



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ



ΑΝΤΩΝΙΑΔΟΥ Α. ΜΑΡΙΝΑ

«ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΕΠΟΧΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΑΚΡΑΙΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΜΕΣΟΓΕΙΟ»

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2023





ΑΝΤΩΝΙΑΔΟΥ Α. ΜΑΡΙΝΑ
Μεταπτυχιακή φοιτήτρια Τμήματος Γεωλογίας

«ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΕΠΟΧΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΑΚΡΑΙΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΜΕΣΟΓΕΙΟ»

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας,
Τομέα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας

Επιβλέπουσα καθηγήτρια:

Χριστίνα Αναγνωστοπούλου
Καθηγήτρια, ΑΠΘ
Τομέας Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας



© Αντωνιάδου Α. Μαρίνα, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας, 2023

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΕΠΟΧΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΑΚΡΑΙΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΜΕΣΟΓΕΙΟ – *Διπλωματική
Εργασία*

© Antoniadou A. Marina, School of Geology, Dept. of Meteorology and Climatology, 2023

All rights reserved.

Study of the seasonality of extreme temperature and precipitation events over Mediterranean. – *MSc 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.

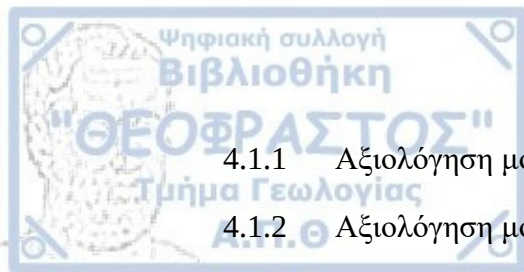
Εικόνα Εξωφύλλου: National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)





Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	1
Περίληψη.....	2
Abstract.....	3
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	4
1.1 Κλίμα.....	4
1.2 Κλιματική αλλαγή.....	5
1.3 Εποχικότητα και κλιματική αλλαγή.....	8
1.4 Παγκόσμια κλιματικά μοντέλα.....	9
1.5 Τα κλιματικά σενάρια.....	10
1.6 Χαρακτηριστικά και κλίμα της περιοχής μελέτης.....	14
1.7 Ακραία κλιματικά φαινόμενα.....	18
1.7.1 Βροχόπτωση.....	19
1.7.2 Μέγιστη μέση θερμοκρασία.....	21
1.7.3 Ελάχιστη μέση θερμοκρασία.....	22
2. Δεδομένα.....	23
2.1 Το project CMIP6 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 6).....	24
2.2 Το κλιματικό μοντέλο CNRM-CM6-1-HR.....	25
2.3 Σύνολο δεδομένων ERA5.....	25
3. Μεθοδολογία.....	26
3.1 Δείκτες ακραίων φαινομένων.....	26
3.1.1 Ακραία βροχόπτωση.....	26
3.1.2 Μέγιστη και Ελάχιστη Μέση Θερμοκρασία.....	26
3.2 Κυκλική στατιστική.....	27
3.2.1 Μέτρο συγκέντρωσης r.....	29
4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	32
4.1 Αξιολόγηση μοντέλου.....	32



4.1.1	Αξιολόγηση μοντέλου ακραίας βροχόπτωσης.....	33
4.1.2	Αξιολόγηση μοντέλου μέγιστης μέσης θερμοκρασίας.....	38
4.1.3	Αξιολόγηση μοντέλου ελάχιστης μέσης θερμοκρασίας	44
4.2	Ακραία βροχόπτωση	49
4.2.1	Εποχιακή κατανομή ακραίας βροχόπτωσης	49
4.2.2	Τιμή δείκτη ακραίας βροχόπτωσης.....	51
4.2.3	Μέτρο συγκέντρωσης r – Ακραία βροχόπτωση	52
4.3	Μέγιστη μέση θερμοκρασία.....	55
4.3.1	Εποχιακή κατανομή μέγιστης μέσης θερμοκρασίας.....	56
4.3.2	Τιμή δείκτη μέγιστης μέσης θερμοκρασίας.....	57
4.3.2	Μέτρο συγκέντρωσης r – Μέγιστη μέση θερμοκρασία.....	59
4.4	Ελάχιστη μέση θερμοκρασία	61
4.4.1	Εποχιακή κατανομή ελάχιστης μέσης θερμοκρασίας.....	61
4.4.2	Απόλυτα ελάχιστη τιμή της μέσης θερμοκρασίας.....	62
4.4.3	Μέτρο συγκέντρωσης r – Ελάχιστη μέση θερμοκρασία	64
5.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	67
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	72



Θα ήθελα να εκφράσω τη βαθύτατη ευγνωμοσύνη μου στα ξεχωριστά άτομα που έπαιξαν ανεκτίμητο ρόλο στο ταξίδι μου προς την ολοκλήρωση αυτής της μεταπτυχιακής διατριβής. Η ακλόνητη υπομονή τους και η αμείλικτη υποστήριξή τους αποτέλεσαν συνεχή πηγή έμπνευσης. Στην οικογένεια μου, σας ευχαριστώ που σταθήκατε στο πλευρό μου καθ' όλη τη διάρκεια αυτής της προσπάθειας. Η ατελείωτη ενθάρρυνση, η κατανόηση και οι θυσίες σας υπήρξαν η κινητήρια δύναμη πίσω από τα επιτεύγματά μου και είμαι για πάντα ευγνώμων για την πίστη σας στις ικανότητές μου. Στον σύντροφό μου, χωρίς την ασταμάτητη υποστήριξή σου σε όλο αυτό το ταξίδι, ακόμη και σε στιγμές αυτοαμφισβήτησης, δεν θα τα είχα καταφέρει. Στους αγαπημένους μου φίλους, σας ευχαριστώ για την υπομονή και υποστήριξή σας. Παρά τα αμέτρητα "όχι" μου και τις χαμένες μας βόλτες, δεν κάνατε ποτέ πίσω στη φιλία μας. Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω την ειλικρινή εκτίμησή μου προς το διδακτικό προσωπικό του τομέα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, τα μέλη της Τριμελούς εξεταστικής Επιτροπής και ιδιαίτερα στην κ. Χριστίνα Αναγνωστοπούλου με την οποία ο αγώνας ολοκλήρωσης της παρούσας εργασίας ήταν κοινός και συνεχής. Η καθοδήγηση, οι γνώσεις και η εμπειρία όλων, διαμόρφωσαν την ακαδημαϊκή μου εξέλιξη με ουσιαστικό τρόπο. Είμαι ευγνώμων για την υπομονή σας να απαντάτε στις ερωτήσεις μου και ελπίζω αυτή η ακαδημαϊκή σύνδεση μας να διατηρηθεί μέχρι το μακρινό μέλλον.

Η περιοχή της Μεσογείου έχει χαρακτηριστεί ως “hot-spot” κλιματικής αλλαγής δηλαδή περιοχή στην οποία οι επιπτώσεις αναμένεται να είναι ιδιαίτερα έντονες, με μακρύτερα και θερμότερα καλοκαίρια, αύξηση της συχνότητας και της έντασης των κυμάτων καύσωνα, αλλαγές στα μοτίβα βροχόπτωσης και μείωση των ποσοτήτων βροχής. Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η ανάλυση της εποχικότητας των ακραίων βροχοπτώσεων και θερμοκρασιών στην Μεσόγειο στην μελλοντική περίοδο 2081-2100, καθώς και η σύγκριση των αποτελεσμάτων με την περίοδο αναφοράς, με χρήση της μεθόδου της κυκλικής στατιστικής. Ειδικότερα, τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν, προέκυψαν από την τελευταία φάση του Coupled Model Intercomparison Project (CMIP6), και συγκεκριμένα από το μοντέλο γενικής κυκλοφορίας CNRM-CM6-1-HR για το σενάριο SSP5-8.5.

Ο δείκτης που χρησιμοποιήθηκε για την ακραία βροχόπτωση είναι το 99^ο ποσοστημόριο της ημερήσιας βροχόπτωσης και τα αποτελέσματα έδειξαν ότι στο μέλλον αναμένεται αύξηση των ακραίων βροχοπτώσεων κατά τη διάρκεια της ψυχρής περιόδου. Στην συνέχεια, για την μελέτη της μέγιστης μέσης θερμοκρασίας χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης του 95^{ου} ποσοστημορίου της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας και αναμένεται τα επεισόδια μέγιστης μέσης θερμοκρασίας να σημειώνονται αργότερα μέσα στην θερμή περίοδο, με το θερμοκρασιακό όριο του ποσοστημορίου να είναι σημαντικά αυξημένο σε σχέση με την περίοδο αναφοράς. Τέλος, σε ότι αφορά την ελάχιστη μέση θερμοκρασία, η ανάλυση έγινε χρησιμοποιώντας έναν δείκτη ο οποίος ορίστηκε από την απόλυτα ελάχιστη τιμή της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας, η οποία και σε αυτή την περίπτωση κυμαίνεται σε υψηλότερα επίπεδα για την περίοδο 2081-2100. Τα αποτελέσματα να διαφέρουν χωρικά, ωστόσο οι μεταβολές κατά την μελλοντική περίοδο φαίνεται να αφορούν ενδομηνιαίως τους μήνες Ιανουάριο και Φεβρουάριο.



Abstract

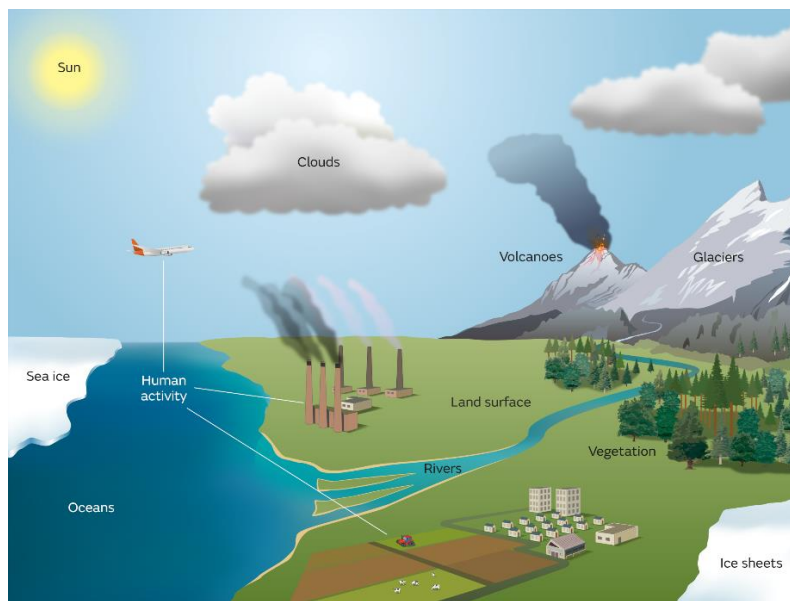
The Mediterranean region has been identified as a "hot-spot" of climate change where the impacts are expected to be particularly severe, with longer and hotter summers, an increase in the frequency and intensity of heat waves, changes in precipitation patterns and a decrease of the precipitation heights. The aim of this paper is to analyse the seasonality of extreme precipitation and temperatures over the Mediterranean in the future period 2081-2100, and to compare the results with the reference period, using the method of circular statistics. In particular, the data used were retrieved from the last phase of the Coupled Model Intercomparison Project (CMIP6), specifically from the CNRM-CM6-1-HR global circulation model for the SSP5-8.5 scenario.

The indicator used for extreme precipitation is the 99th percentile of daily precipitation, and the results indicated that an increase in extreme precipitation is expected in the future during the cold season. The 95th percentile of the daily mean temperature was used to study extreme maximum temperature and it is expected that extreme maximum temperature episodes will occur later in the warm season, with the temperature threshold of the percentile being significantly increased compared to the reference period. Finally, with respect to the extreme minimum temperature, the analysis was performed using an extreme indicator defined by the absolute minimum value of the mean daily temperature, which in this case also ranges at higher levels for the period 2081-2100. The results vary spatially, but the changes in the future period seem to occur intra-monthly in January and February.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Κλίμα

Το κλίμα αναφέρεται στην μακροχρόνια μεταβολή της θερμοκρασίας, της βροχόπτωσης, του ανέμου και άλλων μετεωρολογικών μεταβλητών σε μια συγκεκριμένη περιοχή. Το κλίμα είναι ένα πολύπλοκο και δυναμικό σύστημα και επηρεάζεται από μια σειρά παραγόντων, όπως η γεωγραφία, τα ωκεάνια ρεύματα, οι χρήσεις γης, η παγοκάλυψη, η ηφαιστειακή δραστηριότητα, οι ανθρώπινες δραστηριότητες και η σύσταση της ατμόσφαιρας (Σχήμα 1) (IPCC, 2007).



Σχήμα 1: Παράγοντες που διαμορφώνουν το κλίμα μιας περιοχής (Πηγή: MetOffice, 2023¹)

Το κλίμα παρουσιάζει μεγάλες διαφορές ανά τον κόσμο, από ψυχρούς τύπους κλίματος όπως η τούνδρα στην Αρκτική μέχρι τα θερμά, τροπικά δάση στον Ισημερινό. Οι κυριότεροι παράγοντες που επηρεάζουν το κλίμα μιας περιοχής είναι η απόστασή της από την θάλασσα, το γεωγραφικό πλάτος, το υψόμετρο και οι τοπικές συνθήκες όπως η παρουσία μεγάλων υδάτινων όγκων και οι τοπικοί άνεμοι (Sloan, 2016). Τα παγκόσμια πρότυπα ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, όπως οι δακτύλιοι Hadley, παίζουν επίσης σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση του κλίματος, μεταφέροντας θερμότητα και υγρασία σε όλο τον πλανήτη (Cui et al., 2021).

¹ What is climate? (n.d.). Met Office. Retrieved February 13, 2023, from <https://www.metoffice.gov.uk/weather/climate/climate-explained/what-is-climate>

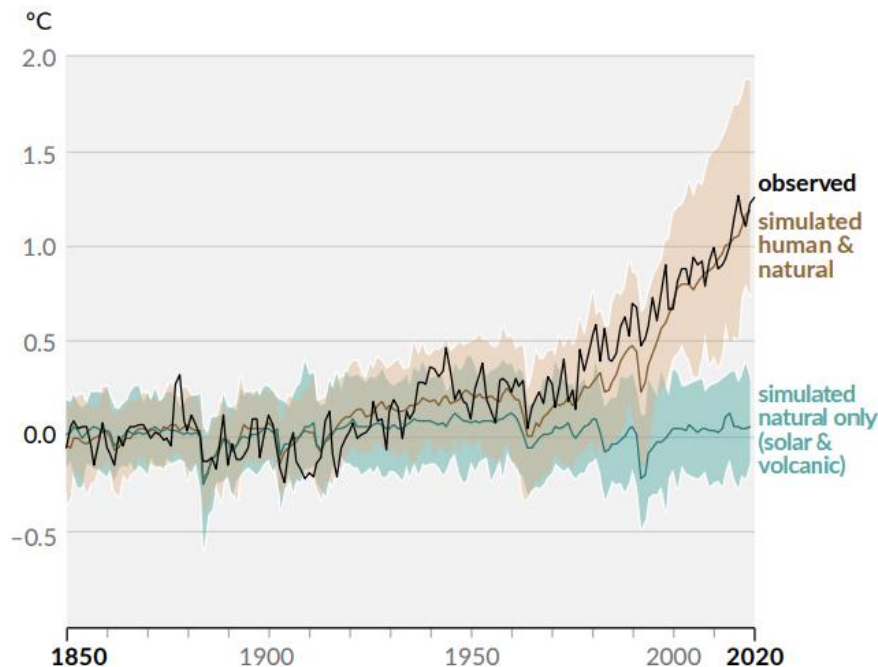
Το κλίμα παίζει καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση της βιοποικιλότητας στο πλανήτη, καθώς επίσης επηρεάζει σημαντικά πολλές πτυχές της κοινωνίας αλλά και της οικονομίας. Για παράδειγμα, οι περιοχές με θερμό και υγρό κλίμα είναι συχνά πιο ευνοϊκές για τη γεωργία και μπορούν να φιλοξενήσουν μεγαλύτερο πληθυσμό ανθρώπων. Αντίθετα, τα ερημικά κλίματα, είναι λιγότερο φιλόξενα για τους ανθρώπους και φιλοξενούν λιγότερα φυτικά και ζωικά είδη (Dow & Downing, 2016). Επιπρόσθετα, συντελεί στη διαμόρφωση του φυσικού περιβάλλοντος, επηρεάζοντας τα είδη των φυτών και των ζώων που μπορούν να επιβιώσουν σε μια δεδομένη περιοχή καθορίζοντας την καταλληλότητα της γης για τη γεωργία και την εγκατάσταση του ανθρώπου. Συνεπώς, η μελέτη του κλίματος καθώς και η κατανόηση του και των εναλλαγών του σε τοπικό επίπεδο είναι ζωτικής σημασίας τόσο για την εκτίμηση των μελλοντικών κλιματικών συνθηκών όσο και για τη βιώσιμη διαχείριση των πόρων του πλανήτη. Για παράδειγμα, η γνώση του κλίματος μπορεί να βοηθήσει στον προγραμματισμό στον τομέα της γεωργίας έτσι ώστε οι αγρότες να λάβουν αποφάσεις σχετικά με την επιλογή των καλλιεργειών και τα χρονοδιαγράμματα φύτευσης. Επιπλέον, τα κλιματικά δεδομένα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την πρόβλεψη της πιθανότητας φυσικών καταστροφών, όπως ξηρασίες, πλημμύρες και τυφώνες, και να βοηθήσουν τους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων να σχεδιάσουν και να ανταποκριθούν σε αυτά τα γεγονότα.

1.2 Κλιματική αλλαγή

Η κλιματική αλλαγή αναφέρεται σε μια αλλαγή στην κατάσταση του κλίματος που μπορεί να προσδιοριστεί (π.χ. με τη χρήση στατιστικών δοκιμών) από τις αλλαγές στη μέση τιμή ή/και τη μεταβλητότητα των ιδιοτήτων του και η οποία επιμένει για παρατεταμένο χρονικό διάστημα, συνήθως δεκαετίες ή περισσότερο. Αναφέρεται σε οποιαδήποτε αλλαγή του κλίματος με την πάροδο του χρόνου, είτε αυτή οφείλεται στη φυσική μεταβλητότητα είτε είναι αποτέλεσμα της ανθρώπινης δραστηριότητας (IPCC, 2007). Οι δραστηριότητες αυτές ενισχύουν επικίνδυνα το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Πιο αναλυτικά, το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι ένα φαινόμενο κατά το οποίο ορισμένα αέρια στην ατμόσφαιρα της Γης, γνωστά ως αέρια του θερμοκηπίου, εγκλωβίζουν τη γήινη ακτινοβολία και αυξάνουν τη θερμοκρασία του πλανήτη. Τα κύρια θερμοκηπικά αέρια είναι το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), το μεθάνιο (CH_4) και το οξείδιο του αζώτου (N_2O). Το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι απαραίτητο για τη ζωή στη Γη, καθώς συμβάλλει στη διατήρηση μιας σταθερής θερμοκρασίας η οποία

επιτρέπει την ύπαρξη φυτών, ζώων και ανθρώπων. Ωστόσο, η αυξανόμενη εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου λόγω των ανθρώπινων δραστηριοτήτων οδηγεί σε αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη. Το φαινόμενο αυτό αναφέρεται ως υπερθέρμανση του πλανήτη (IPCC, 2018).

Στο Σχήμα 2, φαίνεται η μεταβολή της παγκόσμιας μέσης ετήσιας θερμοκρασίας όπως παρατηρείται και προσομοιώνεται από την IPCC (IPCC, 2021), λαμβάνοντας υπόψιν μόνο την φυσική μεταβλητότητα (γαλάζια καμπύλη), αλλά και σε συνδυασμό με τις ανθρώπινες δραστηριότητες (κόκκινη καμπύλη). Η φυσική μεταβλητότητα του κλίματος αναφέρεται στις μεταβολές της θερμοκρασίας, της βροχόπτωσης και άλλων μετεωρολογικών παραμέτρων που συμβαίνουν διαχρονικά λόγω φυσικών αιτιών, όπως οι διακυμάνσεις της έντασης του ήλιου, οι ηφαιστειακές εκρήξεις και οι μεταβολές των ωκεάνιων ρευμάτων. Περιλαμβάνει επίσης περιοδικές κλιματικές μεταβολές όπως τα φαινόμενα El Niño και La Niña. Η φυσική κλιματική μεταβλητότητα μπορεί να έχει σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον και την ανθρώπινη κοινωνία, αλλά διαφέρει από την κλιματική αλλαγή, η οποία αναφέρεται σε μακροχρόνιες μεταβολές των μέσων συνθηκών που προκύπτουν από ανθρώπινες δραστηριότητες (Fraisse et al., 2009).



Σχήμα 2: Ανωμαλία της παγκόσμιας μέσης θερμοκρασίας (ετήσιος μέσος όρος), όπως παρατηρείται και όπως προσομοιώνεται με χρήση ανθρωπογενών & φυσικών παραγόντων, καθώς και με χρήση μόνο φυσικών παραγόντων (IPCC, 2021²)

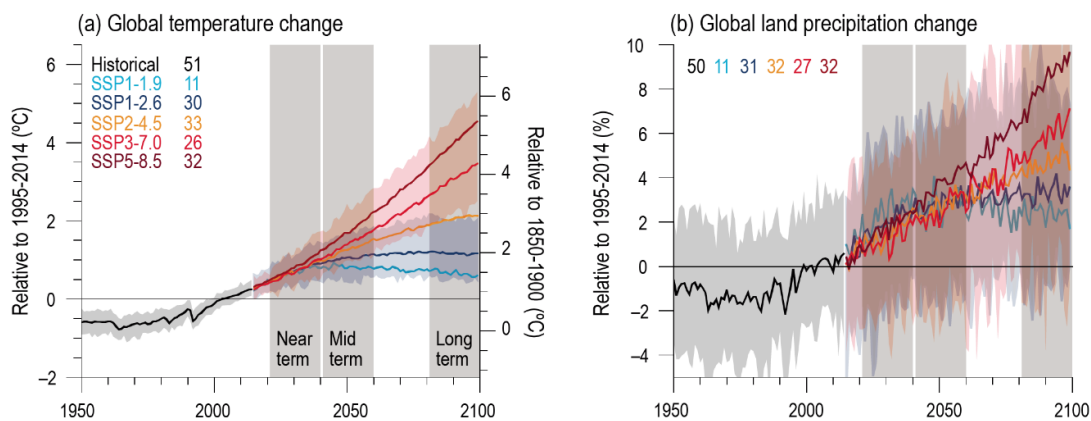
² IPCC, 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N.

Η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος (IPCC), στην τελευταία έκθεση αξιολόγησης της κλιματικής αλλαγής που δημοσίευσε (Αύγουστος 2021), αναφέρει αξιοσημείωτα συμπεράσματα που προέκυψαν από λεπτομερή ανάλυση κλιματικών δεδομένων τόσο των τελευταίων ετών όσο και από προσομοιώσεις κλιματικών μοντέλων. Επιπλέον, σημειώνει ως αδιαμφισβήτητη την ανθρώπινη επίδραση στην έκταση και στην ταχύτητα θέρμανσης της ατμόσφαιρας, των ωκεανών και της ξηράς, καθώς και στην αξιοσημείωτη αύξηση των θερμοκηπικών αερίων. Για την ακρίβεια, αποδείχθηκε πως το 2019, οι ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις CO₂ ήταν υψηλότερες από κάθε άλλη φορά εδώ και τουλάχιστον 2 εκατομμύρια χρόνια, ενώ οι συγκεντρώσεις των CH₄ και N₂O ήταν υψηλότερες από οποιαδήποτε άλλη φορά εδώ και τουλάχιστον 800.000 χρόνια. Παρακάτω δίνονται ενδεικτικά κάποια από αυτά τα συμπεράσματα για τις τελευταίες δεκαετίες και κάποιες από τις σημαντικές μελλοντικές εκτιμήσεις (IPCC, 2021):

- Κάθε μία από τις τέσσερις τελευταίες δεκαετίες ήταν διαδοχικά θερμότερη από κάθε δεκαετία που προηγήθηκε από το 1850 και μετά. Η παγκόσμια επιφανειακή θερμοκρασία κατά τις δύο πρώτες δεκαετίες του 21ου αιώνα (2001-2020) ήταν κατά μέσο όρο 0.99°C υψηλότερη από την αντίστοιχη του 1850-1900.
- Η μέση παγκόσμια βροχόπτωση πάνω από την ξηρά τα τελευταία χρόνια έχει πιθανότατα αυξηθεί σε σχέση με το 1950, με ταχύτερη αύξηση μετά τη δεκαετία του 1980. Η συχνότητα και η ένταση των έντονων βροχοπτώσεων έχουν αυξηθεί από τη δεκαετία του 1950 στις περισσότερες χερσαίες περιοχές και η ανθρωπογενής κλιματική αλλαγή είναι πιθανότατα ο κύριος παράγοντας.
- Σε ότι αφορά το μέλλον, η παγκόσμια επιφανειακή θερμοκρασία θα συνεχίσει να αυξάνεται τουλάχιστον μέχρι τα μέσα του αιώνα σύμφωνα με όλα τα εξεταζόμενα σενάρια εκπομπών. Η υπερθέρμανση του πλανήτη κατά 1.5°C και 2°C θα ξεπεραστεί κατά τη διάρκεια του 21ου αιώνα, εκτός εάν σημειωθούν σημαντικές μειώσεις των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου τις επόμενες δεκαετίες. Πιο συγκεκριμένα, σε σύγκριση με το 1850-1900, η μέση παγκόσμια επιφανειακή θερμοκρασία κατά την περίοδο 2081-2100 είναι πολύ πιθανό να είναι υψηλότερη από 1.0°C έως 1.8°C σύμφωνα με το εξεταζόμενο σενάριο πολύ χαμηλών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (SSP1-1.9), κατά 2.1°C έως 3.5°C στο

ενδιάμεσο σενάριο εκπομπών (SSP2-4.5) και κατά 3.3°C έως 5.7°C σύμφωνα με το σενάριο πολύ υψηλών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (SSP5-8.5) (Σχήμα 3a).

- Η μέση παγκόσμια βροχόπτωση θα αυξηθεί με την αύξηση της μέσης θερμοκρασίας (Σχήμα 3b). Οι βροχοπτώσεις πιθανότατα θα αυξηθούν, στις τροπικές περιοχές, καθώς και σε μεγάλα τμήματα της περιοχής των μουσώνων, αλλά πιθανόν να μειωθούν πάνω από στις υποτροπικές περιοχές. Είναι πολύ πιθανό ότι τα έντονα φαινόμενα βροχόπτωσης θα ενταθούν και θα γίνουν συχνότερα στις περισσότερες περιοχές. Σε παγκόσμια κλίμακα, οι ακραίες ημερήσιες βροχοπτώσεις αναμένεται να ενταθούν κατά 7% περίπου για κάθε 1°C αύξησης της παγκόσμιας θερμοκρασίας.



Σχήμα 3: Παρατηρούμενες, προσομοιωμένες και αναμενόμενες αλλαγές σε σύγκριση με τον μέσο όρο της περιόδου 1995-2014 σε δύο βασικούς δείκτες του κλιματικού συστήματος έως το 2100, διαφοροποιημένες ανά SSP σενάριο. (a) Παγκόσμια μέση θερμοκρασία επιφάνειας (b) Παγκόσμια μέση βροχόπτωση πάνω από την χέρσο (IPCC, 2021³)

1.3 Εποχικότητα και κλιματική αλλαγή

Η εποχικότητα παίζει καθοριστικό ρόλο στην ύπαρξη και επιβίωση κάθε μορφής ζωής στον πλανήτη (Dayton, 2008). Η μελέτη της εποχικότητας του κλίματος μπορεί να δώσει πληροφορίες για τα ευρύτερα παγκόσμια κλιματικά μοτίβα και να μας βοηθήσει να κατανοήσουμε καλύτερα τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής.

³Figure 4.2 in IPCC, 2021: Chapter 4. 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 [Lee, J.-Y., J. Marotzke, G. Bala, L. Cao, S. Corti, J.P. Dunne, F. Engelbrecht, E. Fischer, J.C. Fyfe, C. Jones, A. Maycock, J. Mutemi, O. Ndiaye, S. Panickal, and T. Zhou, 2021: Future Global Climate: Scenario-Based Projections and Near-Term Information. 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. Yelekci, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 553–672, doi: 10.1017/9781009157896.006.]

