



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ



Ευμορφίλη Ιωάννα Δ. Μπαζιώτα

ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΚΤΙΜΗΣΕΙΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ
ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΚΑΙ ΔΕΙΚΤΩΝ ΣΕ ΤΡΕΙΣ ΕΥΡΩΠΑΪΚΕΣ
ΠΡΩΤΕΥΟΥΣΕΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΙΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ
ΠΕΡΙΟΧΙΚΩΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΥΨΗΛΗΣ
ΑΝΑΛΥΣΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Θεσσαλονίκη

2022





ΕΥΜΟΡΦΙΛΗ ΙΩΑΝΝΑ ΜΠΑΖΙΩΤΑ

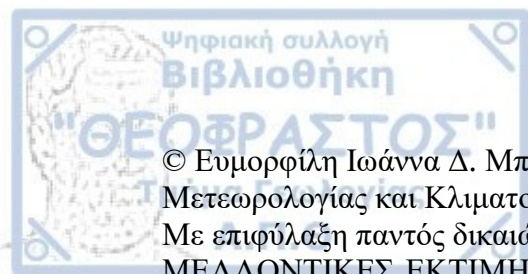
Φοιτήτρια Τμήματος Γεωλογίας, ΑΕΜ: 5701

ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΚΤΙΜΗΣΕΙΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΚΑΙ
ΔΕΙΚΤΩΝ ΣΕ ΤΡΕΙΣ ΕΥΡΩΠΑΙΚΕΣ ΠΡΩΤΕΥΟΥΣΕΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΙΣ
ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ ΠΕΡΙΟΧΙΚΩΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΥΨΗΛΗΣ
ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Μετεωρολογίας και
Κλιματολογίας

Επιβλέπων

ΠΡΟΔΡΟΜΟΣ ΖΑΝΗΣ



© Ευμορφίλη Ιωάννα Δ. Μπαζιώτα, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας
Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας, 2022

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΚΤΙΜΗΣΕΙΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΚΑΙ ΔΕΙΚΤΩΝ
ΣΕ ΤΡΕΙΣ ΕΥΡΩΠΑΙΚΕΣ ΠΡΩΤΕΥΟΥΣΕΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΙΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ
ΠΕΡΙΟΧΙΚΩΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΥΨΗΛΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ –

Διπλωματική Εργασία

© Evmorfili Ioanna D. Baziota, School of Geology, Dept. of Meteorology and
Climatology, 2022

All rights reserved.

FUTURE PROJECTIONS IN CLIMATE PARAMETERS AND INDICES FOR
THREE EUROPEAN CAPITALS BASED ON HIGH-RESOLUTION REGIONAL
CLIMATE MODEL SIMULATIONS – *Bachelor Thesis*

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.

1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ	5
ABSTRACT	6
2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	7
2.1. ΟΡΙΣΜΟΣ - ΚΛΙΜΑ.....	7
2.2 ΟΡΙΣΜΟΣ- ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ	8
2.3 ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΕΙΣ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ	8
2.3.1 ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΑΕΡΙΩΝ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ	8
2.3.2 ΑΝΑΚΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΓΗΣ	9
2.4 ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ.....	9
2.4.1 ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΑΥΞΗΣΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ	9
2.4.3 ΑΝΟΔΟΣ ΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ.....	11
2.4.4 ΑΥΞΗΣΗ ΤΗΣ ΟΞΥΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΩΚΕΑΝΩΝ	12
2.4.5 ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΤΟΥ ΩΚΕΑΝΟΥ.....	12
2.4.6 ΜΕΙΩΣΗ ΧΙΟΝΟΚΑΛΥΨΗΣ	13
2.5 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ	14
3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	17
3.1 DEAR-CLIMA	17
4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	21
4.1 ΑΘΗΝΑ (ΕΛΛΑΔΑ)	21
4.1.1 ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ	21
4.1.2 ΚΛΙΜΑΤΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ	26
4.2 ΒΕΡΟΛΙΝΟ (ΓΕΡΜΑΝΙΑ)	34
4.2.1 ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ	34
4.2.2 ΚΛΙΜΑΤΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ	38
4.3 ΟΣΛΟ (ΝΟΡΒΗΓΙΑ)	44
4.3.1 ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ	44
4.3.2 ΚΛΙΜΑΤΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ	48
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	55
6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	57
ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ	57
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ	57

1.Περίληψη

Στη συγκεκριμένη εργασία πραγματοποιήθηκε έρευνα για το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής για τρεις πρωτεύουσες, χωρών της Ευρώπης που βρίσκονται σε διαφορετικό γεωγραφικό πλάτος. Οι πόλεις οι οποίες επιλέχθηκαν είναι η Αθήνα στην Ελλάδα, το Βερολίνο στη Γερμανία και το Όσλο στη Νορβηγία. Η εξαγωγή των αποτελεσμάτων έγινε με την διαδικτυακή εφαρμογή DEAR-Clima. Για τις συγκεκριμένες πόλεις βρέθηκαν ορισμένες κύριες κλιματικές μεταβλητές και κλιματικοί δείκτες από τις διαθέσιμες προσομοιώσεις των περιοχικών κλιματικών μοντέλων (RCMs) σε συνδυασμό με τα κλιματικά σενάρια RCP4.5 και RCP8.5. Η περιοχή ολοκλήρωσης της εφαρμογής είναι το EURO-CORDEX που καλύπτει την ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης συμπεριλαμβανομένης της Μεσογείου και ένα μέρος της Β. Αφρικής. Η χωρική ανάλυση των προσομοιώσεων CORDEX που χρησιμοποιούνται σε αυτήν την εφαρμογή είναι $11^{\circ} \times 11^{\circ}$. Τα αποτελέσματα εξάγονται σε ετήσιο χρόνο και η εξέλιξη της μέσης τιμής παρουσιάζεται με το ΔT το οποίο υπολογίζεται από την αφαίρεση της μέσης τιμής της περιόδου 1960-1990 από τις τιμές της ιστορικής (1950-2005) και μελλοντικής (2006-2100) περιόδου για τα κλιματικά σενάρια rcp4.8 και rcp8.5.

Οι κλιματικές μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν και αναλύθηκαν είναι η μέγιστη και η ελάχιστη θερμοκρασία και ο υετός, ενώ για τους κλιματικούς δείκτες επιλέχθηκαν οι ζεστές και κρύες ημέρες, οι ημέρες παγετώνων, οι τροπικές νύχτες και οι διαδοχικές υγρές και ξηρές ημέρες. Για όλες αυτές τις μεταβλητές και τους δείκτες δίνεται επεξήγηση του τι αντιπροσωπεύουν.

Τέλος, προβάλλονται τα συμπεράσματα της ερευνάς δηλαδή η εξέλιξη και η επιρροή της κλιματικής αλλαγής στο χώρο της Ευρώπης με βάση αυτές τις τρεις πρωτεύουσες. Τα δύο κλιματικά σενάρια έδειξαν αύξηση της μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας ως το τέλος του 21^{ου} αιώνα για τις πόλεις της Αθήνας, του Βερολίνου και του Όσλου και για τον υετό μείωση των τιμών του και μικρή μεταβλητότητα ανά έτος. Όσον αφορά τις ζεστές μέρες παρατηρήθηκε αύξηση έως και +80 μέρες για την Αθήνα ενώ για τις κρύες μέρες παρατηρήθηκε μείωση έως -80 μέρες για το Βερολίνο και το Όσλο σε σχέση με την περίοδο αναφοράς 1960-1990. Αύξηση παρουσιάζει και ο αριθμός των συνεχόμενων ξηρών ημερών για την Αθήνα και φτάνει σχεδόν τις +30 μέρες σε σχέση με την περίοδο αναφοράς ενώ το Βερολίνο και το Όσλο έχουν πού ομαλότερη μεταβολή των τιμών τους. Και για τις τρεις πόλεις οι διαδοχικές υγρές μέρες παρουσιάζουν σταθερή και ομαλή μεταβλητότητα.

ABSTRACT

In the present work, a research was carried out on the phenomenon of climate change for three capital cities of European countries located at different latitudes. The cities that were chosen are Athens in Greece, Berlin in Germany and Oslo in Norway. The results were extracted using the web application, DEAR-Clima. For the given cities, some main climate variables and climate indices were found from the available simulations of regional climate models (RCMs) combined with the RCP4.5 and RCP8.5 climate scenarios. The domain of the application is the EURO-CORDEX domain which covers the greater area of Europe including the Mediterranean and a part of N. Africa. The spatial resolution of the CORDEX simulations used in this application is $11^{\circ} \times 11^{\circ}$. The results are exported in annual time and the evolution of the average price is presented with the ΔT which is calculated by subtracting the average price of the period 1960-1990 from the values of the historical (1950-2005) and future (2006-2100) period for the rcp4.8 and rcp8.5 climate scenarios.

The climate variables that were used and analyzed are maximum and minimum temperature and precipitation, while hot and cold days, ice days, tropical nights and consecutive wet and dry days were chosen as climate indicators. For all these variables and indicators is given an explanation of what they stand for.

Finally, the conclusions of the researchers are presented, i.e. the evolution and the influence of climate change in the area of Europe based on these three capitals. The two climate models showed an increase in maximum and minimum temperature by the end of the 21st century for the cities of Athens, Berlin and Oslo and a decrease in precipitation's numbers and low variability. As for the hot days, an increase of up to +80 days was observed for Athens, while a decrease of up to -80 days was observed for the cold days for Berlin and Oslo in relation to the reference period 1960-1990. The number of consecutive dry days for Athens has also increased and reaches almost +30 days compared to the reference period, while Berlin and Oslo have a smoother change in their prices. For all three cities, consecutive wet days show stable and smooth variability.

2. Εισαγωγή

2.1. Ορισμός - Κλίμα

Είναι το σύνολο των καιρικών συνθηκών που επικρατούν σε ένα τόπο για μεγάλο χρονικό διάστημα (συνήθως πάνω από 30 χρόνια, χρονική διάρκεια που έχει οριστεί από τον Παγκόσμιο Μετεωρολογικό Οργανισμό, IPCC 2012).

Ο συνοπτικότερος ορισμός για την έννοια του κλίματος κατά τον Platon Sergen είναι :

Ως κλίμα ορίζεται η μέση καιρική κατάσταση ή αλλιώς ο μέσος καιρός, ενώ πιο αυστηρά ορίζεται ως η στατική περιγραφή της μέσης και της μεταβλητότητας σχετικών ποσοτήτων για μια μεγάλη χρονική διάρκεια μηνών έως και εκατομμυρίων χρόνων. Οι σχετικές αυτές ποσότητες είναι συνήθως μεταβλητές επιφάνειας όπως η θερμοκρασία, οι βροχοπτώσεις, οι άνεμοι, η ατμοσφαιρική πίεση και άλλες μετεωρολογικές μεταβλητές για μια δεδομένη περιοχή και χρονική περίοδο.

Κλιματικοί παράγοντες

Οι παράγοντες που επηρεάζουν και συντελούν στη διαμόρφωση του κλίματος σύμφωνα με επιστημονικές έρευνες, χωρίζονται σε «εσωτερικούς» και «εξωτερικούς» (κατά Bradley, 1999, και Alverson, 2003).

Τους εσωτερικούς παράγοντες αποτελούν οι παρακάτω:

- Η επιρροή της ηφαιστειακής δραστηριότητας
- Οι διακυμάνσεις και η μεταβλητότητα του συνολικού όγκου των παγετώνων
- Η μεταβλητότητα της ταχύτητας και του τρόπου κυκλοφορίας των θαλάσσιων ρευμάτων
- Οι ανθρωπογενείς επιρροές
- Οι διεργασίες ανάδρασης του συστήματος δηλαδή μεταξύ ατμόσφαιρας, υδρόσφαιρας, λιθόσφαιρας και βιόσφαιρας
- Οι επιρροές των αερίων του θερμοκηπίου στη εξερχόμενη και εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία

Στους εξωτερικούς παράγοντες συμπεριλαμβάνονται οι εξής:

- Η επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας
- Η μετάπτωση των Ισημερινών
- Η εκκεντρότητα και η λοξότητα του άξονα περιστροφής της Γης τα οποία προκύπτουν από την τροχιά της Γης και του ηλίου

2.2 Ορισμός- Κλιματική αλλαγή

Η κλιματική αλλαγή αναφέρεται σε μακροπρόθεσμες αλλαγές στις θερμοκρασίες και τα καιρικά μοτίβα. Αυτές οι μεταβολές μπορεί να είναι φυσικές, όπως μέσω μεταβολών στον ηλιακό κύκλο αλλά από το 1800 οι ανθρώπινες δραστηριότητες ήταν ο κύριος μοχλός της κλιματικής αλλαγής, κυρίως λόγω της καύσης ορυκτών καυσίμων όπως ο άνθρακας, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο. Αυτά τα επιπλέον αέρια του θερμοκηπίου προέρχονται πρωτίστως από την καύση ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή ενέργειας, καθώς και από άλλες ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως η αποψίλωση των τροπικών δασών, η γεωργία, η κτηνοτροφία και η παραγωγή χημικών ουσιών. Το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) είναι το κυριότερο αέριο του θερμοκηπίου που παράγεται από ανθρώπινες δραστηριότητες ενώ τα υπόλοιπα είναι το μεθάνιο (CH₄), το οξείδιο το αζώτου (N₂O) και το όζον (O₃).

Ως επίσημος ορισμός για την κλιματική αλλαγή σύμφωνα με την IPCC ,2007, είναι ο παρακάτω:

Ως κλιματική αλλαγή ορίζεται η αλλαγή της παρούσας κατάστασης του κλίματος που μπορεί να προσδιοριστεί (χρησιμοποιώντας στατιστικές μεθόδους) με αλλαγές στις μέσες καταστάσεις ή / και με αλλαγές στη μεταβλητότητα κλιματικών παραμέτρων και οι οποίες παραμένουν για μια εκτεταμένη χρονική περίοδο (δεκαετίες ή περισσότερο). Αναφέρεται σε αλλαγές του κλίματος που οφείλονται είτε στη φυσική μεταβλητότητα του κλίματος είτε σε ανθρωπογενείς επιδράσεις.

2.3 Ανθρωπογενείς παράγοντες κλιματικής αλλαγής

Οι ανθρώπινες δραστηριότητες έχουν συμβάλει ουσιαστικά στην κλιματική αλλαγή μέσω (Environmental Protection Agency, United States):

- Των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου
- Της ανακλαστικότητας της Γης

2.3.1 Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου

Οι συγκεντρώσεις των βασικών αερίων του θερμοκηπίου έχουν αυξηθεί από τη Βιομηχανική Επανάσταση λόγω των ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Οι συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα, μεθανίου και οξειδίου του αζώτου είναι σήμερα περισσότερες στην ατμόσφαιρα της γης από κάθε άλλη φορά για τα τελευταία 800.000 χρόνια. Αυτές οι εκπομπές αερίων έχουν αυξήσει το φαινόμενο του θερμοκηπίου και έχουν προκαλέσει αύξηση της θερμοκρασίας

της επιφάνειας της γης. Η καύση ορυκτών καυσίμων αλλάζει το κλίμα περισσότερο από οποιαδήποτε άλλη ανθρώπινη δραστηριότητα.

Διοξείδιο του άνθρακα: Οι ανθρώπινες δραστηριότητες απελευθερώνουν επί του παρόντος πάνω από 30 δισεκατομμύρια τόνους διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα κάθε χρόνο και οι συγκεντρώσεις CO₂ στην ατμόσφαιρα έχουν αυξηθεί περισσότερο από 40% από την προβιομηχανική εποχή.

Μεθάνιο: Οι ανθρώπινες δραστηριότητες αύξησαν τις συγκεντρώσεις μεθανίου κατά τη διάρκεια του 20ου αιώνα, σε 2,5 φορές περισσότερο από το προβιομηχανικό επίπεδο.

Οξείδιο του αζώτου: Οι συγκεντρώσεις του οξειδίου του αζώτου έχουν αυξηθεί περίπου 20% από την έναρξη της Βιομηχανικής Επανάστασης, με τη ταχύτερη αύξηση να σημειώνεται προς το τέλος του 20ού αιώνα.

2.3.2 Ανακλαστικότητα της Γης

Δραστηριότητες όπως η γεωργία, η κατασκευή δρόμων και η αποψίλωση των δασών μπορούν να αλλάξουν την ανακλαστικότητα της επιφάνειας της γης, οδηγώντας σε τοπική θέρμανση ή ψύξη. Αυτή η επίδραση παρατηρείται σε θερμικές νησίδες, που είναι αστικά κέντρα τα οποία είναι θερμότερα από τις λιγότερο κατοικημένες γύρω περιοχές. Ένας λόγος που συμβαίνει αυτό είναι ότι τα κτίρια, τα πεζοδρόμια και οι στέγες τείνουν να αντανακλούν λιγότερο ηλιακό φως από τις φυσικές επιφάνειες. Ενώ από την άλλη η αποψίλωση των δασών μπορεί να αυξήσει την ανακλαστικότητα της γης παγκοσμίως αντικαθιστώντας τα σκοτεινά δέντρα με πιο ανοιχτόχρωμες επιφάνειες, όπως καλλιέργειες, προκαλώντας έτσι δροσερότερη θερμοκρασία.

Οι εκπομπές μικρών σωματιδίων (γνωστών ως αεροζόλ) στον αέρα μπορούν επίσης να οδηγήσουν σε αντανάκλαση ή απορρόφηση της ενέργειας του ήλιου αφού πολλοί τύποι ατμοσφαιρικών ρύπων υφίστανται χημικές αντιδράσεις στην ατμόσφαιρα για να δημιουργήσουν αεροζόλ. Συνολικά, τα αερολύματα που παράγονται από τον άνθρωπο έχουν ξεκάθαρη επίδραση στη γη.

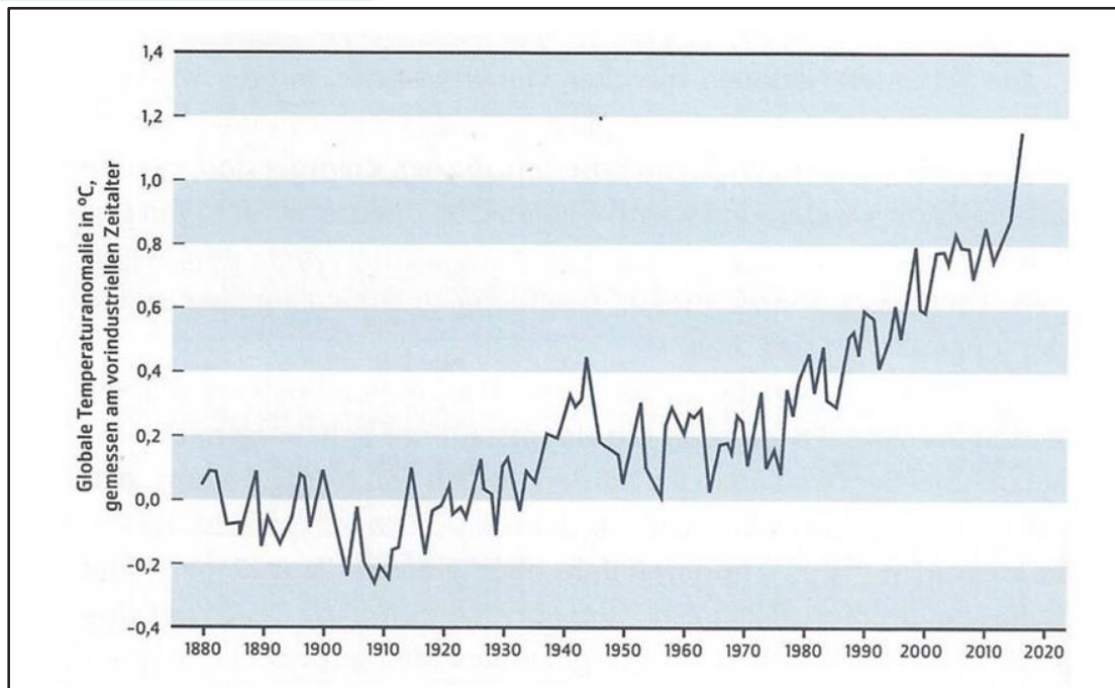
2.4 Ενδείξεις της κλιματικής αλλαγής

Τα στοιχεία για την ταχεία κλιματική αλλαγή γίνονται όλο και περισσότερα και πιο πειστικά. Κάποια από αυτά αποτελούν τα εξής (NASA, Global Climate Change, Vital Signs of the Planet):

2.4.1 Παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας

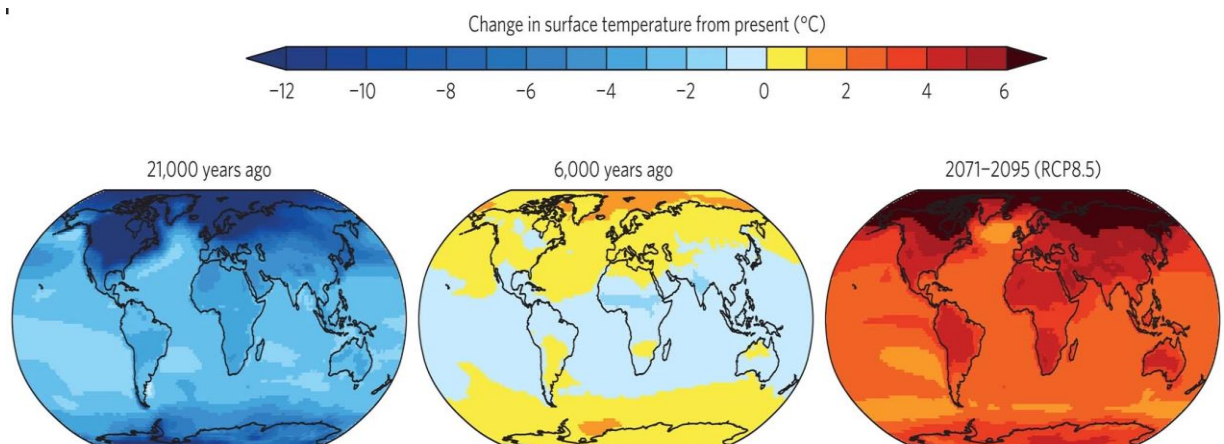
Στο παρακάτω διάγραμμα παρατηρούμε την άνοδο της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη από το 1880 μέχρι και σήμερα, σε βαθμούς Celsius (°C). Όπως παρατηρείται η θερμοκρασία της Γης αυξήθηκε κατά μέσο όρο 1,1 °C από το 1880, περίοδος όπου ξεκίνησε και η βιομηχανική επανάσταση. Επίσης,

σύμφωνα με έρευνες η περίοδος 1983- 2012 ήταν πιθανότατα τα θερμότερα 30 χρόνια των τελευταίων οκτακοσίων χρόνων και τις χρονιές 2016 και 2020 καταγράφηκαν οι υψηλότερες θερμοκρασίες στον πλανήτη.



Διάγραμμα 1: Άνοδος της μέσης θερμοκρασίας από το 1880 μέχρι σήμερα με βάση στοιχεία από WMO, NOAA, NASA, UK MET OFFICE / CRU.

Στην εικόνα που ακολουθεί φαίνονται οι προβλέψεις μοντέλων που δείχνουν ότι η μέση η μέση παγκόσμια υπερθέρμανση του 21^{ου} αιώνα θα ξεπεράσει σημαντικά την τελευταία μεγάλη παγετώδη περίοδο, καθώς και τις θερμότερες θερμοκρασίες του Ολόκαινου, δημιουργώντας έτσι μια πρωτόγνωρη κλιματική κατάσταση.



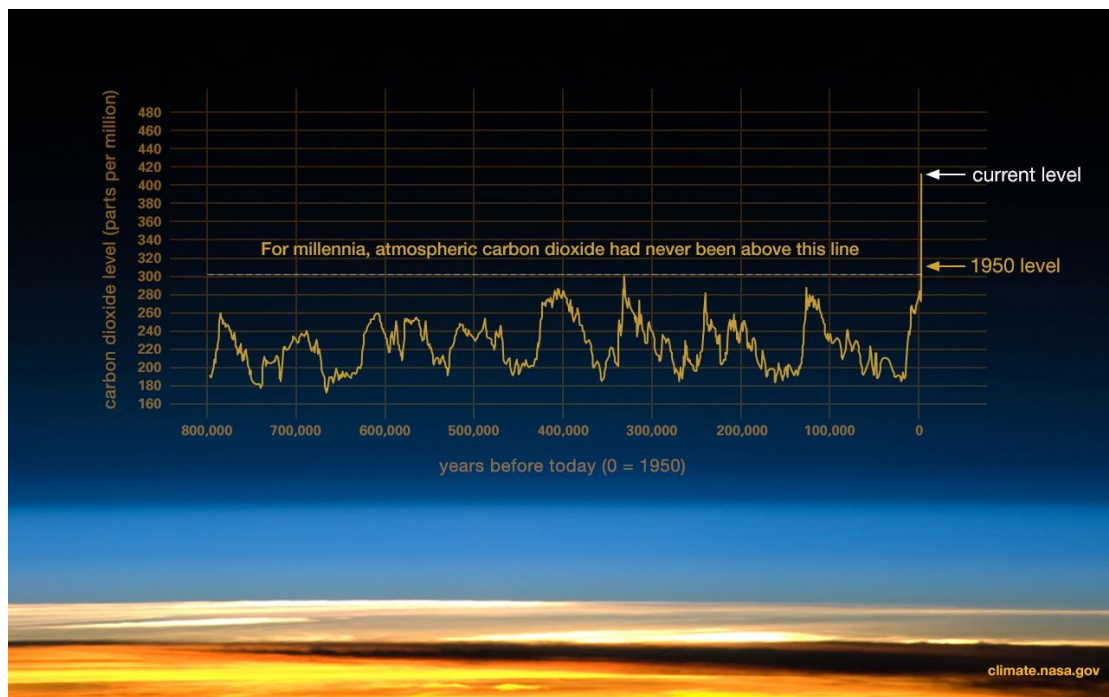
Εικόνα 1 : Ανωμαλίες παγκόσμιας θερμοκρασίας προσομοιωμένες με μοντέλα, για το Τελευταίο μέγιστο των παγετώνων (πριν από 21.000 χρόνια), το μέσο του Ολόκαινου (πριν

από 6.000 χρόνια) και την πρόβλεψη για το 2071–2095 (πηγή: <https://climateknowledgeportal.worldbank.org/overview>).

