boltenstern, S., Williams, J., O'Dowd, C., Facchini, M. C., de Leeuw, G., Flossman, A., Chaumerliac, N., and Erisman, J. W.: Atmospheric composition change: Ecosystems–Atmosphere interactions, *Atmos. Environ.*, 43, 5193–5267, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.07.068>, 2009.

Finlayson-Pitts, B. J., & Pitts Jr, J. N., 1999. Chemistry of the upper and lower atmosphere: theory, experiments, and applications. Elsevier.

Gao, M. et al., 2018: Air quality and climate change, Topic 3 of the Model Inter-Comparison Study for Asia Phase III (MICS-Asia III) - Part 1: Overview and model evaluation. *Atmospheric Chemistry and Physics*, **18**(7), 4859–4884, doi:10.5194/acp-18-4859-2018.

Gattuso, J. P., Magnan, A., Bopp, L., Cheung, W. W. L., Duarte, C. M., Hinkel, J., ... & Turley, C. (2018). Ocean solutions to address climate change and its effects on marine ecosystems. *Frontiers in Marine Science*, 5, 337. <https://doi.org/10.3389/fmars.2018.00337>

"Global Warming of 1.5°C." Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2018. <https://www.ipcc.ch/sr15/>

Gonzalez-Abraham, R. et al., 2015: The effects of global change upon United States air quality. *Atmospheric Chemistry and Physics*, **15**(21), 12645–12665, doi:10.5194/acp-15-12645-2015.

Griffiths P Tet al2021 Tropospheric ozone in CMIP6 simulationsAtmos. Chem. Phys.214187–218

Guleria, T., Tiwari, S., & Kumar, A. (2021). Remote sensing of particulate matter: a review. *Journal of Cleaner Production*, 306, 127300. doi: 10.1016/j.jclepro.2021.127300

Hartmann, D. L., Klein Tank, A. M. G., Rusticucci, M., Alexander, L. V., Brönnimann, S., Charabi, Y., ... & Zhai, P. (2013). Observations: atmosphere and surface. In *Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 159-254). Cambridge University Press.

He, H., X.Z. Liang, and D.J. Wuebbles, 2018: Effects of emissions change, climate change and long-range transport on regional modeling of future U.S. particulate matter pollution and speciation. *Atmospheric Environment*, **179**,166–176, doi:10.1016/j.atmosenv.2018.02.020.

Hegerl, G. C., Hoegh-Guldberg, O., Casassa, G., Hoerling, M. P., Kovats, R. S., Parmesan, C., ... & Stott, P. A. (2018). Impacts of 1.5°C global warming on natural and human systems. In Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report(pp.175311).IPCC.https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/06/SR15_Chapter3_Low_Res.pdf

Horowitz L W *et al* 2018a NOAA-GFDL GFDL-ESM4 model output prepared for CMIP6 AerChemMIP ssp370SST. Version YYYYMMDD[1] (Earth System Grid Federation)(<https://doi.org/10.22033/ESGF/CMIP6.8695>)

Horowitz L W *et al* 2018b NOAA-GFDL GFDL-ESM4 model output prepared for CMIP6 AerChemMIP ssp370pdSST. Version YYYYMMDD[1] (Earth System Grid Federation) (<https://doi.org/10.22033/ESGF/CMIP6.11338>)

Horowitz L Wet al2020 The GFDL global atmospheric chemistryclimate model AM4.1: model description and simulationcharacteristicsJ. Adv. Model. Earth Syst.12e2019MS002032

Hou, P., S. Wu, J.L. McCarty, and Y. Gao, 2018: Sensitivity of atmospheric aerosol scavenging to precipitation intensity and frequency in the context of global climate change. *Atmospheric Chemistry and Physics*, **18(11)**, 8173–8182, doi:10.5194/acp-18-8173-2018.

Im, U. et al., 2012: Summertime aerosol chemical composition in the Eastern Mediterranean and its sensitivity to temperature. *Atmospheric Environment*, **50**, 164–173, doi:10.1016/j.atmosenv.2011.12.044.

IPCC (2018). Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change. <https://www.ipcc.ch/sr15/0>

Jiang, H. et al., 2013: Projected effect of 2000–2050 changes in climate and emissions on aerosol levels in China and associated transboundary transport. *Atmospheric Chemistry and Physics*, **13(16)**, 7937–7960, doi:10.5194/acp-13-7937-2013.

Kawai, H., Yukimoto, S., Koshiro, T., Oshima, N., Tanaka, T., Yoshimura, H., and Nagasawa, R.: Significant improvement of cloud representation in the global climate model MRI-ESM2, *Geosci. Model Dev.*, 12, 2875–2897, <https://doi.org/10.5194/gmd-12-2875-2019>, 2019.

Kelley M. et al., 2020 GISS-E2.1: configurations and climatology *J. Adv. Model. Earth Syst.* 12e2019MS002025

Kirtman, B., Power, S. B., Adedoyin, A. J., Boer, G. J., Bojariu, R., Camilloni, I., ... & Wang, H. J. (2013). Near-term climate change: projections and predictability. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. IPCC Working Group I Contribution to AR5.*, 953-1028.

Luterbacher, J., Xoplaki, E., Dietrich, D., Rickli, R., Jacobeit, J., Beck, C., ... & Wanner, H. (2004). European seasonal and annual temperature variability, trends, and extremes since 1500. *Science*, 303(5663), 1499-1503. doi: 10.1126/science.1093877

McMichael, A. J., Campbell-Lendrum, D. H., Corvalán, C. F., Ebi, K. L., Githeko, A., Scheraga, J. D., & Woodward, A. (2003). *Climate change and human health: risks and responses*. World Health Organization.