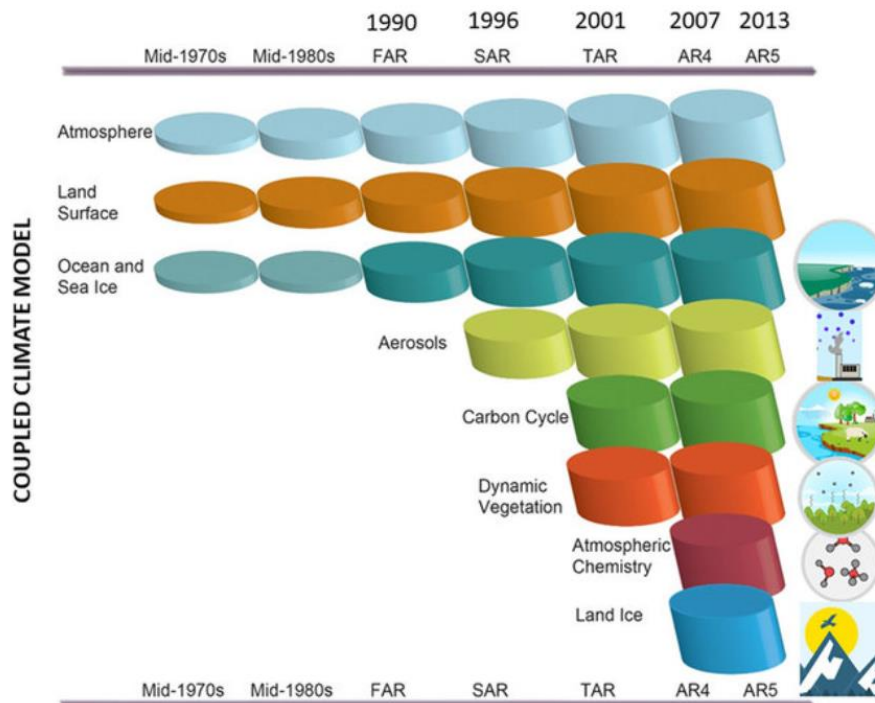
Είναι γεγονός πως η κλιματική αλλαγή επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό το χρόνο και τη διάρκεια των κλιματικών φαινομένων. Για παράδειγμα, καθώς αυξάνονται οι θερμοκρασίες, μπορεί να μεταβληθεί ο χρόνος των φαινολογικών γεγονότων, όπως η μετανάστευση και η ανθοφορία. Επιπλέον, οι αλλαγές στις κατανομές βροχόπτωσης, που προκαλούνται από την κλιματική αλλαγή, μπορούν να επηρεάσουν τον χρόνο εμφάνισης και την ποσότητα των βροχοπτώσεων και τη διαθεσιμότητα νερού για τα φυτά και τα ζώα. Αυτό με τη σειρά του μπορεί να διαταράξει εποχικότητα. Η κλιματική αλλαγή προκαλεί επίσης αύξηση της συχνότητας και της έντασης των ακραίων καιρικών φαινομένων, όπως ξηρασίες, καύσωνες και έντονες βροχοπτώσεις, γεγονός που διαταράσσει περαιτέρω τη χρονική διάρκεια των οικοσυστημάτων (IPCC, 2021). Τέλος, οι αλλαγές στο χρόνο και τη διάρκεια της κάλυψης πάγου και χιονιού που προκύπτουν από την κλιματική αλλαγή μπορούν επίσης να επηρεάσουν το χρόνο των εποχιακών γεγονότων και τη διαθεσιμότητα των ενδιαιτημάτων για τα φυτά και τα ζώα. Το συνολικό αποτέλεσμα αυτών των χρονικών αλλαγών μπορεί να οδηγήσει σε μετατοπίσεις στην κατανομή και την αφθονία των ειδών και σε αλλαγές στη δομή και τη λειτουργία ολόκληρων οικοσυστημάτων (IPCC, 2014).

1.4 Παγκόσμια κλιματικά μοντέλα

Τα κλιματικά μοντέλα είναι εργαλεία διαθέσιμα στην επιστημονική κοινότητα που βοηθούν στην προσομοίωση της απόκρισης του παγκόσμιου κλιματικού συστήματος σε παράγοντες που το επηρεάζουν, όπως οι αυξανόμενες συγκεντρώσεις αερίων του θερμοκηπίου, όλες οι ανθρώπινες δραστηριότητες και η φυσική κλιματική μεταβλητότητα. Η ανάπτυξη αυτών των μοντέλων άρχισε τη δεκαετία του 1960, όπου και χρονολογείται η ανάπτυξη σχετικά ισχυρών υπολογιστών, ικανών να φέρουν εις πέρας τέτοιους υπολογισμούς, ενώ σχεδόν όλα τα σημερινά μοντέλα προέρχονται από την καινοτόμο έρευνα των S. Manabe και R. Wetherald (1967).

Τα παγκόσμια κλιματικά μοντέλα (GCMs) είναι μαθηματικά συζευγμένα μοντέλα που προσομοιώνουν τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ διαφόρων στοιχείων του κλιματικού συστήματος της Γης, συμπεριλαμβανομένης της ατμόσφαιρας, των ωκεανών, της επιφάνειας της γης και της κρυόσφαιρας. Τα GCM χρησιμοποιούν μαθηματικές εξισώσεις για να αναπαραστήσουν φυσικές, χημικές και βιολογικές διεργασίες και ενσωματώνουν μεγάλες ποσότητες δεδομένων παρατήρησης για να βελτιώσουν την ακρίβειά τους. Τα μοντέλα μπορούν να προσομοιώσουν ένα ευρύ φάσμα φαινομένων,

από τη μεγάλης κλίμακας κυκλοφορία της ατμόσφαιρας και των ωκεανών έως τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ της επιφάνειας της γης και της ατμόσφαιρας. Αποτελούν ουσιαστικό εργαλείο για την έρευνα του κλίματος και χρησιμοποιούνται ευρέως για την πραγματοποίηση προβολών της μελλοντικής κλιματικής αλλαγής και των επιπτώσεών της. Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 4, τα παγκόσμια συζευγμένα κλιματικά μοντέλα έχουν εξελιχθεί σημαντικά με τα χρόνια και λαμβάνουν υπόψιν τους τις διαδικασίες και τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των πολλών, διαφορετικών συνιστωσών του κλιματικού συστήματος, όπως της ατμόσφαιρας, της χερσαίας επιφάνειας, του ωκεανού, του θαλάσσιου και χερσαίου πάγου, των αιωρημάτων, του κύκλου του άνθρακα, της βλάστησης καθώς και της ατμοσφαιρικής χημείας (Ambrizzi et al., 2018).



Σχήμα 4: Εξέλιξη των κλιματικών μοντέλων που χρησιμοποιούνται στις εκθέσεις αξιολόγησης της IPCC (Πηγή: Ambrizzi et al., 2018⁴)

1.5 Τα κλιματικά σενάρια

Τα Κοινόχρηστα Κοινωνικοοικονομικά Μονοπάτια (Shared Socioeconomic Pathways - SSPs) και τα Αντιπροσωπευτικά Μονοπάτια Συγκεντρώσεων (Representative Concentration Pathways - RCPs) είναι δύο τύποι σεναρίων που χρησιμοποιούνται από

⁴ Ambrizzi, T., Reboita, M. S., da Rocha, R. P., & Llopart, M. (2019). The state of the art and fundamental aspects of regional climate modelling in South America. *Annals of the New York academy of sciences*, 1436(1), 98-120. <https://doi.org/10.1111/nyas.13932>

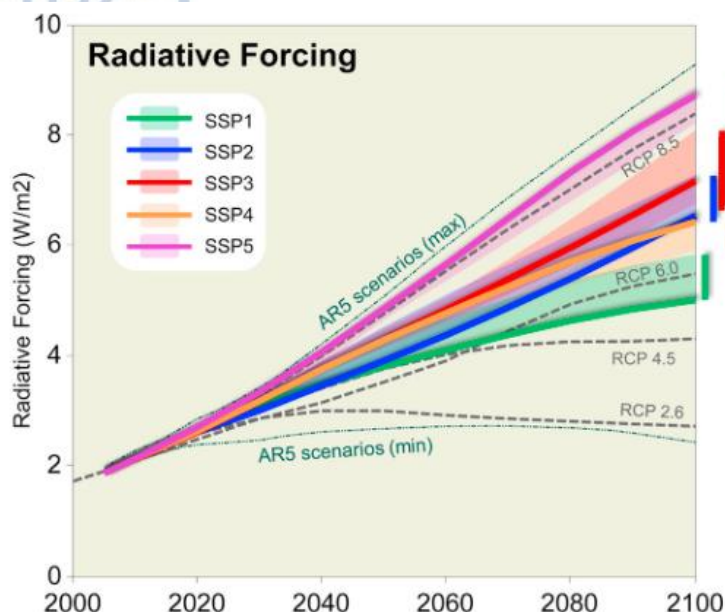
την IPCC για την αξιολόγηση των μελλοντικών επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στον πλανήτη.

Τα SSPs είναι ποιοτικά σενάρια που περιγράφουν τη μελλοντική ανάπτυξη των ανθρώπινων κοινωνιών, συμπεριλαμβανομένων των δημογραφικών αλλαγών, της οικονομικής ανάπτυξης και της τεχνολογικής προόδου, μεταξύ άλλων παραγόντων. Έχουν αναπτυχθεί πέντε SSPs, καθένα από τα οποία αντιπροσωπεύει μια διαφορετική πορεία της μελλοντικής κοινωνικής και οικονομικής ανάπτυξης (O'Neill et al., 2014; O'Neill et al., 2015; Kriegler et al., 2016; Riahi et al., 2017).

Πίνακας 1: Περιγραφή Κοινόχρηστων Κοινωνικοοικονομικών Μονοπατιών (SSPs)

Σενάριο	Περιγραφή
SSP1	Το σενάριο αυτό περιγράφει έναν κόσμο στον οποίο λαμβάνονται έγκαιρα μέτρα για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής, οδηγώντας σε ένα βιώσιμο μέλλον με χαμηλές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα.
SSP2	Το σενάριο αυτό είναι ενδιάμεσο και σύμφωνα με αυτό, η δράση αναλαμβάνεται μεταγενέστερα, ωστόσο εγκαίρως, για να αποφευχθούν οι δυσμενέστερες επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής.
SSP3	Το σενάριο αυτό περιγράφει έναν πλανήτη στον οποίο η έλλειψη μέτρων οδηγεί σε μια ταχεία αλλαγή του κλίματος, με αποτέλεσμα σημαντικές διαταραχές και συγκρούσεις.
SSP4	Σύμφωνα με αυτό το σενάριο η άνιση ανάπτυξη οδηγεί σε έναν κατακερματισμένο κόσμο, όπου τα έθνη παρουσιάζουν σημαντικές οικονομικές διαφορές, καθένα εκ των οποίων αναζητά το προσωπικό του κέρδος, οδηγώντας έτσι σε ένα μέλλον με υψηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα.
SSP5	Το σενάριο αυτό δίνει έμφαση στην οικονομική ανάπτυξη με κάθε κόστος, οδηγώντας σε ένα εξαιρετικά άνισο και μη βιώσιμο μέλλον.

Κάθε ένα από αυτά τα σενάρια παρέχει ένα μοναδική εικόνα για το μέλλον, αναδεικνύοντας τις επιλογές και τις συνέπειες των δράσεων που αναλαμβάνουμε σήμερα. Για παράδειγμα, το SSP1 καταδεικνύει τις δυνατότητες που υπάρχουν αν αναλάβουμε έγκαιρα και σταθερά δράση για τη μείωση των εκπομπών και την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής, ενώ το SSP3 προειδοποιεί για τις ολέθριες συνέπειες αν δεν ληφθούν καθόλου μέτρα. Στο Σχήμα 5 φαίνεται η επίδραση στο ενεργειακό ισοζύγιο (radiative forcing - RH) της Γης με βάση τα πέντε SSPs, με το SSP1 να φτάνει το 2100 τα 4 W/m², ενώ το SSP5 ξεπερνά τα 8 W/m².



Σχήμα 5: Η επίδραση στο ενεργειακό ισοζύγιο (radiative forcing) σύμφωνα με τα διαφορετικά SSPs σενάρια (Πηγή: Riahi et al., 2017)

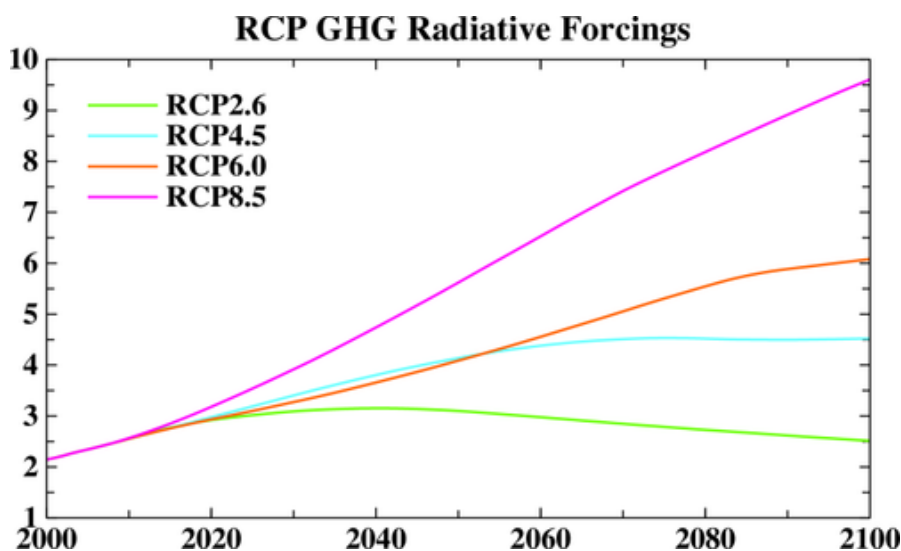
Τα παλιά κλιματικά σενάρια (RCP) είναι ποσοτικά σενάρια που περιγράφουν τη μελλοντική συγκέντρωση των αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα. Υπάρχουν τέσσερα RCPs, καθένα από τα οποία αντιπροσωπεύει μια διαφορετική πορεία των μελλοντικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (van Vuuren et al., 2011; Thomson et al., 2011; Masui et al., 2011; Riahi et al., 2011).

Πίνακας 2: Περιγραφή παλαιότερων κλιματικών σεναρίων - Αντιπροσωπευτικά Μονοπάτια συγκέντρωσης (RCPs)

Σενάριο	Περιγραφή
RCP 2.6	Αυτό το σενάριο είναι το πιο «αισιόδοξο -μετριοπαθές» από τα τέσσερα και υποθέτει ότι οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κορυφώνονται μέχρι τα μέσα του αιώνα και στη συνέχεια μειώνονται γρήγορα, οδηγώντας σε ακτινοβολία 2,6 W/m ² μέχρι το 2100.
RCP 4.5	Αυτό το σενάριο υποθέτει ότι οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κορυφώνονται στα μέσα του αιώνα και στη συνέχεια μειώνονται αργά, οδηγώντας σε ακτινοβολία 4,5 W/m ² μέχρι το 2100. Θεωρείτε ένα ενδιάμεσο σενάριο μελλοντικών εκπομπών.
RCP 6.0	Αυτό το σενάριο υποθέτει ότι οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου θα συνεχίσουν να αυξάνονται καθ' όλη τη διάρκεια του 21ου αιώνα, οδηγώντας σε ακτινοβολία 6,0 W/m ² μέχρι το 2100. Είναι το λιγότερο διαδεδομένο σενάριο σε διεθνείς μελέτες.
RCP 8.5	Αυτό το σενάριο υποθέτει ότι οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου συνεχίζουν να αυξάνονται καθ' όλη τη διάρκεια του 21ου αιώνα, οδηγώντας σε ακτινοβολία 8,5 W/m ² μέχρι το 2100. Αυτό το σενάριο

θεωρείται το "business-as-usual" σενάριο και αντιπροσωπεύει ένα μέλλον με υψηλές εκπομπές.

Τα RCPs παρέχουν ένα εύρος πιθανών μελλοντικών προοπτικών για το κλιματικό σύστημα, επιτρέποντας στους επιστήμονες και τους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων να διερευνήσουν τις επιπτώσεις των διαφορετικών διαδρομών εκπομπών στην παγκόσμια θερμοκρασία, τη στάθμη της θάλασσας και άλλες βασικές κλιματικές μεταβλητές. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 6 η επίδραση στο ενεργειακό ισοζύγιο της Γης για το πιο αισιόδοξο σενάριο RCP2.6 το 2100, είναι περίπου στα 2.5 W/m^2 , ενώ για το RCP8.5 ξεπερνά τα 9 W/m^2 .



Σχήμα 6: Η επίδραση στο ενεργειακό ισοζύγιο (radiative forcing) σύμφωνα με τα διαφορετικά RCPs σενάρια (Πηγή: Nazarenko et al., 2015⁵).

Η έκθεση AR6 της IPCC υπογραμμίζει τη σημασία της εξέτασης μιας σειράς SSPs και RCPs στις αξιολογήσεις της κλιματικής αλλαγής και στη λήψη αποφάσεων. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η επιλογή των SSPs και RCPs επηρεάζουν σημαντικά το μέγεθος και το χρόνο εμφάνισης επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στο μέλλον. Ο συνδυασμός SSPs και RCPs παρέχει ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο για την ανάλυση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής σε διάφορους τομείς της κοινωνίας, συμπεριλαμβανομένης της υγείας, της γεωργίας, των υδάτινων πόρων και της

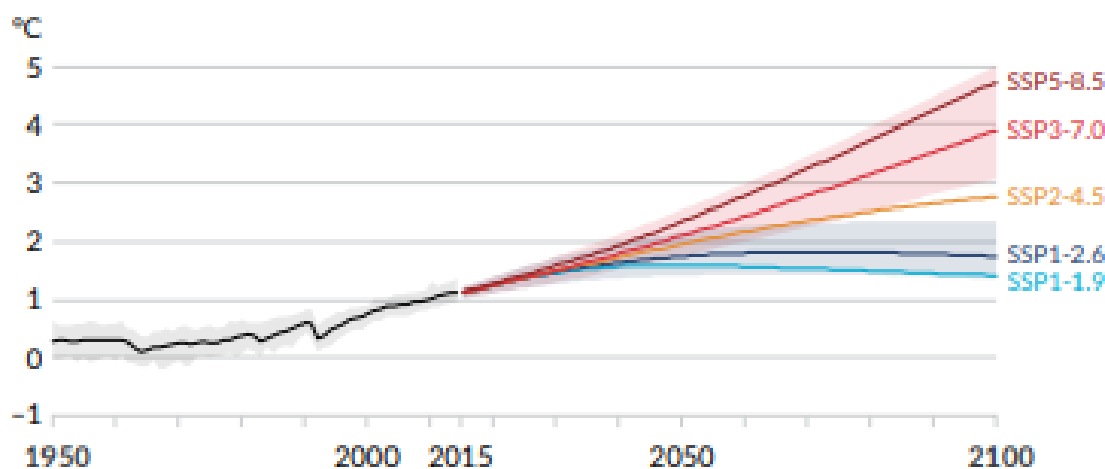
⁵ Nazarenko, L., Schmidt, G. A., Miller, R. L., Tausnev, N., Kelley, M., Ruedy, R., ... & Zhang, J. (2015). Future climate change under RCP emission scenarios with GISS ModelE2. *Journal of Advances in Modelling Earth Systems*, 7(1), 244-267. <https://doi.org/10.1002/2014MS000403>

βιοποικιλότητας. Συγκεκριμένα, στην έκθεση AR6, αξιολογείται η απόκριση του κλίματος σε πέντε ενδεικτικά σενάρια που συνδυάζουν την ποιοτική πληροφορία των SSPs και την ποσοτική πληροφορία των RCPs (Σχήμα 7). Ξεκινούν από το 2015 και περιλαμβάνουν:

Πίνακας 3: Ανανεωμένα κλιματικά σενάρια - Συνδυαστικά των RCPs & SSPs

Σενάρια	Περιγραφή
SSP3-7.0 & SSP5-8.5	Σενάρια με υψηλές και πολύ υψηλές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, σύμφωνα με τα οποία η διαφορά θερμοκρασίας σε σύγκριση με την περίοδο 1850-1900, θα ξεπεράσει τους 5°C το 2100.
SSP2-4.5	Σενάριο με ενδιάμεσες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου.
SSP1-1.9 & SSP1-2.6	Σενάρια με πολύ χαμηλές και χαμηλές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου.

Οι εκπομπές ποικίλουν μεταξύ των σεναρίων ανάλογα με τις κοινωνικοοικονομικές παραδοχές, τα επίπεδα μετριασμού της κλιματικής αλλαγής, καθώς και τους ελέγχους της ατμοσφαιρικής ρύπανσης (IPCC, 2021).



Σχήμα 7: Διαφορά παγκόσμιας μέσης θερμοκρασίας σε σχέση με την περίοδο 1850-1900, για τον συνδυασμό σεναρίων SSPs και RCPs που χρησιμοποιήθηκαν στο AR6 του IPCC.

1.6 Χαρακτηριστικά και κλίμα της περιοχής μελέτης

Η περιοχή μελέτης της παρούσας εργασίας είναι αυτή της Μεσογείου. Η Μεσόγειος Θάλασσα είναι μια ημίκλειστη θάλασσα που βρίσκεται στην μεταβατική γεωγραφική ζώνη μεταξύ της Ευρασιατικής και της Αφρικανικής ηπείρου (Dünkeloh & Jacobeit, 2003). Στα δυτικά συνδέεται με τον Ατλαντικό Ωκεανό, μέσω του πορθμού του Γιβραλτάρ, στα ανατολικά η διώρυγα του Σουέζ την ενώνει με την Ερυθρά θάλασσα,

ενώ επιπλέον συνδέεται και με τη Θάλασσα του Μαρμαρά, μέσω των στενών του Ελλησπόντου. Το μέγιστο μήκος της, από το Γιβραλτάρ μέχρι τις ακτές της Συρίας, είναι 3.860 χλμ., το μέγιστο πλάτος 1.800 χλμ., ενώ το μέγιστο βάθος είναι 5.267 μέτρα. Η Μεσόγειος χωρίζεται σε Δυτική και Ανατολική με μία νοητή γραμμή στον χάρτη από την Κέρκυρα έως την Λιβύη. Συνεπώς, η Δυτική Μεσόγειος ξεκινά από τα στενά του Γιβραλτάρ και φτάνει έως την Αδριατική Θάλασσα, ενώ η Ανατολική Μεσόγειος ξεκινά από το Ιόνιο Πέλαγος και φτάνει έως τη διώρυγα του Σουέζ (Νικόδημος, 2008).



Σχήμα 8: Χάρτης της περιοχής μελέτης - Μεσόγειος (Πηγή: www.freeworldmaps.net)

Λόγω της γεωγραφικής της θέσης, η ατμόσφαιρα πάνω από τη Μεσόγειο επηρεάζεται από πολλά καιρικά συστήματα μεγάλης κλίμακας καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Σε αυτά περιλαμβάνονται το πολικό μέτωπο και ο πολικός αεροχειμάρρος, ο υποτροπικός αντικυκλώνας του βόρειου Ατλαντικού (Αντικυκλώνας των Αζορών) και το χαμηλό του Πακιστάν. Η θέση του αεροχειμάρρου πάνω από την Μεσόγειο και των συνοδευτικών υφέσεων ελέγχεται ως επί το πλείστον από τη ταλάντωση του βόρειο Ατλαντικού (NAO) (Lolis et al., 2008; Trigo, 2002). Η γενική κυκλοφορία της ατμόσφαιρας πάνω από τη περιοχή της Μεσογείου, σε συνδυασμό με τα ωκεάνια ρεύματα αλλά και με τα πολύπλοκα τοπογραφικά χαρακτηριστικά της περιοχής, δημιουργούν το μεσογειακό κλίμα, το οποίο χαρακτηρίζεται από βροχερή, ψυχρή χειμερινή περίοδο και ξηρή, θερμή θερινή περίοδο (Drobinski et al., 2016). Επιπρόσθετα, το Μεσογειακό κλίμα, είναι στη σφαίρα επιρροής της δυναμικής τόσο

των τροπικών όσο και των μέσων γεωγραφικών πλατών και επηρεάζεται άμεσα από ηπειρωτικές και θαλάσσιες αέριες μάζες διαφορετικής προέλευσης.

Κατά τη χειμερινή περίοδο η ατμοσφαιρική κυκλοφορία πάνω από τη Μεσόγειο χαρακτηρίζεται από τη νότια θέση του πολικού μετώπου, τη βαροκλιτική αστάθεια των μακρών κυμάτων στην ανώτερη ατμόσφαιρα και τη συναφή υφεσιακή δραστηριότητα. Οι υφέσεις σχηματίζονται κυρίως κατά μήκος των βόρειων ακτών της Μεσογείου λόγω της τοπικής ορογραφίας και της έντονης βαροκλικότητας (Trigo et al., 2002) και κινούνται πάνω από τη θερμή επιφάνεια της θάλασσας, βαθαίνοντας από τη σύγκλιση που σχετίζεται με τις έντονες ανοδικές ροές αισθητής και λανθάνουσας θερμότητας (Metaxas, 1978; Lolis et al., 2004). Οι κύριες περιοχές κυκλογένεσης κατά μήκος των ακτών της βόρειας Μεσογείου είναι οι υπήνεμη πλευρά των Άλπεων και ειδικότερα ο Κόλπος της Γένοβας και δευτερευόντως, οι υπήνεμες περιοχές των Πυρηναίων. Η Μεσόγειος βρίσκεται στο νοτιότερο άκρο των τροχιών που ακολουθούν οι υφέσεις του Β. Ατλαντικού, κάτι το οποίο την καθιστά εξαιρετικά ευαίσθητη σε ενδοετήσιες μετατοπίσεις στις τροχιές των κυκλώνων των μέσων γεωγραφικών πλατών. Έτσι, οι μεταβολές αυτές συχνά οδηγούν σε αξιοσημείωτες ανωμαλίες στην βροχόπτωση (Trigo et al., 2006; Zittis et al., 2022).

Το καλοκαίρι, στην περιοχή της ανατολικής Μεσογείου επικρατούν χαμηλές πιέσεις λόγω της επέκτασης του χαμηλού του Πακιστάν προς τα δυτικά. Στην δυτική Μεσόγειο γενικά επικρατούν αντικυκλωνικές συνθήκες με ενισχυμένη δράση του υποτροπικού αντικυκλώνα (Αντικυκλώνας των Αζορών), ο οποίος συχνά μετατοπίζεται προς τον βορά. Επιπλέον, οι συνθήκες αυτές καθορίζονται και από τις καθοδικές ροές της αισθητής θερμότητας που οδηγούνται από την ψύξη του κατώτερου ατμοσφαιρικού στρώματος λόγω της επαφής του με την ψυχρή επιφάνεια της θάλασσας. Κατά τη θερινή περίοδο οι αέριες μάζες οι οποίες επηρεάζουν την περιοχή της Μεσογείου είναι κυρίως πολικές ηπειρωτικές (cP), τροπικές θαλάσσιες και ηπειρωτικές (mT και cT) (Φλόκας, 1992).

Κατά τη διάρκεια των μεταβατικών εποχών επικρατούν δύο άλλα συνοπτικά συστήματα:

1. οι ΒΔ αφρικανικές υφέσεις, κυρίως την άνοιξη, που σχηματίζονται στην υπήνεμη πλευρά του όρους Άτλαντα, λόγω της υψηλής βαροκλικότητας στην κατώτερη

τροπόσφαιρα (Alpert and Ziv, 1989; Prezerakos et al., 1990; Thorncroft and Flocas, 1997)

2. η σκάφη της Ερυθράς Θάλασσας το φθινόπωρο και την άνοιξη, που προέρχεται από το χαμηλό των μουσώνων του Σουδάν, δηλαδή ένα τμήμα του μεγάλου υποτροπικού/ισημερινού θερμικού συστήματος χαμηλών πιέσεων (π.χ. Tsvieli and Zangvil, 2005).

Πιο συγκεκριμένα, η μεταβατική περίοδος της άνοιξης θεωρείται ασταθής και χαρακτηρίζεται από συχνή εναλλαγή ημερών με χαρακτηριστικά χειμερινής και θερινής περιόδου. Επικρατεί σε όλες τις περιοχές με μεσογειακό τύπο κλίματος κατά τους μήνες Μάρτιο με Μάιο, κυρίως λόγω της επικράτησης της μεσημβρινής κυκλοφορίας κατά το διάστημα αυτό. Αντίθετα, το φθινόπωρο στις περιοχές αυτές είναι μικρότερης διάρκειας με απότομη έναρξη του χειμώνα περίπου τον Δεκέμβριο (Kotsias et al., 2021).