2.4.2 Αύξηση του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα

Πυρήνες πάγου που προέρχονται από τη Γροιλανδία, την Ανταρκτική και τους παγετώνες των τροπικών βουνών δείχνουν ότι το κλίμα της Γης ανταποκρίνεται στις αλλαγές των επιπέδων των αερίων του θερμοκηπίου. Αυτά τα παλαιοκλιματικά στοιχεία αποκαλύπτουν ότι η σημερινή θέρμανση συμβαίνει 10 φορές γρηγορότερα από ότι την παγετώδη εποχή και ότι το προκαλούμενο από ανθρώπινες δραστηριότητες διοξείδιο του άνθρακα αυξάνεται 250 φορές γρηγορότερα από αυτό που παραγόταν από φυσικές πηγές.

Το παρακάτω γράφημα με βάση τη σύγκριση ατμοσφαιρικών δειγμάτων που περιέχονται σε αρχαίους πυρήνες πάγου και πιο πρόσφατων άμεσων μετρήσεων, παρέχει στοιχεία ότι το ατμοσφαιρικό CO₂ έχει αυξηθεί δραματικά από τη Βιομηχανική Επανάσταση σε σύγκριση με τις παλαιοκλιματικές μετρήσεις τα τελευταία 800.000 χρόνια.

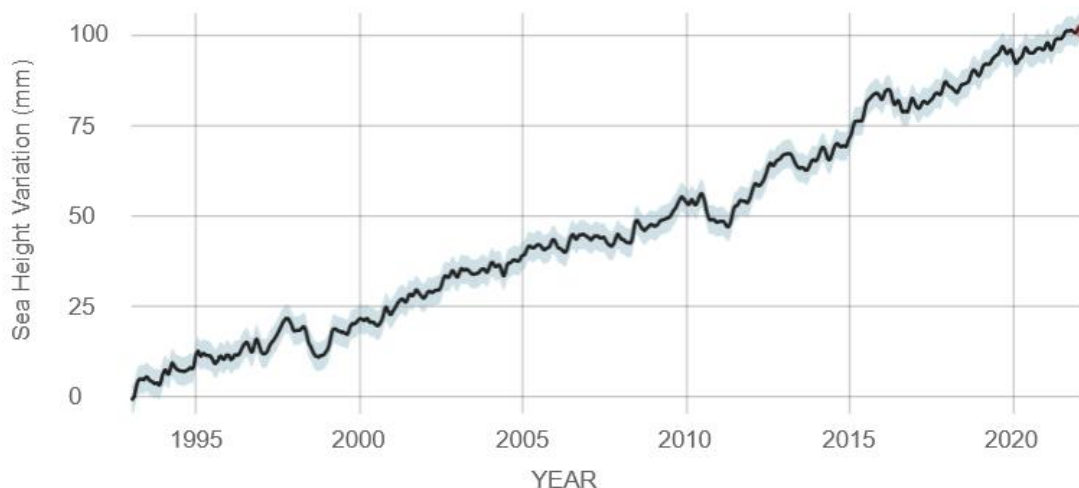


Διάγραμμα 2: Αύξηση του ατμοσφαιρικού CO₂ για τα τελευταία 800.000 χρόνια (πηγή: Luthi, D., et al. 2008; Etheridge, D.M., et al. 2010; Vostok ice core data/J.R. Petit et al.; NOAA Mauna Loa CO₂ record.)

2.4.3 Άνοδος της στάθμης της θάλασσας

Η παγκόσμια στάθμη της θάλασσας έχει αυξηθεί κατά 21-24 εκατοστά από το 1880. Αυτό οφείλεται στην ταχύτερη τήξη των πάγων καθώς και στη διαστολή του θαλασσινού νερού καθώς θερμαίνεται. Με αυτόν τον ρυθμό, θα είχαμε

αύξηση μόνο άλλα 8 εκατοστά μέχρι το 2100, αλλά η άνοδος της στάθμης της θάλασσας έχει επιταχυνθεί τα τελευταία χρόνια. Ακόμα κι αν ακολουθηθεί μια τακτική χαμηλών εκπομπών από σήμερα, η παγκόσμια στάθμη της θάλασσας πιθανότατα θα ανέβαινε τουλάχιστον 30 εκατοστά πάνω από τα επίπεδα του 2000 έως το 2100. Αντίθετα, αν ακολουθηθεί μια διαδρομή υψηλών εκπομπών, το χειρότερο σενάριο θα σήμαινε στάθμη της θάλασσας 2,5 μέτρα πάνω από τα επίπεδα του 2000.



Διάγραμμα 3: Μεταβολή της στάθμης της θάλασσας από το 1993 μέχρι σήμερα όπως παρατηρείται από δορυφόρους (πηγή: NASA.gov)

2.4.4 Αύξηση της οξύτητας των ωκεανών

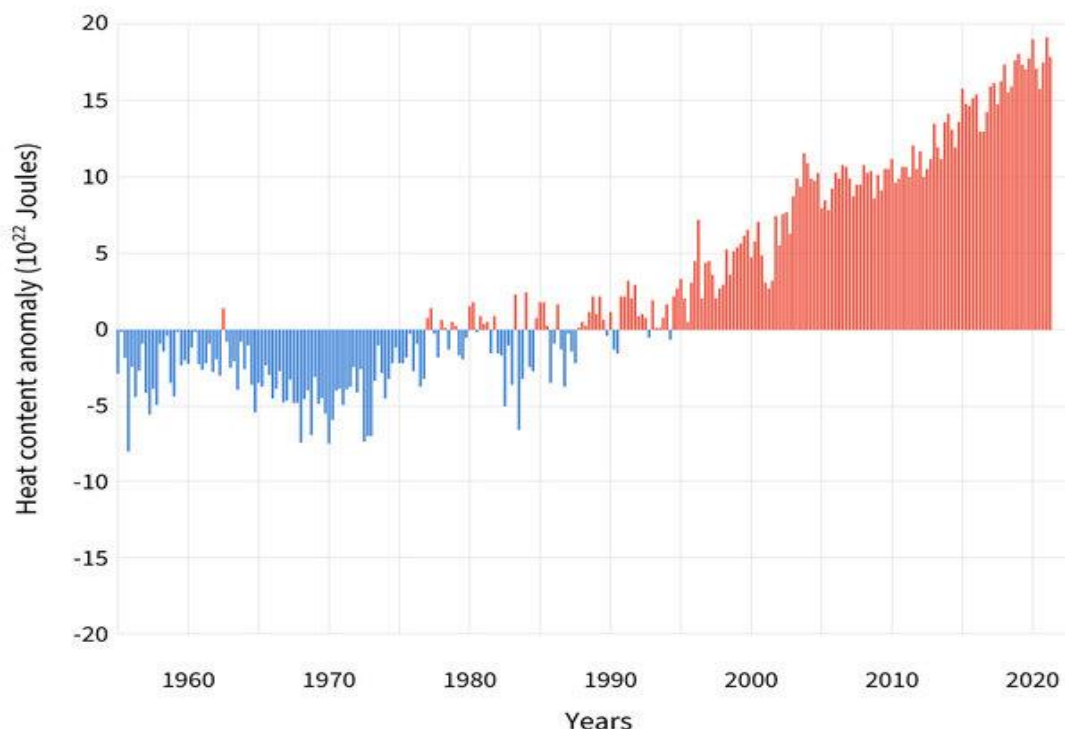
Από την αρχή της βιομηχανικής επανάστασης, η οξύτητα των επιφανειακών νερών των ωκεανών έχει αυξηθεί κατά περίπου 30%. Η αύξηση αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι εκπέμπεται περισσότερο διοξείδιο του άνθρακα λόγω ανθρωπογενών δραστηριοτήτων και συνεπώς απορροφάται περισσότερο από τον ωκεανό. Έχει απορροφηθεί από τον ωκεανό περίπου το 20 με 30% των εκπομπών του CO₂, το οποίο αντιστοιχεί περίπου σε 10 δισεκατομμύρια τόνους.

2.4.5 Θέρμανση του ωκεανού

Οι ρυθμοί αύξησης της θερμότητας την περίοδο 1993-2020 είναι κατά μέσο όρο 0,58-0,78 Watt ανά τετραγωνικό μέτρο σε όλο το βάθος του ωκεανού. Η αυξανόμενη περιεκτικότητα σε θερμότητα των ωκεανών συμβάλλει στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας, στα ωκεάνια κύματα καύσωνα, στη λεύκανση των κοραλλιών, στο λιώσιμο των πάγων που καταλήγουν στους ωκεανούς αλλά και των στρωμάτων πάγου γύρω από τη Γροιλανδία και την Ανταρκτική. Η θερμότητα που έχει αποθηκευτεί στον ωκεανό θα απελευθερωθεί τελικά προκαλώντας στη Γη πρόσθετη θέρμανση της επιφάνειας της στο μέλλον.

Στο παρακάτω γράφημα φαίνεται από τις κόκκινες ράβδους ότι η περιεκτικότητα σε θερμότητα στον παγκόσμιο ωκεανό ήταν σταθερά πάνω από τον μέσο όρο από τα μέσα της δεκαετίας του ενενήντα και μετά. Περισσότερο από το 90% της υπερβολικής θερμότητας που παγιδεύεται στο σύστημα της Γης λόγω της υπερθέρμανσης του πλανήτη που προκαλείται από τον άνθρωπο, έχει απορροφηθεί από τους ωκεανούς.

OCEAN HEAT COMPARED TO AVERAGE

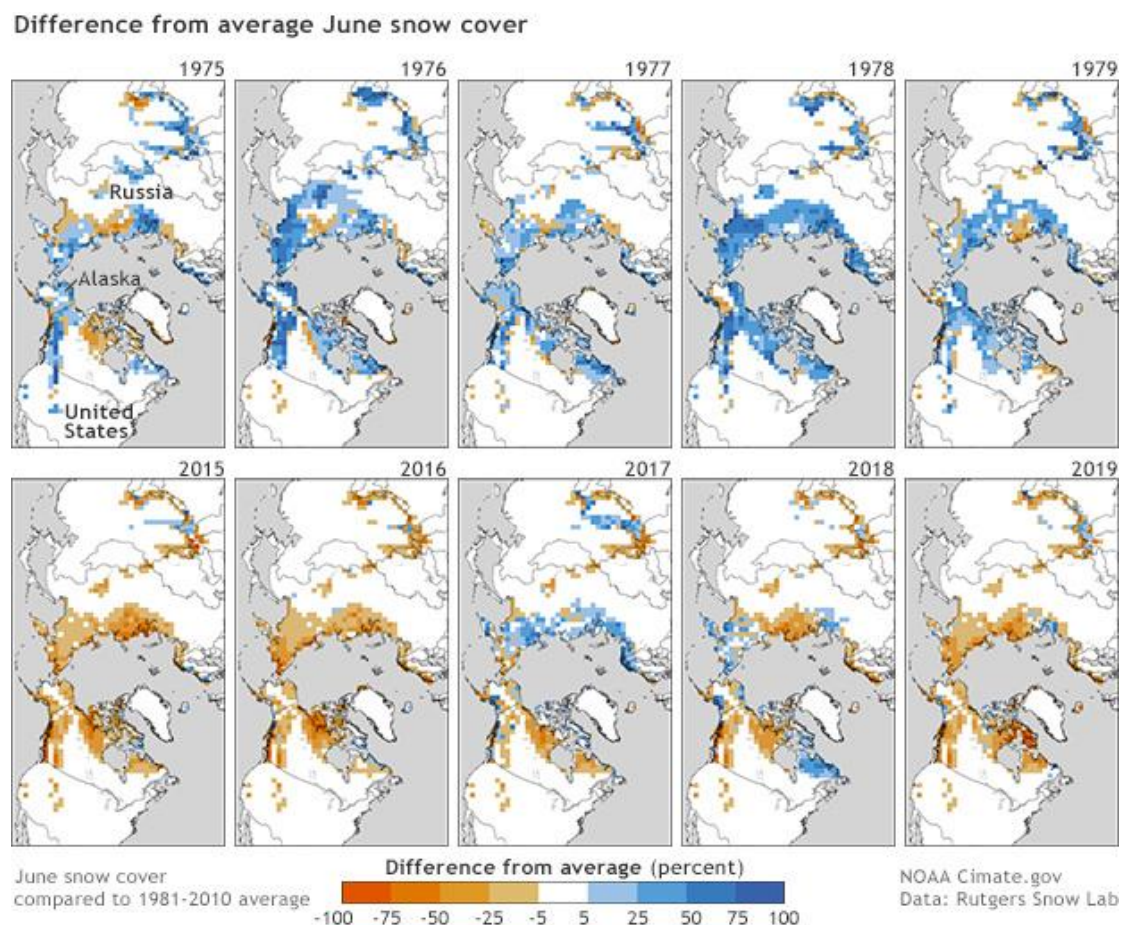


Διάγραμμα 4: Εποχιακή (3μηνη) θερμική ενέργεια στο άνω μισό μίλι του ωκεανού σε σύγκριση με τον μέσο όρο 1955-2006 (πηγή: NOAA Climate.gov graph, based on data (0-700m) from the NCEI Ocean Heat Content product collection).

2.4.6 Μείωση χιονοκάλυψης

Ο χρόνος της τήξης του ανοιξιάτικου χιονιού επηρεάζει τη διάρκεια της περιόδου καλλιέργειας, τον χρόνο και την ποσότητα της ποτάμιας εαρινής απορροής, την απόψυξη του μόνιμου παγετού, την άγρια ζωή και τον κίνδυνο πυρκαγιάς. Η μετεωρολογική ανοιξιάτικη (Μάρτιος–Μάιος) κάλυψη χιονιού το 2020 ήταν η τέταρτη μικρότερη που έχει καταγραφεί και η έκταση της χιονοκάλυψης αργότερα την άνοιξη (Απρίλιος-Ιούνιος) ήταν πάνω από το μέσο όρο μόλις 4 φορές τα τελευταία 20 χρόνια. Στα υψηλά γεωγραφικά πλάτη του βόρειου ημισφαιρίου, ο ρυθμός μείωσης του χιονιού ήταν τόσο δραματικός όσο ο ρυθμός απώλειας πάγου της θάλασσας της Αρκτικής.

Στην εικόνα που ακολουθεί φαίνεται η χιονοκάλυψη που επικρατεί το μήνα Ιούνιο στο βόρειο ημισφαίριο τις περιόδους 1975-1979 και 2015-2019. Παρατηρείται ότι, ιστορικά, μεγάλα τμήματα των μεγάλων γεωγραφικών πλατών του βόρειου ημισφαιρίου ήταν καλά καλυμμένα με χιόνι μέχρι τον Ιούνιο (μπλε περιοχές). Τέσσερις δεκαετίες αργότερα, η χιονοκάλυψη του Ιουνίου έχει μειωθεί σημαντικά (πορτοκαλί περιοχές).



Εικόνα 2: Η χιονοκάλυψη του Ιουνίου κάθε χρόνο από το 1975-1979 (πάνω σειρά) και από το 2015-2019 (κάτω σειρά) σε σύγκριση με τον μέσο όρο της περιόδου 1980-2010 (πηγή: Global Climate Dashboard, National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) Climate.gov, based on maps from Rutgers Snow Lab).

2.5 Επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής

Η παγκόσμια κλιματική αλλαγή έχει ήδη φανερές επιπτώσεις στο περιβάλλον αλλά και σε όλους τους τομείς της ανθρώπινης ζωής. Οι παγετώνες έχουν συρρικνωθεί, ο πάγος στα ποτάμια και τις λίμνες λιώνει νωρίτερα, η χλωρίδα

και η πανίδα έχουν μετατοπιστεί και τα δέντρα ανθίζουν νωρίτερα. Ακόμη οι αρνητικές επιπτώσεις διαγράφονται και στον τομέα της οικονομίας και της ποιότητας ζωής των ανθρώπων και όλων των ζωντανών οργανισμών. Επιπτώσεις που οι επιστήμονες είχαν προβλέψει στο παρελθόν ότι θα προκύψουν από την παγκόσμια κλιματική αλλαγή συμβαίνουν τώρα: απώλεια θαλάσσιου πάγου, επιταχυνόμενη άνοδος της στάθμης της θάλασσας και μεγαλύτεροι, πιο έντονοι καύσωνες (Environmental Protection Agency, United States and United Nations, Climate Action).

Κάποιες από τις κυριότερες επιπτώσεις είναι:

- Η παγκόσμια θερμοκρασία συνεχίζει να αυξάνεται αλλά αυτό δε γινόταν ούτε θα αρχίσει να γίνεται ομοιόμορφα σε όλη τη γη. Οι υψηλότερες θερμοκρασίες αυξάνουν τη συχνότητα, την ένταση και τη διάρκεια των κυμάτων καύσωνα, γεγονός που μπορεί να θέσει σε κίνδυνο την υγεία, ιδιαίτερα των μικρών παιδιών και των ηλικιωμένων.
- Η κλιματική αλλαγή μπορεί επίσης να επηρεάσει την ανθρώπινη υγεία χειροτερεύοντας την ποιότητα του αέρα και του νερού, αυξάνοντας την εξάπλωση ορισμένων ασθενειών και αλλάζοντας τη συχνότητα ή την ένταση των ακραίων καιρικών φαινομένων.
- Η άνοδος της στάθμης της θάλασσας απειλεί τις παράκτιες κοινότητες και τα οικοσυστήματα. Τις επόμενες δεκαετίες, οι καταιγίδες και οι υψηλές παλίρροιες θα μπορούσαν σε συνδυασμό με την άνοδο της στάθμης της θάλασσας και την καθίζηση της γης να αυξήσουν περαιτέρω τις πλημμύρες σε πολλές περιοχές.
- Οι αλλαγές στα μοτίβα και στην ποσότητα των βροχοπτώσεων, καθώς και οι αλλαγές στο χρονοδιάγραμμα και την ποσότητα ροής, μπορούν να επηρεάσουν την παροχή και την ποιότητα του νερού και την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας.
- Οι καταστροφικές καταιγίδες έχουν γίνει πιο έντονες και συχνότερες σε πολλές περιοχές. Καθώς οι θερμοκρασίες αυξάνονται, εξατμίζεται περισσότερη υγρασία, γεγονός που επιδεινώνει τις ακραίες βροχοπτώσεις και τις πλημμύρες. Ακόμη οι τυφώνες και οι κυκλώνες ενισχύονται από τα ζεστά νερά του συνεχώς θερμαινόμενου ωκεανού. Τέτοιες καταιγίδες συχνά καταστρέφουν σπίτια και κοινότητες, προκαλώντας θανάτους και τεράστιες οικονομικές απώλειες.
- Τα μεταβαλλόμενα οικοσυστήματα επηρεάζουν τις γεωγραφικές περιοχές πολλών ειδών φυτών και ζώων και τον χρόνο των γεγονότων του κύκλου ζωής τους, όπως η μετανάστευση και η αναπαραγωγή. Ακόμη, μια μεγάλη απειλή είναι η εξαφάνιση πολλών ειδών λόγω αδυναμίας επιβίωσης τους στις νέες περιβαλλοντικές συνθήκες. Αυτοί οι κίνδυνοι αυξάνονται καθώς οι θερμοκρασίες ανεβαίνουν. Ο κόσμος χάνει είδη με ρυθμό 1.000 φορές μεγαλύτερο από κάθε άλλη στιγμή στην καταγεγραμμένη ανθρώπινη ιστορία. Ένα εκατομμύριο είδη κινδυνεύουν να εξαφανιστούν μέσα στις επόμενες δεκαετίες. Οι δασικές πυρκαγιές, τα ακραία καιρικά φαινόμενα και τα επεμβατικά παράσιτα και ασθένειες

είναι μεταξύ πολλών απειλών που σχετίζονται με την κλιματική αλλαγή. Μερικά είδη θα μπορέσουν να μεταναστεύσουν και να επιβιώσουν, αλλά πολλά όχι.

- Οι άνοδοι στη συχνότητα και την ένταση των ακραίων καιρικών φαινομένων, όπως τα κύματα καύσωνα, οι ξηρασίες και οι πλημμύρες, μπορούν να αυξήσουν τις απώλειες σε ακίνητα, να προκαλέσουν δαπανηρές καταστροφές στην κοινωνία και να μειώσουν την οικονομική ασφάλεια.
- Οι περίοδοι ξηρασίας πληθαίνουν. Η κλιματική αλλαγή αλλάζει τη διαθεσιμότητα του νερού, καθιστώντας το πιο σπάνιο σε περισσότερες περιοχές οδηγώντας σε αυξημένο κίνδυνο γεωργικών ξηρασιών επηρεάζοντας τις καλλιέργειες, ενώ οι οικολογικές ξηρασίες αυξάνουν την ευπάθεια των οικοσυστημάτων. Οι ξηρασίες είναι ικανές επίσης να προκαλέσουν καταστροφικές καταιγίδες άμμου και σκόνης που μπορούν να μετακινήσουν δισεκατομμύρια τόνους άμμου σε όλες τις ηπείρους. Οι έρημοι επεκτείνονται, μειώνοντας τη γη για την καλλιέργεια τροφίμων και όλο και περισσότεροι άνθρωποι αντιμετωπίζουν τον κίνδυνο να μην έχουν αρκετό νερό σε τακτική βάση.
- Η κλιματική αλλαγή είναι η μεγαλύτερη απειλή για την υγεία που αντιμετωπίζει σήμερα η ανθρωπότητα. Οι κλιματικές επιπτώσεις βλάπτουν ήδη την υγεία, μέσω της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, των ασθενειών, των ακραίων καιρικών φαινομένων, της αναγκαστικής μετακίνησης, των πιέσεων στην ψυχική υγεία και της αυξημένης πείνας και της κακής διατροφής σε μέρη όπου οι άνθρωποι δεν μπορούν να αναπτυχθούν ή να βρουν επαρκή τροφή. Κάθε χρόνο, 13 εκατομμύρια άνθρωποι χάνουν τη ζωή τους λόγω περιβαλλοντικών παραγόντων δυσκολεύοντας το σύστημα υγείας να συμβαδίσει με αυτή την κατάσταση.
- Η κλιματική αλλαγή αυξάνει τους παράγοντες που θέτουν τους ανθρώπους στη φτώχεια. Οι πλημμύρες μπορεί να παρασύρουν αστικές φτωχογειτονιές, καταστρέφοντας σπίτια και μέσα διαβίωσης. Η ζέστη μπορεί να δυσκολέψει την εργασία σε υπαίθριες εργασίες. Η λειψυδρία μπορεί να επηρεάσει τις καλλιέργειες. Την τελευταία δεκαετία (2010–2019), τα καιρικά φαινόμενα εκτόπισαν περίπου 23,1 εκατομμύρια ανθρώπους κατά μέσο όρο κάθε χρόνο, αφήνοντας πολλούς περισσότερους ευάλωτους στη φτώχεια. Δεν είναι τυχαίο άλλωστε ότι οι περισσότεροι πρόσφυγες προέρχονται από χώρες που είναι πιο ευάλωτες και λιγότερο έτοιμες να προσαρμοστούν στις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής.

3. Μεθοδολογία

Στη συγκεκριμένη εργασία αναπτύχθηκαν οι βασικές κλιματικές μεταβλητές της μέγιστης και της ελάχιστης θερμοκρασίας (temperature max/min) και του υετού (precipitation) και οι βασικοί κλιματικοί δείκτες των ζεστών και κρύων ημερών (hot/frost/ice days) και των συνεχόμενων υγρών και ξηρών ημερών (consecutive wet/dry days). Οι αναλύσεις αυτές έγιναν με την εφαρμογή εξαγωγής δεδομένων για το περιφερειακό κλίμα DEAR-Clima (<http://meteo3.geo.auth.gr:3838/>) με εκτέλεση των διαθέσιμων περιοχικών κλιματικών μοντέλων RCMs και σε συνδιασμό με τα κλιματικά σενάρια RCP4.5 και RCP8.5 (Εικόνα 3).