Megaritis, A.G., C. Fountoukis, P.E. Charalampidis, C. Pilinis, and S.N. Pandis, 2013: Response of fine particulate matter concentrations to changes of emissions and temperature in Europe. *Atmospheric Chemistry and Physics*, **13**(6), 3423–3443, doi:10.5194/acp-13-3423-2013.

Miller R. L. et al., 2021 CMIP6 historical simulations (1850–2014) with GISS-E2.1J. *Adv. Model. Earth Syst.* 13e2019MS002034

NASA Goddard Institute for Space Studies (NASA/GISS) 2020a NASA-GISS GISS-E2.1G model output prepared for CMIP6 AerChemMIP ssp370SST. Version YYYYMMDD[1] (Earth System Grid Federation) (<https://doi.org/10.22033/ESGF/CMIP6.7435>)

NASA Goddard Institute for Space Studies (NASA/GISS) 2020b NASA-GISS GISS-E2.1G model output prepared for CMIP6 AerChemMIP ssp370pdSST. Version YYYYMMDD[1] (Earth System Grid Federation) (<https://doi.org/10.22033/ESGF/CMIP6.11387>)

Oshima N, Yukimoto S, Deushi M, Koshiro T, Kawai H, Tanaka T Y and Yoshida K
2020 Global and Arctic effective radiative forcing of anthropogenic gases and
aerosols in MRI-ESM2.0 *Prog. Earth Planet. Sci.* **7** 38

Porter, W.C., C.L. Heald, D. Cooley, and B. Russell, 2015: Investigating the observed sensitivities of air-quality extremes to meteorological drivers via quantile regression. *Atmospheric Chemistry and Physics*, **15(18)**, 10349–10366, doi:10.5194/acp-15-10349-2015.

Szopa, S., V. Naik, B. Adhikary, P. Artaxo, T. Berntsen, W.D. Collins, S. Fuzzi, L. Gallardo, A. Kiendler-Scharr, Z. Klimont, H. Liao, N. Unger, and P. Zanis, 2021: Short-Lived Climate Forcers. In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 817–922, doi:10.1017/9781009157896.008.

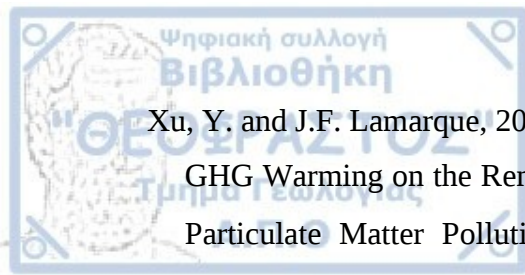
"The Paris Agreement." United Nations Framework Convention on Climate Change, United Nations, 2022, unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement.

Turnock, S. T., Allen, R. J., Andrews, M., Bauer, S. E., Deushi, M., Emmons, L., ... & Zhang, J. (2020). Historical and future changes in air pollutants from CMIP6 models. *Atmospheric Chemistry and Physics*, *20*(23), 14547-14579.

Valentová, A., & Bostik, V. (2021). Climate change and human health. In *Military Medical Science Letters (Vojenske Zdravotnicke Listy)* (Vol. 90, Issue 2). <https://doi.org/10.31482/mmsl.2021.010>

World Health Organization and World Meteorological Organization. (2007). *Climate Change: Impacts, Vulnerabilities and Adaptation in Developing Countries*. Geneva: WHO Press. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2009.07.046

World Health Organization. (2020). Ambient air pollution: Health impacts. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-air-pollution>



Xu, Y. and J.F. Lamarque, 2018: Isolating the Meteorological Impact of 21st Century GHG Warming on the Removal and Atmospheric Loading of Anthropogenic Fine Particulate Matter Pollution at Global Scale. *Earth's Future*, **6(3)**, 428-440, doi:10.1002/2017ef000684.

Zanis, P., Akritidis, D., Turnock, S., Naik, V., Szopa, S., Georgoulas, A. K., ... & van Noije, T. (2022). Climate change penalty and benefit on surface ozone: a global perspective based on CMIP6 earth system models. *Environmental Research Letters*, 17(2), 024014.

Yukimoto S *et al* 2019a The meteorological research institute Earth system model version 2.0, MRI-ESM2.0: description and basic evaluation of the physical component *J. Meteorol. Soc. Japan* **97** 931–65

Yukimoto S *et al* 2019b MRI MRI-ESM2.0 model output prepared for CMIP6 AerChemMIP ssp370SST. Version YYYYMMDD[1] (Earth System Grid Federation) ([https:// doi.org/10.22033/ESGF/CMIP6.6918](https://doi.org/10.22033/ESGF/CMIP6.6918))

Yukimoto S *et al* 2020 MRI MRI-ESM2.0 model output prepared for CMIP6 AerChemMIP ssp370pdSST. Version YYYYMMDD[1] (Earth System Grid Federation) ([https:// doi.org/10.22033/ESGF/CMIP6.11409](https://doi.org/10.22033/ESGF/CMIP6.11409))

Μαρκάκης, Κωνσταντίνος (2010, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης (ΑΠΘ)), Συμβολή στη μελέτη της σωματιδιακής ρύπανσης στην Ελλάδα

Ζάνης Πρόδρομος, 2014, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Σημειώσεις για τη χημεία και τη ρύπανση της ατμόσφαιρας