Γενικά, αυτό που παρατηρείτε στις περιοχές με μεσογειακό τύπο κλίματος είναι ότι η θερμοκρασία στα παράλια κατά την θερινή περίοδο είναι μικρότερη από αυτή στο εσωτερικό των ηπείρων, ενώ κατά τη χειμερινή περίοδο στα παράλια σημειώνονται μεγαλύτερες θερμοκρασίες. Από την άλλη, ελαττώνεται από τον βορρά προς τον νότο και από τα παράλια προς το εσωτερικό των ηπείρων. Το μέσο ετήσιο ύψος βροχής κυμαίνεται από 350 έως 1000mm, ενώ υπάρχουν και σταθμοί που καταγράφουν ετησίως 200mm και μερικοί άλλοι που καταγράφουν 2000mm. Τέλος, αξίζει να αναφερθεί πως οι προσήνεμες περιοχές δέχονται πολύ μεγαλύτερα ύψη βροχής από τις υπήνεμες (Φλόκας, 1992).

Εκτός από το μεσογειακό κλίμα, υπάρχουν και μερικοί άλλοι τύποι κλίματος που συναντώνται στην περιοχή της Μεσογείου (Kottek et al., 2006; Lionello, 2012) όπως:

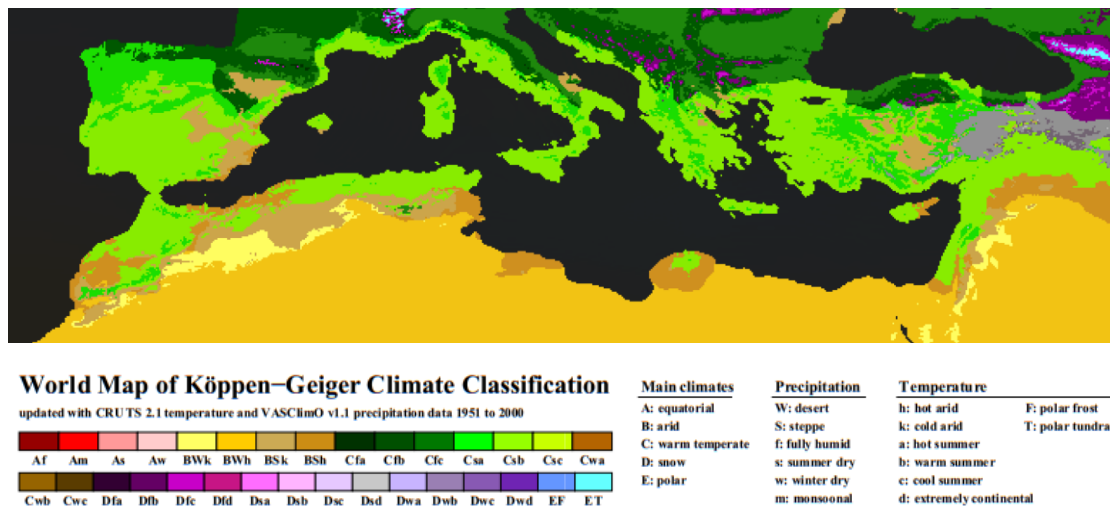
Ημίξηρο κλίμα: Βρίσκεται σε περιοχές με χαμηλές βροχοπτώσεις και υψηλά ποσοστά εξάτμισης. Αυτός ο τύπος κλίματος είναι χαρακτηριστικός σε τμήματα της λεκάνης της Μεσογείου, ιδίως σε παράκτιες περιοχές κοντά σε ερήμους.

Υποτροπικό κλίμα: Χαρακτηρίζεται από ζεστά έως θερμά καλοκαίρια και ήπιους έως δροσερούς χειμώνες.

Ωκεάνιο κλίμα: Βρίσκεται σε παράκτιες περιοχές με μέτριες θερμοκρασίες καθ' όλη τη διάρκεια του έτους και χαρακτηρίζεται από δροσερά καλοκαίρια και ήπιους χειμώνες.

Αλπικό κλίμα: Βρίσκεται σε ορεινές περιοχές, χαρακτηρίζεται από χαμηλές θερμοκρασίες, έντονες χιονοπτώσεις και σύντομες καλλιεργητικές περιόδους.

Αυτοί οι τύποι κλίματος διαφέρουν μεταξύ των περιοχών της Μεσογείου και ο τύπος κλίματος σε μια συγκεκριμένη περιοχή εξαρτάται από παράγοντες όπως το γεωγραφικό πλάτος, το υψόμετρο και η απόσταση από τον ωκεανό.



Σχήμα 9: Köppen-Geiger κατανομή κλιματικών τύπων στην περιοχή της Μεσογείου (Kottek et al., 2006)

1.7 Ακραία κλιματικά φαινόμενα

Ο ορισμός του τι είναι ακραίο γεγονός δεν είναι απλός και ξεκάθαρος. Δεν υπάρχει ενιαίος ορισμός για το τι αποτελεί ακραίο γεγονός. Τα ακραία φαινόμενα μπορούν να ποσοτικοποιηθούν μεταξύ άλλων με βάση (Beniston, 2004):

1. Πόσο σπάνια είναι, που περιλαμβάνει την έννοια της συχνότητας εμφάνισης,
2. Πόσο έντονα είναι, που συνεπάγεται την έννοια της υπέρβασης του ορίου,
3. Τις επιπτώσεις που ασκούν σε περιβαλλοντικούς ή οικονομικούς τομείς

Η ένταση ενός ακραίου κλιματικού φαινομένου υπολογίζεται συχνά με τη χρήση κατωφλίων. Αυτά τα κατώτατα όρια χρησιμοποιούνται για τη διάκριση μεταξύ κανονικών καιρικών συνθηκών και ακραίων συμβάντων και για την ποσοτικοποίηση της σοβαρότητας του συμβάντος.

Οι κλιματικοί δείκτες χρησιμοποιούνται για την ποσοτικοποίηση των αλλαγών του κλίματος της Γης. Ο κάθε δείκτης επιτρέπει να συγκριθούν μεταξύ τους διαφορετικές κλιματικές μεταβλητές, εφόσον αυτές έχουν ίδιες μονάδες μέτρησης. Επιπλέον, η

σύγκριση μπορεί να πραγματοποιηθεί μεταξύ παραμέτρων σε διαφορετικές περιοχές και χρονικές περιόδους. Αυτό βοηθά στην αναγνώριση περιοχών που αντιμετωπίζουν ιδιαίτερα σοβαρά προβλήματα, και στην ανίχνευση των περιόδων όπου οι αλλαγές στο κλίμα είναι ιδιαίτερα έντονες. Οι τρόποι για να μελετηθούν τα ακραία κλιματικά φαινόμενα είναι είτε με απόλυτες μέγιστες και ελάχιστες τιμές είτε με ποσοστημόρια, είτε με στατιστικές κατανομές ακραίων τιμών (Costa and Soares, 2009; Moberg et al., 2006).

Τέλος οι επιπτώσεις των ακραίων συμβάντων στο περιβάλλον και την οικονομία μπορεί επίσης να ληφθεί υπόψη για τον ορισμό ενός ακραίου φαινομένου. Ο αντίκτυπος τέτοιων φαινομένων μπορεί να περιλαμβάνει μεταξύ άλλων, απώλειες ανθρώπων και μεγάλες οικονομικές ζημιές, καθώς και περιβαλλοντικές επιπτώσεις, όπως η διάβρωση του εδάφους, η καταστροφή των οικοσυστημάτων και η απώλεια της βιοποικιλότητας (Easterling, 2000; Beniston & Stephenson, 2004).

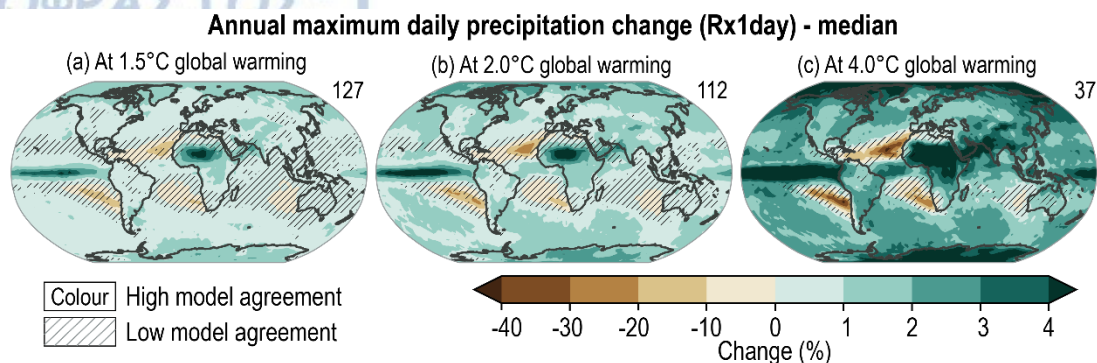
Τα ακραία κλιματικά φαινόμενα μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε διάφορους τύπους, όπως τυφώνες, τροπικές καταιγίδες, πλημμύρες, ξηρασίες, καύσωνες και κύματα ψύχους. Οι τυφώνες και οι τροπικές καταιγίδες είναι μεγάλες περιστρεφόμενες καταιγίδες που σχηματίζονται πάνω από τροπικά ύδατα και χαρακτηρίζονται από ισχυρούς ανέμους, έντονες βροχοπτώσεις και υψηλά κύματα. Οι πλημμύρες συμβαίνουν όταν το νερό κατακλύζει το έδαφος που συνήθως είναι ξηρό και μπορεί να προκληθεί από έντονες βροχοπτώσεις, λιώσιμο χιονιού ή υπερχείλιση ποταμών και λιμνών. Από την άλλη, οι ξηρασίες είναι παρατεταμένες περίοδοι με βροχοπτώσεις κάτω του μέσου όρου, οι οποίες μπορεί να οδηγήσουν σε έλλειψη νερού, καταστροφές καλλιεργειών και πυρκαγιές. Παρόμοιες συνέπειες μπορεί να έχει και ένας καύσωνας, όπου παρατεταμένες περίοδοι υπερβολικά ζεστού καιρού, μπορεί να οδηγήσουν επιπλέον και σε προβλήματα υγείας του ανθρώπου, όπως θερμική εξάντληση, αφυδάτωση και θερμοπληξία. Τέλος, τα κύματα ψύχους ορίζονται ως μια παρατεταμένη περίοδος ασυνήθιστα χαμηλών θερμοκρασιών, συχνά συνοδευόμενη από ισχυρούς ανέμους και μερικές φορές χιόνι (Sallis, 2018, Flocas, 1986).

1.7.1 Βροχόπτωση

Τα ακραία φαινόμενα βροχόπτωσης αναφέρονται σε περιόδους έντονης βροχόπτωσης ή χιονόπτωσης που υπερβαίνουν τις κανονικές καιρικές συνθήκες μιας τοποθεσίας την συγκεκριμένη εποχή του έτους. Η IPCC, τονίζει στην τελευταία της έκθεση πως οι

έντονες βροχοπτώσεις θα γίνουν συχνότερες και εντονότερες, με την περαιτέρω υπερθέρμανση του πλανήτη, σε όλες τις ηπείρους (Σχήμα 10). Εκτός από τη μεταβολή των ετήσιων ποσών βροχόπτωσης, η εποχιακή ή μηνιαία κατανομή αυτών των βροχοπτώσεων εντός του έτους έχει σημαντικές συνέπειες (Li et al., 2015). Αυτές οι αλλαγές στα πρότυπα βροχόπτωσης μπορεί να έχουν σημαντικές επιπτώσεις σε διάφορους τομείς, όπως η γεωργία, η διαχείριση των υδάτινων πόρων και στα υπάρχοντα μέτρα για τη μείωση των φυσικών καταστροφών. Ως εκ τούτου, η εποχικότητα κατέχει καθοριστικό ρόλο στη μέτρηση του κλιματικού στοιχείου της βροχόπτωσης στα δεδομένα παρατήρησης (Walsh & Lawler, 1981; Hu et al., 2003) και στις εκτιμήσεις προσομοίωσης κλιματικών μοντέλων (Pascale et al., 2015). Η εποχικότητα αυτών των γεγονότων μπορεί να ποικίλλει σε μεγάλο βαθμό ανάλογα με τον τύπο κλίματος που χαρακτηρίζει την εκάστοτε περιοχή. Η κατανόηση της συγκεκριμένης μεταβλητής είναι αναγκαία μεταξύ άλλων για την εκτίμηση των επιπτώσεων στον τομέα της γεωργίας, του νερού και των οικοσυστημάτων (IPCC, 2021).

Η περιοχή γύρω από την λεκάνη της Μεσογείου χαρακτηρίζεται από περίπλοκη ορεογραφία, η οποία μπορεί να επηρεάσει, ακόμα και να αλλοιώσει τα κλιματικά μοτίβα (Hertig, 2008). Τόσο η έλλειψη νερού το χειμώνα και την άνοιξη, όσο και η υπερβολική ποσότητα νερού τον χειμώνα αντανακλάται στην απόδοση των καλλιεργειών. Η εποχιακή μεταβλητότητα της βροχόπτωσης παίζει καθοριστικό ρόλο στο περιβάλλον, στους υδάτινους πόρους και στα οικοσυστήματα, στη διαχείριση της γεωργίας, καθώς και στην κοινωνική ανάπτυξη και συμπεριφορά (Trenberth et al., 2007). Σύμφωνα με τις μελλοντικές εκτιμήσεις της IPCC, υπάρχει βεβαιότητα ότι η εποχικότητα των βροχοπτώσεων και η διαθεσιμότητα νερού θα παρουσιάσουν μεγαλύτερες διακυμάνσεις με την υπερθέρμανση του πλανήτη στις υποτροπικές περιοχές, ιδίως στη Μεσόγειο και τη νότια Αφρική (IPCC, 2021).



Σχήμα 10: Προβλεπόμενες αλλαγές στην ετήσια μέγιστη ημερήσια βροχόπτωση για (a) 1,5°C, (b) 2°C και (c) 4°C υπερθέρμανσης του πλανήτη σε σύγκριση με την περίοδο αναφοράς 1850-1900. Οι αριθμοί πάνω δεξιά υποδεικνύουν τον αριθμό των προσομοιώσεων που περιλαμβάνονται (IPCC, 2021⁶)

1.7.2 Μέγιστη μέση θερμοκρασία

Η μέγιστη μέση θερμοκρασία αναφέρεται σε θερμοκρασία που είναι σημαντικά υψηλότερη από την τυπική μέγιστη θερμοκρασία για έναν συγκεκριμένο τόπο (Zhang et al., 2008). Τέτοιες θερμοκρασίες μπορούν να οδηγήσουν σε καύσωνα, ο οποίος με την σειρά του, μπορεί να επιφέρει σοβαρές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία, τα οικοσυστήματα και τις υποδομές. Οι μέγιστες μέσες θερμοκρασίες μπορούν να προκαλέσουν θερμική εξάντληση, θερμοπληξία, αφυδάτωση και άλλες ασθένειες που σχετίζονται με τη ζέστη (Kovats & Hajat, 2008), ενώ μπορούν επίσης να επιδεινώσουν τις συνθήκες ξηρασίας και να αυξήσουν τον κίνδυνο πυρκαγιών. Επιπλέον, τις αρνητικές επιπτώσεις των ακραία μέγιστων θερμοκρασιών μπορεί να ενισχύσει η αυξημένη υγρασία του αέρα (Peterson et al., 2013). Η κλιματική αλλαγή έχει συνδεθεί με την αύξηση της συχνότητας και της σοβαρότητας των ακραίων μέγιστων θερμοκρασιών σε πολλά μέρη του κόσμου (Σχήμα 11) (IPCC, 2021).

Οι μέγιστες μέσες θερμοκρασίες είναι καταγράφονται συνήθως κατά τους θερινούς μήνες, λόγω του συνδυασμού της μεγάλης γωνίας του ήλιου και της μειωμένης νεφοκάλυψης, αν και μπορούν να εμφανιστούν οποιαδήποτε εποχή του έτους. Γενικά, η εποχικότητα των έντονων θερμικών φαινομένων επηρεάζεται από διάφορους

⁶ Figure 11.16 in IPCC, 2021: Chapter 11. 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 [Seneviratne, S.I., X. Zhang, M. Adnan, W. Badi, C. Dereczynski, A. Di Luca, S. Ghosh, I. Iskandar, J. Kossin, S. Lewis, F. Otto, I. Pinto, M. Satoh, S.M. Vicente-Serrano, M. Wehner, and B. Zhou, 2021: Weather and Climate Extreme Events in a Changing Climate. 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. Yelekci, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1513–1766, doi: 10.1017/9781009157896.013 .]

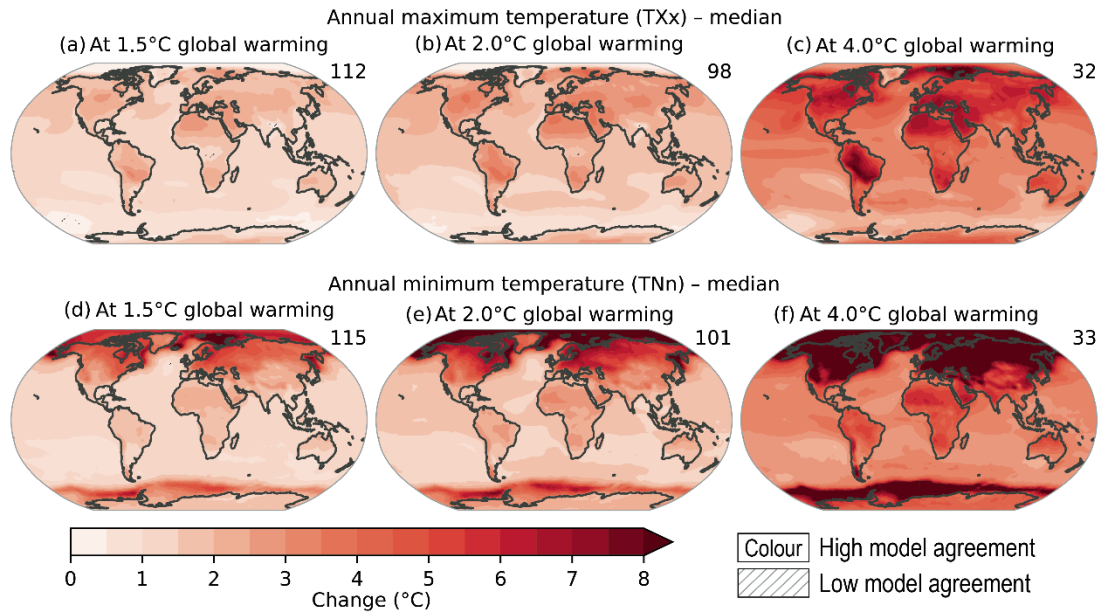
παράγοντες, όπως το γεωγραφικό πλάτος, η γεωγραφία και οι επικρατούσες καιρικές συνθήκες.

1.7.3 Ελάχιστη μέση θερμοκρασία

Τα ακραία φαινόμενα ελάχιστης θερμοκρασίας αναφέρονται σε περιπτώσεις όπου η θερμοκρασία πέφτει κάτω από την κανονική ελάχιστη θερμοκρασία για μια συγκεκριμένη περιοχή. Όπως και τα ακραία φαινόμενα μέγιστης θερμοκρασίας, η συχνότητα, η σοβαρότητα και η εποχικότητα των ακραίων ψυχρών φαινομένων μπορεί επίσης να επηρεαστεί από την κλιματική αλλαγή. Το ακραίο ψύχος μπορεί να προκαλέσει υποθερμία, κρυοπαγήματα και άλλες ασθένειες που σχετίζονται με το ψύχος (Anderson & Bell, 2009), ενώ μπορεί επίσης να προκαλέσει ζημιές στις καλλιέργειες, να διαταράξει τα συστήματα μεταφορών και να προκαλέσει βλάβες στην ηλεκτροδότηση. Επίσης, οι υψηλοί άνεμοι μπορούν να ενισχύσουν τις αρνητικές επιπτώσεις ενός φαινομένου ακραίου ψύχους (Peterson et al., 2013).

Οι ακραίες ελάχιστες θερμοκρασίες είναι κατά κανόνα πιο συχνές κατά τους χειμερινούς μήνες, ωστόσο μπορούν να εμφανιστούν οποιαδήποτε εποχή του έτους. Η εποχικότητα των ακραία ψυχρών φαινομένων επηρεάζεται από τους παράγοντες που προαναφέρθηκαν στην περίπτωση των φαινομένων μέγιστων μέσων θερμοκρασιών, όπως το γεωγραφικό πλάτος και η τοπογραφία της περιοχής. Σε κάποιες περιοχές, τα ακραία ψυχρά φαινόμενα εκδηλώνονται συχνότερα κατά τη διάρκεια του χειμώνα λόγω της επιρροής ψυχρών αερίων μαζών, επίμονων συστημάτων υψηλών πιέσεων ή του συνδυασμού αυτών των παραγόντων. Σε άλλες περιοχές μπορεί να εκδηλωθούν ακραία ψυχρά φαινόμενα κατά τη διάρκεια άλλων εποχών για παράδειγμα λόγω της επιρροής του ψυχρού αέρα και του μεγάλου υψομέτρου. Ως απόρροια της κλιματικής αλλαγής, αναμένεται η μείωση των ακραίων ψυχρών φαινομένων και πιο συγκεκριμένα, θερμότερες ή/και λιγότερες ψυχρές ημέρες και νύχτες και ψυχρές περιόδους/ψυχρά κύματα, κατά το μεγαλύτερο μέρος του χρόνου πάνω από τις περισσότερες χερσαίες περιοχές του πλανήτη (Σχήμα 11) (IPCC, 2021).

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η ανάλυση των εποχιακών προτύπων των ακραίων βροχοπτώσεων και θερμοκρασιών πάνω από τη Μεσόγειο, με τη χρήση κλιματικών δεικτών. Η μελέτη περιλαμβάνει τον καθορισμό των χρονικών περιόδων εμφάνισης των κλιματικών ακραίων και την εκτίμηση της χρονικής μεταβολής της εμφάνισης τους στο μέλλον.



Σχήμα 11: Προβλεπόμενες μεταβολές (a-c) της ετήσιας μέγιστης θερμοκρασίας (TXx) και (d-f) της ετήσιας ελάχιστης θερμοκρασίας (TNn) για 1,5°C, 2°C και 4°C υπερθέρμανσης του πλανήτη σε σύγκριση με την περίοδο αναφοράς 1850-1900. Οι αριθμοί πάνω δεξιά υποδεικνύουν τον αριθμό των προσομοιώσεων που περιλαμβάνονται (IPCC, 2021⁷).

2. Δεδομένα

Για τους σκοπούς της παρούσας εργασίας, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα βροχόπτωσης και μέσης θερμοκρασίας από την πλατφόρμα [Climate Data Store](#) (C3S). Η περιοχή μελέτης είναι η λεκάνη της Μεσογείου και συγκεκριμένα το παράθυρο με συντεταγμένες 28°B-46°B και 12°Δ-42°Α. Χρησιμοποιήθηκαν δυο κατηγορίες δεδομένων, το πρώτο σύνολο δεδομένων είναι τα ERA5 (ECMWF Reanalysis v5) για την περίοδο που επιλέχθηκε ως δεδομένα αναφοράς για τη χρονική περίοδο 1986-2005 (Hersbach et al., 2018), και το παγκόσμιο κλιματικό μοντέλο CNRM-CM6-1-HR από το γαλλικό ερευνητικό ινστιτούτο Centre National de Recherches Météorologiques (CNRM), το οποίο επιλέχθηκε έπειτα από αξιολόγηση της απόδοσης του για την περιοχή της Μεσογείου. Τα δεδομένα του παγκόσμιου κλιματικού μοντέλου είναι για την ίδια περίοδο αναφοράς 1986-2005, αλλά και για την μελλοντική περίοδο μελέτης 2081-2100 σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο SSP5-8.5. Το συγκεκριμένο σενάριο, το

⁷ Figure 11.11 in IPCC, 2021: Chapter 11. 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 [Seneviratne, S.I., X. Zhang, M. Adnan, W. Badi, C. Dereczynski, A. Di Luca, S. Ghosh, I. Iskandar, J. Kossin, S. Lewis, F. Otto, I. Pinto, M. Satoh, S.M. Vicente-Serrano, M. Wehner, and B. Zhou, 2021: Weather and Climate Extreme Events in a Changing Climate. 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. Yelekci, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1513–1766, doi: 10.1017/9781009157896.013]

οποίο χρησιμοποιήθηκε στην πιο πρόσφατη έκθεση αξιολόγησης του IPCC, επιλέχθηκε προκειμένου να τονιστούν οι συνέπειες που μπορούν να επέλθουν σε περίπτωση που δεν ληφθούν μέτρα για τον μετριασμό των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Η συγκεκριμένη μελλοντική περίοδος επιλέχθηκε προκειμένου να γίνει αξιολόγηση των μακροπρόθεσμων επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στα ακραία επεισόδια βροχόπτωσης και μέσης θερμοκρασίας και μάλιστα σε έναν πλανήτη με συνεχώς αυξανόμενες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, όπως ορίζει το σενάριο SSP5-8.5. Τα ιστορικά δεδομένα του μοντέλου αρχικά χρησιμοποιήθηκαν για να γίνει αξιολόγηση ως προς τα δεδομένα reanalysis και στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν ως δεδομένα αναφοράς των μελλοντικών εκτιμήσεων. Τα δεδομένα αυτά παράχθηκαν στα πλαίσια του προγράμματος CMIP6 και έγιναν διαθέσιμα στο κοινό το 2021, ενώ τα αποτελέσματα των μοντέλων χρησιμοποιήθηκαν για την σύνταξη της τελευταίας έκθεσης της IPCC (C3S, 2021). Η χωρική ανάλυση των δεδομένων ERA5 ήταν περίπου στα 25 * 25 km, ενώ του μοντέλου ήταν 100 *100 km. Τέλος, η χρονική ανάλυση των δεδομένων που ανακτήθηκαν από την πλατφόρμα C3S, σε κάθε περίπτωση ήταν ημερήσια.

2.1 Το project CMIP6 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 6)

Το CMIP6 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 6) είναι η έκτη φάση του Προγράμματος Σύγκρισης Συζευγμένων Μοντέλων, μια τυποποιημένη διαδικασία για την αξιολόγηση και τη σύγκριση της απόδοσης διαφορετικών κλιματικών μοντέλων. Ο στόχος του CMIP6 είναι να διεξαγάγει μια ολοκληρωμένη αξιολόγηση των σημερινών state-of-the-art κλιματικών μοντέλων, των μηχανισμών λειτουργίας και των αβεβαιοτήτων τους και να χρησιμοποιήσει τα αποτελέσματα της αξιολόγησης για να ενημερώσει τις μελλοντικές εκτιμήσεις για την κλιματική αλλαγή και τη λήψη εθνικών στρατηγικών αποφάσεων. Το πρόγραμμα περιλαμβάνει τη συνεργασία πολλών ερευνητικών κέντρων που τρέχουν κλιματικά μοντέλα παγκοσμίως για την διεξαγωγή μιας σειράς τυποποιημένων πειραμάτων για την εξασφάλιση ουσιαστικών συγκρίσεων των αποτελεσμάτων των μοντέλων (O'Neill et al., 2016).

Όπως έδειξε η τελευταία έκθεση της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC), υπάρχει μεγάλη βεβαιότητα ότι τα μοντέλα που συμμετέχουν στο πρόγραμμα CMIP6 αντιπροσωπεύουν στο σύνολο τους καλύτερα την εποχικότητα και

τη γεωγραφική κατανομή των διαφορετικών φαινομένων σε σχέση με τις προσομοιώσεις των μοντέλων του προηγούμενου προγράμματος CMIP5 (IPCC, 2021)

2.2 Το κλιματικό μοντέλο CNRM-CM6-1-HR

Το μοντέλο που επιλέχθηκε για την συγκεκριμένη μελέτη, είναι το CNRM-CM6-1-HR, ένα κλιματικό μοντέλο υψηλής ανάλυσης που αναπτύχθηκε από το Εθνικό Κέντρο Μετεωρολογικών Ερευνών της Γαλλίας (Centre National de Recherches Météorologiques, CNRM) στο πλαίσιο του προγράμματος CMIP6. Πρόκειται για ένα πλήρως συζευγμένο μοντέλο του συστήματος της Γης που προσομοιώνει τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ της ατμόσφαιρας, των ωκεανών, της επιφάνειας της γης και της κρυόσφαιρας και συνιστά πρόοδο όσον αφορά το επίπεδο ανάλυσης και πολυπλοκότητας των προηγούμενων μοντέλων. Το "HR" στο όνομά του αναφέρεται στην υψηλή χωρική του ανάλυση ($100\text{km} * 100\text{km}$), η οποία έχει σχεδιαστεί για να βελτιώσει την προσομοίωση των μικρότερης κλίμακας κλιματικών μοτίβων και διεργασιών. Το μοντέλο αποτελεί μέρος της σειράς μοντέλων που χρησιμοποιούνται για την παροχή επιστημονικών γνώσεων και προβλέψεων για το πρόγραμμα CMIP6 (Voldoire, 2019).