3.1 DEAR-Clima

Όπως επισημάνθηκε παραπάνω, το πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση των κλιματικών μεταβλητών και δεικτών είναι το DEAR-Clima το οποίο είναι ένα φιλικό προς τον χρήστη διαδραστικό εργαλείο διαδικτυακής εφαρμογής που απεικονίζει και παρέχει χρονοσειρές βασικών κλιματικών μεταβλητών και κλιματικών δεικτών με βάση προσομοιώσεις Περιοχικού Κλιματικού Μοντέλου (RCMs) υψηλής οριζόντιας ανάλυσης από τη Συντονισμένη Περιφερειακή Υποκλιμάκωση Πείραμα (CORDEX) από ερευνητικό πρόγραμμα. Η αξιόπιστη πρόσβαση σε δεδομένα κλιματικής αλλαγής είναι απαραίτητη για τη λήψη αποφάσεων για τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής το μετριασμό και κατάλληλη προσαρμογή.

Τα δεδομένα RCMs που επεξεργάζονται σε αυτό το εργαλείο διαδικτυακής εφαρμογής έχουν υψηλή χωρική ανάλυση (0,11°) σε σχέση με τον ευρωπαϊκό τομέα και καλύπτουν μια χρονική περίοδο από το 1950 έως το 2100. Η ιστορική περίοδος κάθε πειράματος αναφέρεται στο 1950-2005, ενώ η μελλοντική περίοδος είναι το 2006 -2100 υπό την επιρροή τριών Αντιπροσωπευτικών Διαδρομών Συγκέντρωσης (RCP) που υιοθετήθηκαν από την IPCC για την πέμπτη Έκθεση Αξιολόγησης (AR5): rcp26, rcp45 και rcp85. Τα πειράματα προσομοίωσης είναι προϊόν διαφόρων RCM που οδηγούνται από διάφορα Παγκόσμια Κλιματικά Μοντέλα (GCM). Η ανάπτυξη αυτού του εργαλείου διαδικτυακής εφαρμογής χρηματοδοτήθηκε από το έργο GEO-CRADLE που στοχεύει στο συντονισμό και την ενσωμάτωση σύγχρονων δραστηριοτήτων Παρατήρησης της Γης στις περιοχές της Βόρειας Αφρικής, της Μέσης Ανατολής και των Βαλκανίων. Ο διακομιστής βρίσκεται υπό τη διεύθυνση του Τμήματος Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας, Γεωλογικής Σχολής, στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, στην Ελλάδα.

Scenario	Period	RCM	GCM
historical	195001-200512	CLMcom-CCLM4-8-17	CNRM-CERFACS-CNRM-CM5
historical	195001-200512	CNRM-ALADIN53	CNRM-CERFACS-CNRM-CM5
historical	197001-200512	SMHI-RCA4	CNRM-CERFACS-CNRM-CM5
historical	195001-200512	KNMI-RACMO22E	ICHEC-EC-EARTH
historical	195101-200512	IPSL-INERIS-WRF331F	IPSL-IPSL-CM5A-MR
historical	197001-200512	SMHI-RCA4	IPSL-IPSL-CM5A-MR
historical	194912-200512	CLMcom-CCLM4-8-17	MOHC-HadGEM2-ES
historical	197001-200512	SMHI-RCA4	MOHC-HadGEM2-ES
historical	194912-200512	CLMcom-CCLM4-8-17	MPI-M-MPI-ESM-LR
historical	195002-200512	MPI-CSC-REMO2009	MPI-M-MPI-ESM-LR
rcp26	200601-210012	CNRM-ALADIN53	CNRM-CERFACS-CNRM-CM5
rcp26	200601-210012	MPI-CSC-REMO2009	MPI-M-MPI-ESM-LR
rcp45	200601-210012	CLMcom-CCLM4-8-17	CNRM-CERFACS-CNRM-CM5
rcp45	200601-210012	CNRM-ALADIN53	CNRM-CERFACS-CNRM-CM5
rcp45	200601-210012	KNMI-RACMO22E	ICHEC-EC-EARTH
rcp45	200601-210012	IPSL-INERIS-WRF331F	IPSL-IPSL-CM5A-MR
rcp45	200601-210012	SMHI-RCA4	IPSL-IPSL-CM5A-MR
rcp45	200601-209911	CLMcom-CCLM4-8-17	MOHC-HadGEM2-ES
rcp45	200601-209911	SMHI-RCA4	MOHC-HadGEM2-ES
rcp45	200601-210012	CLMcom-CCLM4-8-17	MPI-M-MPI-ESM-LR
rcp45	200601-210012	MPI-CSC-REMO2009	MPI-M-MPI-ESM-LR
rcp85	200601-210012	CLMcom-CCLM4-8-17	CNRM-CERFACS-CNRM-CM5
rcp85	200601-210012	CNRM-ALADIN53	CNRM-CERFACS-CNRM-CM5
rcp85	200601-210012	KNMI-RACMO22E	ICHEC-EC-EARTH
rcp85	200601-210012	IPSL-INERIS-WRF331F	IPSL-IPSL-CM5A-MR
rcp85	200601-210012	SMHI-RCA4	IPSL-IPSL-CM5A-MR
rcp85	200601-209912	CLMcom-CCLM4-8-17	MOHC-HadGEM2-ES
rcp85	200601-209912	SMHI-RCA4	MOHC-HadGEM2-ES
rcp85	200601-210012	CLMcom-CCLM4-8-17	MPI-M-MPI-ESM-LR
rcp85	200601-210012	MPI-CSC-REMO2009	MPI-M-MPI-ESM-LR

Εικόνα 3: Τα περιοχικά μοντέλα και τα κλιματικά σενάρια που χρησιμοποιούνται στο πρόγραμμα.

Η περιοχή ολοκλήρωσης της εφαρμογής είναι το EURO-CORDEX που καλύπτει την ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης συμπεριλαμβανομένης της Μεσογείου και ένα μέρος της Β. Αφρικής. Η χωρική ανάλυση των προσομοιώσεων CORDEX που χρησιμοποιούνται σε αυτήν την εφαρμογή είναι $11^{\circ} \times 11^{\circ}$. Το κατά προσέγγιση κέντρο των ορίων είναι 27°B - 72°B και 22°Δ - 45°Α , ενώ το κεντρικό σημείο του τομέα είναι $49,68^{\circ}\text{B}$ και $9,75^{\circ}\text{Α}$.

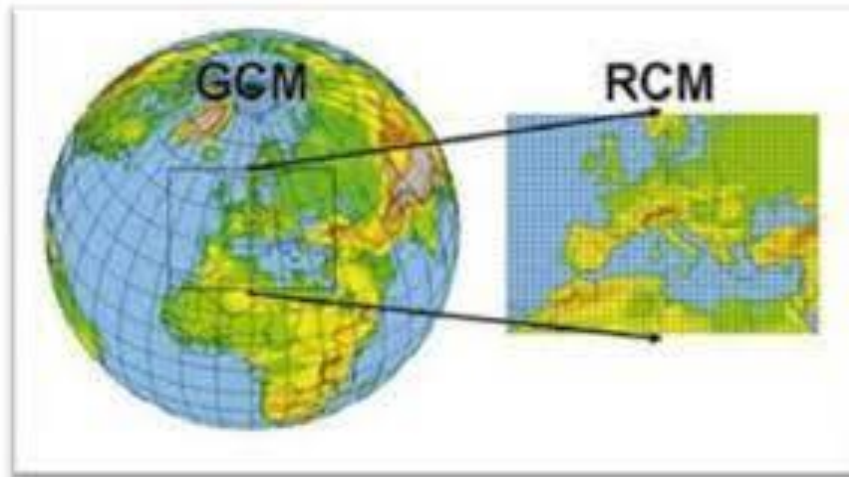


Εικόνα 4: Η περιοχή ολοκλήρωσης EURO – CORDEX

RCMs Περιοχικό κλιματικό μοντέλο

Τα περιοχικά κλιματικά μοντέλα χρησιμοποιούνται για την προσομοίωση του κλίματος της Γης σε υψηλή χωρική ανάλυση, υψηλότερη από αυτή των Μοντέλων Γενικής Κυκλοφορίας (GCM) και σε αναφορά με μια συγκεκριμένη και περιορισμένη χωρικά περιοχή. Ο σημαντικότερος ρόλος που έχουν αυτά τα μοντέλα είναι η προσθήκη λεπτομέρειας στην τοπογραφία και στις φυσικές παραμέτρους, στη συγκεκριμένη κλίμακα για την οποία αρχικά κατασκευάστηκαν. Όπως φαίνεται στην εικόνα 5 για τη δημιουργία ενός περιοχικού μοντέλου προαπαιτείται η ύπαρξη ενός οδηγού GCM καθώς η ανάπτυξη του αποτελεί τη σύνδεση πολλών μοντέλων που ανήκουν στο ίδιο GCM, αλλά είναι διαφορετικής κλίμακας ώστε να προκύψουν λεπτομερείς τοπικές συνθήκες. Η διαδικασία αυτή βασίζεται στην χρήση πολύπλοκων αρχικών συνθηκών, καθορισμένων πλευρικών και επιφανειακών συνθηκών και συζευγμένων ατμοσφαιρικών-ωκεάνιων μοντέλων γενικής κυκλοφορίας. Ένα κύριο πλεονέκτημα των RCMs είναι ότι περιγράφουν με μεγαλύτερη ακρίβεια τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας όπως την ορεογραφία, την κατανομή ξηράς και θάλασσας και τη χρήση της Γης, τα οποία δεν είναι εφικτό να προβληθούν

με προσομοιώσεις των GCMs επειδή οι διαστάσεις τους είναι πολύ μικρότερες από αυτές του του πλέγματος των GCMs(https://www.pde.gov.gr/gr/images/stories/pespka/2_klimatikes_metavol-es_pde.pdf)



Εικόνα 5: Χωρική ανάλυση Περιοχικών Κλιματικών Μοντέλων(πηγή: World Meteorological Organization)

Τα σενάρια που χρησιμοποιούνται στη παρούσα εργασία είναι το RCP4.5 και το RCP8.5. Πιο συγκεκριμένα:

RCP4.5

Το RCP4.5 θέτει ως στόχο τη σταθεροποίηση της παγκόσμιας δύναμης της ακτινοβολίας στα $4,5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ (που ισοδυναμεί με 650 ppm CO₂) χωρίς ποτέ να υπερβεί αυτή την τιμή μέχρι το έτος 2100. Η μεγαλύτερη εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου σημειώνεται το 2040 και αρχίζει να μειώνεται από το σημείο αυτό και έπειτα. Το σενάριο έχει σχεδιαστεί ώστε να είναι οικονομικά αποδοτικό για την επίτευξη του στόχου επιβολής ακτινοβολίας. Προϋποθέτει τεχνολογικές προόδους συνδυάζοντας την παραγωγή βιοενέργειας μαζί με τη δέσμευση CO₂ και τη γεωλογική αποθήκευση (CCS), που θα επιλύσουν σε κάποιο βαθμό τις ενεργειακές απαιτήσεις του πλανήτη αποτελεσματικά.

RCP8.5

Το RCP8.5 προϋποθέτει ένα μέλλον με μεγάλο παγκόσμιο πληθυσμό, έλλειψη περιβαλλοντικών πολιτικών και πολιτικών για την κλιματική αλλαγή, σχετικά χαμηλή οικονομική ευημερία σε συνδυασμό με μέτριο ρυθμό τεχνολογικής πρόόδου που δεν επιλύει αποτελεσματικά τις ενεργειακές απαιτήσεις. Έτσι, οι

εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου αυξάνονται ραγδαία καθ' όλη τη διάρκεια του 21ου αιώνα αυξάνοντας την ακτινοβολία των αερίων του θερμοκηπίου μέχρι τα $8,5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ σε σχέση με την προβιομηχανική περίοδο.

4. Αποτελέσματα

Στην παρούσα έρευνα με την εφαρμογή Dear- CLIMA μελετώνται για τις πρωτεύουσες τριών χωρών που βρίσκονται σε διαφορετικό γεωγραφικό πλάτος οι βασικές κλιματικές μεταβλητές της μέγιστης και της ελάχιστης θερμοκρασίας και του υετού και οι βασικοί κλιματικοί δείκτες των ζεστών και κρύων ημερών και των συνεχόμενων υγρών και ξηρών ημερών. Οι πόλεις που επιλέχθηκαν είναι η Αθήνα (Ελλάδα), το Βερολίνο (Γερμανία) και το Όσλο (Νορβηγία). Τα αποτελέσματα εξάγονται σε ετήσιο χρόνο και η εξέλιξη της μέσης τιμής παρουσιάζεται με το ΔT το οποίο υπολογίζεται από την αφαίρεση της μέσης τιμής της περιόδου 1960-1990 από τις τιμές της ιστορικής (1950-2005) και μελλοντικής (2006-2100) περιόδου για τα κλιματικά σενάρια rcp4.8 και rcp8.5.

4.1 Αθήνα (Ελλάδα)

Γεωγραφικό πλάτος: 37.9838

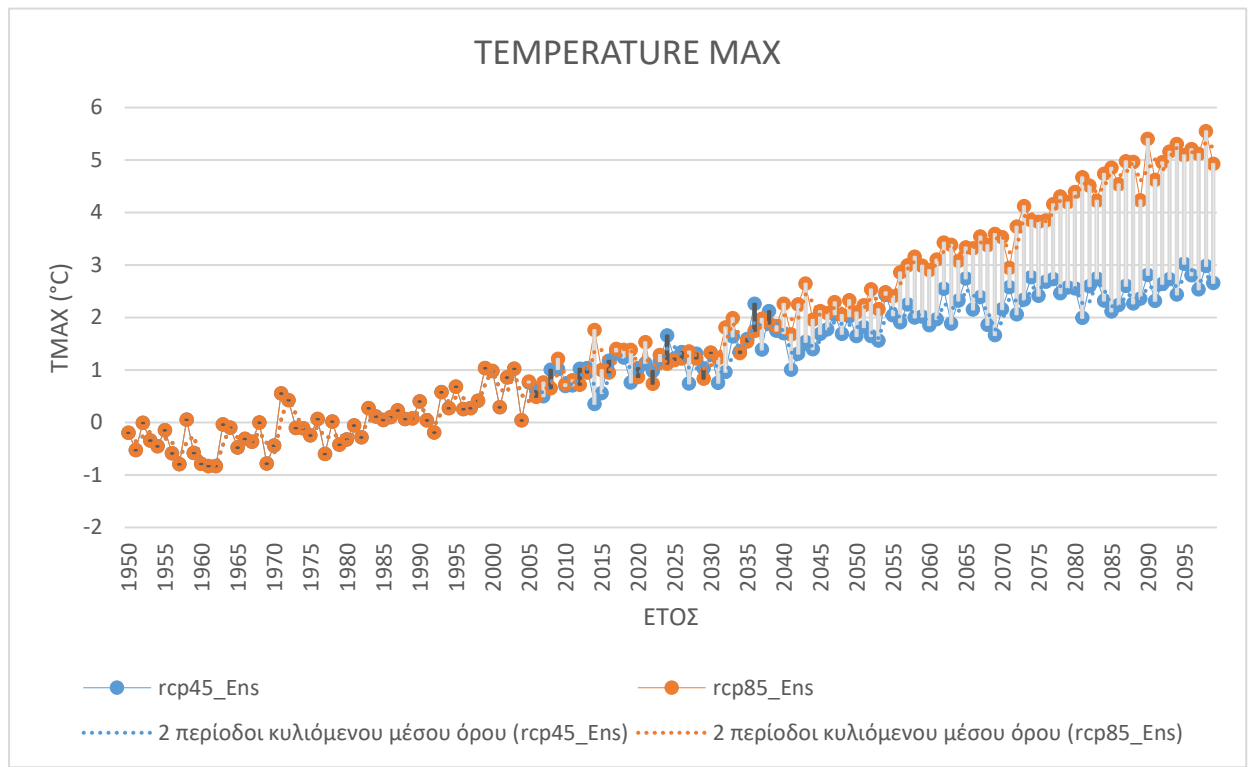
Γεωγραφικό μήκος: 23.7275

4.1.1 Κλιματικές Μεταβλητές

Μέγιστη θερμοκρασία

Στην εικόνα 6 παρουσιάζονται οι μεταβολές της μέγιστης θερμοκρασίας για την περίοδο 1950-2100 για ένα σύνολο από διαφορετικά RCMs για την περιοχή της Αθήνας. Από το 1950 μέχρι το 2005 τα κλιματικά μοντέλα διαμορφώνονται από τα ήδη υπάρχοντα στοιχεία. Από το 2006 μέχρι το 2100, όμως, τα κλιματικά μοντέλα οδηγούνται πλέον από τα κλιματικά σενάρια rcp4.5 (μπλε γραμμή) και rcp8.5 (πορτοκαλί γραμμή). Οι μεταβολές των τιμών εξάγονται με βάση το πεδίο αναφοράς 1960-1990 (ΔT). Στο διάγραμμα (εικόνα 6) οι κατακόρυφοι ράβδοι δείχνουν την ανεξέλεγκτη αύξηση της μέγιστης θερμοκρασίας για το σενάριο rcp8.5 το οποίο είναι το πιο απαισιόδοξο αφού αντιπροσωπεύει τη ραγδαία αύξηση των εκπομπών του αερίου του θερμοκηπίου. Από την άλλη το σενάριο rcp4.5 προβλέπει μικρότερη άνοδο της μέσης μέγιστης θερμοκρασίας, αφού σε αυτό το σενάριο οι εκπομπές του θερμοκηπίου παρουσιάζουν μείωση από το 2040 και έπειτα. Ακόμη στο διάγραμμα διαφράφονται και οι κυλιόμενοι μέσοι. Στον πίνακα 1 φαίνεται εύκολα ότι από το 2070 και μετά η άνοδος της

μέγιστης θερμοκρασίας είναι πλέον σε μη αναστρέψιμο και όλο αυξανόμενο ρυθμό.



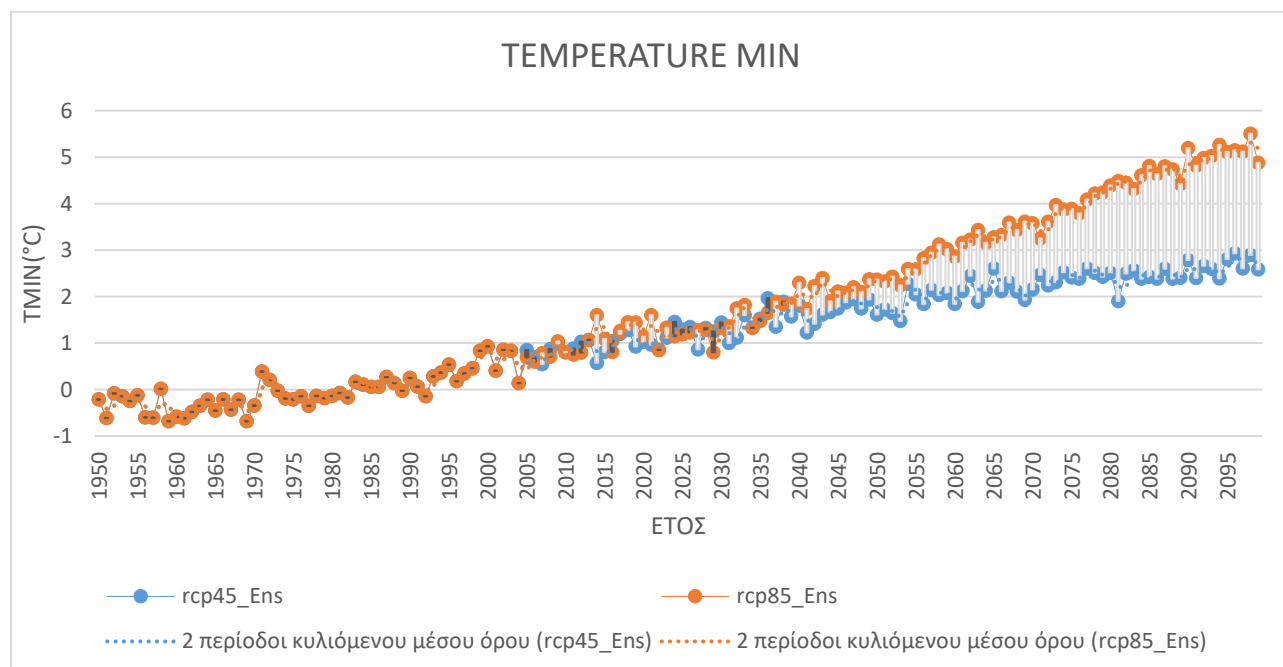
Εικόνα 6: Ετήσιες χρονοσειρές μεταβολής της μέγιστης θερμοκρασίας (σε σχέση με την περίοδο αναφοράς 1960-1990) για το πλεγματικό κελί της Αθήνας από τις διαθέσιμες προσομοιώσεις RCMs (1950-2100) και των σεναρίων rcp4.5 (μπλε γραμμή) και rcp8.5 (πορτοκαλί γραμμή).

Έτος	Rcp4.4	Rcp8.5
1950-1960	-0.30693	-0.30693
1961-1970	-0.45253	-0.45253
1971-1980	-0.0869	-0.0869
1981-1990	0.024997	0.024997
1991-2000	0.377119	0.377119
2001-2010	0.708179	0.707929
2011-2020	0.889194	1.108156
2021-2030	1.160301	1.135688
2031-2040	1.515256	1.66532
2041-2050	1.619327	2.16626
2051-2060	1.930858	2.589817
2061-2070	2.137996	3.305541
2071-2080	2.47655	3.850603
2081-2090	2.378868	4.609282
2091-2100	2.694688	5.132903

Πίνακας 1: Παρουσίαση μέσων ετήσιων μέγιστων θερμοκρασιακών αλλαγών (°C) ανά δεκαετία για την περίοδο 1950-2100. Από το 1960 έως το 2005 τα κλιματικά μοντέλα οδηγούνται από ιστορικά κλιματικά σενάρια ενώ από το 2006 έως το 2100 τα κλιματικά μοντέλα οδηγούνται από τα κλιματικά σενάρια rcp4.5 και rcp8.5.

Ελάχιστη θερμοκρασία

Στην εικόνα 7 παρουσιάζονται οι μεταβολές της ελάχιστης θερμοκρασίας για την περίοδο 1950-2100 για ένα σύνολο από διαφορετικά RCMs για την περιοχή της Αθήνας. Όπως συνέβη και με τη μέγιστη θερμοκρασία, υπάρχει και εδώ μια παρόμοια κατάσταση. Το σενάριο RCP8.5 δείχνει ραγδαία αύξηση της ελάχιστης θερμοκρασίας ειδικότερα από το έτος 2040 και έπειτα ενώ το RCP4.5 παρουσιάζει σταθερή αλλά ομαλότερη αύξηση. Οι μέσες ετήσιες θερμοκρασιακές μεταβολές της ελάχιστης θερμοκρασίας στην Αθήνα, κυμαίνονται περίπου στο ίδιο επίπεδο με τις μεταβολές της μέγιστης θερμοκρασίας (πίνακας 1 και 2).



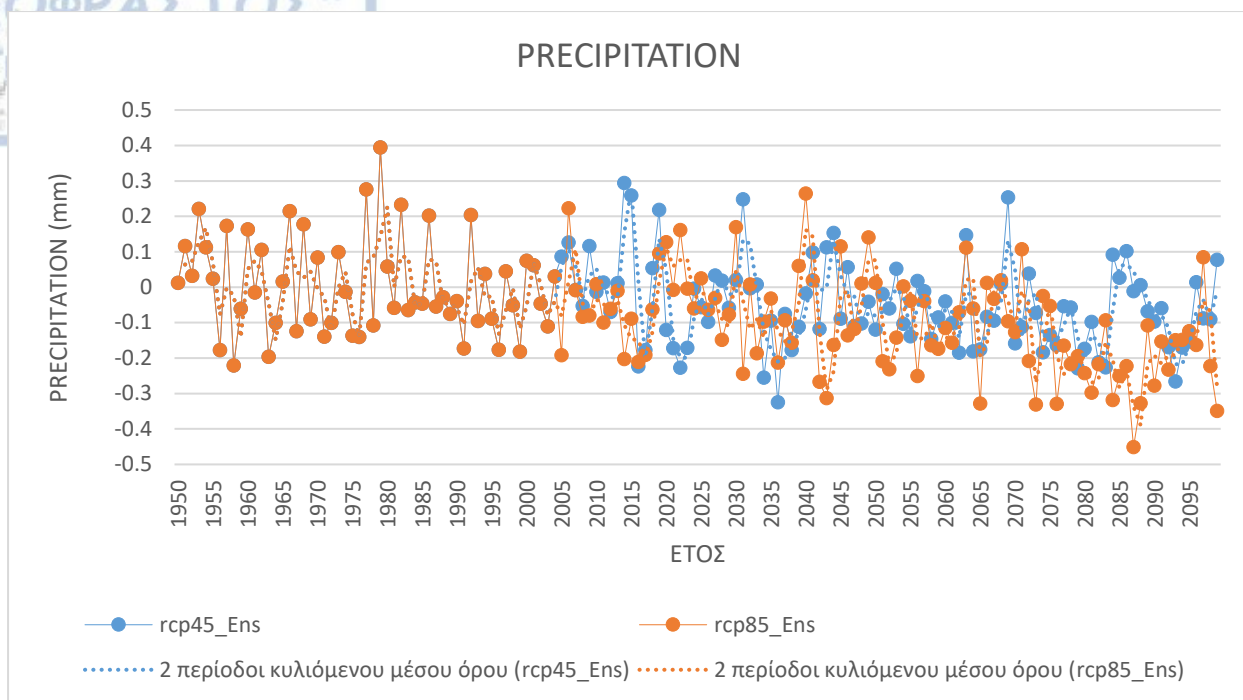
Εικόνα 7: Ετήσιες χρονοσειρές μεταβολής της ελάχιστης θερμοκρασίας (σε σχέση με την περίοδο αναφοράς 1960-1990) για το πλεγματικό κελί της Αθήνας από τις διαθέσιμες προσομοιώσεις RCMs (1950-2100) και των σεναρίων rcp4.5 (μπλε γραμμή) και rcp8.5 (πορτοκαλί γραμμή).