2.3 Σύνολο δεδομένων ERA5

Το σύνολο δεδομένων ERA5 από το Ευρωπαϊκό Κέντρο Μεσοπρόθεσμων Προβλέψεων Καιρού (ECMWF) και παρέχει ακριβείς και αξιόπιστες πληροφορίες για το παγκόσμιο κλίμα και τις καιρικές συνθήκες της ατμόσφαιρας. Το σύνολο δεδομένων καλύπτει μια περίοδο από το 1959 έως σήμερα και περιλαμβάνει ένα ευρύ φάσμα μετεωρολογικών μεταβλητών, όπως η θερμοκρασία, η πίεση, ο άνεμος και η βροχόπτωση. Επιπρόσθετα, διατίθενται σε σχεδόν πραγματικό χρόνο και με υψηλή χωρική ανάλυση (περίπου 25km), γεγονός που τα καθιστά χρήσιμα για μια ποικιλία εφαρμογών, συμπεριλαμβανομένης της πρόγνωσης του καιρού, της κλιματικής έρευνας και της ανάλυσης ακραίων καιρικών φαινομένων. Προκειμένου να διασφαλιστεί η διαθεσιμότητα των πιο πρόσφατων δεδομένων, επικαιροποιείται σε τακτική βάση, ενώ βασίζονται στα υπερσύγχρονα μοντέλα αριθμητικής πρόγνωσης καιρού του ECMWF. Τα δεδομένα ελέγχονται επίσης ως προς την ποιότητα, ώστε να διασφαλίζεται η εγκυρότητα και η συνέπειά τους, γεγονός που τα καθιστά μια αξιόπιστη πηγή πληροφοριών για την ανάλυση του καιρού και του κλίματος. Τέλος, τα

δεδομένα ERA5 χρησιμοποιούνται ευρέως από ερευνητές, μετεωρολόγους και άλλους επιστήμονες σε διάφορους τομείς (Hersbach et al., 2018; Velikou et al., 2022).

3. Μεθοδολογία

Σε αυτό το κεφάλαιο αναλύονται οι μέθοδοι που εφαρμόστηκαν στην παρούσα μελέτη. Πιο συγκεκριμένα, δίνονται πληροφορίες για την μεθοδολογία που εφαρμόστηκε προκειμένου να παραχθούν οι δείκτες ακραίας βροχόπτωσης και μέγιστης και ελάχιστης μέσης θερμοκρασίας, οι οποίοι βασίστηκαν σε διαφορετικά ποσοστημόρια. Στη συνέχεια, τα γεωχωρικά αρχεία που προέκυψαν επεξεργάστηκαν με την γλώσσα προγραμματισμού R, όπου και εφαρμόστηκε η μέθοδος της κυκλικής στατιστικής, όπως περιγράφεται παρακάτω βασισμένη στην ανάλυση των Hall and Blöschl (2018), και προέκυψαν τα αποτελέσματα τα οποία περιγράφουν την εποχική κατανομή των ακραίων (επεισοδίων – υψών) βροχόπτωσης.

3.1 Δείκτες ακραίων φαινομένων

Οι δείκτες που χρησιμοποιήθηκαν βασίζονται στα ποσοστημόρια 99^ο για την ακραία βροχόπτωση, 95^ο για την μέγιστη μέση θερμοκρασία, ενώ στην περίπτωση της ελάχιστης μέσης θερμοκρασίας επιλέχθηκε ένας δείκτης ο οποίος βασίζεται στην απόλυτα ελάχιστη τιμή της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας.

3.1.1 Ακραία βροχόπτωση

Για τον δείκτη της ακραίας βροχόπτωσης χρησιμοποιήθηκαν ημερήσια δεδομένα κατακρημνισμάτων για τα οποία στη συνέχεια με χρήση του Climate Data Operator (CDO), υπολογίστηκε το 99^ο ποσοστημόριο, οπότε και προέκυψε ο δείκτης ακραίας βροχόπτωσης. Αξίζει να σημειωθεί πως τα παγκόσμια κλιματικά μοντέλα παράγουν συνήθως πάρα πολλές ημέρες με μικρή συνολική βροχόπτωση, μερικές φορές γνωστό ως "πρόβλημα της ψιχάλας" (drizzle problem) (Chen et al., 2021). Οι ημέρες με βροχόπτωση <0.1 mm ορίστηκαν στην παρούσα ανάλυση ως ημέρες χωρίς βροχόπτωση (ίση με 0 mm).

3.1.2 Μέγιστη και Ελάχιστη Μέση Θερμοκρασία

Για τον υπολογισμό των δεικτών μέγιστης και ελάχιστης μέσης θερμοκρασίας χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας επιφανείας. Όπως και στην περίπτωση της βροχόπτωσης, για να προκύψουν οι ακραίοι δείκτες

χρησιμοποιήθηκαν το ποσοστημόριο 95° για την μέγιστη μέση θερμοκρασία και η απόλυτα ελάχιστη τιμή της μέσης θερμοκρασίας για την ελάχιστη θερμοκρασία. Αρχικά για τη παράμετρο της θερμοκρασίας χρησιμοποιήθηκε το $95^{ου}$ και το 5° ποσοστημορίου για τον δείκτη μέγιστης και ελάχιστης μέσης θερμοκρασίας αντίστοιχα. Το ιδιαίτερο όμως χαρακτηριστικό της έναρξης εμφάνισης των ελαχίστων μέσων θερμοκρασιών (5° ποσοστημόριο) στη περιοχή της Μεσογείου μόνο μέσα σε μία πολύ μικρή χρονική περίοδο ενός μήνα, οδήγησε στην επιλογή ως δείκτη ελάχιστης μέσης θερμοκρασίας την απόλυτη ελάχιστη τιμή της μέσης θερμοκρασίας ανά έτος για να υπάρξει καλύτερη κατανομή των επεισοδίων κατά την χειμερινή περίοδο. Στη συνέχεια, εφαρμόστηκε με χρήση της γλώσσας προγραμματισμού R, η μεθοδολογία της κυκλικής στατιστικής, όπως και στην περίπτωση των ακραίων βροχοπτώσεων προκειμένου να αναλυθεί η κατανομή των φαινομένων κατά τη διάρκεια του έτους.

3.2 Κυκλική στατιστική

Η κυκλική στατιστική είναι μια κατηγορία της επιστήμης στατιστικής που επικεντρώνεται στην ανάλυση δεδομένων που παρουσιάζουν περιοδικά ή κυκλικά μοτίβα. Πρόκειται για μέθοδο ανάλυσης μεταβλητών που μετρούνται σε κυκλική κλίμακα, όπως γωνίες, χρόνος ή κατεύθυνση, οι οποίες συναντώνται συνήθως σε τομείς όπως η φυσική (van Doorn et al., 2000), η ιατρική (Karaibrahimoglu et al., 2021), οι γεωργικές επιστήμες (Aradottir et al., 1997) και οι γεωεπιστήμες (Bowers et al., 2000). Ακόμα, προσφέρει διάφορες τεχνικές για τη σύνοψη, την οπτικοποίηση και τη μοντελοποίηση δεδομένων σε κυκλική κλίμακα, συμπεριλαμβανομένων μεθόδων για τον υπολογισμό της κεντρικής τάσης, της διασποράς, της συσχέτισης, του ελέγχου υποθέσεων και της προσαρμογής μοντέλων (Berens, 2009).

Η κυκλική στατιστική έχει εφαρμογές στον τομέα της κλιματικής επιστήμης, ιδίως στην ανάλυση κλιματικών δεδομένων που παρουσιάζουν κυκλικά μοτίβα, όπως η εποχιακή και η ενδοετήσια μεταβλητότητα. Αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο για την ανάλυση και ερμηνεία κλιματικών δεδομένων, επιτρέποντας στους επιστήμονες να κατανοήσουν καλύτερα τα κλιματικά και να κάνουν πιο τεκμηριωμένες προβλέψεις για τις μελλοντικές κλιματικές συνθήκες. Για παράδειγμα, η κυκλική στατιστική μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάλυση των μοτίβων της περιόδου παγοκάλυψης ωκεανών, λιμνών και ποταμών (Beyene et al., 2018), καθώς και για την ενδοετήσια μελέτη του ανέμου (Soukissian, 2018). Η κυκλική στατιστική μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την ανάλυση των μοτίβων της κατεύθυνσης των ωκεάνιων ρευμάτων και της

κατεύθυνσης των κυμάτων, τα οποία διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στις αλληλεπιδράσεις ωκεανού-ατμόσφαιρας και στις κλιματικές διεργασίες (McCarthy et al., 2010).

Ένα ακόμα φαινόμενο που μπορεί να μελετηθεί με χρήση κυκλικής στατιστικής, είναι η ανάλυση της κατανομής των ακραίων μετεωρολογικών φαινομένων, όπως οι τυφώνες, όσον αφορά τη συχνότητα, την ένταση και την κατεύθυνσή τους (Nguyen, 2021). Οι πληροφορίες αυτές είναι σημαντικές για την κατανόηση των πιθανών επιπτώσεων των ακραίων φαινομένων στις παράκτιες κοινότητες και τις υποδομές.

Για τις ανάγκες της παρούσας μελέτης, η μεθοδολογία βασίστηκε στην κυκλική στατιστική (Bayliss & Jones, 1993; Mardia, 1972) προκειμένου να αναλυθεί η μέση εποχικότητα των ετήσιων ακραίων γεγονότων βροχόπτωσης, μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας (Hall & Blöschl, 2018). Έτσι, για να υπολογιστεί η μέση ημερομηνία εμφάνισης $\bar{D}$ (ημέρα του έτους), του ακραίου γεγονότος για ένα δεδομένο σημείο πλέγματος, η ημερομηνία εμφάνισης του ακραίου επεισοδίου D_i για το έτος i μετατρέπεται σε γωνιακή τιμή θ_i σε ακτίνια μέσω της σχέσης:

$$\theta_i = D_i * 2\pi * m_i \quad 0 \leq \theta_i \leq 2\pi$$

όπου $D_i = 1$ αντιστοιχεί στην 1η Ιανουαρίου και $D_i = m_i$ στην 31η Δεκεμβρίου, και όπου m_i είναι ο αριθμός των ημερών του έτους (365 ή 366 για δίσεκτα έτη). Η μέση ημερομηνία εμφάνισης του ακραίου γεγονότος, $\bar{D}$, σε ένα συγκεκριμένο σημείο πλέγματος προκύπτει τότε μέσω της σχέσης:

$$\bar{D} = \begin{cases} \left(\tan^{-1} \left(\frac{\bar{y}}{\bar{x}} \right) \right) \cdot \frac{\bar{m}}{2\pi} & \text{if } \bar{x} > 0, \bar{y} \geq 0 \\ \left(\tan^{-1} \left(\frac{\bar{y}}{\bar{x}} \right) + \pi \right) \cdot \frac{\bar{m}}{2\pi} & \text{if } \bar{x} < 0 \\ \left(\tan^{-1} \left(\frac{\bar{y}}{\bar{x}} \right) + 2\pi \right) \cdot \frac{\bar{m}}{2\pi} & \text{if } \bar{x} > 0, \bar{y} < 0 \\ \frac{\bar{m}}{4} & \text{if } \bar{x} = 0, \bar{y} > 0 \\ \frac{3\bar{m}}{4} & \text{if } \bar{x} = 0, \bar{y} < 0 \\ \text{undefined} & \text{if } \bar{x} = 0, \bar{y} = 0 \end{cases}$$

με

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \cos \theta_i$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sin \theta_i$$

όπου $\bar{m}$ είναι ο μέσος αριθμός ημερών ανά έτος (365.25) και $n=20$, δηλαδή ο συνολικός αριθμός ετών που μελετώνται.

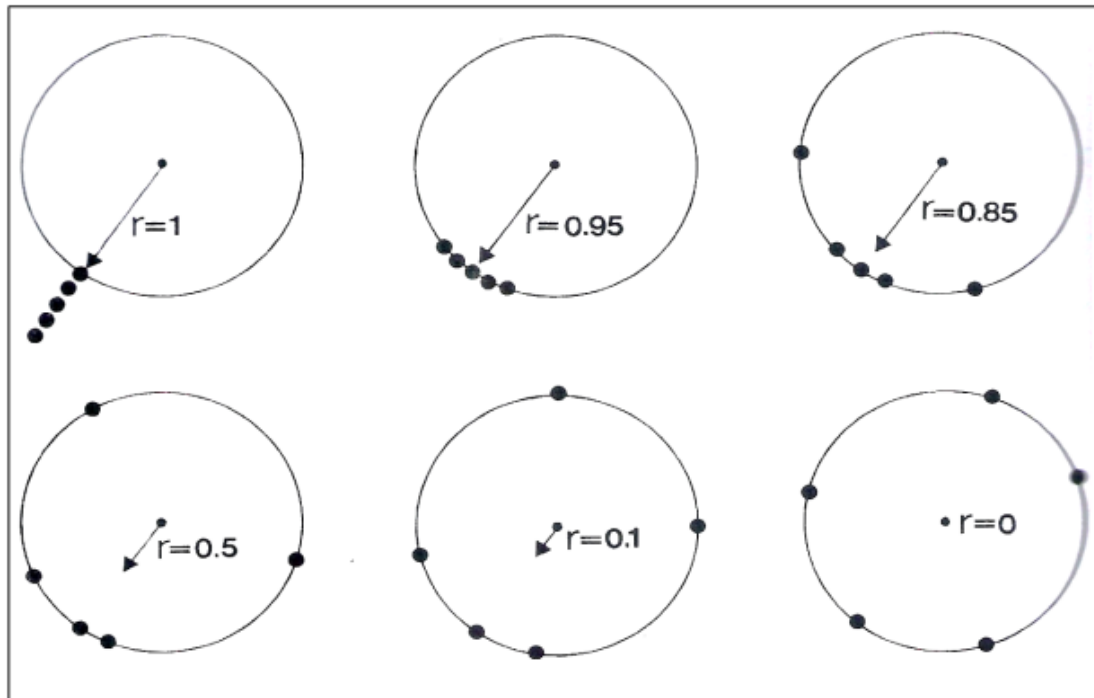
Να σημειωθεί πως μέσα στο έτος η τιμή που βρίσκεται ακριβώς στο ποσοστημόριο που συμβαίνει το ακραίο γεγονός, μπορεί να εμφανίζεται περισσότερο από μια φορά, ωστόσο στην παρούσα μελέτη, λαμβάνεται υπόψιν μόνο η πρώτη φορά που εμφανίζεται.

3.2.1 Μέτρο συγκέντρωσης r

Για να είναι δυνατή η ερμηνεία της εποχικότητας των ακραίων συμβάντων, υπολογίζεται το μήκος του μέσου διανύσματος r , το οποίο χρησιμοποιείται ως το μέτρο συγκέντρωσης των ημερομηνιών εμφάνισης των ετήσιων ακραίων συμβάντων γύρω από τη μέση ημερομηνία. Έτσι, μπορεί να ερμηνευθεί ως μέτρο του πόσο καλά ορίζεται η εποχικότητα των ακραίων συμβάντων για ένα συγκεκριμένο σημείο πλέγματος:

$$r = \sqrt{\bar{x}^2 + \bar{y}^2} \quad 0 \leq r \leq 1$$

Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 12, το μέτρο συγκέντρωσης r κυμαίνεται από $r=0$, που σημαίνει ότι δεν υπάρχει χρονική συγκέντρωση (δηλαδή, το πρώτο ακραίο γεγονός για καθένα από τα είκοσι έτη μελέτης συμβαίνουν σε εντελώς διαφορετικές ημερομηνίες), έως $r=1$, που σημαίνει ότι όλα τα ακραία γεγονότα συμβαίνουν την ίδια ημέρα του έτους. Συμπερασματικά, το μήκος του μέσου διανύσματος r είναι ανάλογο με τη συγκέντρωση των δειγματικών σημείων (ημέρα του ακραίου γεγονότος) γύρω από τη μέση κατεύθυνση. Στη σειρά των γραφημάτων αυτών του Σχήμα 12, ο το μήκος του μέσου διανύσματος r μειώνεται όσο τα σημεία διασπείρονται στην περιφέρεια του μοναδιαίου κύκλου (Λότοτζης, 2012; Hall & Blöschl, 2018).



Σχήμα 12: Μεταβολή του μήκος του μέσου διανύσματος r

Στην περίπτωση που τα δεδομένα παρουσιάζουν μεγάλη διακύμανση μέσα στο έτος όπως στην παράμετρο της βροχόπτωσης, προκειμένου να γίνει πιο έγκυρη εκτίμηση του r , χρειάζεται αυτό να πολλαπλασιαστεί με έναν διορθωτικό παράγοντα $c > 1$. Χωρίς διόρθωση, ενώ η μέση γωνία $\bar{\phi}$ δεν επηρεάζεται, η εκτίμηση για το μέσο μέτρο r είναι μεροληπτική (Λότοτζης, 2012).

Κατά την διαδικασία υπολογισμού του παραπάνω παράγοντα c , ο κύκλος πρέπει να διαιρεθεί σε ισομήκη διαστήματα (τόξα) και να αριθμηθούν οι παρατηρήσεις κάθε διαστήματος, οι οποίες, τότε, παίρνουν ως τιμή το μέσο του διαστήματος αυτού. Αν k είναι ο αριθμός των τόξων, τότε το μήκος κάθε τόξου ισούται με:

$$\lambda = 2\pi/k \text{ (ακτίνια)}$$

Το λ καλείται μήκος κλάσης. Αν $\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_n$ είναι οι γωνίες που μετρούν τα μέσα σημεία των κλάσεων και $n_1, n_2, \dots, n_k$ είναι οι συχνότητες των δειγματικών σημείων σε κάθε κλάση, με $n = n_1 + n_2 + \dots + n_k$ το μέγεθος του δείγματος, τότε η συνημιτονοειδής και ημιτονοειδής συνιστώσα της μέσης ημερομηνίας, αντίστοιχα είναι οι ποσότητες:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} (n_1 \cos \phi_1 + n_2 \cos \phi_2 + \dots + n_k \cos \phi_k)$$



$$\bar{y} = \frac{1}{n} (n_1 \sin \phi_1 + n_2 \sin \phi_2 + \dots + n_k \sin \phi_k)$$

Έτσι προκύπτει η διορθωμένη τιμή r_c :

$$r_c = cr = c\sqrt{\bar{x}^2 + \bar{y}^2} \quad 0 \leq r_c \leq 1$$

Δεδομένου ότι το μήκος των κλάσεων μετριέται σε ακτίνια, ο παράγοντας διόρθωσης c είναι:

$$c = \frac{\lambda/2}{\sin(\frac{\lambda}{2})}$$

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Αρχικά, γίνεται η παρουσίαση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν κατά τη διαδικασία αξιολόγησης του κλιματικού μοντέλου CNRM-CM6-1-HR. Τα αποτελέσματα αφορούν τη σύγκριση των αποτελεσμάτων του μοντέλου για την ιστορική περίοδο (περίοδο αναφοράς) 1986-2005, με το σύνολο δεδομένων ERA5 για την ίδια περίοδο. Η σύγκριση αφορά τόσο την εποχιακή κατανομή της ακραίας βροχόπτωσης και θερμοκρασίας στο έτος, όσο και την τιμή που χρησιμοποιήθηκε ως κατώφλι για τον κάθε δείκτη κατά την περίοδο 1986-2005. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εποχιακής κατανομής, των τιμών των αντίστοιχων κατωφλίων, καθώς και το μέτρο συγκέντρωσης r , για την μελλοντική περίοδο 2081-2100, βασισμένη στο κλιματικό σενάριο πολύ υψηλών εκπομπών SSP5-8.5.

Τα τελικά αποτελέσματα παρουσιάζονται σε κλάσεις με διαφορετικά χρώματα για την κάθε μεταβλητή, ωστόσο η κλίμακα διατηρήθηκε κοινή τόσο για την περίοδο αναφοράς όσο και για την μελλοντική περίοδο, ώστε τα αποτελέσματα να είναι συγκρίσιμα. Οι κλάσεις χωρίστηκαν διαφορετικά για κάθε δείκτη με βάση την κατανομή των τιμών στο έτος, ενώ συνολικά αναλύθηκαν 3.924 σημεία πλέγματος του μοντέλου CNRM-CM6-1-HR και 15.841 στην περίπτωση των ERA5 δεδομένων, λόγω της διαφορετικής χωρικής ανάλυσης των προσομοιώσεων.

4.1 Αξιολόγηση μοντέλου

Προκειμένου να γίνει η αξιολόγηση του μοντέλου CNRM-CM6-1-HR, χρησιμοποιήθηκε το σύνολο δεδομένων ERA5. Η διαδικασία ξεκίνησε με την επεξεργασία ωριαίων δεδομένων βροχόπτωσης και μέσης θερμοκρασίας και εφαρμόστηκε η ίδια μεθοδολογία για την παραγωγή των ακραίων δεικτών όπως αναφέρθηκαν στις Ενότητες 3.1 και 3.2. Στη συνέχεια εφαρμόστηκε η μεθοδολογία της κυκλικής στατιστικής με τον ίδιο τρόπο σε όλες τις μεταβλητές. Έτσι, προέκυψαν τα παρακάτω σχήματα ακραίας βροχόπτωσης και ακραίων μέσων θερμοκρασιών, τα οποία συγκρίθηκαν με τα αντίστοιχα σχήματα της περιόδου αναφοράς του μοντέλου. Παρόλο που η χωρική ανάλυση στα δύο σύνολα δεδομένων είναι διαφορετική, με μικρή απόκλιση μπορεί να εξαχθεί ένα ασφαλές συμπέρασμα για την καταλληλότητα ή μη του εκάστοτε μοντέλου.

4.1.1 Αξιολόγηση μοντέλου ακραίας βροχόπτωσης

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ενδοετήσιας κατανομής των ακραίων βροχοπτώσεων (δείκτης βροχόπτωσης 99^ο ποσοστημόριο) στην λεκάνη της Μεσογείου για την περίοδο αναφοράς 1986-2005, τόσο όπως αυτά προέκυψαν από το παγκόσμιο μοντέλο, όσο και από τα δεδομένα ERA5. Το ημερολόγιο των ακραίων βροχοπτώσεων δημιουργήθηκε με τη πρώτη μέρα εμφάνισης της ακραίας τιμής ανά έτος.

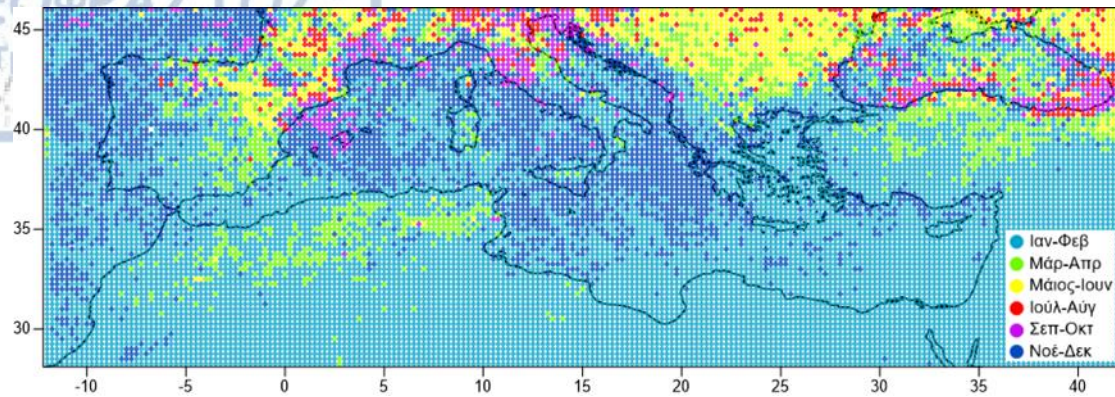
Όπως παρατηρείτε στον Πίνακα 4, υπάρχει συμφωνία στην ενδοετήσια κατανομή των επεισοδίων μεταξύ των δύο συνόλων δεδομένων. Το μεγαλύτερο ποσοστό των περιπτώσεων ακραίας βροχόπτωσης του έτους, 60.7% για τα ERA5 και 50.4% για το παγκόσμιο μοντέλο, λαμβάνει χώρα το διάστημα Ιανουάριο-Φεβρουάριο, ενώ τους μήνες Νοέμβριο και Δεκέμβριο παρατηρείται το 20.4% και 22.3% αντίστοιχα, των περιπτώσεων αυτών. Κάτι τέτοιο είναι αναμενόμενο αφού συνάδει με τον ορισμό του μεσογειακού κλίματος, το οποίο επικρατεί στο μεγαλύτερο μέρος της περιοχής μελέτης και ορίζει τα μεγαλύτερα ποσά ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων να μετρούνται κατά την χειμερινή περίοδο. Τους υπόλοιπους μήνες του έτους παρατηρείται από το 2.2% έως το 8.2% των περιπτώσεων για τα ERA5 και 4% έως 12.7% για το μοντέλο, με τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο να έχουν το χαμηλότερο ποσοστό και στις δυο περιπτώσεις. Η κατανομή αυτή, χαρακτηρίζει απόλυτα το κλίμα της λεκάνης της Μεσογείου, όπου το ελάχιστο της βροχόπτωσης εντοπίζεται κατά τους θερινούς μήνες.