Έτος	Rcp4.5	Rcp8.5
1950-1960	-0.28377	-0.28377
1961-1970	-0.42131	-0.42131
1971-1980	-0.09539	-0.09539
1981-1990	0.042505	0.042505
1991-2000	0.32166	0.32166
2001-2010	0.71467	0.70082
2011-2020	0.96308	1.11016
2021-2030	1.152432	1.18747
2031-2040	1.481943	1.628321
2041-2050	1.70015	2.143041
2051-2060	1.891046	2.646136
2061-2070	2.150317	3.307547
2071-2080	2.405529	3.85172
2081-2090	2.407508	4.568432
2091-2100	2.667691	5.105647

Πίνακας 2: Παρουσίαση μέσων ετήσιων ελάχιστων θερμοκρασιακών αλλαγών (°C) ανά δεκαετία για την περίοδο 1950-2100. . Από το 1960 έως το 2005 τα κλιματικά μοντέλα οδηγούνται από ιστορικά κλιματικά σενάρια ενώ από το 2006 έως το 2100 τα κλιματικά μοντέλα οδηγούνται από τα κλιματικά σενάρια rcp4.5 και rcp8.5.

Υετός

Με την εφαρμογή DEAR – Clima βρέθηκαν για την περιοχή της Αθήνας οι μεταβολές για το ετήσιο ποσό υετού (σε mm/ ημέρα) για τη χρονική περίοδο 1950-2100 σε σχέση πάλι με την περίοδο αναφοράς 1960-1990. Από το 1950 μέχρι το 2005 τα κλιματικά μοντέλα διαμορφώνονται από τα ήδη υπάρχοντα στοιχεία. Από το 2006 μέχρι το 2100, όμως, τα κλιματικά μοντέλα οδηγούνται πλέον από τα κλιματικά σενάρια rcp4.5 (μπλε γραμμή) και rcp8.5 (πορτοκαλί γραμμή). Οι μεταβολές των τιμών εξάγονται με βάση το πεδίο αναφοράς 1960-1990 (ΔΤ). Στην εικόνα 8 παρουσιάζεται το διάγραμμα στο οποίο φαίνονται οι ετήσιες χρονοσειρές μεταβολής του υετού και των κυλιόμενων μέσων σύμφωνα με ένα σύνολο από διαφορετικά RCMs και τα δύο κλιματικά σενάρια. Στο διάγραμμα αυτό γίνεται κατανοητό ότι υπάρχει μικρή μεταβολή στα ετήσια ποσά υετού για την Αθήνα αφού οι κυλιόμενοι μέσοι παρουσιάζουν μικρές αποκλίσεις και για τα δύο σενάρια που χρησιμοποιήθηκαν. Κατά πλειοψηφία και στα δύο σενάρια σημειώνονται αρνητικές τιμές ενώ για μια ακόμη φορά το σενάριο rcp4.5 έχει πιο ομαλές διακυμάνσεις από το rcp8.5.



Εικόνα 8: Ετήσιες χρονοσειρές μεταβολής του υετού (σε σχέση με την περίοδο αναφοράς 1960-1990) για το πλεγματικό κελί της Αθήνας από τις διαθέσιμες προσομοιώσεις RCMs (1950-2100) και των σεναρίων rcp4.5 (μπλε γραμμή) και rcp8.5 (πορτοκαλί γραμμή).

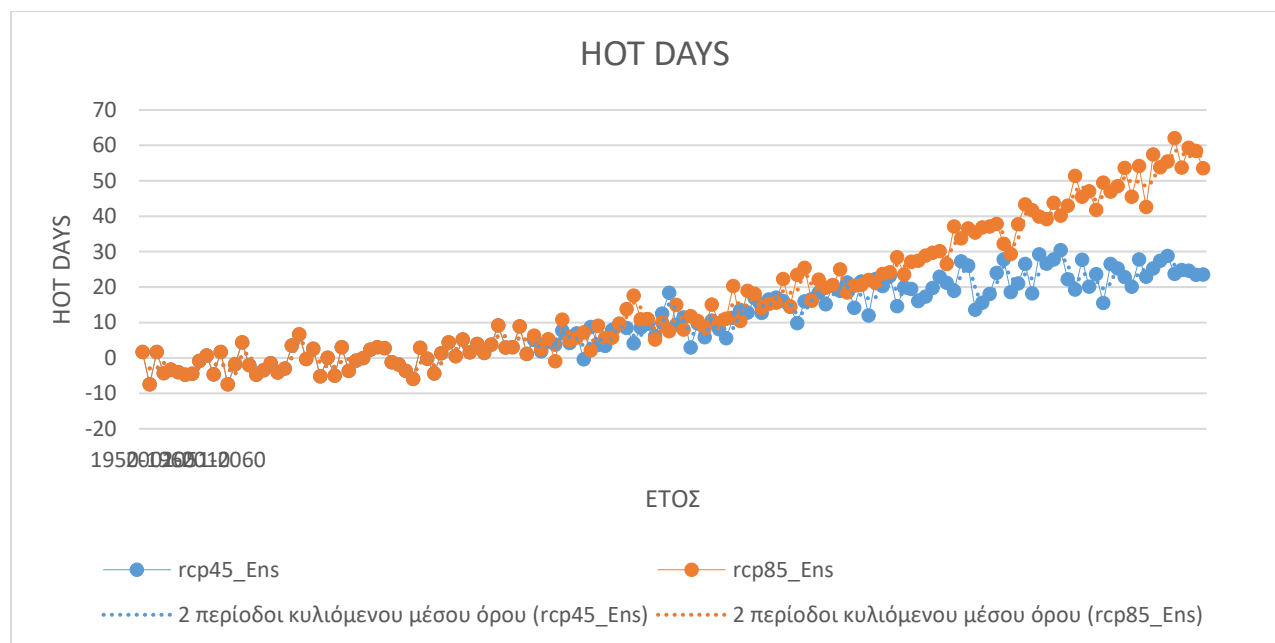
Έτος	Rcp4.5	Rcp8.5
1950-1960	0.006722	0.006722
1961-1970	0.014987	0.014987
1971-1980	0.021476	0.021476
1981-1990	0.012251	0.012251
1991-2000	-0.05185	-0.05185
2001-2010	0.027865	-0.0131
2011-2020	0.036731	-0.08213
2021-2030	-0.08544	-0.00769
2031-2040	-0.0765	-0.07864
2041-2050	-0.00574	-0.04459
2051-2060	-0.06119	-0.12322
2061-2070	-0.04488	-0.0716
2071-2080	-0.11275	-0.15413
2081-2090	-0.05621	-0.25268
2091-2100	-0.1	-0.17349

Πίνακας 3: Παρουσίαση μέσων ετήσιων μεταβολών του υετού (mm/day) για την περίοδο 1950-2100. . Από το 1960 έως το 2005 τα κλιματικά μοντέλα οδηγούνται από ιστορικά κλιματικά σενάρια ενώ από το 2006 έως το 2100 τα κλιματικά μοντέλα οδηγούνται από τα κλιματικά σενάρια rcp4.5 και rcp8.5.

4.1.2 Κλιματικοί Δείκτες

Hot Days (HD): Αριθμός ημερών μέσα σε ένα έτος όπου η μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία (T_{max}) είναι μεγαλύτερη από 35°C .

Με την εφαρμογή DEAR – Clima βρέθηκαν για την περιοχή της Αθήνας οι μεταβολές για το πλήθος των ζεστών ημερών για τη χρονική περίοδο 1950-2100 σε σχέση πάλι με την περίοδο αναφοράς 1960-1990. Με μια πρώτη όψη στο διάγραμμα της εικόνας 9, παρατηρείται η ραγδαία αύξηση των ζεστών ημερών κατά τη διάρκεια της μελλοντικής περιόδου (2006-2100) σε σύγκριση με την ιστορική (1950-2005). Από τη μεγάλη τυπική απόκλιση μεταξύ των δύο μοντέλων γίνεται αντιληπτό ότι το σενάριο που δίνει συνεχή αύξηση των αερίων του θερμοκηπίου, δηλαδή το RCP8.5, αποτελείται από όλο και περισσότερες ζεστές ημέρες ενώ το σενάριο που δίνει μετριασμό των εκπομπών των αερίων, δηλαδή το RCP4.5, εμφανίζει αφενός αύξηση των ζεστών ημερών αλλά με μικρότερο και σταθερότερο ρυθμό. Από τον πίνακα 2 γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι με τη συνεχή αλλαγή του κλίματος σημειώνονται όλο και περισσότερες ζεστές ημέρες και μάλιστα τη δεκαετία 2091-2100 ο μέσος αριθμός τους θα είναι περίπου 58 μέρες, κάτι που αποτελεί τεράστια αλλαγή αν αναλογιστεί κανείς ότι πριν 100 χρόνια τη δεκαετία 1991-2000 σημειώθηκε μόλις 1 μέρα όπου η θερμοκρασία ξεπέρασε τους 35°C .



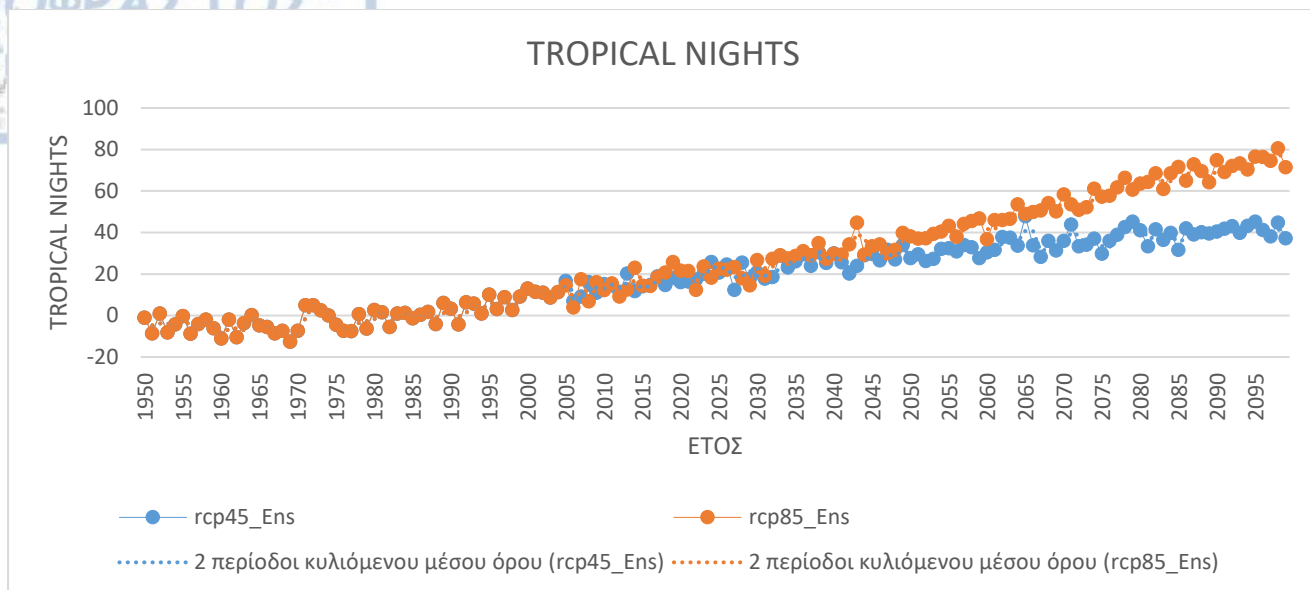
Εικόνα 9: Ετήσιες χρονοσειρές μεταβολής των ζεστών ημερών (σε σχέση με την περίοδο αναφοράς 1960-1990) για το πλεγματικό κελί της Αθήνας από τις διαθέσιμες προσομοιώσεις RCMs (1950-2100) και των σεναρίων rcp4.5 (μπλε γραμμή) και rcp8.5 (πορτοκαλί γραμμή).

Έτος	Rcp4.5	Rcp8.5
1950-1960	-2.74834	-2.74834
1961-1970	-2.09141	-2.09141
1971-1980	-0.14226	-0.14226
1981-1990	-0.27226	-0.27226
1991-2000	1.747738	1.747738
2001-2010	4.807738	4.897738
2011-2020	5.647738	8.127738
2021-2030	9.437738	9.807738
2031-2040	12.47774	14.85774
2041-2050	16.68774	20.76774
2051-2060	18.33774	23.83774
2061-2070	20.05774	33.18774
2071-2080	25.01774	38.51774
2081-2090	22.30774	47.27774
2091-2100	25.22438	55.04438

Πίνακας 4: Παρουσίαση μέσων ετήσιων μεταβολών του αριθμού των ζεστών ημερών ανά δεκαετία για την περίοδο 1950-2100. . Από το 1960 έως το 2005 τα κλιματικά μοντέλα οδηγούνται από ιστορικά κλιματικά σενάρια ενώ από το 2006 έως το 2100 τα κλιματικά μοντέλα οδηγούνται από τα κλιματικά σενάρια rcp4.5 και rcp8.5.

Tropical Nights (TR): Αριθμός ημερών μέσα σε ένα χρόνο όπου η ημερήσια ελάχιστη θερμοκρασία (Tmin) είναι μεγαλύτερη από 20 C.

Με την ίδια διεργασία βρέθηκαν για την περιοχή της Αθήνας οι μεταβολές για το πλήθος των ζεστών ημερών για τη χρονική περίοδο 1950-2100 σε σχέση πάλι με την περίοδο αναφοράς 1960-1990. Όπως γίνεται φανερό από την απόκλιση των τυπικών μέσων στην εικόνα 10 τα δύο σενάρια αρχίζουν να διαφοροποιούνται έντονα από το 2050 και μετά. Το απαισιόδοξο σενάριο rcp8.5 εμφανίζει ραγδαία αύξηση των ημερών κατά των οποίων η ελάχιστη θερμοκρασία είναι πάνω από 20 βαθμούς κελσίου και μάλιστα τη δεκαετία 2091-2100 θα σημειώνονται πλέον περίπου 81 περισσότερες τροπικές νύχτες από ότι τη δεκαετία 1951-1960 , μόλις 150 χρόνια πριν (πίνακας 5).



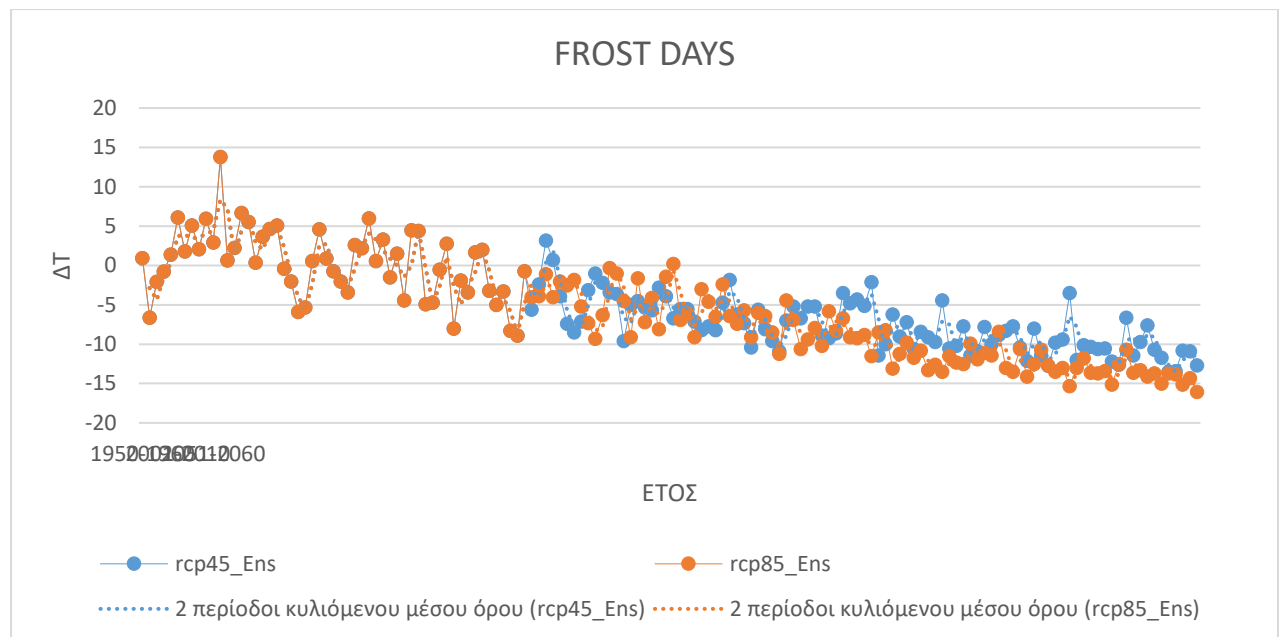
Εικόνα 10: Ετήσιες χρονοσειρές μεταβολής των τροπικών νυχτών (σε σχέση με την περίοδο αναφοράς 1960-1990) για το πλεγματικό κελί της Αθήνας από τις διαθέσιμες προσομοιώσεις RCMs (1950-2100) και των σεναρίων rcp4.5 (μπλε γραμμή) και rcp8.5 (πορτοκαλί γραμμή).

Έτος	Rcp4.5	Rcp8.5
1950-1960	-4.82142	-4.82142
1961-1970	-6.55961	-6.55961
1971-1980	-1.96652	-1.96652
1981-1990	0.373478	0.373478
1991-2000	4.603478	4.603478
2001-2010	11.54348	11.45348
2011-2020	15.39348	16.62348
2021-2030	19.65348	19.80348
2031-2040	24.48348	28.12348
2041-2050	27.78348	33.70348
2051-2060	30.10348	41.02348
2061-2070	34.84348	48.28348
2071-2080	37.70348	58.01348
2081-2090	38.48348	66.92348
2091-2100	41.52763	73.94513

Πίνακας 5: Παρουσίαση μέσων ετήσιων μεταβολών του αριθμού των τροπικών νυχτών ανά δεκαετία για την περίοδο 1950-2100. . Από το 1960 έως το 2005 τα κλιματικά μοντέλα οδηγούνται από ιστορικά κλιματικά σενάρια ενώ από το 2006 έως το 2100 τα κλιματικά μοντέλα οδηγούνται από τα κλιματικά σενάρια rcp4.5 και rcp8.5.

Frost Days (FD): Αριθμός ημερών μέσα σε ένα έτος όπου η ημερήσια ελάχιστη θερμοκρασία (T_{min}) είναι κάτω από 0°C .

Με την εφαρμογή DEAR – Clima βρέθηκαν για την περιοχή της Αθήνας οι μεταβολές για το πλήθος των κρύων ημερών για τη χρονική περίοδο 1950-2100 σε σχέση πάλι με την περίοδο αναφοράς 1960-1990. Στο διάγραμμα στην εικόνα 11 γίνεται κατανοητό ότι υπάρχει μικρή μεταβολή στον ετήσιο αριθμό των κρύων ημερών για την Αθήνα αφού οι κυλιόμενοι μέσοι παρουσιάζουν μικρές αποκλίσεις και για τα δύο σενάρια που χρησιμοποιήθηκαν. Ακόμη και το rcp4.5 αλλά και το rcp8.5 παρουσιάζουν ομαλή αλλά σταθερή μείωση των ημερών όπου η ελάχιστη θερμοκρασία είναι υπό του μηδενός. Στον πίνακα 5 φαίνεται από τις τιμές ανά δεκαετία, το πόσο κοντά είναι και τα 2 σενάρια και πόσο παρόμοια αντίδραση έχουν στην κλιματική αλλαγή αλλά το rcp8.5 με την ανεξέλεγκτη αύξηση των εκπομπών του αερίου του θερμοκήπιου δίνει πάλι πιο απαισιόδοξα αποτελέσματα.



Εικόνα 11: Ετήσιες χρονοσειρές μεταβολής των κρύων ημερών (σε σχέση με την περίοδο αναφοράς 1960-1990) για το πλεγματικό κελί της Αθήνας από τις διαθέσιμες προσομοιώσεις RCMs (1950-2100) και των σεναρίων rcp4.5 (μπλε γραμμή) και rcp8.5 (πορτοκαλί γραμμή).

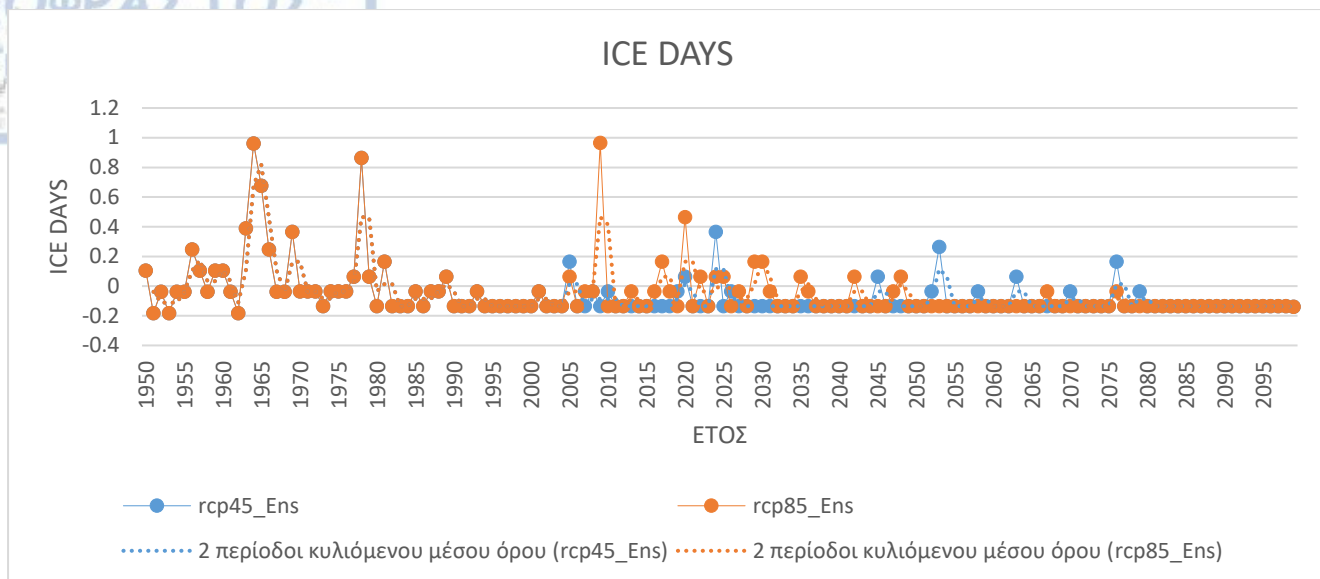
Έτος	Rcp4.4	Rcp8.5
1950-1960	1.045483	1.045483
1961-1970	4.545276	4.545276
1971-1980	-1.38609	-1.38609
1981-1990	1.893911	1.893911

1991-2000	-2.03609	-2.03609
2001-2010	-3.44609	-4.14609
2011-2020	-5.11609	-4.75609
2021-2030	-5.54609	-4.75609
2031-2040	-6.98609	-6.32609
2041-2050	-7.06609	-8.16609
2051-2060	-7.09609	-10.1361
2061-2070	-9.03609	-11.9661
2071-2080	-9.94609	-12.0661
2081-2090	-9.80609	-13.2361
2091-2100	-11.2653	-14.2928

Πίνακας 6: Παρουσίαση μέσων ετήσιων μεταβολών του αριθμού των κρύων ημερών ανά δεκαετία για την περίοδο 1950-2100. . Από το 1960 έως το 2005 τα κλιματικά μοντέλα οδηγούνται από ιστορικά κλιματικά σενάρια ενώ από το 2006 έως το 2100 τα κλιματικά μοντέλα οδηγούνται από τα κλιματικά σενάρια rcp4.5 και rcp8.5.

Ice days (ID): Αριθμός ημερών μέσα σε ένα έτος όπου η μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία (T_{max}) είναι κάτω από 0C.

Με τον ίδιο τρόπο υπολογίστηκαν για την περιοχή της Αθήνας οι μεταβολές για το πλήθος των ημερών παγετώνα για την περίοδο 1950-2100 σε σχέση με τον περίοδο αναφοράς 1960-1990. Στην εικόνα 12 φαίνεται ότι οι κυλιόμενοι μέσοι παρουσιάζουν μικρή απόκλιση για τα δύο σενάρια ενώ κατά τη μελλοντική περίοδο από το 2040 και μετά σχεδόν ταυτίζονται σημειώνοντας ίδιο αριθμό ημερών που έχουν μέγιστη θερμοκρασία υπό του μηδενός. Στον πίνακα 6 γίνεται μια ενδεικτική παρουσία του πλήθους των ημερών παγετώνων ανά δεκαετία αποδεικνύοντας ακόμα μια φορά την σταθερότητα και την ομοιότητα των δύο σεναρίων, rcp4.5 και rcp8.5.