Πίνακας 4: Ποσοστό των σημείων πλέγματος που ανήκουν σε κάθε διαφορετικό χρονικό διάστημα του έτους, για τον δείκτη ακραίας βροχόπτωσης, δεδομένα ERA5 και παγκόσμιο κλιματικό μοντέλο

Χρονικό διάστημα	Ποσοστό σημείων πλέγματος ERA5	Ποσοστό σημείων πλέγματος μοντέλο
Ιανουάριος - Φεβρουάριος	60.7%	50.4%
Μάρτιος – Απρίλιος	8.2%	12.7%
Μάιος - Ιούνιος	5.2%	4.4%
Ιούλιος - Αύγουστος	2.2%	4.0%
Σεπτέμβριος - Οκτώβριος	3.1%	5.4%
Νοέμβριος - Δεκέμβριος	20.4%	23.2%

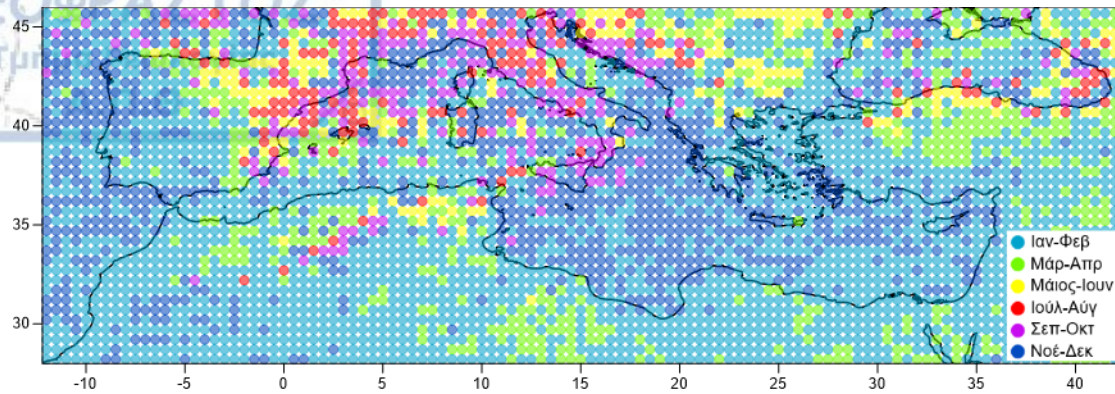
Στο Σχήμα 13 παρουσιάζονται με διαφορετικά χρώματα οι χρονικές περίοδοι εμφάνισης των ακραίων βροχοπτώσεων, από τον Ιανουάριο έως και τον Δεκέμβριο ανά δίμηνο, όπως αυτά προέκυψαν από την ανάλυση του συνόλου δεδομένων ERA5 για την περίοδο 1986-2005. Γενικά στο μεγαλύτερο τμήμα της λεκάνης της Μεσογείου οι ακραίες βροχοπτώσεις εμφανίζονται κατά τους χειμερινούς μήνες. Ειδικότερα,

ξεκινώντας από τα δυτικά προς τα ανατολικά, παρατηρείτε πως στην Πορτογαλία έως και την κεντρική Ισπανία τα φαινόμενα εμφανίζονται κατά το διάστημα Νοέμβριο με Φεβρουάριο. Στην ανατολική Ισπανία τα επεισόδια εντοπίζονται λίγο αργότερα κυρίως από τον Μάρτιο έως τον Ιούνιο, ενώ νότια των Πυρηναίων τους μήνες Ιούλιο έως Οκτώβριο. Μάλιστα, στις Βαλεαρίδες Νήσους καθώς και στην Ιβηρική θάλασσα τα επεισόδια ακραίας βροχόπτωσης σημειώνονται κατά τους φθινοπωρινούς μήνες Σεπτέμβριο-Οκτώβριο. Στις παράκτιες περιοχές της νότιας Γαλλίας τα επεισόδια εντοπίζονται κυρίως τους μήνες Νοέμβριο-Δεκέμβριο, ενώ στην προχωρώντας προς την ενδοχώρα, η κατανομή γίνεται μεταξύ θερμότερων μηνών, από τον Μάιο έως τον Οκτώβριο. Η ιταλική χερσόνησος στο βόρειο τμήμα της, συμπεριλαμβανομένης και της βόρειας Αδριατικής θάλασσας, εμφανίζει τις ακραίες βροχοπτώσεις κατά πλειοψηφία τον Σεπτέμβριο-Οκτώβριο, με μικρές εξαιρέσεις. Στην νότια Ιταλία, τα φαινόμενα καταγράφονται κατά τους χειμερινούς μήνες, όπως και στις ανατολικές όχθες της Αδριατικής θάλασσας και πιο συγκεκριμένα στην Κροατία όπου και τοποθετείται η προσήνεμη πλευρά των Δειναρικών Άλπεων. Χαρακτηριστική κατανομή στο έτος παρουσιάζουν τα επεισόδια ακραίας βροχόπτωσης στην περιοχή των Βαλκανίων, όπου για τη συντριπτική πλειοψηφία των σημείων πλέγματος εντοπίζονται τους μήνες Μάιο και Ιούνιο, ενώ ακολουθεί το δίμηνο του Μαρτίου-Απριλίου. Κατά το δίμηνο αυτό εντοπίζονται τα επεισόδια ακραίας βροχόπτωσης και στην βόρεια Ελλάδα, ενώ στην υπόλοιπη ηπειρωτική και νησιωτική χώρα ως μήνας εμφάνισης ακραίων βροχοπτώσεων επικρατούν οι χειμερινοί μήνες και ιδιαίτερα ο Ιανουάριος και Φεβρουάριος. Η ενδοετήσια κατανομή στην περιοχή πάνω από την Μαύρη θάλασσα είναι αρκετά ανομοιόμορφη, με τα επεισόδια να εμφανίζονται σε όλη την διάρκεια του έτους χωρίς να επικρατεί ξεκάθαρα κάποια εποχή. Βορειοανατολικά αυτής, η κατανομή της εμφάνισης ακραίων βροχοπτώσεων είναι παρόμοια με αυτή της βαλκανικής χερσονήσου με τους μήνες Μάιο-Ιούνιο να επικρατούν. Στην Τουρκία τα επεισόδια ακραίας βροχόπτωσης εντοπίζονται τους μήνες Ιανουάριο έως Απρίλιο. Τέλος, στην Αφρικανική ήπειρο, τα επεισόδια εμφανίζονται τους δύο πρώτους μήνες του έτους με εξαίρεση την οροσειρά του Άτλα, όπου καταγράφονται τους μήνες Μάρτιο και Απρίλιο.



Σχήμα 13: Εποχιακή κατανομή ακραίας βροχόπτωσης κατά την περίοδο αναφοράς 1986 - 2005, ERA5 reanalysis δεδομένα

Στο Σχήμα 14 αποτυπώνεται χωρικά, η εποχικότητα των ακραίων βροχοπτώσεων για την περίοδο αναφοράς 1986-2005, όπως αυτή προέκυψε από την ανάλυση των δεδομένων του παγκόσμιου κλιματικού μοντέλου CNRM-CM6-1-HR. Τα δύο σύνολα δεδομένων εμφανίζουν παρόμοια χωρική κατανομή στο μεγαλύτερο μέρος της περιοχής μελέτης, όπως στην Ιβηρική χερσόνησο, την Γαλλία, την Ελλάδα και την Τουρκία, ενώ παρόμοια είναι η κατανομή και στη Βαλκανική χερσόνησο, με μικρότερο πλήθος σημείων πλέγματος για τους μήνες Ιούλιο-Αύγουστο που εντοπίστηκαν στην περίπτωση των δεδομένων ERA5. Οι διαφορές των δύο συνόλων δεδομένων εντοπίζονται τόσο πάνω από την ξηρά όσο και πάνω από την θάλασσα χωρίς αυτές να είναι έντονες. Η κύρια διαφορά παρουσιάζεται στην ιταλική χερσόνησο ειδικότερα, στην περίπτωση του παγκόσμιου μοντέλου ξεκινούν να εμφανίζονται λίγο νωρίτερα σε σχέση με την περίπτωση των δεδομένων ERA5, από τον Ιούλιο-Αύγουστο στην βόρεια Ιταλία και από τον Σεπτέμβριο-Οκτώβριο στην νότια. Επίσης, νωρίτερα εμφανίζονται τα ακραία επεισόδια και στην Κροατία, κατά τους μήνες Σεπτέμβριο-Οκτώβριο αντί των χειμερινών μηνών. Τέλος, κατά μήκος του όρους Άτλας στην Αφρική, παρατηρείται ότι ορισμένα σημεία πλέγματος, τα επεισόδια ακραίας βροχόπτωσης συμβαίνουν τους μήνες Μάρτιο-Απρίλιο και Σεπτέμβριο-Οκτώβριο, αντίθετα με τα δεδομένα ERA5 τα οποία δείχνουν τα επεισόδια να εμφανίζονται κατά πλειοψηφία τους μήνες Μάρτιο-Απρίλιο στην συγκεκριμένη περιοχή.



Σχήμα 14: Εποχιακή κατανομή ακραίας βροχόπτωσης κατά την περίοδο αναφοράς 1986 - 2005, ιστορικά δεδομένα παγκόσμιου μοντέλου

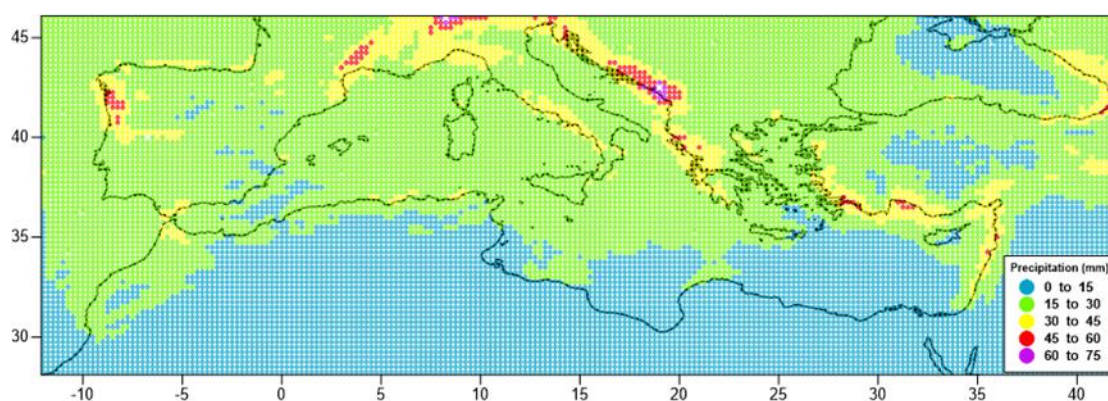
Στον Πίνακα 2 γίνεται η ποσοστιαία σύγκριση δεδομένων ERA5-παγκόσμιου μοντέλου, των σημείων πλέγματος τα οποία αντιστοιχούν στις οριακές τιμές ακραίας βροχόπτωσης όπως αυτή ορίστηκε από το 99^ο ποσοστημόριο της συνολικής ημερήσιας βροχόπτωσης. Όπως φαίνεται υπάρχει αντιστοιχία των δύο συνόλων δεδομένων, ωστόσο το παγκόσμιο μοντέλο φαίνεται να υποεκτιμά τις τιμές που βρίσκονται μεταξύ 0 και 15 mm (10.3% απόκλιση από τα ERA5) και να υπερεκτιμά ελαφρώς τις τιμές μεταξύ 15 και 60 mm (3.2% μέση απόκλιση από τα ERA5). Και για τα δυο σύνολα δεδομένων η πλειοψηφία των σημείων πλέγματος εμφανίζουν ακραία βροχόπτωση για τιμές 15 με 30 mm, ενώ για την περίοδο 1986-2005 κανένα από τα δύο σύνολα δεν εμφανίζει σημεία πλέγματος που να παρουσιάζουν ακραία βροχόπτωση με τιμή άνω των 75 mm.

Πίνακας 5: Ποσοστό σημείων πλέγματος ανά κλάσεις τιμών ακραίας βροχόπτωσης (mm), όπως αυτή ορίστηκε από το 99^ο ποσοστημόριο της συνολικής ημερήσιας βροχόπτωσης, τόσο για το σύνολο δεδομένων ERA5, όσο και για τα ιστορικά δεδομένα του παγκόσμιου κλιματικού μοντέλου

Τιμή 99ου ποσοστημορίου (mm)	Ποσοστό σημείων πλέγματος ERA5	Ποσοστό σημείων πλέγματος μοντέλο
0-15	40.1%	30.4%
15-30	52.2%	56.4%
30-45	6.9%	11.6%
45-60	0.7%	1.5%
60-75	0.1%	0.1%

Στο Σχήμα 15 παρουσιάζεται η χωρική κατανομή των τιμών ακραίας βροχόπτωσης για την περίοδο αναφοράς 1986-2005, όπως αυτή προκύπτει από την ανάλυση του συνόλου δεδομένου ERA5. Οι τιμές αυτές αποτελούν τον μέσο όρο των τιμών του 99^{ου} ποσοστημορίου της συνολικής ημερήσιας βροχόπτωσης, για τα είκοσι έτη μελέτης.

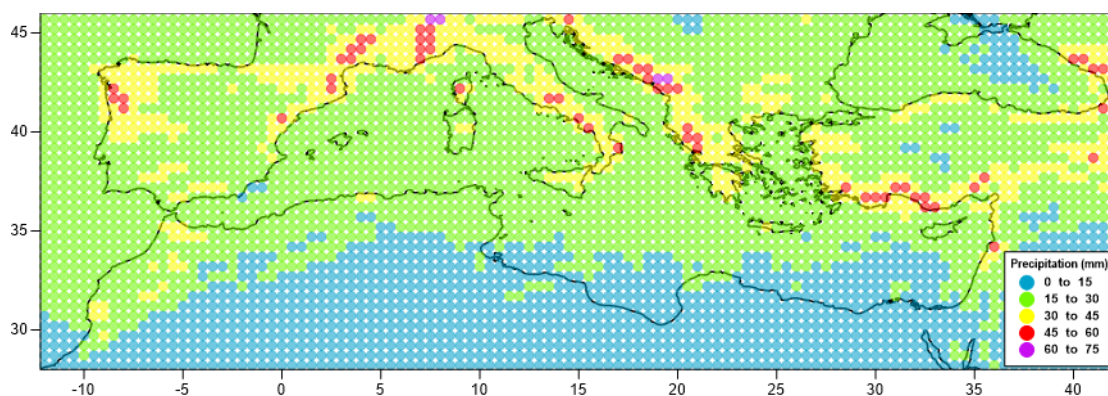
Όπως παρατηρείται, η πλειονοψηφία των σημείων πλέγματος της περιοχής μελέτης εμφανίζει τιμή του δείκτη 15 με 30 mm, με τα σημεία να καλύπτουν τόσο την ξηρά όσο και την θάλασσα. Στην βορειοδυτική Ιβηρική χερσόνησο, την νότια Γαλλία, την προσήνεμη πλευρά της οροσειράς των Απεννίνων, στις ακτές της βόρειας Αδριατικής, στην προσήνεμη πλευρά της Πίνδου και του Καυκάσου και στα παράλια της Τουρκίας, του Λίβανου, της Συρίας και του Ισραήλ η τιμή αυξάνεται στα 30 με 45 mm, πάνω από την οποία η ημερήσια βροχόπτωση θεωρείται ακραία. Στις νότιες Άλπεις καθώς και στις Δειναρικές Άλπεις, το 99^ο ποσοστημόριο βροχόπτωσης εμφανίζει και την μέγιστη τιμή του για την περιοχή, που φτάνει τα 75 mm. Να σημειωθεί πως τα λευκά σημεία πλέγματος που υπάρχουν στις περιοχές αυτές, αντιστοιχούν σε τιμή άνω των 75 mm. Τέλος, οι μικρότερες τιμές 0 έως 15 mm καταγράφονται στην Αφρικανική ήπειρο, την Μέση Ανατολή, το κέντρο της Μαύρης θάλασσας, την τουρκική ενδοχώρα καθώς και διάσπαρτα σημεία πλέγματος στην Ιβηρική χερσόνησο, τις Κυκλάδες και την Κύπρο.



Σχήμα 15: Τιμή του δείκτη ακραίας βροχόπτωσης κατά την περίοδο αναφοράς 1986 - 2005, ERA-5 reanalysis δεδομένα

Στο Σχήμα 16 φαίνεται η χωρική κατανομή των τιμών ακραίας βροχόπτωσης για την περίοδο αναφοράς 1986-2005, όπως αυτή προκύπτει από την ανάλυση των ιστορικών δεδομένων του μοντέλου CNRM-CM6-1-HR. Οι τιμές αυτές αποτελούν τον μέσο όρο των τιμών του 99^{ου} ποσοστημορίου της συνολικής ημερήσιας βροχόπτωσης, για τα είκοσι έτη μελέτης και συγκρίνονται με τα δεδομένα που αποτυπώθηκαν στο Σχήμα 15 προκειμένου να διαπιστωθεί η καταλληλότητα του μοντέλου για την συγκεκριμένη μεταβλητή και περιοχή μελέτης. Όπως εύκολα διαπιστώνεται, παρά την διαφορετική χωρική ανάλυση των δύο συνόλων δεδομένων, υπάρχει μεγάλη ταύτιση των αποτελεσμάτων. Οι διαφορές εντοπίζονται σε δύο μόνο περιοχές, την προσήνεμη πλευρά της οροσειράς των Απεννίνων και την τουρκική ενδοχώρα. Πιο συγκεκριμένα, στην δυτική ιταλική χερσόνησο, στην περίπτωση του παγκόσμιου μοντέλου,

παρατηρούνται σημεία πλέγματος με τιμή μεταξύ 45 και 60 mm, κάτι το οποίο δεν ισχύει στην περίπτωση των δεδομένων ERA5. Στην περίπτωση της τουρκικής ενδοχώρας τα σημεία πλέγματος που αντιστοιχούν σε τιμές 0 έως 15 mm έχουν μειωθεί σημαντικά, με την θέση τους να παίρνουν μεγαλύτερες τιμές από 15 έως 30 mm.



Σχήμα 16: Τιμή του δείκτη ακραίας βροχόπτωσης κατά την περίοδο αναφοράς 1986 - 2005, ιστορικά δεδομένα παγκόσμιοι μοντέλου

Έπειτα από την σύγκριση των δύο συνόλων δεδομένων για την μεταβλητή της βροχόπτωσης, μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι το μοντέλο CNRM-CM6-1-HR αντικατοπτρίζει ρεαλιστικά την βροχόπτωση στην περιοχή της Μεσογείου για την περίοδο 1986-2005 και μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην παρούσα ανάλυση.

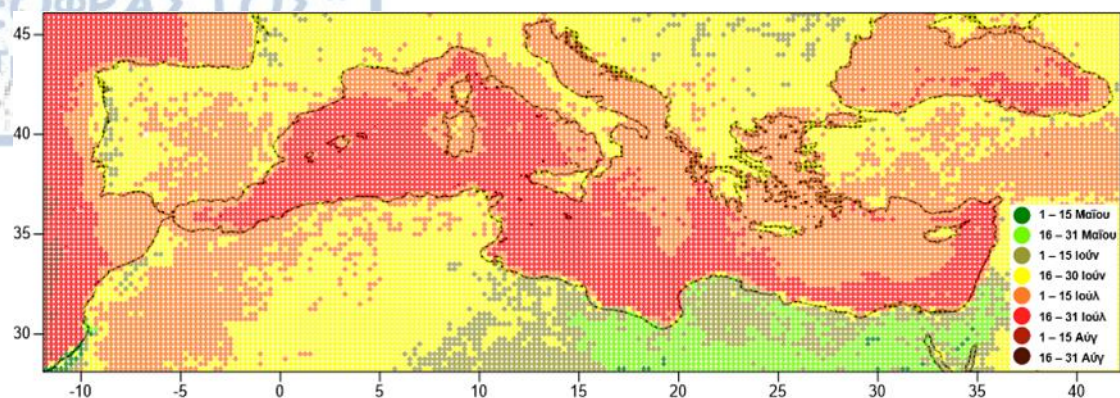
4.1.2 Αξιολόγηση μοντέλου μέγιστης μέσης θερμοκρασίας

Στον Πίνακα 6, παρουσιάζεται η ποσοστιαία κατανομή των σημείων πλέγματος στο χρονικό διάστημα 1 Μαΐου έως 15 Αυγούστου. Κατά το διάστημα αυτό συμβαίνει η πρώτη εμφάνιση μέγιστης μέσης θερμοκρασίας στη Μεσόγειο, όπως αυτό το επεισόδιο ορίζεται από τον δείκτη του 95^{ου} ποσοστημορίου μέσης θερμοκρασίας. Όπως παρατηρείτε στην πρώτη στήλη με τα δεδομένα ERA5, η πρώτη ημέρα μέγιστης μέσης θερμοκρασίας για τα περισσότερα από τα σημεία πλέγματος εμφανίζεται είτε το δεύτερο δεκαπενθήμερο του Ιουνίου είτε το πρώτο του Ιουλίου με ποσοστό 33.9% και 33.6% αντίστοιχα. Αντίθετα, στο πρώτο και στο τελευταίο δεκαπενθήμερο του διαστήματος εμφάνισης, αντιστοιχούν τα λιγότερα σημεία πλέγματος, 0.3% και 0.4% αντίστοιχα. Σε σύγκριση με τα δεδομένα ERA5, το κλιματικό μοντέλο φαίνεται γενικά να ανταποκρίνεται σωστά, με μοναδική αξιοσημείωτη διαφορά τον μήνα Ιούλιο. Πιο συγκεκριμένα, το κλιματικό μοντέλο φαίνεται να υπερεκτιμά τα σημεία πλέγματος που αντιστοιχούν στο πρώτο δεκαπενθήμερο του Ιουλίου, κατά 12.3% και να υποεκτιμά τα σημεία πλέγματος που εμφανίζουν την μέγιστη μέση θερμοκρασία το δεύτερο μισό του μήνα, κατά 11%.

Πίνακας 6: Ποσοστό των σημείων πλέγματος που ανήκουν σε κάθε διαφορετικό χρονικό διάστημα του έτους, για τον δείκτη μέγιστης μέσης θερμοκρασίας, δεδομένα ERA5 και παγκόσμιο κλιματικό μοντέλο

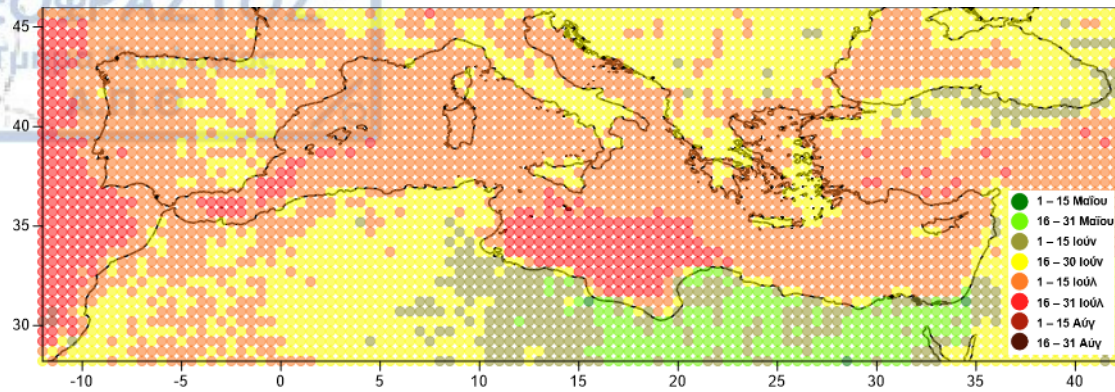
Χρονικό διάστημα	Ποσοστό σημείων πλέγματος ERA5	Ποσοστό σημείων πλέγματος μοντέλο
1-15 Μαΐου	0.3%	0.1%
16-31 Μαΐου	4.5%	4.9%
1-15 Ιουνίου	7.7%	7.2%
16-30 Ιουνίου	33.9%	33.2%
1-15 Ιουλίου	33.6%	45.9%
16-31 Ιουλίου	19.6%	8.6%
1-15 Αυγούστου	0.4%	0.1%

Στο Σχήμα 17 παρουσιάζεται η χωρική κατανομή του χρονικού διαστήματος που πρωτοεμφανίζεται η ημέρα με μέση θερμοκρασία μεγαλύτερη του 95^{ου} ποσοστημορίου, για την περίοδο 1986-2005 όπως αυτό προκύπτει από την ανάλυση των δεδομένων ERA5. Μεγάλο μέρος της Πορτογαλίας εμφανίζει την ημέρα κατά το πρώτο δεκαπενθήμερο του Ιουνίου, ενώ η δυτική και βόρεια Ισπανία κατά το δεύτερο. Κεντρικά της Ιβηρικής χερσονήσου η μέγιστη μέση θερμοκρασία εμφανίζεται το διάστημα 1 με 15 Ιουλίου. Σχεδόν ολόκληρο το τμήμα της Γαλλίας που ανήκει στην περιοχή μελέτης, η βόρεια και ανατολική Ιταλία, ολόκληρη η Βαλκανική χερσόνησος συμπεριλαμβανομένης της Ελλάδας, η περιοχή περιμετρικά της Μαύρης θάλασσας, η Κύπρος και το νοτιοανατολικό τμήμα της περιοχής μελέτης εμφανίζουν την μέγιστη μέση θερμοκρασία το διάστημα 16 με 30 Ιουνίου. Στο νοτιοανατολικό τμήμα της περιοχής μελέτης (Ισραήλ, Ιορδανία, Αίγυπτος, Λιβύη), οι μέγιστες μέσες θερμοκρασίες φαίνεται πως εμφανίζονται νωρίτερα σε σχέση με την υπόλοιπη λεκάνη της Μεσογείου και συγκεκριμένα από τη 1 Μαΐου έως και τις 15 Ιουνίου, με την πλειονηφία των σημείων πλέγματος να ανήκουν στο διάστημα 16 με 31 Μαΐου. Στην βορειοδυτική Αφρική η μέγιστη μέση θερμοκρασία εμφανίζεται τον μήνα Ιούνιο. Γενικά αυτό που παρατηρείται στην αφρικανική ήπειρο είναι ότι η ημερομηνία εμφάνισης της μέγιστης μέσης θερμοκρασίας αυξάνεται σταδιακά από τα ανατολικά προς τα δυτικά. Στη θαλάσσια περιοχή της Μεσογείου, οι επικρατέστερες μέρες εμφάνισης των μέγιστων μέσων θερμοκρασιών εμφανίζουν μία σημαντική υστέρηση και ανήκουν στο διάστημα 16 Ιουλίου έως 15 Αυγούστου, αυτό θα μπορούσε να συνδυαστεί με τις μέγιστες θερμοκρασίες της θάλασσας όπου λόγω της μεγάλης θερμοχωρητικότητας του νερού σε σχέση με τη ξηρά εμφανίζουν τα μέγιστα τους αργότερα στο χρόνο.



Σχήμα 17: Εποχιακή κατανομή μέγιστης μέσης θερμοκρασίας κατά την περίοδο αναφοράς 1986 - 2005, ERA-5 reanalysis δεδομένα

Στο Σχήμα 18 παρουσιάζεται η χωρική κατανομή των σημείων πλέγματος που εμφανίζουν την πρώτη ημέρα μέγιστης μέσης θερμοκρασίας για την θερμή περίοδο Μάιο με Αύγουστο, σύμφωνα με τα δεδομένα του κλιματικού μοντέλου. Τα αποτελέσματα αυτά συγκρίνονται με εκείνα των δεδομένων ERA5 προκειμένου να διαπιστωθεί η εγκυρότητα των αποτελεσμάτων του συγκεκριμένου κλιματικού μοντέλου στην περιοχή της Μεσογείου. Τα δύο σύνολα δεδομένων παρουσιάζουν παρόμοια χωρική κατανομή της έναρξης εμφάνισης μεγίστων μέσων θερμοκρασιών, με μικρές εξαιρέσεις. Αρχικά, το μοντέλο εμφανίζει νωρίτερα τις μέγιστες θερμοκρασίες πάνω από τη θάλασσα με το ποσοστό των σημείων πλέγματος που ανήκουν στο διάστημα 16 με 31 Ιουλίου εμφανίζονται αισθητά μειωμένα σε σχέση με τα ERA5 δεδομένα, ενώ τη θέση αυτών των σημείων έχουν πάρει σημεία για το διάστημα 1 με 15 Ιουλίου. Επιπλέον, μία ακόμα διαφορά παρατηρείται στην Ιβηρική χερσόνησο, όπου τα σημεία πλέγματος του διαστήματος 16 με 30 Ιουνίου και 1 με 15 Ιουλίου έχουν αντιστρέψει τις θέσεις τους σε σχέση με τα ERA5 και έτσι η δυτική και βορειοανατολική χερσόνησος εμφανίζει τη μέγιστη μέση θερμοκρασία αργότερα σε σχέση με το κεντρικό της τμήμα. Γενικά, παρά τις επιμέρους διαφορές και την διαφορετική χωρική ανάλυση το μοντέλο του ινστιτούτου CNRM φαίνεται να ανταποκρίνεται σωστά για την συγκεκριμένη μεταβλητή στην περιοχή της Μεσογείου.



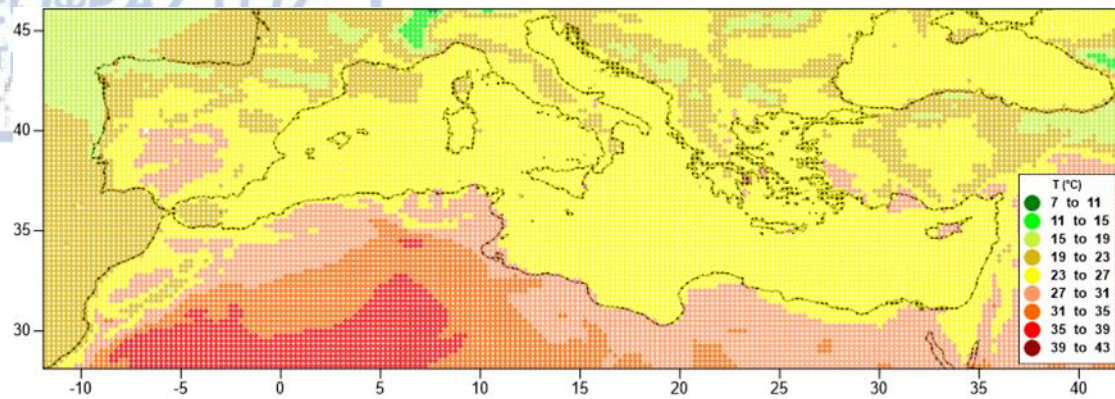
Σχήμα 18: Εποχιακή κατανομή μέγιστης μέσης θερμοκρασίας κατά την περίοδο αναφοράς 1986 - 2005, ιστορικά δεδομένα παγκόσμιου κλιματικού μοντέλου

Στον Πίνακα 7 φαίνεται η ποσοστιαία κατανομή των σημείων πλέγματος στις διαφορετικές κλάσεις μέγιστης μέσης θερμοκρασίας, όπως αυτές ορίστηκαν σύμφωνα με το όριο του ακραίου δείκτη του 95^{ου} ποσοστημορίου μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται τόσο για τα δεδομένα ERA5 όσο και για το παγκόσμιο κλιματικό μοντέλο για την περίοδο 1986-2005. Οι οριακές τιμές για την περίοδο αναφοράς κυμαίνονται από 7 έως 39°C, με τα δυο σύνολα δεδομένων να παρουσιάζουν μικρές διαφορές. Σύμφωνα με τα δεδομένα ERA5, όλα τα σημεία πλέγματος φαίνεται να έχουν τιμή μεταξύ 11 και 39°C με το μικρότερο ποσοστό να έχει η κλάση 11-15°C (0.3%). Το μεγαλύτερο ποσοστό των σημείων πλέγματος (46.4%) παρουσιάζει μέγιστη μέση θερμοκρασία για θερμοκρασίες πάνω από 23 με 27°C. Οι κλάσεις με τιμή 19-23°C και 27-31°C παρουσιάζουν ποσοστά 17.5% και 15.2% αντίστοιχα, ενώ μικρότερα ποσοστά από 4.8 έως 10.4% παρουσιάζουν οι υπόλοιπες θερμοκρασιακές κλάσεις. Παρόμοια κατανομή παρουσιάζουν και τα ιστορικά δεδομένα του παγκόσμιου κλιματικού μοντέλου, το οποίο ωστόσο δείχνει τις οριακές τιμές θερμοκρασίας να κυμαίνονται από 7 έως 35°C. Το μικρότερο ποσοστό (0.2%) αντιστοιχεί σε θερμοκρασίες 7 με 11°C και το υψηλότερο (43.5%), όπως και στα δεδομένα ERA5, σε θερμοκρασίες 23 με 27°C. Φαίνεται λοιπόν πως το μοντέλο ανταποκρίνεται αρκετά ικανοποιητικά για την μεταβλητή της μέγιστης μέσης θερμοκρασίας..