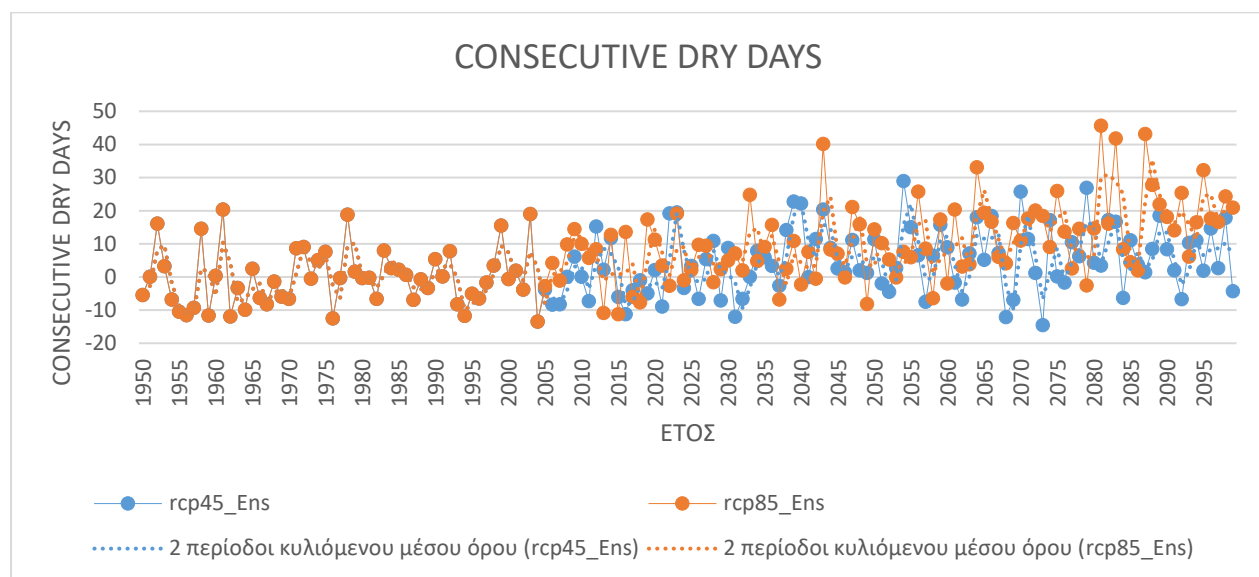
Εικόνα 12: Ετήσιες χρονοσειρές μεταβολής των ημερών παγετώνα (σε σχέση με την περίοδο αναφοράς 1960-1990) για το πλεγματικό κελί της Αθήνας από τις διαθέσιμες προσομοιώσεις RCMs (1950-2100) και των σεναρίων rcp4.5 (μπλε γραμμή) και rcp8.5 (πορτοκαλί γραμμή).

Έτος	Rcp4.5	Rcp8.5
1950-1960	-0.01138	-0.01138
1961-1970	0.244187	0.244187
1971-1980	0.064361	0.064361
1981-1990	-0.05564	-0.05564
1991-2000	-0.12564	-0.12564
2001-2010	-0.08564	0.024361
2011-2020	-0.11564	-0.07564
2021-2030	-0.05564	0.024361
2031-2040	-0.13564	-0.06564
2041-2050	-0.11564	-0.08564
2051-2060	-0.07564	-0.13564
2061-2070	-0.11564	-0.12564
2071-2080	-0.08564	-0.12564
2081-2090	-0.13564	-0.13564
2091-2100	-0.13613	-0.13613

Πίνακας 7: Παρουσίαση μέσων ετήσιων μεταβολών του αριθμού των ημερών παγετώνα ανά δεκαετία για την περίοδο 1950-2100. . Από το 1960 έως το 2005 τα κλιματικά μοντέλα οδηγούνται από ιστορικά κλιματικά σενάρια ενώ από το 2006 έως το 2100 τα κλιματικά μοντέλα οδηγούνται από τα κλιματικά σενάρια rcp4.5 και rcp8.5.

Consecutive dry days (CDD): Αριθμός διαδοχικών (C) ημερών μέσα σε ένα έτος όπου η βροχόπτωση (RR) είναι μικρότερη από 1 mm.

Παρακάτω υπολογίζονται με την ίδια λογική ο αριθμός των συνεχόμενων ξηρών ημερών. Στο γράφημα της εικόνας 13 οι κυλιόμενοι μέσοι παρουσιάζουν ήπια και παρόμοια μεταβλητότητα με το σενάριο rcp8.5 να έχει πάλι τις πιο αρνητικές εκτιμήσεις. Στον πίνακα 8 φαίνεται ότι το rcp4.5 από το 2040 και μετά δίνει μια ομαλή και μικρή αύξηση των συνεχόμενων ξηρών ημερών ενώ το rcp8.5 δίνει πιο ραγδαία αύξηση και μάλιστα η δεκαετία 2091-2100 προβλέπονται 23 διαδοχικές μέρες όπου η βροχόπτωση θα είναι κάτω από 1 mm.



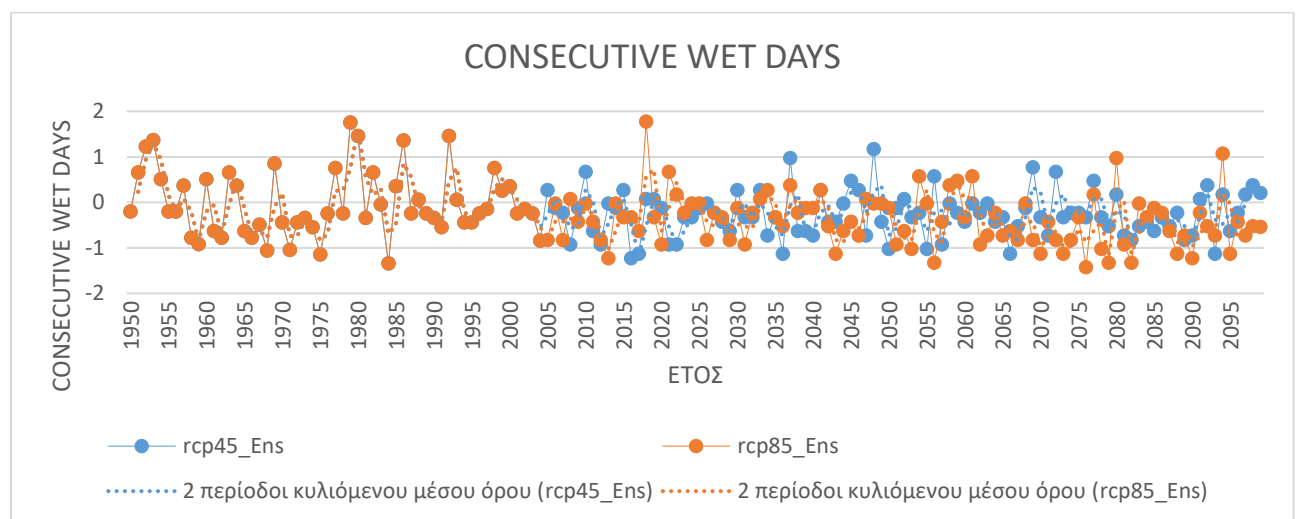
Εικόνα 13: Ετήσιες χρονοσειρές μεταβολής των συνεχόμενων ξηρών ημερών (σε σχέση με την περίοδο αναφοράς 1960-1990) για το πλεγματικό κελί της Αθήνας από τις διαθέσιμες προσομοιώσεις RCMs (1950-2100) και των σεναρίων rcp4.5 (μπλε γραμμή) και rcp8.5 (πορτοκαλί γραμμή).

Έτος	Rcp4.5	Rcp8.5
1950-1960	-1.11072	-1.11072
1961-1970	-2.38278	-2.38278
1971-1980	3.066551	3.066551
1981-1990	-0.47345	-0.47345
1991-2000	-0.09345	-0.09345
2001-2010	-1.11363	2.756373
2011-2020	-0.53381	3.206194
2021-2030	3.446194	5.216194
2031-2040	4.186194	7.496194
2041-2050	8.116194	8.906194
2051-2060	7.256194	8.866194
2061-2070	3.726194	12.09619
2071-2080	8.326194	13.05619
2081-2090	-0.47345	-0.47345
2091-2100	5.77636	19.19136

Πίνακας 8: Παρουσίαση μέσων ετήσιων μεταβολών του αριθμού των διαδοχικών ξηρών ημερών ανά δεκαετία για την περίοδο 1950-2100. . Από το 1960 έως το 2005 τα κλιματικά μοντέλα οδηγούνται από ιστορικά κλιματικά σενάρια ενώ από το 2006 έως το 2100 τα κλιματικά μοντέλα οδηγούνται από τα κλιματικά σενάρια rcp4.5 και rcp8.5.

Consecutive wet days: Αριθμός διαδοχικών (C) ημερών μέσα σε ένα έτος όπου η βροχόπτωση (RR) είναι μεγαλύτερη από 1 mm.

Όπως και στις ξηρές ημέρες έτσι και στις διαδοχικές υγρές μέρες, τα γραφήματα εμφανίζουν ομαλή μεταβλητότητα και μικρή τυπική απόκλιση μεταξύ τους (εικόνα 14). Αυτό σημαίνει ότι τα δύο σενάρια έχουν περίπου τις ίδιες εκτιμήσεις και όπως φαίνεται από τις τιμές στον πίνακα 9 ο αριθμός των ημερών όπου η βροχόπτωση είναι πάνω από 1 mm είναι πάρα πού μικρός και σχεδόν μηδαμινός.



Εικόνα 14: Ετήσιες χρονοσειρές μεταβολής των συνεχόμενων υγρών ημερών (σε σχέση με την περίοδο αναφοράς 1960-1990) για το πλεγματικό κελί της Αθήνας από τις διαθέσιμες προσομοιώσεις RCMs (1950-2100) και των σεναρίων rcp4.5 (μπλε γραμμή) και rcp8.5 (πορτοκαλί γραμμή).

Έτος	Rcp4.5	Rcp8.5
1950-1960	0.281972	0.281972
1961-1970	-0.19539	-0.19539
1971-1980	-0.19101	-0.19101
1981-1990	0.168994	0.168994
1991-2000	0.038994	0.038994
2001-2010	-0.22297	-0.31297
2011-2020	-0.29494	-0.23494

2021-2030	-0.40494	-0.25494
2031-2040	-0.25494	-0.17494
2041-2050	-0.05494	-0.32494
2051-2060	-0.32494	-0.30494
2061-2070	-0.24494	-0.46494
2071-2080	-0.18494	-0.82494
2081-2090	-0.48494	-0.44494
2091-2100	-0.1314	-0.4964

Πίνακας 9: Παρουσίαση μέσων ετήσιων μεταβολών του αριθμού των διαδοχικών υγρών ημερών ανά δεκαετία για την περίοδο 1950-2100. . Από το 1960 έως το 2005 τα κλιματικά μοντέλα οδηγούνται από ιστορικά κλιματικά σενάρια ενώ από το 2006 έως το 2100 τα κλιματικά μοντέλα οδηγούνται από τα κλιματικά σενάρια rcp4.5 και rcp8.5.

4.2 Βερολίνο (Γερμανία)

Γεωγραφικό πλάτος: 52.5316

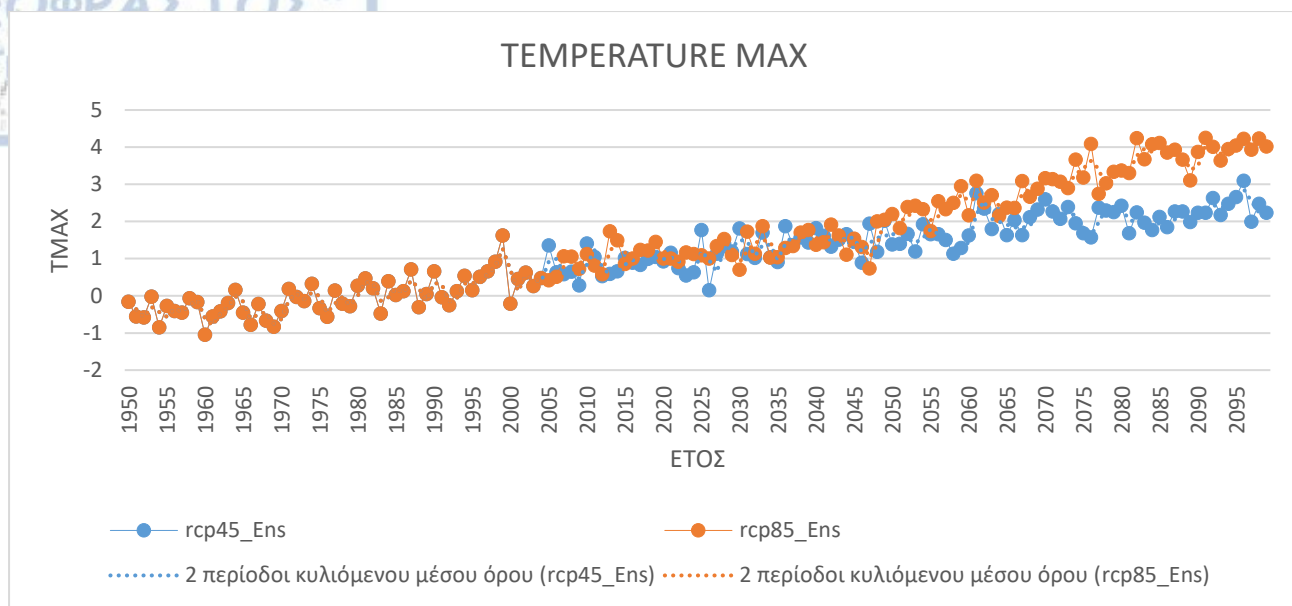
Γεωγραφικό μήκος: 13.3817

Με τον ίδιο τρόπο που πραγματοποιήθηκε η έρευνα για το πλεγματικό κελί της Αθήνας, διεξήχθη και το πλεγματικό κελί του Βερολίνου και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται παρακάτω.

4.2.1 Κλιματικές Μεταβλητές

Μέγιστη θερμοκρασία

Οι μεταβολές της μέγιστης θερμοκρασίας ακολουθούν την ίδια πορεία με αυτή της Αθήνας, δηλαδή προβλέπεται ραγδαία αύξηση της θερμοκρασίας και από τα δύο σενάρια με το rcp8.5 να είναι πιο απαισιόδοξο.



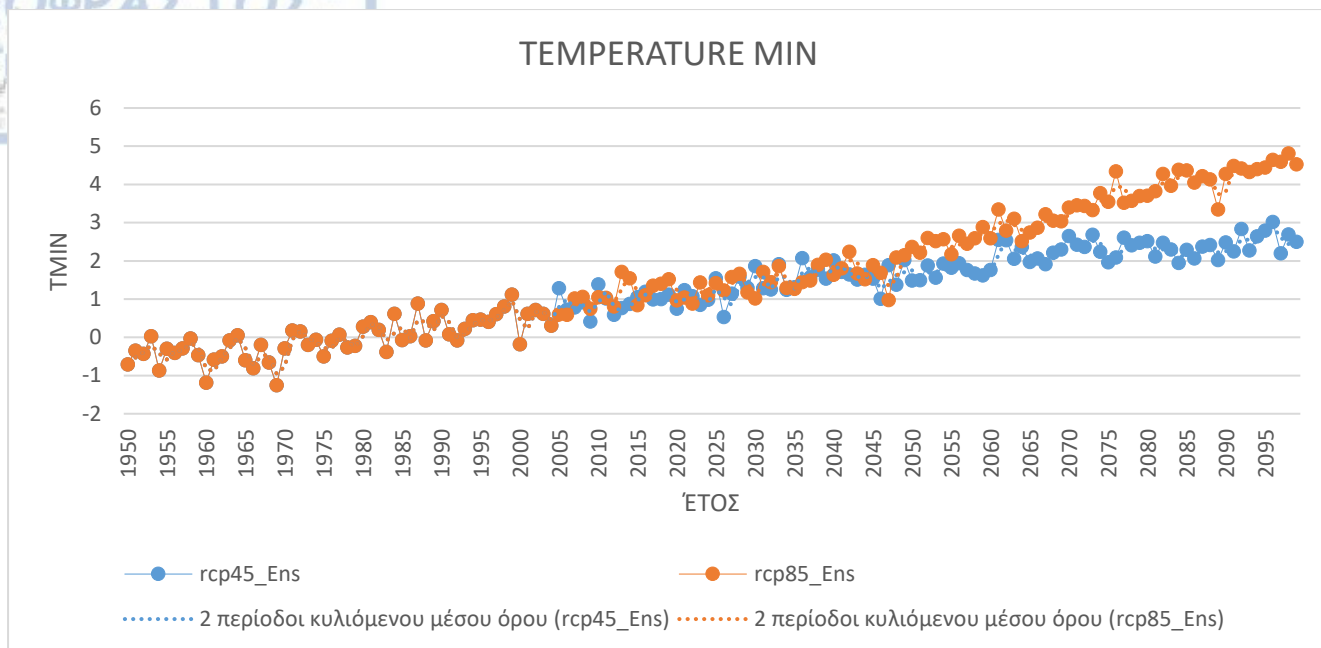
Εικόνα 15: Ετήσιες χρονοσειρές μεταβολής της μέγιστης θερμοκρασίας (σε σχέση με την περίοδο αναφοράς 1960-1990) για το πλεγματικό κελί του Βερολίνου από τις διαθέσιμες προσομοιώσεις RCMs (1950-2100) και των σεναρίων rcp4.5 (μπλε γραμμή) και rcp8.5 (πορτοκαλί γραμμή).

Έτος	Rcp4.5	Rcp8.5
1950-1960	-0.29224	-0.29224
1961-1970	-0.49939	-0.49939
1971-1980	-0.13428	-0.13428
1981-1990	0.14456	0.14456
1991-2000	0.489276	0.489276
2001-2010	0.509854	0.537784
2011-2020	0.901409	1.150593
2021-2030	0.966122	1.126803
2031-2040	1.385563	1.359834
2041-2050	1.541204	1.5109
2051-2060	1.480808	2.323438
2061-2070	2.046915	2.600118
2071-2080	2.145818	3.231594
2081-2090	2.058569	3.734276
2091-2100	2.421496	4.017381

Πίνακας 10: Παρουσίαση μέσω ετήσιων μέγιστων θερμοκρασιακών αλλαγών (°C) ανά δεκαετία για την περίοδο 1950-2100. Από το 1960 έως το 2005 τα κλιματικά μοντέλα οδηγούνται από ιστορικά κλιματικά σενάρια ενώ από το 2006 έως το 2100 τα κλιματικά μοντέλα οδηγούνται από τα κλιματικά σενάρια rcp4.5 και rcp8.5.

Ελάχιστη θερμοκρασία

Το ίδιο ισχύει και για την ελάχιστη θερμοκρασία. Το γράφημα της εικόνας 16 δείχνει αύξηση της ελάχιστης θερμοκρασίας και για τα δύο σενάρια.



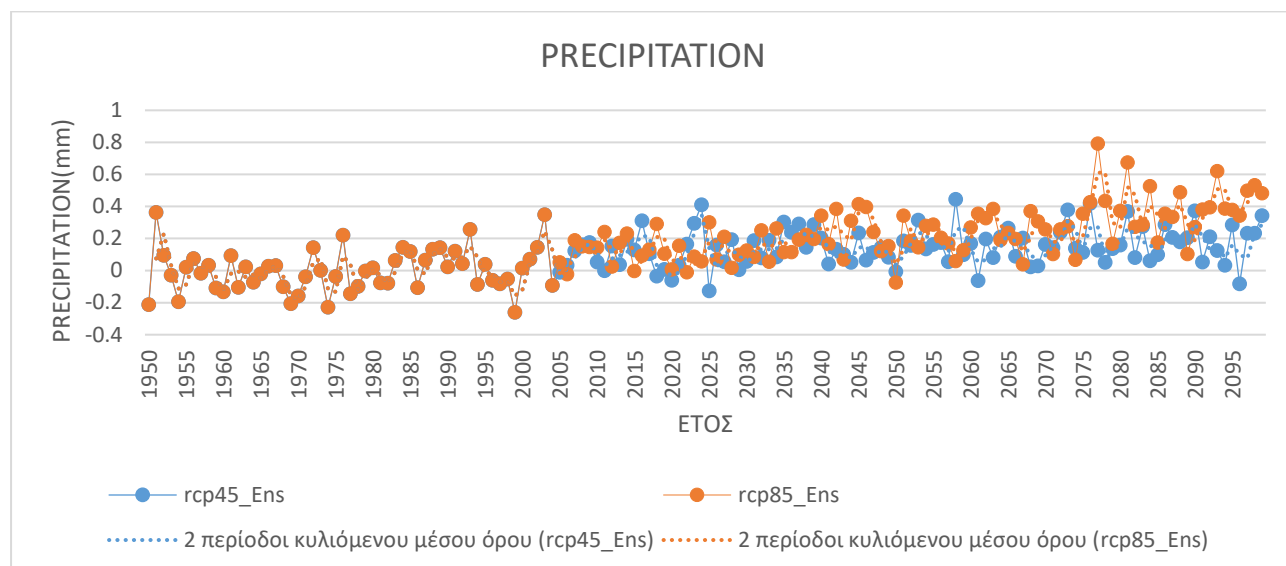
Εικόνα 16: Ετήσιες χρονοσειρές μεταβολής της ελάχιστης θερμοκρασίας (σε σχέση με την περίοδο αναφοράς 1960-1990) για το πλεγματικό κελί του Βερολίνου από τις διαθέσιμες προσομοιώσεις RCMs (1950-2100) και των σεναρίων rcp4.5 (μπλε γραμμή) και rcp8.5 (πορτοκαλί γραμμή).

Έτος	Rcp4.5	Rcp8.5
1950-1960	-0.36282	-0.36282
1961-1970	-0.5808	-0.5808
1971-1980	-0.12167	-0.12167
1981-1990	0.227414	0.227414
1991-2000	0.476181	0.476181
2001-2010	0.617866	0.653551
2011-2020	0.99925	1.234988
2021-2030	1.099314	1.247764
2031-2040	1.581071	1.54435
2041-2050	1.634425	1.76572
2051-2060	1.717245	2.501111
2061-2070	2.172925	2.926427
2071-2080	2.390933	2.390933
2081-2090	2.25215	4.026095
2091-2100	2.567529	4.492836

Πίνακας 11: Παρουσίαση μέσω ετήσιων ελάχιστων θερμοκρασιακών αλλαγών (°C) ανά δεκαετία για την περίοδο 1950-2100. . Από το 1960 έως το 2005 τα κλιματικά μοντέλα οδηγούνται από ιστορικά κλιματικά σενάρια ενώ από το 2006 έως το 2100 τα κλιματικά μοντέλα οδηγούνται από τα κλιματικά σενάρια rcp4.5 και rcp8.5.

Υετός

Στον υετό υπάρχει πάλι η ίδια εικόνα με αυτή της Αθήνας. Στο διάγραμμα της εικόνας 17 γίνεται κατανοητό ότι υπάρχει μικρή μεταβολή στα ετήσια ποσά υετού για το Βερολίνο αφού οι κυλιόμενοι μέσοι παρουσιάζουν μικρές αποκλίσεις και για τα δύο σενάρια που χρησιμοποιήθηκαν.



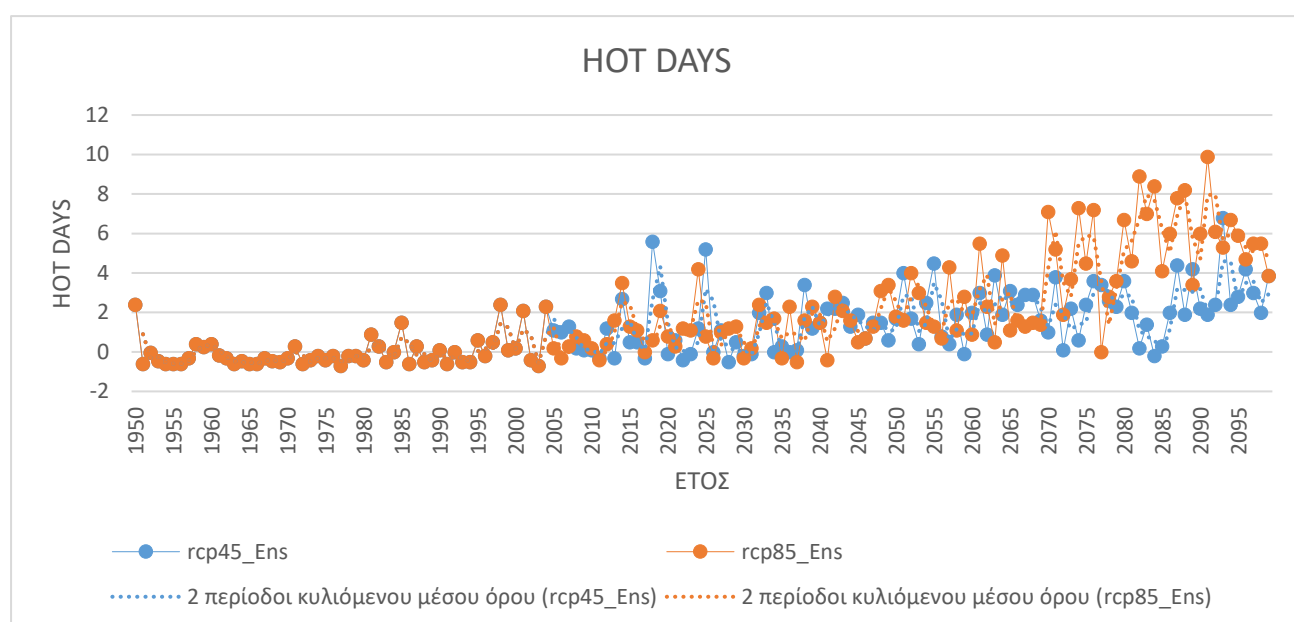
Εικόνα 17: Ετήσιες χρονοσειρές μεταβολής της βροχόπτωσης(σε σχέση με την περίοδο αναφοράς 1960-1990) για το πλεγματικό κελί του Βερολίνου από τις διαθέσιμες προσομοιώσεις RCMs (1950-2100) και των σεναρίων rcp4.5 (μπλε γραμμή) και rcp8.5 (πορτοκαλί γραμμή).

Έτος	Rcp4.5	Rcp8.5
1950-1960	-0.01332	-0.01332
1961-1970	-0.04644	-0.04644
1971-1980	-0.03421	-0.03421
1981-1990	0.041882	0.041882
1991-2000	-0.00617	-0.00617
2001-2010	0.096706	0.100039
2011-2020	0.09497	0.142865
2021-2030	0.112946	0.099135
2031-2040	0.185882	0.161986
2041-2050	0.116657	0.259852
2051-2060	0.172298	0.171835
2061-2070	0.119645	0.267335
2071-2080	0.190784	0.313296
2081-2090	0.191966	0.358553
2091-2100	0.180248	0.428765

Πίνακας 12: Παρουσίαση μέσων ετήσιων μεταβολών του υετού (mm/day) για την περίοδο 1950-2100. . Από το 1960 έως το 2005 τα κλιματικά μοντέλα οδηγούνται από ιστορικά κλιματικά σενάρια ενώ από το 2006 έως το 2100 τα κλιματικά μοντέλα οδηγούνται από τα κλιματικά σενάρια rcp4.5 και rcp8.5.

4.2.2 Κλιματικοί Δείκτες Ζεστές ημέρες

Με μια πρώτη όψη στο διάγραμμα της εικόνας 18, παρατηρείται η ραγδαία αύξηση των ζεστών ημερών κατά τη διάρκεια της μελλοντικής περιόδου (2006-2100) σε σύγκριση με την ιστορική (1950-2005). Από τη μεγάλη τυπική απόκλιση μεταξύ των δύο μοντέλων γίνεται αντιληπτό ότι το σενάριο που δίνει συνεχή αύξηση των αερίων του θερμοκηπίου, δηλαδή το RCP8.5, αποτελείται από όλο και περισσότερες ζεστές ημέρες ενώ το σενάριο που δίνει μετριασμό των εκπομπών των αερίων, δηλαδή το RCP4.5, εμφανίζει αφενός αύξηση των ζεστών ημερών αλλά με μικρότερο και σταθερότερο ρυθμό.



Εικόνα 18: Ετήσιες χρονοσειρές μεταβολής των ζεστών ημερών (σε σχέση με την περίοδο αναφοράς 1960-1990) για το πλεγματικό κελί του Βερολίνου από τις διαθέσιμες προσομοιώσεις RCMs (1950-2100) και των σεναρίων rcp4.5 (μπλε γραμμή) και rcp8.5 (πορτοκαλί γραμμή).

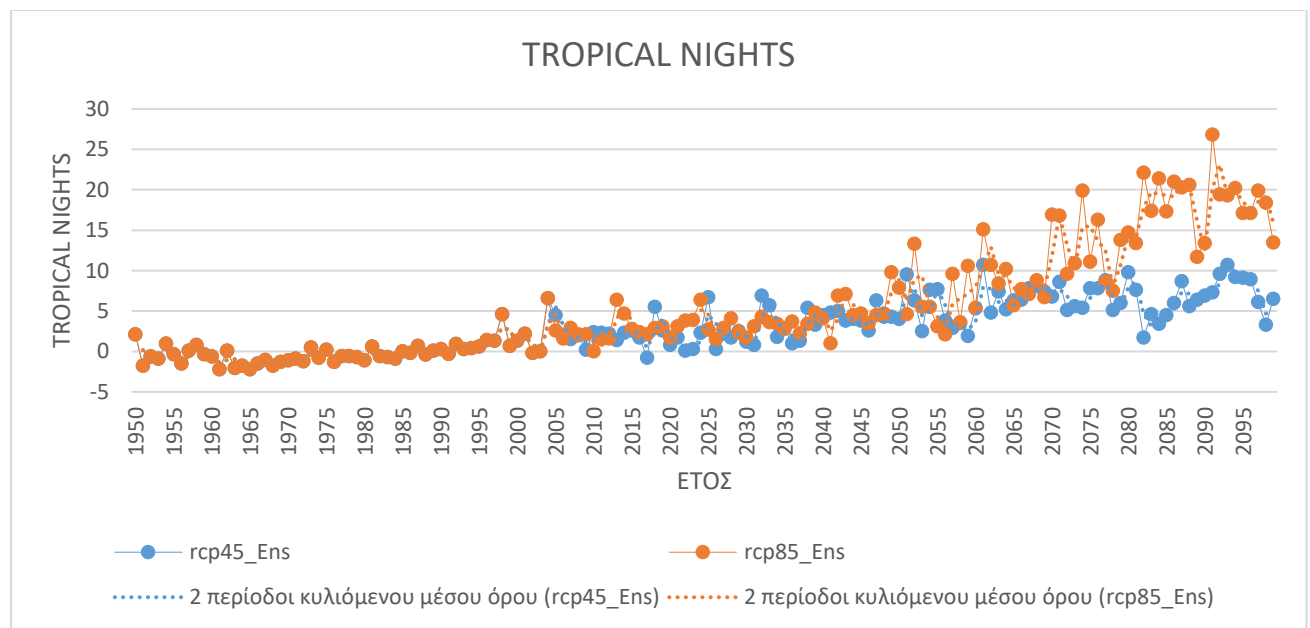
Έτος	Rcp4.5	Rcp8.5
1950-1960	-0.0037	-0.0037
1961-1970	-0.36685	-0.36685
1971-1980	-0.29959	-0.29959
1981-1990	0.050415	0.050415
1991-2000	0.180415	0.180415
2001-2010	0.710415	0.500415
2011-2020	1.270415	1.030415
2021-2030	0.740415	1.150415
2031-2040	0.960415	1.080415
2041-2050	1.580415	1.650415
2051-2060	1.770415	2.200415

2061-2070	2.450415	2.090415
2071-2080	2.190415	4.320415
2081-2090	1.970415	6.500415
2091-2100	3.147278	5.937278

Πίνακας 13: Παρουσίαση μέσων ετήσιων μεταβολών του αριθμού των ζεστών ημερών ανά δεκαετία για την περίοδο 1950-2100. . Από το 1960 έως το 2005 τα κλιματικά μοντέλα οδηγούνται από ιστορικά κλιματικά σενάρια ενώ από το 2006 έως το 2100 τα κλιματικά μοντέλα οδηγούνται από τα κλιματικά σενάρια rcp4.5 και rcp8.5.

Τροπικές νύχτες

Το ίδιο συμβαίνει για τη μεταβολή των τροπικών νυχτών. Τα 2 σενάρια δείχνουν μεγάλη αύξηση του αριθμού τους και μάλιστα τη χρονιά 2091 σημειώνονται οι περισσότερες μέρες όπου ο αριθμός των ημερών όπου η χαμηλότερη θερμοκρασία είναι πάνω από 20 βαθμούς κελσίου ανέρχεται περίπου στις 27, δηλαδή περίπου 30 παραπάνω μέρες από το 1950.



Εικόνα 19: Ετήσιες χρονοσειρές μεταβολής των τροπικών νυχτών (σε σχέση με την περίοδο αναφοράς 1960-1990) για το πλεγματοειδές κελί του Βερολίνου από τις διαθέσιμες προσομοιώσεις RCMs (1950-2100) και των σεναρίων rcp4.5 (μπλε γραμμή) και rcp8.5 (πορτοκαλί γραμμή).

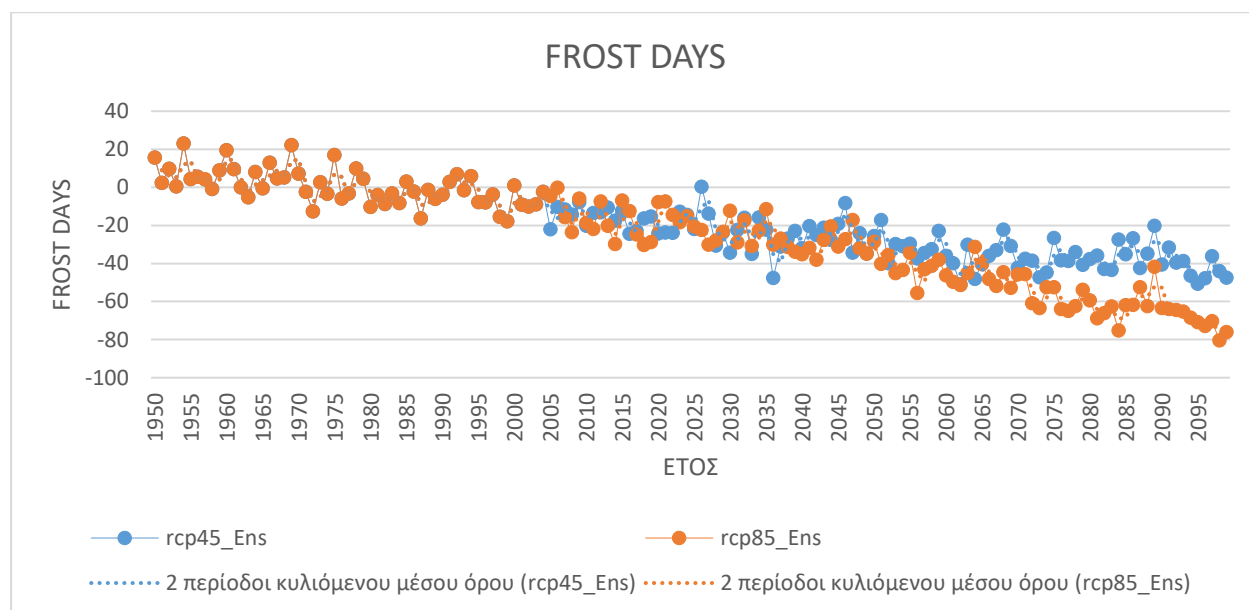
Έτος	Rcp4.5	Rcp8.5
1950-1960	-0.14384	-0.14384
1961-1970	-1.42357	-1.42357
1971-1980	-0.6402	-0.6402
1981-1990	-0.2402	-0.2402
1991-2000	1.029798	1.029798

2001-2010	2.009798	2.129798
2011-2020	2.229798	2.759798
2021-2030	1.919798	3.249798
2031-2040	3.039798	3.309798
2041-2050	4.349798	5.089798
2051-2060	4.979798	6.589798
2061-2070	6.949798	8.589798
2071-2080	6.709798	13.1498
2081-2090	5.839798	17.9998
2091-2100	7.768604	18.5186

Πίνακας 14: Παρουσίαση μέσων ετήσιων μεταβολών του αριθμού των τροπικών νυχτών ανά δεκαετία για την περίοδο 1950-2100. . Από το 1960 έως το 2005 τα κλιματικά μοντέλα οδηγούνται από ιστορικά κλιματικά σενάρια ενώ από το 2006 έως το 2100 τα κλιματικά μοντέλα οδηγούνται από τα κλιματικά σενάρια rcp4.5 και rcp8.5.

Κρύες ημέρες

Στην εικόνα 20 οι κυλιόμενοι μέσοι των 2 γραφημάτων παρουσιάζουν μικρή τυπική απόκλιση άρα υπάρχει παρόμοια μεταβολή για τα δύο σενάρια. Και στα δύο σενάρια παρουσιάζεται ομαλή αλλά μεγάλη μείωση των ημερών όπου η ελάχιστη θερμοκρασία είναι υπό του μηδενός.



Εικόνα 20: Ετήσιες χρονοσειρές μεταβολής των κρύων ημερών (σε σχέση με την περίοδο αναφοράς 1960-1990) για το πλεγματικό κελί του Βερολίνου από τις διαθέσιμες προσομοιώσεις RCMs (1950-2100) και των σεναρίων rcp4.5 (μπλε γραμμή) και rcp8.5 (πορτοκαλί γραμμή).

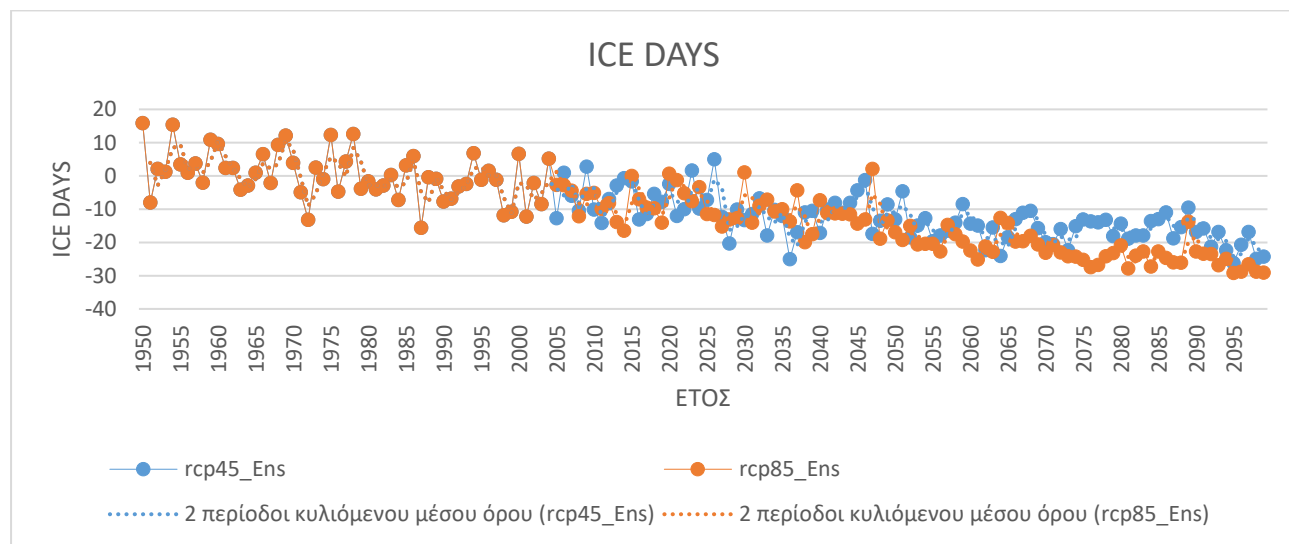
Έτος	Rcp4.5	Rcp8.5
1950-1960	7.505829	7.505829
1961-1970	7.611132	7.611132

1971-1980	1.341641	1.341641
1981-1990	-5.77836	-5.77836
1991-2000	-4.28836	-4.28836
2001-2010	-9.55836	-7.96836
2011-2020	-16.6584	-20.1584
2021-2030	-18.9184	-18.7984
2031-2040	-27.4384	-24.5984
2041-2050	-24.7184	-29.5884
2051-2060	-30.0584	-40.5084
2061-2070	-36.7784	-46.1584
2071-2080	-38.8884	-56.6084
2081-2090	-34.6684	-61.2584
2091-2100	-42.3391	-69.6241

Πίνακας 15: Παρουσίαση μέσω ετήσιων μεταβολών του αριθμού των κρύων ημερών ανά δεκαετία για την περίοδο 1950-2100. . Από το 1960 έως το 2005 τα κλιματικά μοντέλα οδηγούνται από ιστορικά κλιματικά σενάρια ενώ από το 2006 έως το 2100 τα κλιματικά μοντέλα οδηγούνται από τα κλιματικά σενάρια rcp4.5 και rcp8.5.

Ημέρες παγετώνα

Το ίδιο ισχύει και για τις ημέρες παγετώνα όπου είναι φανερή η έντονη μείωση των ημερών όπου η μέγιστη θερμοκρασία είναι υπό του μηδενός. Οι ενδείξεις για την πενταετία 2095-2100 είναι μάλιστα πολύ απαισιόδοξες αφού εικάζουν - 30 ημέρες παγετώνα κάτι που προβάλλει την έντονη επίδραση της κλιματικής αλλαγής.



Εικόνα 21: Ετήσιες χρονοσειρές μεταβολής των ημερών παγετώνα (σε σχέση με την περίοδο αναφοράς 1960-1990) για το πλεγματικό κελί του Βερολίνου από τις διαθέσιμες προσομοιώσεις RCMs (1950-2100) και των σεναρίων rcp4.5 (μπλε γραμμή) και rcp8.5 (πορτοκαλί γραμμή).

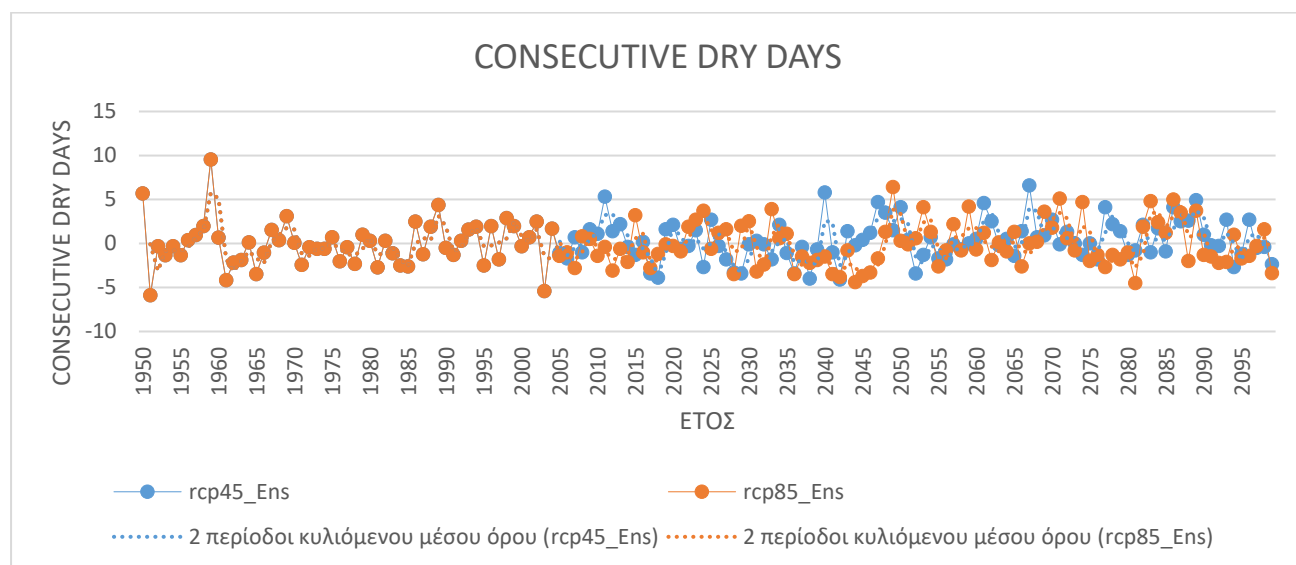
Έτος	Rcp4.5	Rcp8.5
------	--------	--------

1950-1960	4.749417	4.749417
1961-1970	3.420221	3.420221
1971-1980	0.781912	0.781912
1981-1990	-2.31809	-2.31809
1991-2000	-3.68809	-3.68809
2001-2010	-3.63809	-3.84809
2011-2020	-7.42809	-9.39809
2021-2030	-7.75809	-8.10809
2031-2040	-13.5081	-10.5281
2041-2050	-9.96809	-11.0481
2051-2060	-14.0481	-18.7281
2061-2070	-15.9881	-19.6281
2071-2080	-16.5981	-24.2281
2081-2090	-15.0381	-23.5881
2091-2100	-20.597	-26.392

Πίνακας 16: Παρουσίαση μέσω ετήσιων μεταβολών του αριθμού των ημερών παγετών ανά δεκαετία για την περίοδο 1950-2100. . Από το 1960 έως το 2005 τα κλιματικά μοντέλα οδηγούνται από ιστορικά κλιματικά σενάρια ενώ από το 2006 έως το 2100 τα κλιματικά μοντέλα οδηγούνται από τα κλιματικά σενάρια rcp4.5 και rcp8.5.

Διαδοχικές ξηρές ημέρες

Στο γράφημα της εικόνας 22 βλέπουμε μικρή τυπική απόκλιση μεταξύ των κυλιόμενων μέσων άρα τα 2 σενάρια παρουσιάζουν ίδια μεταβλητότητα.



Εικόνα 22: Ετήσιες χρονοσειρές μεταβολής των συνεχόμενων ξηρών ημερών (σε σχέση με την περίοδο αναφοράς 1960-1990) για το πλεγματικό κελί του Βερολίνου από τις διαθέσιμες προσομοιώσεις RCMs (1950-2100) και των σεναρίων rcp4.5 (μπλε γραμμή) και rcp8.5 (πορτοκαλί γραμμή).

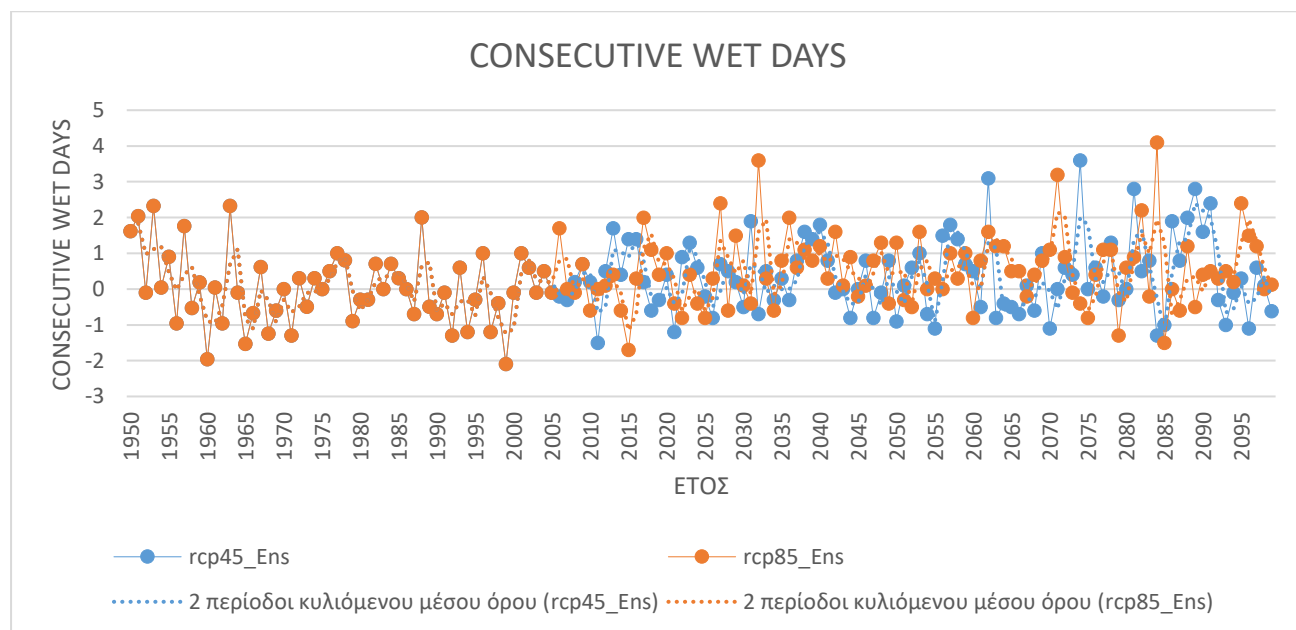
Έτος	Rcp4.5	Rcp8.5
1950-1960	1.008201	1.008201

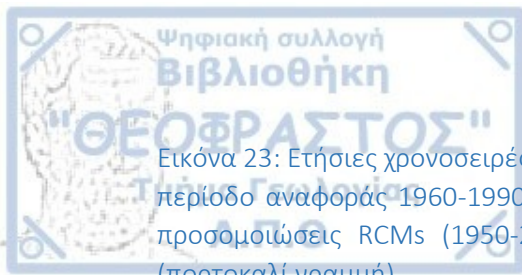
1961-1970	-0.68683	-0.68683
1971-1980	-0.68771	-0.68771
1981-1990	-0.06771	-0.06771
1991-2000	0.462287	0.462287
2001-2010	-0.21878	-0.45878
2011-2020	0.300144	-0.92986
2021-2030	-0.58986	0.800144
2031-2040	-0.89986	-0.63986
2041-2050	1.340144	-1.47986
2051-2060	-0.35986	0.860144
2061-2070	1.630144	0.050144
2071-2080	0.870144	0.250144
2081-2090	1.410144	1.520144
2091-2100	0.350373	-0.66781

Πίνακας 17: Παρουσίαση μέσω ετήσιων μεταβολών του αριθμού των διαδοχικών ξηρών ημερών ανά δεκαετία για την περίοδο 1950-2100. . Από το 1960 έως το 2005 τα κλιματικά μοντέλα οδηγούνται από ιστορικά κλιματικά σενάρια ενώ από το 2006 έως το 2100 τα κλιματικά μοντέλα οδηγούνται από τα κλιματικά σενάρια rcp4.5 και rcp8.5.