Πίνακας 7: Ποσοστό σημείων πλέγματος ανά κλάσεις τιμών μέγιστης μέσης θερμοκρασίας (°C), όπως αυτή ορίστηκε από το 95ο ποσοστημόριο της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας, τόσο για το σύνολο δεδομένων ERA5, όσο και για τα ιστορικά δεδομένα του παγκόσμιου κλιματικού μοντέλου

Τιμή 95ου ποσοστημορίου (°C)	Ποσοστό σημείων πλέγματος ERA5	Ποσοστό σημείων πλέγματος μοντέλο
7-11	0%	0.2%
11-15	0.3%	1.5%
15-19	5.3%	8.4%
19-23	17.5%	23.1%
23-27	46.4%	43.5%
27-31	15.2%	17.6%
31-35	10.4%	5.8%
35-39	4.8%	0%

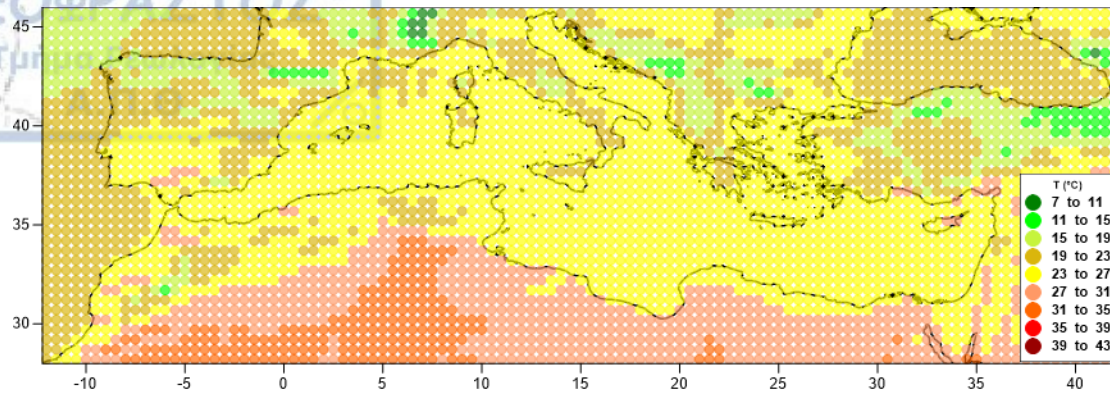
Όπως φαίνεται στο Σχήμα 19 η χωρική κατανομή των τιμών μέγιστης μέσης θερμοκρασίας σύμφωνα με το σύνολο δεδομένων ERA5, διαφέρει έντονα μεταξύ Ευρασίας και Αφρικής, λόγω των διαφορετικών τύπων κλίματος που επικρατούν στην κάθε περιοχή. Συγκεκριμένα, στην Ιβηρική χερσόνησο ακραίες θεωρούνται οι θερμοκρασίες πάνω από 15 με 19°C στο βόρειο τμήμα όπου υπάρχουν οροσειρές (Πυρηναία και Κανταβρικά όρη) και το όριο αυτό αυξάνεται προ την ενδοχώρα, φτάνοντας τους 27-31°C στην κεντρική Ισπανία. Στην οροσειρά των Άλπεων παρατηρείται το μικρότερο όριο που κυμαίνεται από 7 έως 15°C, ενώ στην οροσειρά των Απεννίνων που υψώνεται στην κεντρική Ιταλία οι οριακές τιμές είναι από 19 έως 23°C. Στα ψηλότερα σημεία των οροσειρών των Βαλκανίων όπως οι Δειναρικές Άλπεις και τα Καρπάθια όροι, οι οριακές τιμές είναι μεταξύ 15 και 19°C, ενώ ίδιες είναι και στις Ποντιακές Άλπεις, στην βόρεια Τουρκία. Χαμηλότερες εμφανίζονται οι οριακές τιμές στον Καύκασο, όπου δεν ξεπερνούν τους 15°C. Η υπόλοιπη ηπειρωτική Ευρώπη όπως και η Μεσόγειος θάλασσα, κατά πλειοψηφία εμφανίζει επεισόδια μέγιστης μέσης θερμοκρασίας για τιμές πάνω από 23 με 27°C. Νοτιότερα σε περιοχές όπως η νότια Τουρκία, η Κύπρος και η Μέση Ανατολή βιώνουν κατά μέσο όρο υψηλότερες θερμοκρασίες, άρα και τα όρια για να χαρακτηριστεί η θερμοκρασία μέγιστη μέση είναι υψηλότερα μεταξύ 27 και 31°C. Στην βόρεια Αφρική η εικόνα είναι διαφορετική με τα όρια των ακραία μέγιστων θερμοκρασιών να ξεκινούν από 23 με 27°C στην παράκτιες περιοχές τις Μεσογείου και να αυξάνονται προς το εσωτερικό της ηπείρου φτάνοντας στο κεντρικό και δυτικό τμήμα της τους 35 με 39°C, όπου και τοποθετείται η έρημος Σαχάρα.



Σχήμα 19: Τιμή του δείκτη μέγιστης μέσης θερμοκρασίας κατά την περίοδο αναφοράς 1986 - 2005, ERA-5 reanalysis δεδομένα

Στο Σχήμα 20 παρουσιάζεται η χωρική κατανομή των τιμών μέγιστης μέσης θερμοκρασίας, όπως αυτές ορίζονται από τον δείκτη του 95^{ου} ποσοστημορίου, σύμφωνα με τα δεδομένα του παγκόσμιου κλιματικού μοντέλου. Συγκριτικά με το σύνολο δεδομένων ERA5 παρατηρείται σε όλη την ηπειρωτική Μεσόγειο το όριο μέγιστης μέσης θερμοκρασίας είναι χαμηλότερο. Συγκεκριμένα, στην Ιβηρική χερσόνησο τα σημεία πλέγματος με τιμή 15-19°C έχουν εμφανιστεί και σε χαμηλότερα υψόμετρα, ενώ τα σημεία πλέγματος με οριακές τιμές θερμοκρασίας 27 με 31°C έχουν σχεδόν εξαφανιστεί. Στις οροσειρές φαίνονται τα σημεία πλέγματος να έχουν οριακές τιμές μια κλάση χαμηλότερη σε σχέση με τα ERA5, ενώ τα σημεία που ανήκουν σε αυτές τις χαμηλές θερμοκρασιακές κλάσεις έχουν επιπλέον αυξηθεί σε πλήθος. Επιπρόσθετα, οι τιμή πάνω από την οποία η θερμοκρασία θεωρείται μέγιστη μέση πάνω από την Μαύρη θάλασσα έχει μειωθεί κατά περίπου 4°C. Τέλος, στην βόρεια Αφρικανική ήπειρο, οι οριακές τιμές παραμένουν υψηλές, δεδομένου του ερημικού κλίματος που επικρατεί στο μεγαλύτερο μέρος της, ωστόσο δεν παρουσιάζονται σημεία πλέγματος που ανήκουν στην θερμοκρασιακή κλάση 35 με 39°C.

Έτσι, παρόλο την διαφορετική χωρική ανάλυση, μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι το παγκόσμιο κλιματικό μοντέλο περιγράφει ικανοποιητικά τον δείκτη μέγιστης μέσης θερμοκρασίας, ωστόσο υποτιμά τις τιμές θερμοκρασίας έως και 4°C.



Σχήμα 20: Τιμή του δείκτη μέγιστης μέσης θερμοκρασίας κατά την περίοδο αναφοράς 1986 - 2005, ιστορικά δεδομένα παγκόσμιου μοντέλου

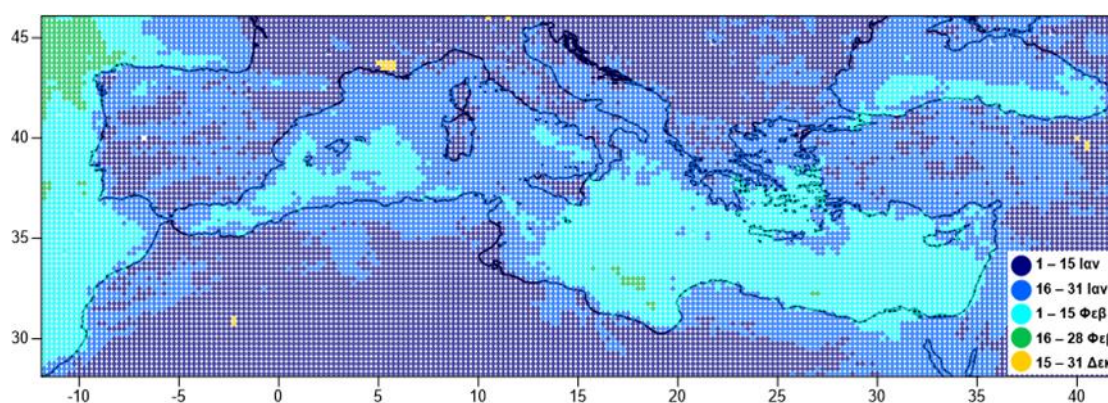
4.1.3 Αξιολόγηση μοντέλου ελάχιστης μέσης θερμοκρασίας

Στον Πίνακα 8, παρουσιάζεται η ποσοστιαία κατανομή των σημείων πλέγματος στο χρονικό διάστημα 15 Δεκεμβρίου έως 28 Φεβρουαρίου. Κατά το διάστημα αυτό συμβαίνει η πρώτη εμφάνιση απόλυτα ελάχιστης μέσης θερμοκρασίας στη Μεσόγειο. Όπως παρατηρείτε στην πρώτη στήλη των δεδομένων ERA5, το πρώτο επεισόδιο για τα περισσότερα από τα σημεία πλέγματος εμφανίζεται είτε το πρώτο δεκαπενθήμερο του Ιανουαρίου είτε το δεύτερο με ποσοστό 39.9% και 38.2% αντίστοιχα. Ακολουθεί με 20.3% το πρώτο δεκαπενθήμερο του Φεβρουαρίου, με 1.5% το δεύτερο δεκαπενθήμερο του Φεβρουαρίου και με μόλις 0.1% το τελευταίο δεκαπενθήμερο του έτους. Η βασική διαφορά που παρατηρείται στα αποτελέσματα της ανάλυσης των δεδομένων του κλιματικού μοντέλου είναι πως σχεδόν όλα τα σημεία πλέγματος που εμφανίζουν το επεισόδιο το πρώτο δεκαπενθήμερο του Ιανουαρίου, εμφανίζουν το επεισόδιο κατά το διάστημα 16-31 Ιανουαρίου με αποτέλεσμα να εμφανίζεται διπλάσιο από αυτό των ERA5 δεδομένων. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί πως το διάστημα 15-31 Δεκεμβρίου το κλιματικό μοντέλο δεν παρουσιάζει κανένα σημείο πλέγματος με ελάχιστες τιμές μέσων θερμοκρασιών στα παραπάνω όρια.

Πίνακας 8: Ποσοστό των σημείων πλέγματος που ανήκουν σε κάθε διαφορετικό χρονικό διάστημα του έτους, για τον δείκτη ελάχιστης μέσης θερμοκρασίας, δεδομένα ERA5 και παγκόσμιο κλιματικό μοντέλο

Χρονικό διάστημα	Ποσοστό σημείων πλέγματος ERA5	Ποσοστό σημείων πλέγματος μοντέλο
1-15 Ιανουαρίου	39.9%	7.2%
16-31 Ιανουαρίου	38.2%	67.1%
1-15 Φεβρουαρίου	20.3%	21.2%
16-28 Φεβρουαρίου	1.5%	4.6%
15-31 Δεκεμβρίου	0.1%	0%

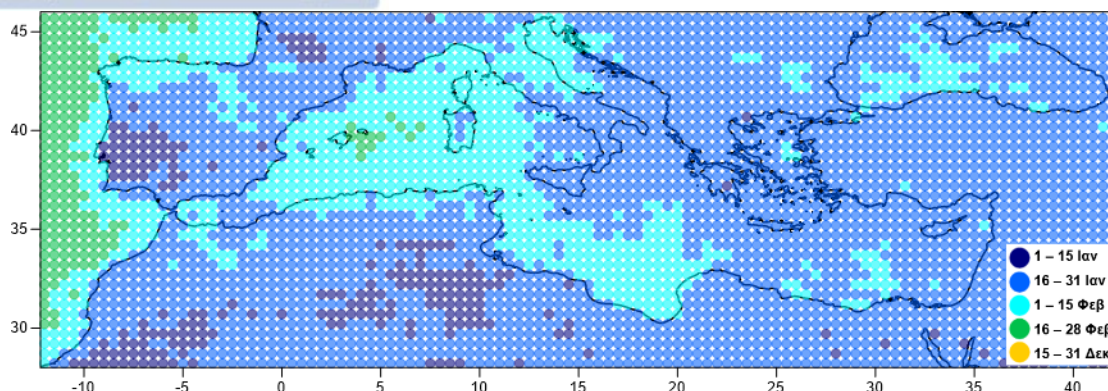
Στο Σχήμα 21 παρουσιάζεται η χωρική κατανομή του χρονικού διαστήματος που εμφανίζεται στο έτος, η μέρα με την μικρότερη μέση θερμοκρασία, για την περίοδο 1986-2005 όπως αυτό προκύπτει από την ανάλυση των δεδομένων ERA5. Όπως φαίνεται η πλειοψηφία των σημείων πλέγματος στην ηπειρωτική περιοχή μελέτης εμφανίζει το επεισόδιο ελάχιστης μέσης θερμοκρασίας το πρώτο δεκαπενθήμερο του έτους και κάποια λιγοστά σημεία πλέγματος κατά το δεύτερο. Στον ελληνικό χώρο η πλειοψηφία των σημείων πλέγματος τοποθετούν το επεισόδιο το διάστημα 16 με 31 Ιανουαρίου. Σε ότι αφορά τις θαλάσσιες εκτάσεις της περιοχής μελέτης, η ανατολική Μεσόγειος εμφανίζει τη μικρότερη τιμή της μέσης θερμοκρασίας το διάστημα από 1 με 15 Φεβρουαρίου ενώ η δυτική Μεσόγειος 16 με 31 Ιανουαρίου.



Σχήμα 21: Εποχιακή κατανομή ελάχιστης μέσης θερμοκρασίας κατά την περίοδο αναφοράς 1986 - 2005, ERA-5 reanalysis δεδομένα

Η χωρική κατανομή, της ημέρας με την απόλυτα ελάχιστη τιμή της μέσης θερμοκρασίας, για την περίοδο 1986-2005 όπως αυτό προκύπτει από την ανάλυση των δεδομένων του παγκόσμιου κλιματικού μοντέλου, φαίνεται στο Σχήμα 22. Όπως φαίνεται, η ημερομηνία εμφάνισης της ελάχιστης μέσης θερμοκρασίας βρίσκεται μεταξύ της 1 Ιανουαρίου και 28 Φεβρουαρίου, με τα περισσότερα σημεία πλέγματος να εντοπίζονται το διάστημα 16-31 Ιανουαρίου, σε αντίθεση με τα δεδομένα ERA5. Πιο συγκεκριμένα, η ηπειρωτική περιοχή μελέτης εμφανίζει την ημέρα απόλυτα ελάχιστη τιμή της μέσης θερμοκρασίας κατά το δεύτερο δεκαπενθήμερο του Ιανουαρίου, ενώ εξαίρεση αποτελούν η βόρεια Ισπανία και η κεντρική Ιταλία όπου η ημέρα τοποθετείται το διάστημα 1-15 Φεβρουαρίου. Επιπλέον στην νοτιοδυτική Ιβηρική χερσόνησο, καθώς και στο κεντρικό και νοτιοδυτικό τμήμα της Αφρικανικής ηπείρου συναντώνται σημεία πλέγματος που εμφανίζουν την ελάχιστη μέση θερμοκρασία το διάστημα 1-15 Ιανουαρίου. Τέλος, παρατηρείται πως η ανατολική

Μεσόγειος θάλασσα εμφανίζει την ελάχιστη μέση θερμοκρασία νωρίτερα από την δυτική Μεσόγειο και τον ανατολικό Ατλαντικό.



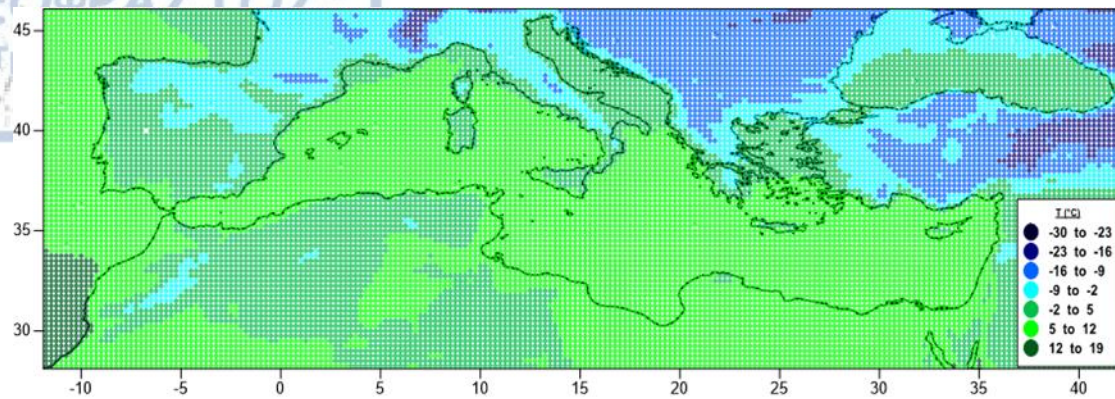
Σχήμα 22: Εποχιακή κατανομή ελάχιστης μέσης θερμοκρασίας κατά την περίοδο αναφοράς 1986 - 2005, ιστορικά δεδομένα παγκόσμιου μοντέλου

Στον Πίνακα 9, παρουσιάζεται το ποσοστό των σημείων πλέγματος που αντιστοιχεί σε κάθε κλάση της απόλυτα ελάχιστης τιμής της μέσης θερμοκρασίας ($^{\circ}\text{C}$), τόσο για το σύνολο δεδομένων ERA5, όσο και για τα ιστορικά δεδομένα του παγκόσμιου κλιματικού μοντέλου για την περίοδο 1986-2005. Σύμφωνα με το σύνολο δεδομένων ERA5 οι απόλυτα ελάχιστες τιμές της μέσης θερμοκρασίας κυμαίνονται από -23 έως 19°C , ενώ οι τιμές σύμφωνα με το παγκόσμιο κλιματικό μοντέλο, έχουν διαφορετικό εύρος από -30 έως 12°C κάτι το οποίο δείχνει ότι το συγκεκριμένο μοντέλο εμφανίζει μεγαλύτερο ποσοστό κόμβων με χαμηλές θερμοκρασίες. Στην περίπτωση των δεδομένων ERA5 το πλήθος των σημείων πλέγματος σταδιακά αυξάνεται, μέχρι να πάρει την μέγιστη τιμή του (43.3%) για θερμοκρασίες μεταξύ 5 και 12°C , ενώ 1.3% των σημείων παρουσιάζει ελάχιστη μέση θερμοκρασία μεταξύ 12 και 19°C . Από την άλλη, τα σημεία πλέγματος σύμφωνα με το παγκόσμιο κλιματικό μοντέλο αυξάνονται, παίρνοντας την μέγιστη τιμή του πλήθους τους (38.9%) για θερμοκρασίες μεταξύ -2 και 5°C , ενώ το 26.4% των σημείων παίρνει ελάχιστη τιμή μέσης θερμοκρασίας μεταξύ 5 και 12°C .

Πίνακας 9: Ποσοστό σημείων πλέγματος ανά κλάσεις της απόλυτα ελάχιστης τιμής της μέσης θερμοκρασίας (°C), τόσο για το σύνολο δεδομένων ERA5, όσο και για τα ιστορικά δεδομένα του παγκόσμιου κλιματικού μοντέλου

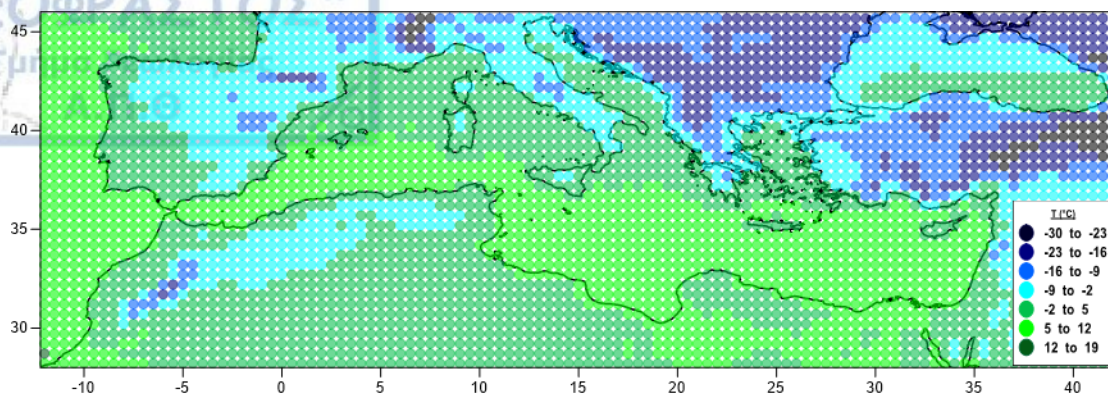
Απόλυτα ελάχιστη τιμή της μέσης T (°C)	Ποσοστό σημείων πλέγματος ERA5	Ποσοστό σημείων πλέγματος μοντέλο
-30 έως -23	0%	0.9%
-23 έως -16	1.6%	7.1%
-16 έως -9	10.2%	7.9%
-9 έως -2	11.7%	18.8%
-2 έως 5	32%	38.9%
5 έως 12	43.3%	26.4%
12 έως 19	1.3%	0%

Στο Σχήμα 23 φαίνεται η χωρική κατανομή της απόλυτα ελάχιστης τιμής της μέσης θερμοκρασίας σύμφωνα με το σύνολο δεδομένων ERA5, η οποία διαφέρει έντονα μεταξύ Ευρασίας και Αφρικής, λόγω των διαφορετικών τύπων κλίματος που επικρατούν στην κάθε περιοχή. Πιο αναλυτικά, στην Ιβηρική χερσόνησο, επικρατούν οι τιμές -2 έως 5°C, με εξαίρεση την βόρεια Ισπανία όπου εκεί οι απόλυτα ελάχιστη τιμή της μέσης θερμοκρασίας κυμαίνεται μεταξύ -9 και -2°C. Σε αυτήν την κλάση κυμαίνονται οι ελάχιστες μέσες θερμοκρασίες και στην Γαλλία, την Ιταλία, την ακτογραμμή των Βαλκανίων και το βόρειο τμήμα της Μαύρης θάλασσας. Στα μεγαλύτερα υψόμετρα των Πυρηναίων και των Άλπεων, οι θερμοκρασίες αυτές κυμαίνονται σε χαμηλότερα επίπεδα μεταξύ -23 και -16°C. Στην ενδοχώρα της Βαλκανικής χερσονήσου οι τιμές κυμαίνονται χαμηλότερα σε σχέση με την υπόλοιπη Ευρώπη, από -16 έως -9°C. Στη Τουρκία παρατηρείται σταδιακή μείωση των απόλυτα ελάχιστων τιμών της μέσης θερμοκρασίας, από τα παράλια του Αιγαίου (-2 έως 5°C) προς το εσωτερικό της ηπείρου (-23 έως -16°C). Τέλος, σε ότι αφορά την Αφρική, οι ελάχιστες τιμές στο ανατολικό τμήμα της ηπείρου κυμαίνονται από 5 έως 12°C και μειώνονται προς τα δυτικά, φτάνοντας στην έρημο Σαχάρα μέχρι και τους -9°C.



Σχήμα 23: Απόλυτα ελάχιστη τιμή της μέσης θερμοκρασίας κατά την περίοδο αναφοράς 1986 - 2005, ERA-5 reanalysis δεδομένα

Στο Σχήμα 24 παρουσιάζεται η χωρική κατανομή των απόλυτα ελάχιστων τιμών μέσης θερμοκρασίας για την περίοδο αναφοράς 1986-2005, όπως αυτή προκύπτει από την ανάλυση των ιστορικών δεδομένων του κλιματικού μοντέλου CNRM-CM6-1-HR. Τα αποτελέσματα αυτά θα συγκριθούν με εκείνα των δεδομένων ERA5 προκειμένου να εξαχθεί ασφαλές συμπέρασμα για την καταλληλότητα του συγκεκριμένου κλιματικού μοντέλου. Όπως παρατηρείται η χωρική κατανομή των ακραίων τιμών θερμοκρασίας παρουσιάζει αρκετές ομοιότητες. Πιο αναλυτικά, οι θερμοκρασίες -9 έως -2°C καλύπτουν μεγαλύτερη έκταση της Ιβηρικής χερσονήσου, φτάνοντας ακόμα και το νοτιοανατολικό της τμήμα. Μία σημαντική διαφορά εντοπίζεται στην ενδοχώρα της Βαλκανικής χερσονήσου όπου ορισμένα σημάδια πλέγματος εμφανίζουν απόλυτα ελάχιστες τιμές από -23 έως -16°C , ενώ στα μεγαλύτερα υψόμετρα των Άλπεων, του Καυκάσου αλλά και των Ποντιακών Άλπεων οι θερμοκρασίες είναι ακόμα χαμηλότερες μέχρι και -30°C . Τέλος, μία ακόμα διαφορά είναι στην περιοχή της Αφρικής όπου μεγαλύτερη έκταση της ηπείρου σε σχέση με τα δεδομένα ERA5, εμφανίζει απόλυτα ελάχιστες τιμές της μέσης θερμοκρασίας από -2 έως 5°C , ενώ στο βορειοδυτικό τμήμα της περιοχής οι απόλυτα ελάχιστες θερμοκρασίες φτάνουν σε ακόμα χαμηλότερα επίπεδα.



Σχήμα 24: Απόλυτα ελάχιστη τιμή της μέσης θερμοκρασίας κατά την περίοδο αναφοράς 1986 - 2005, ιστορικά δεδομένα παγκόσμιου μοντέλου

Παρά την διαφορετική χωρική ανάλυση των συνόλων δεδομένων, η ταύτιση που διακρίνεται και στις τρεις περιπτώσεις είναι ορατή, οπότε και το μοντέλο CNRM-CM6-1-HR κρίθηκε κατάλληλο για την μελέτη της ακραίας θερμοκρασίας και βροχόπτωσης, για την περιοχή της Μεσογείου.

4.2 Ακραία βροχόπτωση

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την ανάλυση της εποχικότητας της ακραίας βροχόπτωσης, κατά τη μελλοντική περίοδο 2081-2100 και σύμφωνα με το σενάριο SSP5-8.5, στην λεκάνη της Μεσογείου, καθώς και η σύγκριση των αποτελεσμάτων με την περίοδο αναφοράς 1986-2005. Επιπλέον παρουσιάζεται χωρικά και το μέτρο συγκέντρωσης r και για τις δυο περιόδους.

4.2.1 Εποχιακή κατανομή ακραίας βροχόπτωσης

Στον Πίνακα 10 παρουσιάζονται ποσοστιαία τα σημεία πλέγματος που ανήκουν στους διαφορετικούς μήνες του έτους τόσο για την περίοδο αναφοράς, όσο και για την μελλοντική περίοδο 2081-2100. Επιπλέον στην τελευταία στήλη δίνεται η διαφορά των δυο περιόδων προκειμένου να διαπιστωθεί η μελλοντική εποχιακή ανακατανομή της ακραίας βροχόπτωσης.

Τα δεδομένα φανερώνουν ορισμένες σημαντικές αλλαγές στα πρότυπα ακραίων βροχοπτώσεων μεταξύ της περιόδου αναφοράς και της μελλοντικής περιόδου. Για παράδειγμα, το ποσοστό των σημείων πλέγματος με ακραία βροχόπτωση τον Ιανουάριο-Φεβρουάριο αυξήθηκε από 50,4% στην περίοδο αναφοράς σε 59,1% στη μελλοντική περίοδο, που αντιστοιχεί σε αύξηση 8,7%. Αντίθετα, το ποσοστό των σημείων πλέγματος με ακραία γεγονότα βροχόπτωσης τον Μάιο-Ιούνιο μειώθηκε από

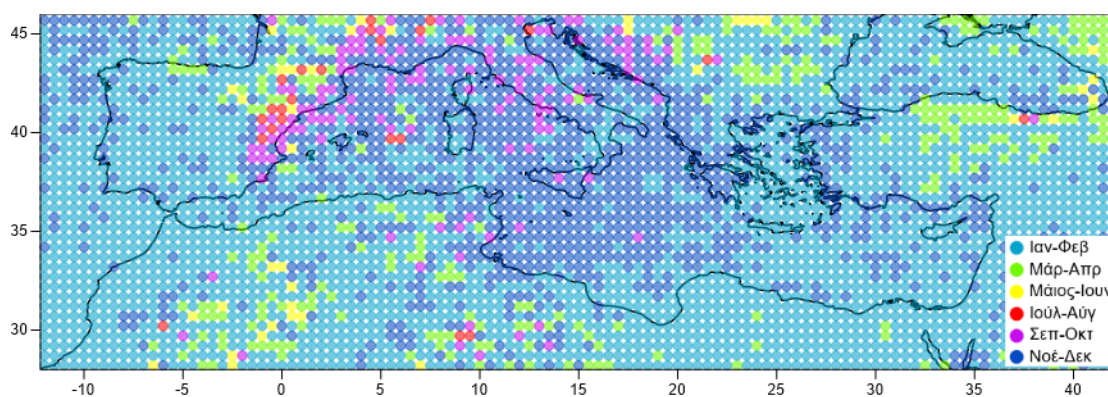
4,4% στην περίοδο αναφοράς σε 1% στη μελλοντική περίοδο, δηλαδή μείωση 3,4%. Συνολικά, τα δεδομένα δείχνουν αύξηση των ακραίων βροχοπτώσεων κατά την ψυχρή περίοδο (Ιανουάριος-Φεβρουάριος και Νοέμβριος-Δεκέμβριος), ενώ παρατηρείται μείωση σε όλους τους υπόλοιπους μήνες του έτους, με την μεγαλύτερη μείωση (-5.7%) να σημειώνεται το δίμηνο Μάρτιο-Απρίλιο.

Πίνακας 10: Ποσοστό σημείων πλέγματος που ανήκουν σε κάθε διαφορετικό χρονικό διάστημα του έτους, για τον δείκτη ακραίας βροχόπτωσης για την περίοδο 1986-2005 και 2081-2100, καθώς και η διαφορά των δύο περιόδων

Χρονικό διάστημα	Ποσοστό σημείων πλέγματος 1986-2005	Ποσοστό σημείων πλέγματος 2081-2100	Διαφορά
Ιανουάριος - Φεβρουάριος	50.4%	59.1%	8.7%
Μάρτιος – Απρίλιος	12.7%	7%	-5.7%
Μάιος - Ιούνιος	4.4%	1%	-3.4%
Ιούλιος - Αύγουστος	4%	0.6%	-3.4%
Σεπτέμβριος - Οκτώβριος	5.4%	3.2%	-2.2%
Νοέμβριος - Δεκέμβριος	23.2%	29%	5.8%

Στο Σχήμα 25 παρουσιάζεται η χωρική ενδοετήσια κατανομή των επεισοδίων ακραίας βροχόπτωσης για την περίοδο 2081-2100 σύμφωνα με το σενάριο πολύ υψηλών εκπομπών SSP5-8.5. Στην δυτική και κεντρική Μεσόγειο, πάνω από την θάλασσα, ως μήνες εμφάνισης ακραίας βροχόπτωσης, εκτιμάται πως θα κυριαρχήσουν ο Νοέμβριος και ο Δεκέμβριος. Έτσι λοιπόν στην συγκεκριμένη περιοχή φαίνεται ότι τα φαινόμενα θα μετατοπιστούν στην αρχή της ψυχρής περιόδου, σε σχέση με την περίοδο αναφοράς όπου τα επεισόδια εμφανίζονταν σε όλη τη διάρκεια του έτους στα διαφορετικά σημεία πλέγματος και ιδιαίτερα τους μήνες εκτός της ψυχρής περιόδου. Στην ανατολική Μεσόγειο θάλασσα, τα δεδομένα δείχνουν ότι οι κυρίαρχοι μήνες εμφάνισης είναι ο Ιανουάριος-Φεβρουάριος, ενώ στην περίοδο αναφοράς ήταν οι μήνες Νοέμβριος-Δεκέμβριος, ωστόσο τα φαινόμενα παραμένουν στην ψυχρή περίοδο του έτους. Προχωρώντας στην ηπειρωτική δυτική Μεσόγειο, παρατηρείται ότι στην ανατολική Ιβηρική χερσόνησο τα επεισόδια ακραίας βροχόπτωσης, αντί των μηνών Μάρτιο με Ιούνιο, αναμένεται ότι θα εμφανίζονται τον χειμώνα και συγκεκριμένα τους μήνες Ιανουάριο και Φεβρουάριο. Παρομοίως τόσο στη νότια Γαλλία όσο και στην Ιταλία, όπου σε πολλά σημεία πλέγματος οι ακραίες βροχοπτώσεις εμφανίζονταν τους καλοκαιρινούς μήνες Ιούλιο Αύγουστο, αναμένεται η εμφάνιση αυτών των φαινομένων να γίνεται τους μήνες Νοέμβριο και Δεκέμβριο. Εξαιρέση αποτελεί η κεντρική Ιταλία, όπου σε αρκετά σημεία πλέγματος ως μήνες εμφάνισης για την

περίοδο 2081-2100 αναμένεται να είναι οι Σεπτέμβριος-Οκτώβριος. Στην δυτική Βαλκανική χερσόνησο, συμπεριλαμβανομένης της Ελλάδας ως μήνες εμφάνισης των ακραίων βροχοπτώσεων κυριαρχούν ο Νοέμβριος και ο Δεκέμβριος. Στα κεντρικά Βαλκάνια και την βόρεια Τουρκία δεν παρατηρούνται στην μελλοντική περίοδο σημεία πλέγματος όπου η ακραία βροχόπτωση εμφανίζεται τους μήνες Μάιο-Ιούνιο, όπως υπάρχουν στην περίπτωση της περιόδου αναφοράς, ενώ για τους μήνες Μάρτιο-Απρίλιο, εμφανίζονται αρκετά σημεία και στην μελλοντική περίοδο μελέτης. Μετατοπισμένη αναμένεται να είναι η εποχή εμφάνισης ακραίων βροχοπτώσεων προς τους χειμερινούς μήνες στην ευρύτερη περιοχή της Μαύρης θάλασσας, αλλά και στην Αφρική όπου τα σημεία πλέγματος για τους μήνες Μάρτιο-Απρίλιο είναι αισθητά μειωμένα, σε σύγκριση με την περίοδο αναφοράς.



Σχήμα 25: Εποχιακή κατανομή ακραίας βροχόπτωσης κατά την περίοδο 2081-2100, σύμφωνα με το σενάριο SSP5-8.5

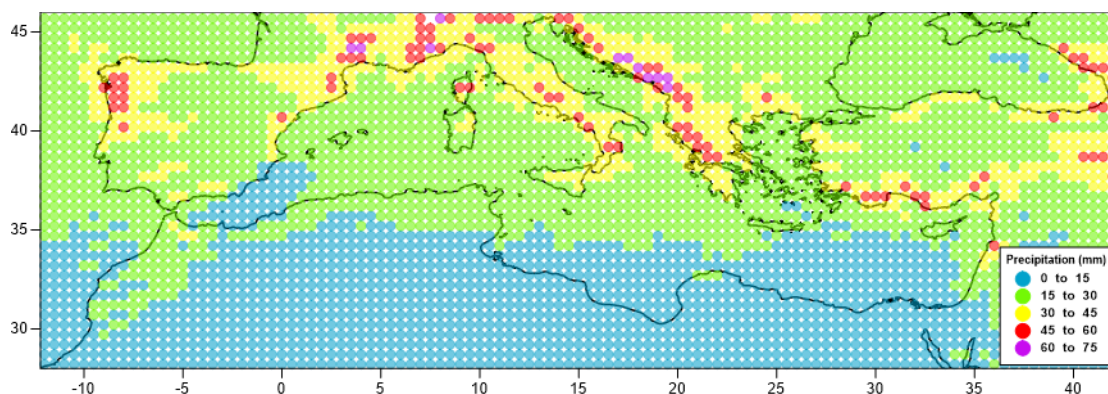
4.2.2 Τιμή δείκτη ακραίας βροχόπτωσης

Στον Πίνακα 11, φαίνεται η ποσοστιαία κατανομή των σημείων πλέγματος τα οποία αντιστοιχούν στις οριακές τιμές ακραίας βροχόπτωσης όπως αυτή ορίστηκε από το 99^ο ποσοστημόριο της συνολικής ημερήσιας βροχόπτωσης. Στην δεύτερη στήλη εμφανίζονται τα αποτελέσματα για την περίοδο αναφοράς 1986-2005, στην τρίτη στήλη για την μελλοντική περίοδο μελέτης 2081-2100 και στην τελευταία στήλη η διαφορά των δύο περιόδων. Και για τις δύο περιόδους η πλειοψηφία των σημείων πλέγματος εμφανίζουν ακραία βροχόπτωση για τιμές πάνω από 15 με 30 mm, ωστόσο, οι τιμές για την κλάση αυτή μειώνονται για τη μελλοντική περίοδο κατά 7.8%. Για τιμές πάνω από 0 με 15 mm, ακραία βροχόπτωση αναμένεται να εμφανίζουν 5.2% περισσότερα σημεία πλέγματος σε σχέση με την περίοδο αναφοράς, ενώ μικρότερες αυξήσεις προβλέπεται ότι θα σημειωθούν και σε όλες τις υπόλοιπες κλάσεις τιμών, με την μικρότερη αύξηση 0.2% να σημειώνεται για τιμές πάνω από 60 με 75 mm.

Πίνακας 11: Ποσοστό σημείων πλέγματος που ανήκουν σε κάθε διαφορετική κλάση τιμών ακραίας βροχόπτωσης, για τον δείκτη ακραίας βροχόπτωσης για την περίοδο 1986-2005 και 2081-2100, καθώς και η διαφορά των δύο περιόδων

Τιμή 99ου ποσοστημορίου (mm)	Ποσοστό σημείων πλέγματος 1986-2005	Ποσοστό σημείων πλέγματος 2081-2100	Διαφορά
0-15	30.4%	35.6%	5.2%
15-30	56.4%	48.6%	-7.8%
30-45	11.6%	13.1%	1.5%
45-60	1.5%	2.4%	0.9%
60-75	0.1%	0.3%	0.2%

Στο Σχήμα 25 παρουσιάζεται η χωρική κατανομή των τιμών του δείκτη ακραίας βροχόπτωσης για την μελλοντική περίοδο 2081-2100 σύμφωνα με το σενάριο SSP5-8.5, προκειμένου να γίνει η σύγκριση των αποτελεσμάτων αυτών με εκείνων της περιόδου αναφοράς 1986-2005. Τα αποτελέσματα για τις δύο περιόδους είναι παρόμοια με το κατώφλι του δείκτη ακραίας βροχόπτωσης να είναι χαμηλότερο (0-15 mm) στο νότιο τμήμα της περιοχής μελέτης σε σχέση με το βόρειο τμήμα (15-30 mm). Στις παράκτιες περιοχές τη Ισπανίας, της Γαλλίας, των δυτικών Βαλκανίων και της Τουρκίας οι τιμές πάνω από τις οποίες η βροχόπτωση θεωρείται ακραία είναι μεταξύ 30 και 45 mm, χωρίς να αναμένονται σημαντικές αλλαγές κατά την μελλοντική περίοδο. Οι μεγαλύτερες τιμές, όπως και στην περίπτωση της περιόδου αναφοράς αναμένονται στα ψηλότερα σημεία οροσειρών όπως οι Άλπεις, οι Δυναρικές Άλπεις, η Πίνδος και ο Καύκασος. Ωστόσο, τα σημεία πλέγματος με τιμές μεταξύ 45 και 60 mm αναμένεται να είναι αυξημένα κατά την περίοδο 2081-2100 στις περιοχές αυτές.



Σχήμα 26: Τιμή του δείκτη ακραίας βροχόπτωσης κατά την περίοδο 2081-2100, σύμφωνα με το σενάριο SSP5-8.5

4.2.3 Μέτρο συγκέντρωσης r – Ακραία βροχόπτωση

Παρακάτω παρουσιάζεται η κατανομή του μέτρου συγκέντρωσης r για τα ακραία φαινόμενα βροχόπτωσης κατά την περίοδο αναφοράς 1986-2005. Ο συγκεκριμένος

δείκτης υπολογίζει ποια μέρα σε κάθε έτος της περιόδου μελέτης πρωτοεμφανίζεται ημέρα ακραίας βροχόπτωσης και καταλήγει αν αυτές οι μέρες για όλα τα έτη βρίσκονται κοντά μεταξύ τους ή αν η μέρα εμφάνισης του ενός έτους απέχει πολύ από την ημέρα αυτή για τα υπόλοιπα έτη. Τιμές του δείκτη ίσες με 1, υποδηλώνουν πως τα επεισόδια ακραίας βροχόπτωσης εμφανίστηκαν και για τα είκοσι χρόνια μελέτης ακριβώς την ίδια μέρα στο συγκεκριμένο σημείο πλέγματος, τιμές του δείκτη ίση με το 0 δηλώνει ότι κανένα από τα είκοσι έτη δεν εμφανίζει ίδια μέρα το επεισόδιο με κάποιο από τα υπόλοιπα έτη. Όπως προαναφέρθηκε για την συγκεκριμένη μεταβλητή έγινε διόρθωση του μέτρου συγκέντρωσης r , πολλαπλασιάζοντας τον δείκτη με έναν διορθωτικό παράγοντα, ώστε οι τιμές του δείκτη να είναι πιο ακριβείς.

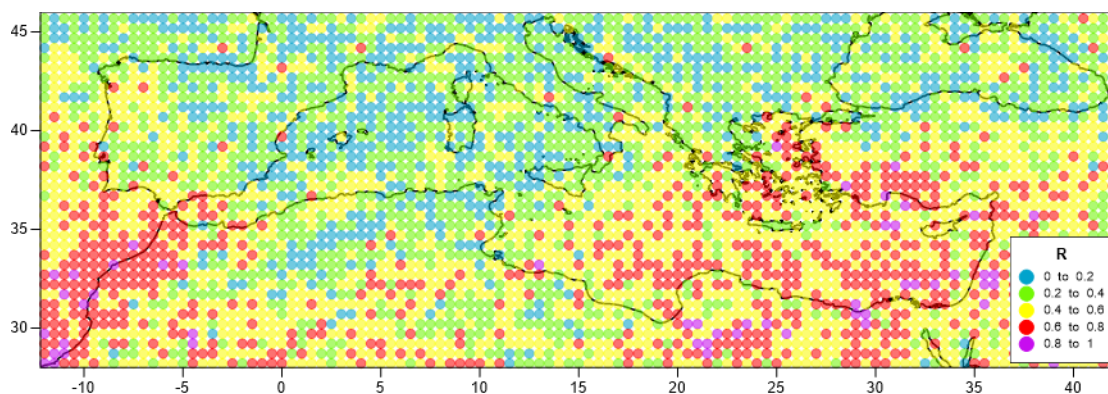
Όπως φαίνεται στον Πίνακα 12, η πλειοψηφία των σημείων πλέγματος παίρνει τιμές του δείκτη r , τόσο για την περίοδο 1986-2005 (37.1%) όσο και για την περίοδο 2081-2100 (39.2%), μεταξύ 0.4 και 0.6. Τα λιγότερα σημεία πλέγματος στην λεκάνη της Μεσογείου αντιστοιχούν σε τιμές του δείκτη r κοντά στην μονάδα, σε ποσοστό μικρότερο του 3% και για τις δυο περιόδους που εξετάζονται. Σε ότι αφορά την σύγκριση των δύο περιόδων, παρατηρείται μείωση στις τιμές του r από 0 έως 0.4, με την μεγαλύτερη μείωση (7.9%) για τιμές 0 έως 0.2. Αντίθετα, αύξηση παρουσιάζουν οι κλάσεις με τιμές του r από 0.4 έως 1, με την μεγαλύτερη αύξηση της τάξεως του 9%, να καταγράφεται για τιμές από 0.6 έως 0.8. Κάτι τέτοιο δείχνει πως κατά τη μελλοντική περίοδο οι ακραίες βροχοπτώσεις κάθε έτους από τα είκοσι που αναλύονται θα εμφανίζονται πιο κοντά μεταξύ τους, δηλαδή ή μέσα στον ίδιο μήνα ή μέσα στο ίδιο δίμηνο.

Πίνακας 12: Σύγκριση περιόδου αναφοράς και μελλοντικής περιόδου μελέτης των ποσοστιαίων τιμών του μέτρου συγκέντρωσης r για την ακραία βροχόπτωση

Εύρος τιμών δείκτη r	Ποσοστό σημείων πλέγματος 1986-2005	Ποσοστό σημείων πλέγματος 2081-2100	Διαφορά
0 - 0.2	15.1%	7.2%	-7.9%
0.2 - 0.4	30.8%	26.7%	-4.1%
0.4 - 0.6	37.1%	39.2%	2.1%
0.6 - 0.8	15.7%	24.7%	9.0%
0.8 - 1	1.3%	2.2%	0.9%

Στο Σχήμα 27 απεικονίζεται η χωρική κατανομή του μέτρου συγκέντρωσης r για την περίοδο αναφοράς 1986-2005. Ξεκινώντας από τις περιοχές για τις οποίες οι μέρες εμφάνισης των είκοσι ετών είναι εντελώς διαφορετικές (τιμές του δείκτη από 0 έως

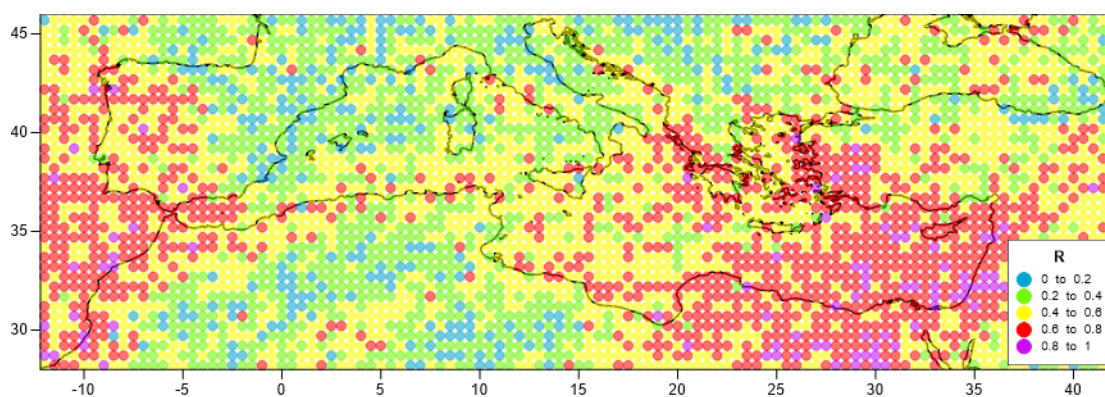
0.2), αυτές εντοπίζονται κυρίως πάνω από την ηπειρωτική Ευρώπη, την Μαύρη θάλασσα, καθώς και πάνω από την Αφρική και δυτική Μεσόγειο θάλασσα. Στις συγκεκριμένες περιοχές, εκτός από ελάχιστα διασκορπισμένα σημεία πλέγματος, οι τιμές του δείκτη r δεν ξεπερνούν το 0.6. Αντίθετα, τιμές του δείκτη μεγαλύτερες από 0.6, εμφανίζονται στο ανατολικό και νότιο τμήμα της περιοχής μελέτης τόσο πάνω από την ξηρά όσο και πάνω από την θάλασσα. Επιπλέον, αξιοσημείωτο είναι το γεγονός πως στις ακτές της Αφρικής από την πλευρά του Ατλαντικού ωκεανού φαίνεται οι μέρες που εμφανίζεται το πρώτο ακραίο φαινόμενο βροχόπτωσης για τα είκοσι έτη ανάλυσης, είναι παρόμοιες μεταξύ τους, αφού ο δείκτης παίρνει τιμές που φτάνουν και την μονάδα. Τέλος, σε ότι αφορά τον ελλαδικό χώρο, η κατανομή των τιμών του δείκτη διαφέρει για την θαλάσσια και την ηπειρωτική χώρα. Συγκεκριμένα, πάνω από το Αιγαίο και την δυτική Πελοπόννησο οι τιμές του δείκτη είναι αρκετά υψηλές από 0.6 έως 0.8, κάτι το οποίο υποδηλώνει ομοιογένεια στην ημέρα εμφάνισης του επεισοδίου ακραίας βροχόπτωσης για τα είκοσι έτη που αναλύονται. Πάνω από το Ιόνιο πέλαγος οι τιμές του δείκτη κυμαίνονται χαμηλότερα από 0.2 έως 0.6. Αντίθετα πάνω από την βόρεια ηπειρωτική Ελλάδα φαίνεται ο δείκτης να παίρνει τις μικρότερες του τιμές από 0 έως 0.4.



Σχήμα 27: Δείκτης r βροχόπτωσης κατά την περίοδο αναφοράς 1986-2005 - Ιστορικά δεδομένα μοντέλου

Στο Σχήμα 28 απεικονίζονται τα αποτελέσματα της χωρικής κατανομής των τιμών του μέτρου συγκέντρωσης r , για την μελλοντική περίοδο 2081-2100, όπως αυτή προκύπτει με βάση το κλιματικό σενάριο SSP5-8.5 για τον δείκτη ακραίας βροχόπτωσης. Όπως και κατά την περίοδο αναφοράς οι μικρότερες τιμές του δείκτη εμφανίζονται στην ηπειρωτική Ευρώπη και Αφρική καθώς και πάνω από την δυτική Μεσόγειο θάλασσα. Αντίθετα οι μεγαλύτερες τιμές του r που φτάνουν μέχρι και την μονάδα, παρατηρούνται στις δυτικές ακτές της Αφρικής και της Ιβηρικής χερσονήσου, στον Ατλαντικό ωκεανό, καθώς και στο ανατολικό τμήμα της περιοχής μελέτης. Ωστόσο, σημαντικές είναι οι

διαφορές σε ότι αφορά το πλήθος των σημείων πλέγματος με μεγάλες τιμές του δείκτη πάνω από αυτές τις περιοχές. Συγκεκριμένα έντονη είναι η αύξηση των τιμών από 0.6 έως 0.8 τόσο στην μεριά του Ατλαντικού ωκεανού, όσο και στην ανατολική Μεσόγειο θάλασσα, συμπεριλαμβανομένης της Ελλάδας και της Κύπρου, όπου μάλιστα πολλά σημεία πλέγματος αναμένεται να παρουσιάσουν τιμές από 0.8 έως και μονάδα. Το γεγονός αυτό σημαίνει πως προβλέπεται οι μέρες εμφάνισης του πρώτου επεισοδίου ακραίας βροχόπτωσης κάθε έτους της εικοσαετίας 2081-2100, να είναι πολύ κοντά μεταξύ τους, στις συγκεκριμένες περιοχές. Παρομοίως, αύξηση παρουσιάζουν οι τιμές του μέτρου συγκέντρωσης και στην περιοχή της Μαύρης θάλασσας όπου ενώ για την περίοδο αναφοράς επικρατούσαν οι τιμές από 0 έως 0.2, τώρα οι τιμές που αναμένονται για το μεγαλύτερο μέρος της περιοχής αυτής είναι από 0.4 έως 0.6.



Σχήμα 28: Δείκτης r βροχόπτωσης κατά την περίοδο 2081-2100 σύμφωνα με το σενάριο SSP5-8.5

4.3 Μέγιστη μέση θερμοκρασία

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εποχικότητας της μέγιστης μέσης θερμοκρασίας για την περίοδο 2081-2100, όπως αυτά προέκυψαν για τον δείκτη του 95^{ου} ποσοστημορίου με χρήση της μεθόδου της κυκλικής στατιστικής. Τα αποτελέσματα συγκρίνονται με εκείνα της περιόδου αναφοράς 1986-2005. Οι μέγιστες μέσες θερμοκρασίες στην περιοχή της Μεσογείου, όπως προέκυψε αναμένεται να εμφανίζεται κατά την θερμότερη περίοδο του έτους, από τον Μάιο έως τον Αύγουστο όπως αυτή ορίζεται από τον μεσογειακό τύπο κλίματος. Έτσι επιλέχθηκε η κατανομή των ακραίων επεισοδίων να μελετηθεί κατά το διάστημα αυτό χωρισμένο σε δεκαπενθήμερα. Τέλος, παρουσιάζεται και η χωρική κατανομή του μέτρου συγκέντρωσης r τόσο για την περίοδο αναφοράς, όσο και για την μελλοντική περίοδο μελέτης.

4.3.1 Εποχιακή κατανομή μέγιστης μέσης θερμοκρασίας

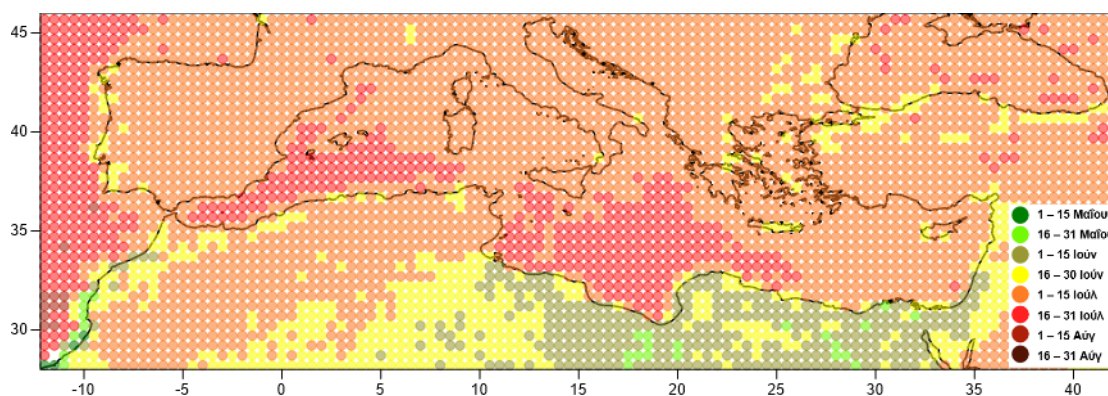
Στον Πίνακα 13 παρουσιάζονται ποσοστιαία τα σημεία πλέγματος που ανήκουν στους διαφορετικούς μήνες του έτους τόσο για την περίοδο αναφοράς, όσο και για την μελλοντική περίοδο 2081-2100. Επιπλέον στην τελευταία στήλη δίνεται η διαφορά των δυο περιόδων προκειμένου να διαπιστωθεί η μελλοντική εποχιακή ανακατανομή της μέγιστης μέσης θερμοκρασίας. Όπως παρατηρείται, η μεγαλύτερη αύξηση, 20.2%, για την μελλοντική περίοδο, είναι αυτή των σημείων πλέγματος για το διάστημα 1-15 Ιουλίου, όπου και με ποσοστό 66.1% είναι η κλάση που συγκεντρώνει την πλειοψηφία των σημείων πλέγματος της περιοχής μελέτης. Μικρότερη αύξηση της τάξεως του 4.6%, φαίνεται να υπάρχει το δεύτερο δεκαπενθήμερο του Ιουλίου και σχεδόν ίδια παραμένει η κατανομή των σημείων πλέγματος για τα διαστήματα 1-15 Μαΐου, 1-15 Ιουνίου και 1-15 Αυγούστου. Αντίθετα, η μεγαλύτερη αλλαγή σημειώνεται το διάστημα 16 με 30 Ιουνίου όπου τα σημεία πλέγματος που εμφανίζουν την μέγιστη μέση θερμοκρασία, αναμένεται το διάστημα 2081-2100 να μειωθούν κατά 21%. Τέλος, μείωση 4.2% αναμένεται και το δεύτερο δεκαπενθήμερο του Μαΐου, σε σχέση με την περίοδο αναφοράς, 1986-2005.