Διαδοχικές υγρές ημέρες

Στις διαδοχικές υγρές μέρες τα γραφήματα εμφανίζουν ομαλή μεταβλητότητα και μικρή τυπική απόκλιση μεταξύ τους όπως φαίνεται στην εικόνα 23. Άρα τα σενάρια έχουν περίπου ίδιες εκτιμήσεις.





Εικόνα 23: Ετήσιες χρονοσειρές μεταβολής των συνεχόμενων ξηρών ημερών (σε σχέση με την περίοδο αναφοράς 1960-1990) για το πλεγματικό κελί του Βερολίνου από τις διαθέσιμες προσομοιώσεις RCMs (1950-2100) και των σεναρίων rcp4.5 (μπλε γραμμή) και rcp8.5 (πορτοκαλί γραμμή).

Έτος	Rcp4.5	Rcp8.5
1950-1960	0.597125	0.597125
1961-1970	-0.40751	-0.40751
1971-1980	0.0218	0.0218
1981-1990	0.1918	0.1918
1991-2000	-0.5682	-0.5682
2001-2010	0.219122	0.409122
2011-2020	0.336443	0.136443
2021-2030	0.236443	0.256443
2031-2040	0.466443	0.826443
2041-2050	0.236443	0.566443
2051-2060	0.436443	0.466443
2061-2070	0.116443	0.596443
2071-2080	0.486443	0.516443
2081-2090	0.926443	0.616443
2091-2100	0.184449	0.709449

Πίνακας 18: Παρουσίαση μέσω ετήσιων μεταβολών του αριθμού των διαδοχικών υγρών ημερών ανά δεκαετία για την περίοδο 1950-2100. . Από το 1960 έως το 2005 τα κλιματικά μοντέλα οδηγούνται από ιστορικά κλιματικά σενάρια ενώ από το 2006 έως το 2100 τα κλιματικά μοντέλα οδηγούνται από τα κλιματικά σενάρια rcp4.5 και rcp8.5.

4.3 Όσλο (Νορβηγία)

Γεωγραφικό πλάτος: 59.9114

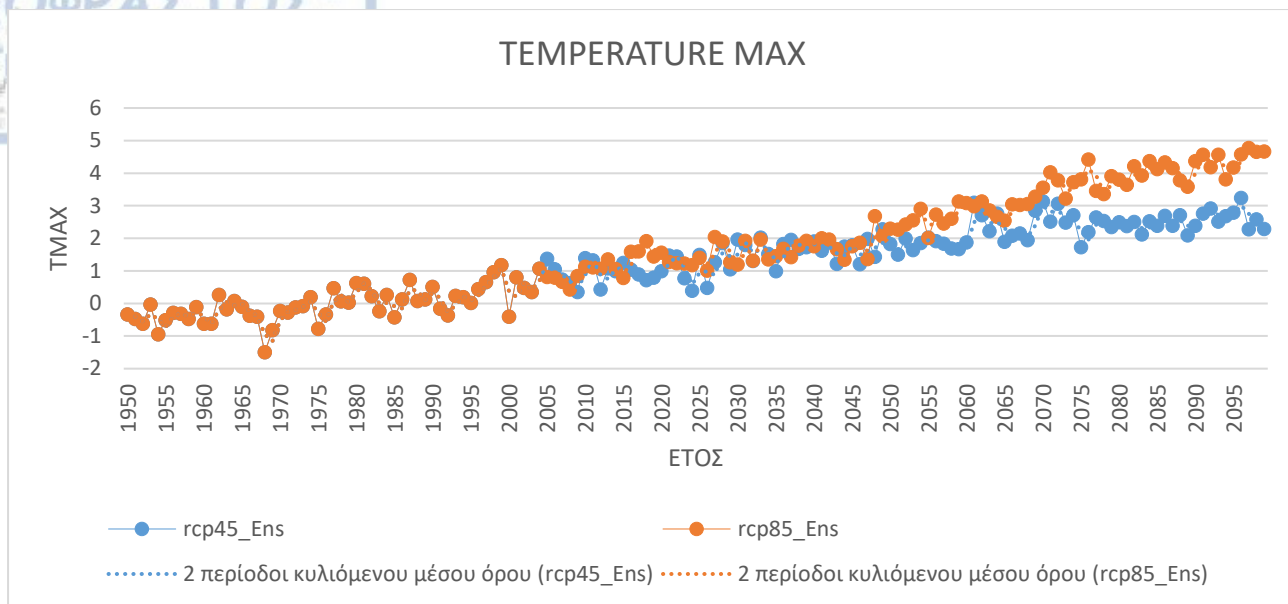
Γεωγραφικό μήκος: 10.7579

Με την ίδια ακριβώς διαδικασία, πραγματοποιείται η ίδια έρευνα για το πλεγματικό κελί της πρωτεύουσας της Νορβηγίας, το Όσλο.

4.3.1 Κλιματικές Μεταβλητές

Μέγιστη θερμοκρασία

Όπως και για τις υπόλοιπες δύο πόλεις έτσι και για το Όσλο παρουσιάζεται αύξηση της μέσης μέγιστης θερμοκρασίας για την περίοδο 1950-2100.



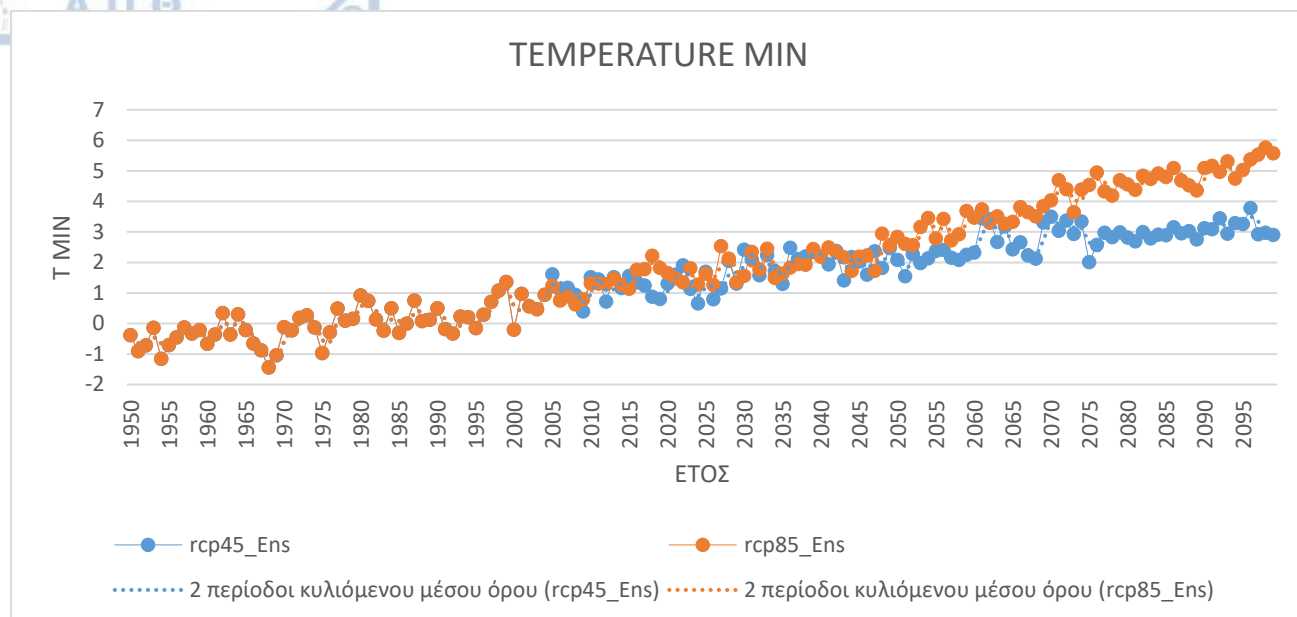
Εικόνα 24: Ετήσιες χρονοσειρές μεταβολής της μέγιστης θερμοκρασίας (σε σχέση με την περίοδο αναφοράς 1960-1990) για το πλεγματικό κελί του Όσλου από τις διαθέσιμες προσομοιώσεις RCMs (1950-2100) και των σεναρίων rcp4.5 (μπλε γραμμή) και rcp8.5 (πορτοκαλί γραμμή).

Έτος	Rcp4.5	Rcp8.5
1950-1960	-0.41311	-0.41311
1961-1970	-0.42731	-0.42731
1971-1980	-0.10748	-0.10748
1981-1990	0.209828	0.209828
1991-2000	0.367294	0.367294
2001-2010	0.643436	0.583162
2011-2020	0.990104	1.304027
2021-2030	1.119366	1.409919
2031-2040	1.675901	1.600447
2041-2050	1.704035	1.845053
2051-2060	1.794051	2.537437
2061-2070	2.357268	2.966109
2071-2080	2.533209	3.724505
2081-2090	2.428201	3.992706
2091-2100	2.643306	4.433436

Πίνακας 19: Παρουσίαση μέσω ετήσιων μέγιστων θερμοκρασιακών αλλαγών (°C) ανά δεκαετία για την περίοδο 1950-2100. Από το 1960 έως το 2005 τα κλιματικά μοντέλα οδηγούνται από ιστορικά κλιματικά σενάρια ενώ από το 2006 έως το 2100 τα κλιματικά μοντέλα οδηγούνται από τα κλιματικά σενάρια rcp4.5 και rcp8.5.

Ελάχιστη θερμοκρασία

Τα δύο σενάρια πάλι προβλέπουν αύξηση της μέσης ελάχιστης θερμοκρασίας και για το Όσλο.



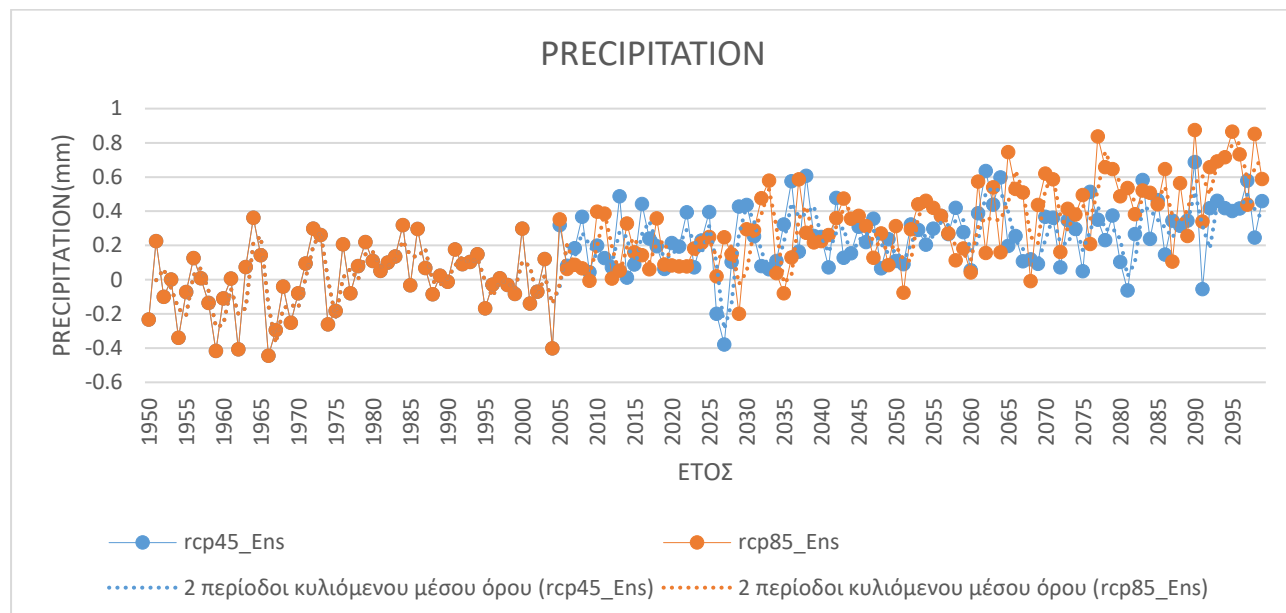
Εικόνα 25: Ετήσιες χρονοσειρές μεταβολής της ελάχιστης θερμοκρασίας (σε σχέση με την περίοδο αναφοράς 1960-1990) για το πλεγματικό κελί του Όσλου από τις διαθέσιμες προσομοιώσεις RCMs (1950-2100) και των σεναρίων rcp4.5 (μπλε γραμμή) και rcp8.5 (πορτοκαλί γραμμή).

Έτος	Rcp4.5	Rcp8.5
1950-1960	-0.53292	-0.53292
1961-1970	-0.49665	-0.49665
1971-1980	-0.05395	-0.05395
1981-1990	0.268642	0.268642
1991-2000	0.369928	0.369928
2001-2010	0.793598	0.702283
2011-2020	1.218938	1.536602
2021-2030	1.360601	1.643976
2031-2040	2.045205	1.938937
2041-2050	2.037834	2.253256
2051-2060	2.128674	3.015169
2061-2070	2.77936	3.542727
2071-2080	2.954849	4.3851
2081-2090	2.897066	4.687785
2091-2100	3.171257	5.253287

Πίνακας 20: Παρουσίαση μέσω ετήσιων ελάχιστων θερμοκρασιακών αλλαγών (°C) ανά δεκαετία για την περίοδο 1950-2100. . Από το 1960 έως το 2005 τα κλιματικά μοντέλα οδηγούνται από ιστορικά κλιματικά σενάρια ενώ από το 2006 έως το 2100 τα κλιματικά μοντέλα οδηγούνται από τα κλιματικά σενάρια rcp4.5 και rcp8.5.

Υετός

Στο διάγραμμα της εικόνας 26 γίνεται κατανοητό ότι υπάρχει μικρή μεταβολή στα ετήσια ποσά υετού για το Όσλο αφού οι κυλιόμενοι μέσοι παρουσιάζουν μικρές αποκλίσεις και για τα δύο σενάρια που χρησιμοποιήθηκαν.



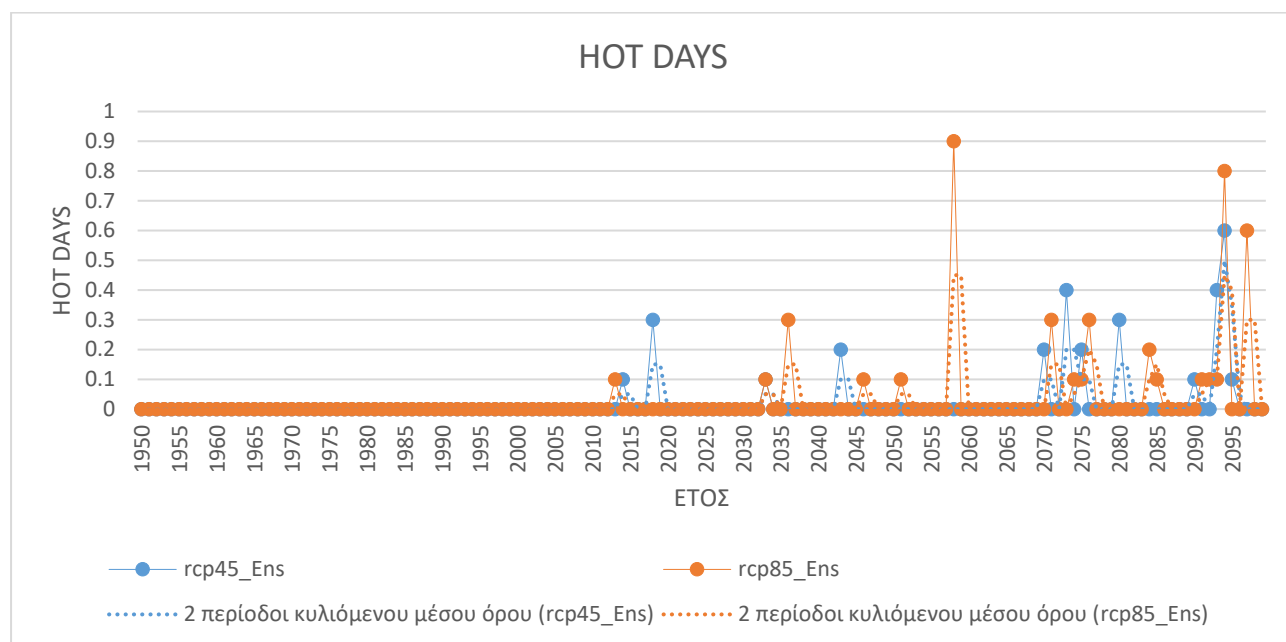
Εικόνα 26: Ετήσιες χρονοσειρές μεταβολής της βροχόπτωσης(σε σχέση με την περίοδο αναφοράς 1960-1990) για το πλεγματικό κελί του Όσλο από τις διαθέσιμες προσομοιώσεις RCMs (1950-2100) και των σεναρίων rcp4.5 (μπλε γραμμή) και rcp8.5 (πορτοκαλί γραμμή).

Έτος	Rcp4.5	Rcp8.5
1950-1960	-0.08581	-0.08581
1961-1970	-0.09666	-0.09666
1971-1980	0.055222	0.055222
1981-1990	0.09821	0.09821
1991-2000	0.020225	0.020225
2001-2010	0.079728	0.036371
2011-2020	0.192231	0.197524
2021-2030	0.144623	0.10966
2031-2040	0.285726	0.280153
2041-2050	0.226558	0.284014
2051-2060	0.265206	0.279086
2061-2070	0.288203	0.368073
2071-2080	0.29579	0.500681
2081-2090	0.274167	0.444098
2091-2100	0.402846	0.675097

Πίνακας 21: Παρουσίαση μέσων ετήσιων μεταβολών του υετού (mm/day) για την περίοδο 1950-2100. . Από το 1960 έως το 2005 τα κλιματικά μοντέλα οδηγούνται από ιστορικά κλιματικά σενάρια ενώ από το 2006 έως το 2100 τα κλιματικά μοντέλα οδηγούνται από τα κλιματικά σενάρια rcp4.5 και rcp8.5.

4.3.2 Κλιματικοί Δείκτες Ζεστές ημέρες

Οι κυλιόμενοι μέσοι των 2 σεναρίων παρουσιάζουν μικρή τυπική απόκλιση και μια ομαλότητα στη μεταβολή τους. Από το 2040 και έπειτα υπάρχει μια μικρή αύξηση στις μέρες που έχουν ανώτερη θερμοκρασία πάνω από 35 βαθμούς κελσίου αλλά δεν είναι τόσο έντονη όσο στη Αθήνα και το Βερολίνο. Μάλιστα, ο μέσος αριθμός των περισσότερων ζεστών ημερών καταγράφεται το 2058 με μόλις 0.9 μέρες.



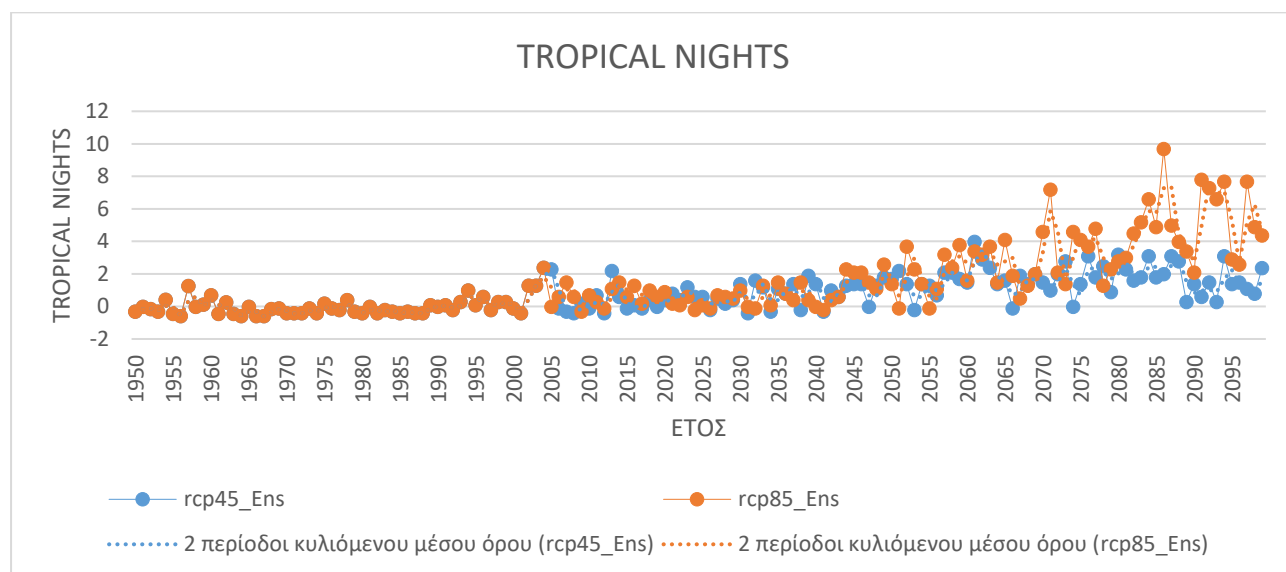
Εικόνα 27: Ετήσιες χρονοσειρές μεταβολής των ζεστών ημερών (σε σχέση με την περίοδο αναφοράς 1960-1990) για το πλεγματικό κελί του Όσλου από τις διαθέσιμες προσομοιώσεις RCMs (1950-2100) και των σεναρίων rcp4.5 (μπλε γραμμή) και rcp8.5 (πορτοκαλί γραμμή).

Έτος	Rcp4.5	Rcp8.5
1950-1960	0	0
1961-1970	0	0
1971-1980	0	0
1981-1990	0	0
1991-2000	0	0
2001-2010	0	0
2011-2020	0.04	0.01
2021-2030	0	0
2031-2040	0.01	0.04
2041-2050	0.02	0.01
2051-2060	0	0.1
2061-2070	0	0
2071-2080	0.08	0.08
2081-2090	0.03	0.03
2091-2100	0.12	0.17

Πίνακας 22: Παρουσίαση μέσω ετήσιων μεταβολών του αριθμού των ζεστών ημερών ανά δεκαετία για την περίοδο 1950-2100. . Από το 1960 έως το 2005 τα κλιματικά μοντέλα οδηγούνται από ιστορικά κλιματικά σενάρια ενώ από το 2006 έως το 2100 τα κλιματικά μοντέλα οδηγούνται από τα κλιματικά σενάρια rcp4.5 και rcp8.5.

Τροπικές νύχτες

Παρόμοια εικόνα επικρατεί και για τις τροπικές νύχτες. Οι κυλιόμενοι μέσοι παρουσιάζουν ομαλή και σταθερή μετάβαση. Οι τροπικές νύχτες είναι παρουσιάζουν από τη μια μία αύξηση αλλά από την άλλη σε πολύ χαμηλότερα ποσοστά από τις νοτιότερες χώρες.



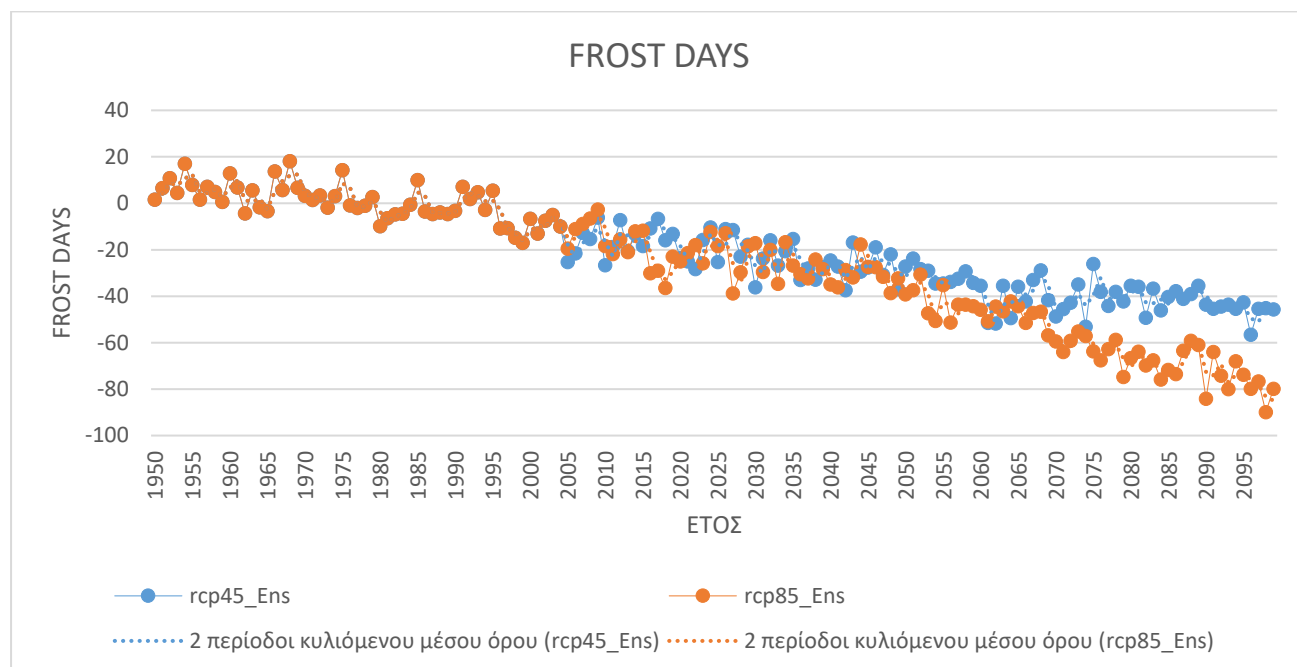
Εικόνα 28: Ετήσιες χρονοσειρές μεταβολής των τροπικών νυχτών (σε σχέση με την περίοδο αναφοράς 1960-1990) για το πλεγματικό κελί του Όσλου από τις διαθέσιμες προσομοιώσεις RCMs (1950-2100) και των σεναρίων rcp4.5 (μπλε γραμμή) και rcp8.5 (πορτοκαλί γραμμή).

Έτος	Rcp4.5	Rcp8.5
1950-1960	-0.01649	-0.01649
1961-1970	-0.21144	-0.21144
1971-1980	-0.19166	-0.19166
1981-1990	-0.29166	-0.29166
1991-2000	0.208344	0.208344
2001-2010	0.598344	0.668344
2011-2020	0.308344	0.698344
2021-2030	0.468344	0.318344
2031-2040	0.828344	0.668344
2041-2050	0.968344	1.228344
2051-2060	1.418344	1.888344
2061-2070	1.878344	2.298344
2071-2080	1.678344	3.588344
2081-2090	2.178344	4.888344
2091-2100	1.385972	5.375972

Πίνακας 23: Παρουσίαση μέσω ετήσιων μεταβολών του αριθμού των τροπικών νυχτών ανά δεκαετία για την περίοδο 1950-2100. . Από το 1960 έως το 2005 τα κλιματικά μοντέλα οδηγούνται από ιστορικά κλιματικά σενάρια ενώ από το 2006 έως το 2100 τα κλιματικά μοντέλα οδηγούνται από τα κλιματικά σενάρια rcp4.5 και rcp8.5.

Κρύες ημέρες

Τα 2 σενάρια παρουσιάζουν ραγδαία μείωση των ημερών όπου η ελάχιστη θερμοκρασία είναι υπό του μηδενός με το rcp8.5 να είναι πιο δραματικό αφού την δεκαετία 2091-2100 εικάζεται ότι κατά μέσο όρο θα σημειωθούν -80 λιγότερες κρύες μέρες.



Εικόνα 29: Ετήσιες χρονοσειρές μεταβολής των κρύων ημερών (σε σχέση με την περίοδο αναφοράς 1960-1990) για το πλεγματικό κελί του Όσλου από τις διαθέσιμες προσομοιώσεις RCMs (1950-2100) και των σεναρίων rcp4.5 (μπλε γραμμή) και rcp8.5 (πορτοκαλί γραμμή).

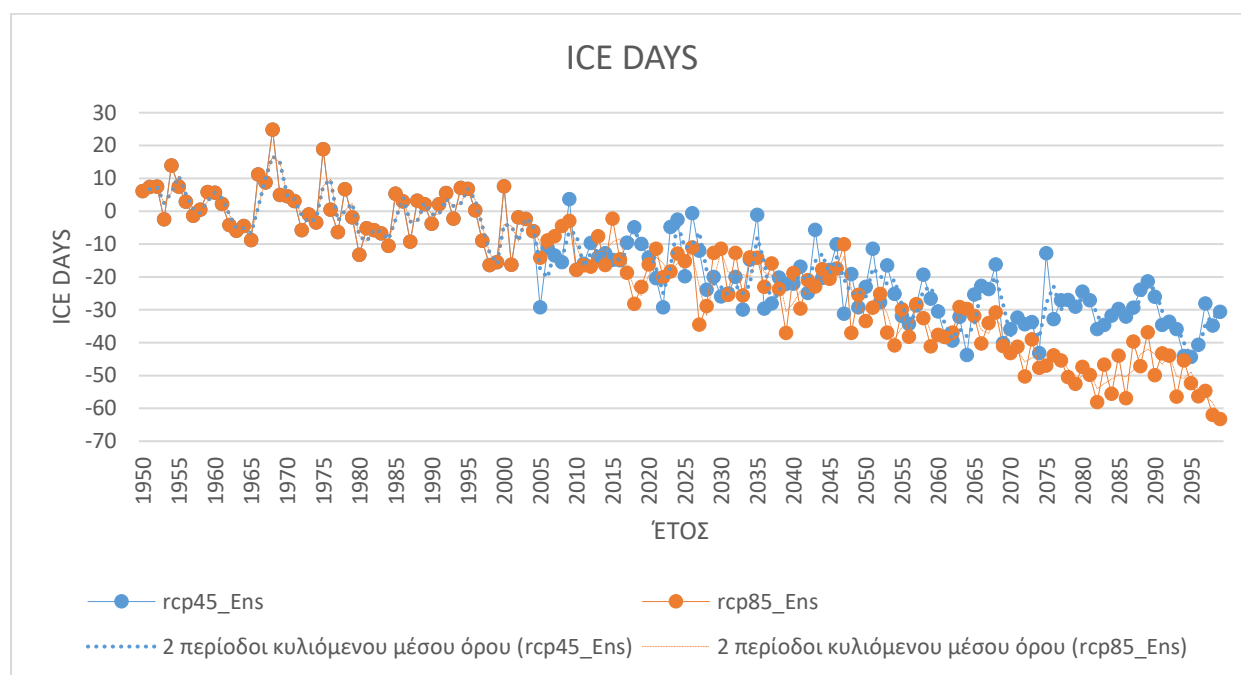
Έτος	Rcp4.5	Rcp8.5
1950-1960	6.48163	6.48163
1961-1970	6.018808	6.018808
1971-1980	2.217799	2.217799
1981-1990	-3.2922	-3.2922
1991-2000	-4.0222	-4.0222
2001-2010	-12.3422	-9.0922
2011-2020	-15.1722	-21.9122
2021-2030	-19.1922	-22.0922
2031-2040	-25.9922	-26.0522

2041-2050	-27.1722	-30.7022
2051-2060	-30.7422	-42.3422
2061-2070	-40.5422	-47.6422
2071-2080	-41.3922	-62.2722
2081-2090	-39.7622	-67.2922
2091-2100	-45.7826	-77.0576

Πίνακας 24: Παρουσίαση μέσω ετήσιων μεταβολών του αριθμού των κρύων ημερών ανά δεκαετία για την περίοδο 1950-2100. Από το 1960 έως το 2005 τα κλιματικά μοντέλα οδηγούνται από ιστορικά κλιματικά σενάρια ενώ από το 2006 έως το 2100 τα κλιματικά μοντέλα οδηγούνται από τα κλιματικά σενάρια rcp4.5 και rcp8.5.

Ημέρες παγετώνα

Το ίδιο μοτίβο με τις κρύες μέρες παρουσιάζει και η μεταβολή των ημερών παγετώνα. Οι κυλιόμενοι μέσοι δείχνουν σταθερή μείωση των ημερών όπου η μέγιστη θερμοκρασία είναι υπό του μηδενός. Το 2100 είναι αξιοσημείωτο ότι το σενάριο rcp8.5 δίνει πάνω από 60 λιγότερες μέρες παγετώνα.



Εικόνα 30: Ετήσιες χρονοσειρές μεταβολής των ημερών παγετώνα (σε σχέση με την περίοδο αναφοράς 1960-1990) για το πλεγματικό κελί του Όσλου από τις διαθέσιμες προσομοιώσεις RCMs (1950-2100) και των σεναρίων rcp4.5 (μπλε γραμμή) και rcp8.5 (πορτοκαλί γραμμή).

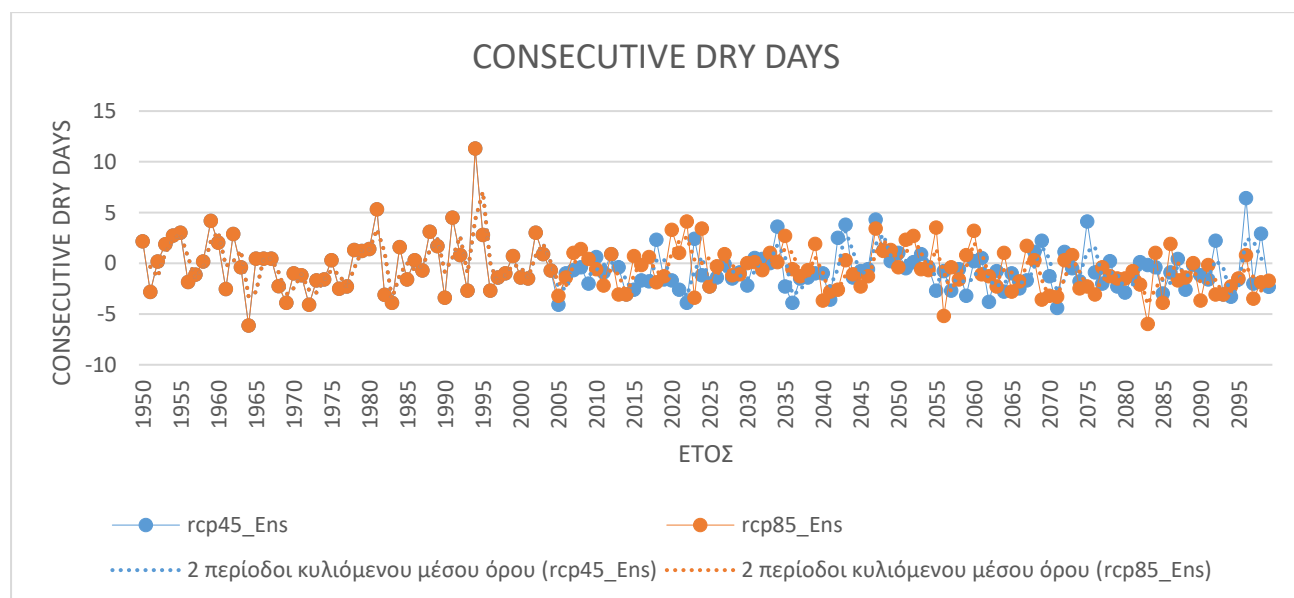
Έτος	Rcp4.5	Rcp8.5
1950-1960	5.577908	5.577908
1961-1970	3.39614	3.39614
1971-1980	1.510823	1.510823
1981-1990	-3.73918	-3.73918

1991-2000	-2.54918	-2.54918
2001-2010	-8.47918	-5.72918
2011-2020	-12.4692	-16.2392
2021-2030	-14.7692	-18.1592
2031-2040	-21.7092	-20.3292
2041-2050	-19.7392	-22.0692
2051-2060	-24.4892	-33.5892
2061-2070	-31.2492	-34.9992
2071-2080	-30.8692	-46.0992
2081-2090	-29.0692	-48.2492
2091-2100	-35.2956	-52.7881

Πίνακας 25: Παρουσίαση μέσω ετήσιων μεταβολών του αριθμού των ημερών παγετώνα ανά δεκαετία για την περίοδο 1950-2100. . Από το 1960 έως το 2005 τα κλιματικά μοντέλα οδηγούνται από ιστορικά κλιματικά σενάρια ενώ από το 2006 έως το 2100 τα κλιματικά μοντέλα οδηγούνται από τα κλιματικά σενάρια rcp4.5 και rcp8.5.

Διαδοχικές ξηρές ημέρες

Οι κυλιόμενοι μέσοι στο διάγραμμα της εικόνας 31 έχουν μικρή τυπική απόκλιση και ακολουθούν παρόμοια πορεία. Οι διαδοχικές ξηρές ημέρες κυμαίνονται από το 1950 μέχρι το 2100 χωρίς ιδιαίτερες αποκλίσεις, σχεδόν πάντα μεταξύ των -5 με 5 μέρες.



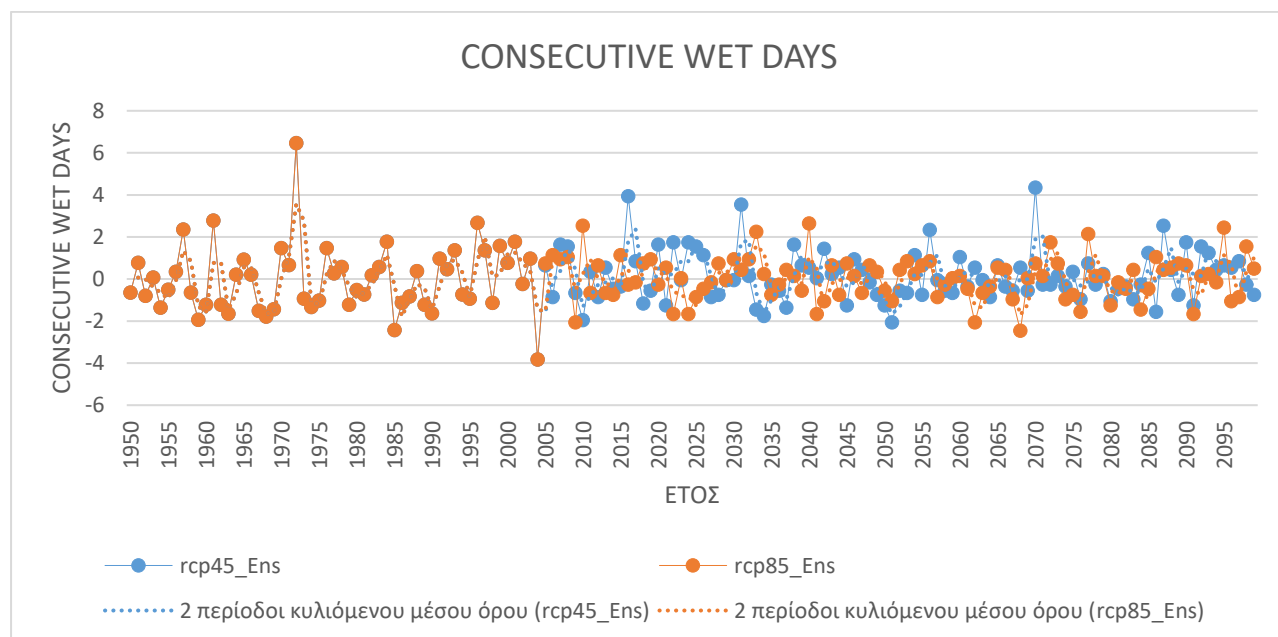
Εικόνα 31: Ετήσιες χρονοσειρές μεταβολής των συνεχόμενων ξηρών ημερών (σε σχέση με την περίοδο αναφοράς 1960-1990) για το πλεγματικό κελί του Όσλου από τις διαθέσιμες προσομοιώσεις RCMs (1950-2100) και των σεναρίων rcp4.5 (μπλε γραμμή) και rcp8.5 (πορτοκαλί γραμμή).

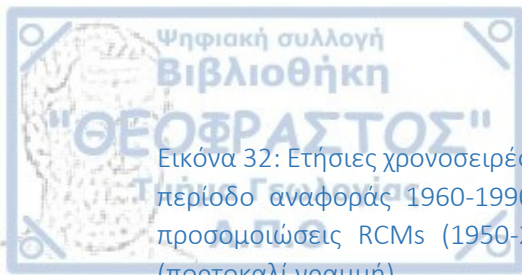
Έτος	Rcp4.5	Rcp8.5
1950-1960	0.749143	0.749143
1961-1970	-0.44094	-0.44094
1971-1980	-1.16038	-1.16038
1981-1990	0.409618	0.409618
1991-2000	0.889618	0.889618
2001-2010	-0.78592	-0.14592
2011-2020	-0.82145	-1.01145
2021-2030	-1.31145	0.448546
2031-2040	-0.77145	0.258546
2041-2050	0.478546	-0.75145
2051-2060	-0.88145	0.048546
2061-2070	-0.85145	-0.66145
2071-2080	-0.77145	-1.64145
2081-2090	-1.09145	-1.44145
2091-2100	-0.35559	-2.01309

Πίνακας 26: Παρουσίαση μέσων ετήσιων μεταβολών του αριθμού των διαδοχικών ξηρών ημερών ανά δεκαετία για την περίοδο 1950-2100. . Από το 1960 έως το 2005 τα κλιματικά μοντέλα οδηγούνται από ιστορικά κλιματικά σενάρια ενώ από το 2006 έως το 2100 τα κλιματικά μοντέλα οδηγούνται από τα κλιματικά σενάρια rcp4.5 και rcp8.5.

Διαδοχικές υγρές ημέρες

Στις διαδοχικές υγρές μέρες τα γραφήματα εμφανίζουν ομαλή μεταβλητότητα και μικρή τυπική απόκλιση μεταξύ τους όπως φαίνεται στην εικόνα 32. Άρα τα σενάρια έχουν περίπου ίδιες εκτιμήσεις.





Εικόνα 32: Ετήσιες χρονοσειρές μεταβολής των συνεχόμενων υγρών ημερών (σε σχέση με την περίοδο αναφοράς 1960-1990) για το πλεγματικό κελί του Όσλου από τις διαθέσιμες προσομοιώσεις RCMs (1950-2100) και των σεναρίων rcp4.5 (μπλε γραμμή) και rcp8.5 (πορτοκαλί γραμμή).

Έτος	Rcp4.5	Rcp8.5
1950-1960	-0.26113	-0.26113
1961-1970	-0.47581	-0.47581
1971-1980	0.636429	0.636429
1981-1990	-0.40357	-0.40357
1991-2000	0.396429	0.396429
2001-2010	0.172143	0.122143
2011-2020	0.027857	0.347857
2021-2030	0.477857	-0.38214
2031-2040	0.047857	0.377857
2041-2050	0.197857	0.097857
2051-2060	-0.31214	0.027857
2061-2070	-0.00214	-0.58214
2071-2080	0.367857	0.247857
2081-2090	-0.12214	-0.06214
2091-2100	0.468868	0.173868

Πίνακας 27: Παρουσίαση μέσω ετήσιων μεταβολών του αριθμού των διαδοχικών υγρών ημερών ανά δεκαετία για την περίοδο 1950-2100. . Από το 1960 έως το 2005 τα κλιματικά μοντέλα οδηγούνται από ιστορικά κλιματικά σενάρια ενώ από το 2006 έως το 2100 τα κλιματικά μοντέλα οδηγούνται από τα κλιματικά σενάρια rcp4.5 και rcp8.5.

5. Συμπεράσματα

Στη συγκεκριμένη εργασία μελετήθηκε το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής στην Ευρώπη με βάση τρεις πόλεις που βρίσκονται σε διαφορετικό γεωγραφικό πλάτος, δηλαδή την Αθήνα, το Βερολίνο και το Όσλο χρησιμοποιώντας την διαδικτυακή εφαρμογή DEAR-Clima. Από τα σενάρια της εφαρμογής επιλέχθηκαν το rcp4.5 που εικάζει μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου από το 2040 και έπειτα και το πιο απαισιόδοξο σενάρια rcp8.5 που προβλέπει ραγδαία αύξηση των αερίων μέχρι το 2100 λόγω έλλειψης περιβαλλοντικών πολιτικών. Η χρονική περίοδος του πειράματος είναι από το 1950 μέχρι το 2100 με το 1950-2005 να αποτελεί την ιστορική περίοδο και το 2006-2100 την μελλοντική. Οι κλιματικές μεταβλητές και δείκτες που αναλύθηκαν είναι της ελάχιστης και μέγιστης θερμοκρασίας, οι ζεστές και κρύες μέρες, οι μέρες παγετώνα, οι τροπικές νύχτες και οι συνεχόμενες υγρές και ξηρές μέρες.

Οι προσομοιώσεις έδειξαν αύξηση της μέγιστης και της ελάχιστης θερμοκρασίας και για τις τρεις πόλεις με παρόμοια μεταβλητότητα και πορεία με τη μεγαλύτερη αύξηση όμως να καταγράφεται στην νοτιότερη πόλη δηλαδή στην Αθήνα. Το αντίθετό συμβαίνει στην ελάχιστη θερμοκρασία όπου οι βορειότερες πόλεις παρουσιάζουν όπως είναι λογικό μεγαλύτερη αύξηση των ελάχιστων θερμοκρασιών τους με το Βερολίνο μάλιστα να έχει μεγαλύτερη άνοδο από το Όσλο. Οι πόλεις όπου γενικότερα έχουν χαμηλότερες θερμοκρασίες από άλλες όπως αποδεικνύεται θα παρουσιάσουν μεγαλύτερη άνοδο στο μέλλον λόγω της κλιματικής αλλαγής. Όσον αφορά τον υετό οι τρεις πόλεις παρουσιάζουν μικρή μεταβολή στα ετήσια ποσά βροχόπτωσης με μια φανερή μείωση τους.

Έντονη διαφορά υπήρχε στις ζεστές μέρες δηλαδή στις μέρες όπου η ανώτερη θερμοκρασία είναι άνω των 35 βαθμών κελσίου. Στην Αθήνα η οποία βρίσκεται σε μια μεσογειακή χώρα και γενικότερα επικρατούν υψηλές θερμοκρασίες, ο αριθμός των ζεστών ημερών δείχνει ραγδαία και ανεξέλεγκτη αύξηση που φτάνει περίπου στις +80 μέρες. Για το Βερολίνο σημειώνεται αύξηση η οποία όμως ανέρχεται περίπου στις +10 μόλις μέρες. Για το Όσλο η κατάσταση είναι πολύ ήπια αφού η μεταβολή είναι ομαλή και χωρίς μεγάλες αποκλίσεις. Όπως είναι λογικό παρόμοια κατάσταση υπάρχει και για τις τροπικές νύχτες δηλαδή τις μέρες όπου η χαμηλότερη θερμοκρασία είναι άνω των 20 βαθμών κελσίου. Η Αθήνα πάλι ηγείται παρουσιάζοντας τη μεγαλύτερη άνοδο ενώ το Όσλο φτάνει μόλις στις +8 τροπικές νύχτες τη δεκαετία 2091-2100. Το αντίθετο αποτέλεσμα βρέθηκε για τις κρύες μέρες δηλαδή τα μέρες όπου η ελάχιστη θερμοκρασία είναι υπό του μηδενός. Στο Όσλο και το Βερολίνο όπου γενικότερα επικρατούν χαμηλότερες θερμοκρασίες η μείωση των κρύων ημερών είναι πιο έντονη και ραγδαία από αυτή της Αθήνας βρίσκεται σε μικρότερο γεωγραφικό πλάτος. Ενώ οι δύο βόρειες πόλεις θα παρουσιάσουν σχεδόν 80 λιγότερες κρύες μέρες τη δεκαετία 2091-2100 η Αθήνα θα έχει μόλις 15 λιγότερες. Παρόμοια είναι η εικόνα και για τις ημέρες παγετώνα, δηλαδή όταν η μέγιστη θερμοκρασία είναι υπό του μηδενός. Η μεταβολή για τη νοτιότερη πόλη είναι πολύ ομαλή με πολύ

μικρές διακυμάνσεις ενώ για τις δύο βορειότερες πόλεις υπάρχει έντονη μεταβλητότητα και μείωση των ημερών παγετώννα.

Τα αποτελέσματα των διαδοχικών ξηρών ημερών μας οδηγούν στο συμπέρασμα ότι στις χώρες όπου επικρατούν μεγαλύτερες θερμοκρασίες όπως πχ στις μεσογειακές η αύξηση θα είναι ραγδαία και θα προκύψουν παρατεταμένες περίοδοι ξηρών ημερών σε σχέση με άλλες περιοχές τις βορειότερης Ευρώπης. Το αντίθετο συμβαίνει για τις συνεχόμενες υγρές μέρες όπου οι βορειότερες χώρες θα έχουν περισσότερες περιόδους υγρών ημερών από ότι οι νοτιότερες.

Όλα αυτά τα συμπεράσματα φανερώνουν πως το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής επηρεάζει όλο το χώρο της Ευρώπης ανεξαρτήτου γεωγραφικής θέσης και στο μέλλον θα πάρει ανεξέλεγκτη πορεία η οποία θα είναι πλέον δύσκολα αναστρέψιμη. Άρα, είναι απαραίτητη η άμεση λήψη περιβαλλοντικών πολιτικών για το μετριασμό του φαινομένου και την αποφυγή του κινδύνου.

6.Βιβλιογραφία

- **Ξενόγλωσση :**

1. Alverson, Keith D., Bradley, Raymond, Pedersen, Thomas F. (Eds.) (2003), Paleoclimate, Global Change and the Future
2. Bradley (1999), Paleoclimatology: Reconstructing Climates of the Quaternary
3. Planton, Serge (France; editor) (2013), "Annex III. Glossary: IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change
4. IPCC, 2007, Climate Change 2007, The Physical Science Basis by the Working Group I , Contribution to Fourth Assessment Report to the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007.
5. IPCC, 2012: Glossary of terms. In: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, pp. 555-564.
6. Luthi, D., et al.. 2008; Etheridge, D.M., et al. 2010; Vostok ice core data/J.R. Petit et al.; NOAA Mauna Loa CO2 record. Some description adapted from the Scripps CO2 Program website, "Keeling Curve Lessons."

- **Ηλεκτρονική:**

1. <https://climate.nasa.gov/>
2. <https://www.epa.gov/>
3. <https://climateknowledgeportal.worldbank.org/overview>
4. <https://www.climate.gov/>
5. <https://www.un.org/en/climatechange/>
6. <http://meteo3.geo.auth.gr:3838/>
7. https://www.pde.gov.gr/gr/images/stories/pespka/2_klimatikes_metavoles_pde.pdf