Πίνακας 13: Ποσοστό σημείων πλέγματος που ανήκουν σε κάθε διαφορετικό χρονικό διάστημα του έτους, για τον δείκτη μέγιστης μέσης θερμοκρασίας για την περίοδο 1986-2005 και 2081-2100, καθώς και η διαφορά των δύο περιόδων

Χρονικό διάστημα	Ποσοστό σημείων πλέγματος 1986-2005	Ποσοστό σημείων πλέγματος 2081-2100	Διαφορά
1-15 Μαΐου	0.1%	0.1%	0%
16-31 Μαΐου	4.9%	1%	-4.2%
1-15 Ιουνίου	7.2%	7%	0.2%
16-30 Ιουνίου	33.2%	12.2%	-21%
1-15 Ιουλίου	45.9%	66.1%	20.2%
16-31 Ιουλίου	8.6%	13%	4.6%
1-15 Αυγούστου	0.1%	0.3%	0.2%

Στη συνέχεια γίνεται η χωρική παρουσίαση των αποτελεσμάτων της εποχικότητας του δείκτη μέγιστης μέσης θερμοκρασίας, για την περίοδο 2081-2100 σύμφωνα με το κλιματικό σενάριο πολύ υψηλών εκπομπών SSP5-8.5, καθώς και η σύγκριση αυτών με την περίοδο αναφοράς. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 29 η περιοχής μελέτης κατά τη μελλοντική περίοδο, σε σύγκριση με την περίοδο αναφοράς προβλέπεται να παρουσιάσει σημαντικές διαφορές, ως προς την αρχή της εμφάνισης της των ακραίων μέγιστης θερμοκρασιών του έτους. Πιο αναλυτικά, στην μεγαλύτερη έκταση της

ηπειρωτικής Ευρώπης, από την Πορτογαλία έως και την Βαλκανική χερσόνησο, αλλά και γύρω από την Μαύρη θάλασσα, είναι αξιοσημείωτη η μετατόπιση της ημέρας εμφάνισης της μέγιστης μέσης θερμοκρασίας από το δεύτερο δεκαπενθήμερο του Ιουνίου, στο διάστημα 1-15 Ιουλίου. Στη βόρεια Τουρκία, τα περισσότερα σημεία πλέγματος κατά την περίοδο αναφοράς εμφάνιζαν αυτή την ημέρα τον Ιούνιο, ωστόσο κατά τη μελλοντική περίοδο φαίνεται αρκετά σημεία να έχουν επίσης μετατοπιστεί το πρώτο δεκαπενθήμερο του Ιουλίου. Στην Αφρικανική ήπειρο είναι επίσης αισθητή η μετακίνηση των επεισοδίων μέγιστης μέσης θερμοκρασίας αργότερα μέσα στη θερμή περίοδο. Συγκεκριμένα, στο ανατολικό αφρικανικό τμήμα της περιοχής μελέτης, τα περισσότερα σημεία πλέγματος αναμένεται να εμφανίζουν την ημέρα αυτή τον Ιούνιο, αντί για τον Μάιο οπότε και συνέβαινε κατά την περίοδο αναφοράς. Στο δυτικό κομμάτι της αφρικανικής ηπείρου παρατηρείται ότι και στην ηπειρωτική Ευρώπη, με τα περισσότερα σημεία πλέγματος να εμφανίζουν την ημέρα με μέγιστη μέση θερμοκρασία αντί κατά το δεύτερο δεκαπενθήμερο του Ιουνίου, κατά το διάστημα 1-15 Ιουλίου. Τέλος, στις ακτές της Αφρικής οι οποίες βρέχονται από τον Ατλαντικό ωκεανό, τα επεισόδια ακραίας θερμοκρασίας ξεκινούν να εμφανίζονται από τις 16 Μαΐου, φτάνοντας τις 30 Ιουνίου, σε αντίθεση με την περίοδο αναφοράς όπου αυτό γινόταν λίγο αργότερα.



Σχήμα 29: Εποχιακή κατανομή μέγιστη μέση θερμοκρασία κατά την περίοδο 2081-2100, σύμφωνα με το σενάριο SSP5-8.5

4.3.2 Τιμή δείκτη μέγιστης μέσης θερμοκρασίας

Για τον υπολογισμό της ημέρας εμφάνισης του πρώτου επεισοδίου μέγιστης μέσης θερμοκρασίας, χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης του 95^{ου} ποσοστημορίου, και συγκεκριμένα τιμή του, πάνω από την οποία μια ημερήσια θερμοκρασία θεωρείται μέγιστη μέση. Στον Πίνακα 14, παρουσιάζονται αυτές οι οριακές τιμές για τα διαφορετικά σημεία πλέγματος, για το διάστημα 2081-2100. Όπως φαίνεται, οι διαφορές μεταξύ των δύο

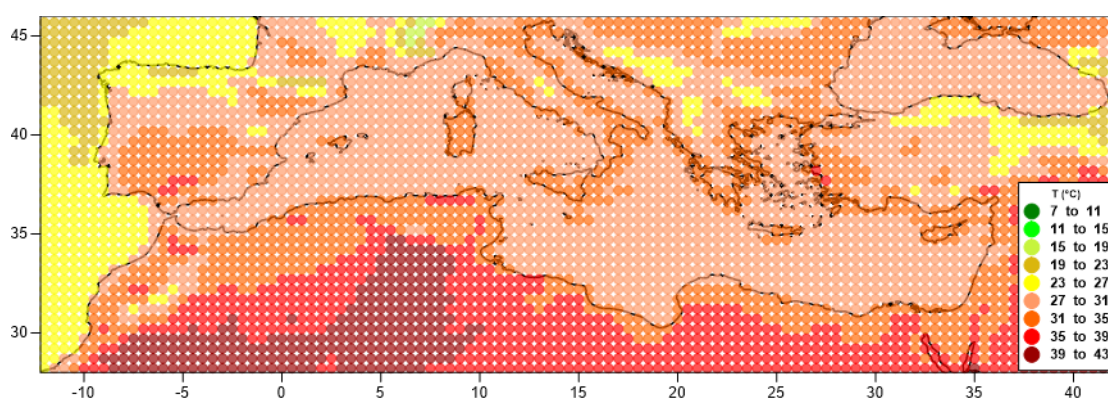
περιόδων είναι σημαντικά διαφορετικές, με το εύρος τιμών για την περίοδο αναφοράς είναι από 7 έως 35°C ενώ για την μελλοντική περίοδο το εύρος αυτό διαμορφώνεται από 15 έως 43°C. Το πλήθος των σημείων πλέγματος να αυξάνεται σημαντικά στις τελευταίες θερμοκρασιακές κλάσεις για την περίοδο 2081-2100. Πιο συγκεκριμένα για την μελλοντική περίοδο παρατηρείται μείωση των σημείων πλέγματος για θερμοκρασίες από 7 έως 27°C, με την μεγαλύτερη μείωση (33.1%) να σημειώνεται στην θερμοκρασιακή κλάση 23-27°C. Αντίστοιχα, αύξηση των σημείων πλέγματος σημειώνεται στις κλάσεις από 27 έως 43°C. Η μεγαλύτερη αύξηση 22% σημειώνεται για θερμοκρασίες 27 έως 31°C, ενώ με 15.4% ακολουθεί η θερμοκρασιακή κλάση 35 με 39°C, στην οποία δεν αντιστοιχεί κανένα σημείο πλέγματος κατά την περίοδο αναφοράς.

Πίνακας 14: Ποσοστό σημείων πλέγματος που ανήκουν σε κάθε διαφορετική κλάση τιμών θερμοκρασίας, για τον δείκτη μέγιστης μέσης θερμοκρασίας για την περίοδο 1986-2005 και 2081-2100, καθώς και η διαφορά των δύο περιόδων

Τιμή 95ου ποσοστημορίου (°C)	Ποσοστό σημείων πλέγματος 1986-2005	Ποσοστό σημείων πλέγματος 2081-2100	Διαφορά
7-11	0.2%	0.0%	-0.2%
11-15	1.5%	0.0%	-1.5%
15-19	8.4%	0.2%	-8.2%
19-23	23.1%	3.0%	-20.1%
23-27	43.5%	10.4%	-33.1%
27-31	17.6%	39.6%	22%
31-35	5.8%	23.8%	18%
35-39	0%	15.4%	15.4%
39-43	0%	7.6%	7.6%

Στο Σχήμα 30 παρουσιάζεται η χωρική κατανομή των τιμών του δείκτη μέγιστης μέσης θερμοκρασίας για την μελλοντική περίοδο 2081-2100 σύμφωνα με το σενάριο SSP5-8.5, προκειμένου να γίνει η σύγκριση των αποτελεσμάτων αυτών με εκείνων της περιόδου αναφοράς 1986-2005. Τα αποτελέσματα της μελλοντικής περιόδου διαφέρουν πολύ από εκείνα της περιόδου αναφοράς. Πιο συγκεκριμένα, αν και η κατανομή των χαμηλότερων και των υψηλότερων θερμοκρασιών χωρικά παραμένει ίδια, το θερμοκρασιακό εύρος έχει αυξηθεί σε όλα τα σημεία πλέγματος. Στην ηπειρωτική Ευρώπη, τη Μαύρη θάλασσα και την Τουρκία οι οριακές τιμές θερμοκρασίας, πάνω από τις οποίες θεωρείται μέγιστη μέση, κυμαίνονται από 27 έως 35°C. Εξάιρεση αποτελούν η βόρεια Ιβηρική χερσόνησος, το κεντρικό τμήμα της

Γαλλίας και οι οροσειρές των Βαλκανίων όπου το όριο είναι μεταξύ 23 και 27°C. Επιπλέον, στις νότιες Άλπεις παρατηρείται το χαμηλότερο θερμοκρασιακό όριο για όλη την περιοχή μελέτης το οποίο έχει όμως αυξηθεί και κυμαίνεται από 15 έως 19°C. Αξίζει να σημειωθεί το κατώφλι του 95^{ου} ποσοστημορίου της μέσης θερμοκρασίας στην Κύπρο έχει αυξηθεί περισσότερο από 4°C και έχει διαμορφωθεί από 31 έως 35°C. Στην βόρεια Αφρική η πλειοψηφία των σημείων πλέγματος ανήκουν στην κλάση 35 έως 39°C, οι παράκτιες περιοχές κυμαίνονται σε χαμηλότερες θερμοκρασίες μεταξύ 31 και 35°C, ενώ στο δυτικό τμήμα της ερήμου Σαχάρα, οι οριακές τιμές φτάνουν τους 39-43°C.



Σχήμα 30: Τιμή του δείκτη μέγιστης μέσης θερμοκρασίας κατά την περίοδο 2081-2100, σύμφωνα με το σενάριο SSP5-8.5

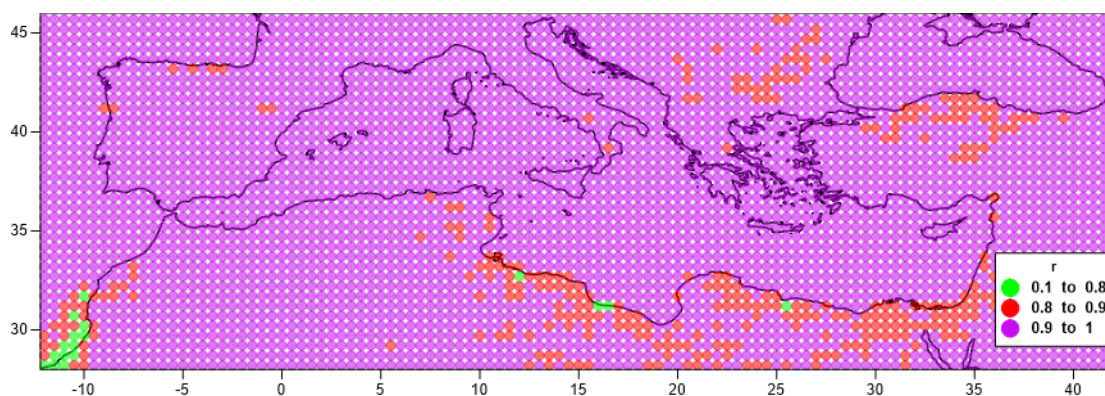
4.3.2 Μέτρο συγκέντρωσης r – Μέγιστη μέση θερμοκρασία

Στον Πίνακα 15 φαίνεται η κατανομή του μέτρου συγκέντρωσης r , της μέγιστης μέσης θερμοκρασίας. Τιμή του δείκτη ίση με 1, υποδηλώνει πως το επεισόδιο μέγιστης μέσης θερμοκρασίας εμφανίστηκε και για τα είκοσι χρόνια μελέτης ακριβώς την ίδια μέρα, ενώ τιμή του δείκτη ίση με το 0 δηλώνει ότι κανένα από τα είκοσι έτη δεν εμφανίζει ίδια μέρα το επεισόδιο με κάποιο από τα υπόλοιπα έτη. Όπως παρατηρείται, ελάχιστα σημεία πλέγματος αντιστοιχούν σε τιμές του δείκτη από 0 έως 0.8 και συγκεκριμένα 0.4% και 1% για την περίοδο αναφοράς και την μελλοντική περίοδο αντίστοιχα. Το 91.8% των σημείων πλέγματος αντιστοιχούν σε τιμές από 0.9 έως 1, κάτι το οποίο σημαίνει ότι το επεισόδιο μέγιστης μέσης θερμοκρασίας για το κάθε σημείο πλέγματος έγινε σχεδόν την ίδια μέρα σε κάθε ένα από τα είκοσι έτη που μελετώνται. Το ποσοστό αυτό αυξάνεται κατά 2.6% στην μελλοντική περίοδο, ενώ αντίστοιχη μείωση 3.2% παρουσιάζουν τα σημεία πλέγματος για τιμές του δείκτη από 0.8 έως 0.9.

Πίνακας 15: Σύγκριση περιόδου αναφοράς και μελλοντικής περιόδου μελέτης των ποσοστιαίων τιμών του μέτρου συγκέντρωσης r για την μέγιστη μέση θερμοκρασία

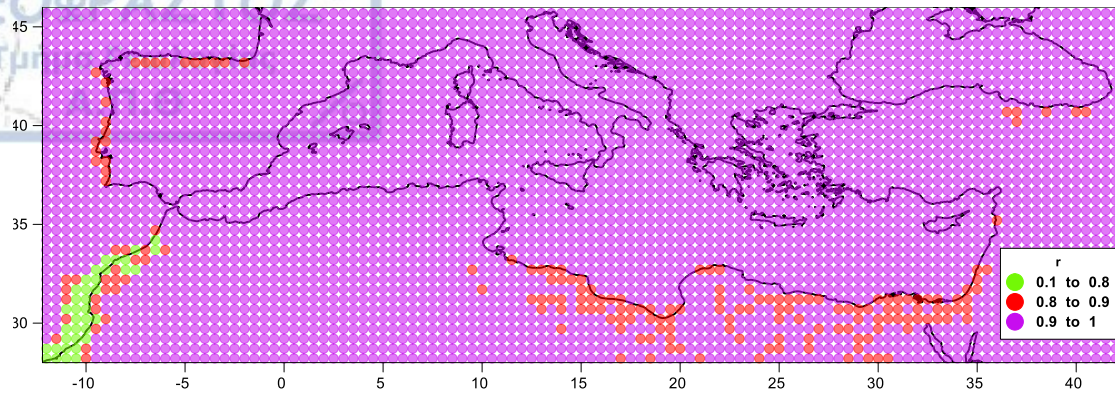
Εύρος τιμών δείκτη r	Ποσοστό σημείων πλέγματος 1986-2005	Ποσοστό σημείων πλέγματος 2081-2100	Διαφορά
0.1-0.8	0.4%	1%	0.6%
0.8-0.9	7.8%	4.6%	-3.2%
0.9-1	91.8%	94.4%	2.6%

Όπως είναι φυσικό στο Σχήμα 31, υπάρχει ομοιομορφία της κατανομής των τιμών του μέτρου συγκέντρωσης r κατά την περίοδο αναφοράς 1986-2005. Πιο συγκεκριμένα σχεδόν για ολόκληρη την περιοχή μελέτης, η ημερομηνία εμφάνισης της πρώτης ημέρας με μέγιστη μέση θερμοκρασία είναι σχεδόν ίδια για όλα τα έτη ανάλυσης, όπως δηλώνουν οι τιμές του δείκτη από 0.9 έως 1. Οι περιοχές όπου οι τιμές κυμαίνονται λίγο χαμηλότερα (0.8-0.9) είναι κυρίως η ανατολική Αφρική, τα Βαλκάνια και η βόρεια Τουρκία. Τέλος, ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι ακτές της Αφρικής που βρέχονται από τον Ατλαντικό ωκεανό, όπου το μέτρο συγκέντρωσης r παίρνει τις μικρότερες τιμές του από 0.1 έως και 0.8, κάτι το οποίο δείχνει ανομοιομορφία στην ημερομηνία εμφάνισης του πρώτου επεισοδίου μεταξύ των ετών μελέτης.



Σχήμα 31: Μέτρο συγκέντρωσης r μέγιστης μέσης θερμοκρασίας κατά την περίοδο αναφοράς 1986-2005 - Ιστορικά δεδομένα μοντέλου

Παρακάτω παρουσιάζεται η χωρική κατανομή του μέτρου συγκέντρωσης r , όπως αυτή αναμένεται να διαμορφωθεί κατά την περίοδο 2081-2100 βάση του σεναρίου υψηλών εκπομπών SSP5-8.5 (Σχήμα 32). Η κατανομή είναι πολύ παρόμοια με αυτή που περιεγράφηκε για την περίοδο αναφοράς με μικρές διαφορές. Οι διαφορές εντοπίζονται στις δυτικές ακτές της Αφρικής όπου τα σημεία πλέγματος με τιμές του δείκτη από 0.1 έως 0.8 αυξήθηκαν, στις ακτές της Πορτογαλίας και της βόρειας Ισπανίας όπου αυξήθηκαν τα σημεία πλέγματος για τιμές από 0.8 έως 0.9 και στα Βαλκάνια όπου στο μέλλον αναμένεται ο δείκτης να παίρνει τιμές από 0.9 έως 1.



Σχήμα 32: Χωρική κατανομή του δείκτη r για την μέγιστη μέση θερμοκρασία κατά την περίοδο 2081-2100 σύμφωνα με το σενάριο SSP5-8.5

4.4 Ελάχιστη μέση θερμοκρασία

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εποχικότητας της ελάχιστης μέσης θερμοκρασίας για την περίοδο αναφοράς 1986-2005. Ως δείκτης στην παρακάτω ανάλυση χρησιμοποιήθηκε η απόλυτα ελάχιστη τιμή της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας, κάνοντας χρήση της μεθόδου της κυκλικής στατιστικής. Η ημέρα με ελάχιστη μέση θερμοκρασία στην περιοχή της Μεσογείου, όπως προέκυψε εμφανίζεται τους μήνες Ιανουάριο και Φεβρουάριο, τόσο κατά την περίοδο αναφοράς, όσο και για την μελλοντική περίοδο μελέτης 2081-2100. Στη περίπτωση αυτή επειδή όλα τα επεισόδια συγκεντρώνονται στους συγκεκριμένους μήνες, επιλέχθηκε η κατανομή των ακραίων επεισοδίων να μελετηθεί ανά δεκαπενθήμερο.

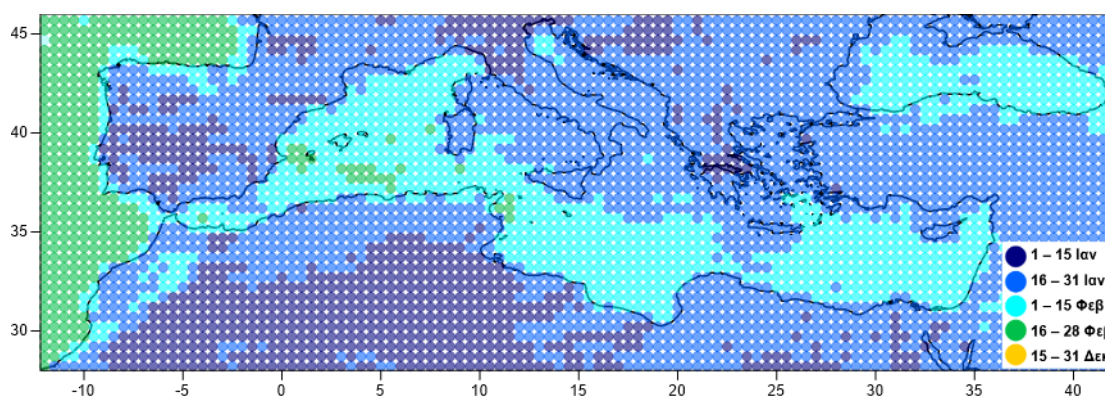
4.4.1 Εποχιακή κατανομή ελάχιστης μέσης θερμοκρασίας

Στον Πίνακα 16, παρουσιάζεται το ποσοστό των σημείων πλέγματος το οποίο αντιστοιχεί σε κάθε δεκαπενθήμερο των δύο πρώτων μηνών του έτους, τόσο για την περίοδο αναφοράς, όσο και για την μελλοντική περίοδο, καθώς και η διαφορά των δύο. Κατά την περίοδο 2081-2100 φαίνεται να υπάρχει μετατόπιση των επεισοδίων από το διάστημα 16-31 Ιανουαρίου, για το οποίο η μείωση ανέρχεται στο 14.8%, κυρίως προς το πρώτο δεκαπενθήμερο του έτους, όπου η αύξηση υπολογίζεται στο 10.7%. Μικρότερη αύξηση παρουσιάζουν τα σημεία πλέγματος για τα οποία η απόλυτα ελάχιστη τιμή της μέσης θερμοκρασίας εμφανίζεται τον Φεβρουάριο. Παρ' όλα αυτά, αν και προκύπτουν διαφορές τα περισσότερα σημεία πλέγματος εμφανίζουν την ημέρα αυτή το διάστημα 16-31 Ιανουαρίου, τόσο για την περίοδο αναφοράς (67.1%), όσο και την μελλοντική περίοδο (52%). Αντίστοιχα και το διάστημα στο οποίο αντιστοιχούν τα λιγότερα σημεία πλέγματος είναι κοινό και για τις δύο περιόδους και συγκεκριμένα είναι το τελευταίο δεκαπενθήμερο μελέτης.

Πίνακας 16: Ποσοστό σημείων πλέγματος που ανήκουν σε κάθε διαφορετικό χρονικό διάστημα του έτους, για τον δείκτη ελάχιστης μέσης θερμοκρασίας για την περίοδο 1986-2005 και 2081-2100, καθώς και η διαφορά των δύο περιόδων

Χρονικό διάστημα	Ποσοστό σημείων πλέγματος 1986-2005	Ποσοστό σημείων πλέγματος 2081-2100	Διαφορά
1-15 Ιανουαρίου	7.2%	17.9%	10.7%
16-31 Ιανουαρίου	67.1%	52%	-14.8%
1-15 Φεβρουαρίου	21.2%	22%	0.8%
16-28 Φεβρουαρίου	4.6%	7.8%	3.2%

Στη συνέχεια παρουσιάζεται η χωρική κατανομή του επεισοδίου ελάχιστης μέσης θερμοκρασίας, όπως έχει οριστεί παραπάνω, για την περίοδο 2081-2100 και σύμφωνα με το σενάριο πολύ υψηλών εκπομπών SSP5-8.5. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 33 κατά την μελλοντική περίοδο αναμένονται κάποιες αλλαγές στην εποχιακή κατανομή της ελάχιστης μέσης θερμοκρασίας. Συγκεκριμένα, αισθητή μείωση παρουσιάζει το πλήθος των σημείων πλέγματος στην ηπειρωτική περιοχή μελέτης, όπου η ημέρα ελάχιστης μέσης θερμοκρασίας εμφανίζεται το διάστημα 1 με 15 Φεβρουαρίου. Παράλληλα, έχουν αυξηθεί τα σημεία στην ηπειρωτική Ευρώπη όπου η μέρα με την ελάχιστη μέση θερμοκρασία εμφανίζεται τον μήνα Ιανουάριο. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί η αλλαγή στην εποχιακή κατανομή στην Αφρική όπου στο δυτικό της τμήμα αναμένονται περισσότερα σημεία πλέγματος να αντιστοιχούν στο διάστημα 1 με 15 Ιανουαρίου.



Σχήμα 33: Ελάχιστη μέση θερμοκρασία κατά την περίοδο 2081-2100, σύμφωνα με το σενάριο SSP5-8.5

4.4.2 Απόλυτα ελάχιστη τιμή της μέσης θερμοκρασίας

Όπως προαναφέρθηκε, ως δείκτης ελάχιστης μέσης θερμοκρασίας, χρησιμοποιήθηκε η απόλυτα ελάχιστη τιμή της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας για κάθε ένα από τα σημεία πλέγματος της περιοχής μελέτης. Στον Πίνακα 17 παρουσιάζεται η κατανομή

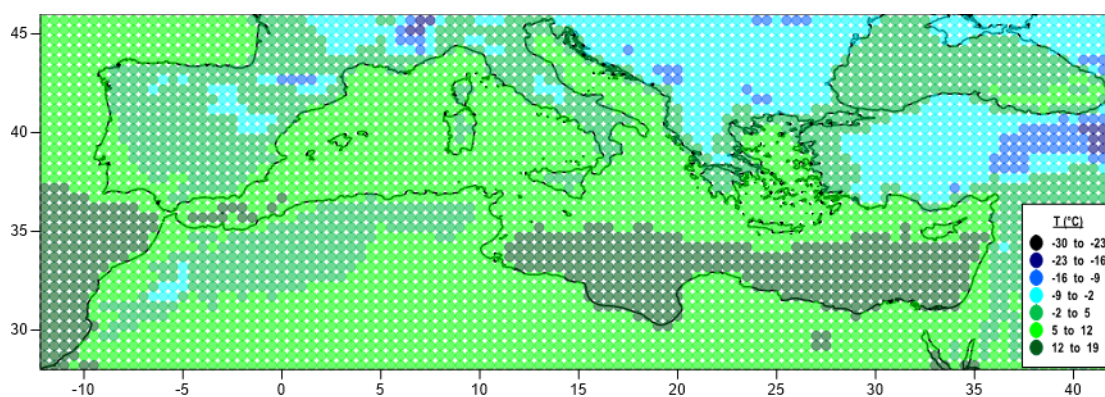
των σημείων πλέγματος σε κάθε θερμοκρασιακή κλάση απόλυτα ελάχιστων τιμών μέσης θερμοκρασίας, για την περίοδο αναφοράς 1986-2005 αλλά και για την μελλοντική περίοδο 2081-2100, καθώς και η διαφορά των δύο. Το εύρος τιμών για την περίοδο αναφοράς κυμαίνεται από -30 έως 12°C, ενώ για την μελλοντική περίοδο μελέτης από -23 έως 19°C. Όπως γίνεται εμφανές λοιπόν οι ελάχιστες μέσες θερμοκρασίες στη Μεσόγειο αναμένεται γίνουν υψηλότερες κατά την περίοδο 2081-2100. Πιο συγκεκριμένα, παρατηρείται μείωση των σημείων πλέγματος που ανήκουν στις μικρότερες θερμοκρασιακές κλάσεις, με την μείωση αυτή να μεγαλώνει σταδιακά, φτάνοντας την μέγιστη τιμή της, -12.9%, για θερμοκρασίες μεταξύ -2 και 5°C. Από την άλλη, ποσοστιαία αύξηση 21.1% αναμένεται για ελάχιστες μέσες θερμοκρασίες από 5 έως 12°C, ενώ το 11.3% των σημείων πλέγματος της Μεσογείου αναμένεται να κυμανθεί από 12 έως 19°C, ελάχιστες μέσες θερμοκρασίες που δεν αντιστοιχούν σε κανένα σημείο πλέγματος κατά την περίοδο αναφοράς.

Πίνακας 17: Ποσοστό σημείων πλέγματος που ανήκουν σε κάθε διαφορετική κλάση τιμών θερμοκρασίας, για τον δείκτη ελάχιστης μέσης θερμοκρασίας για την περίοδο 1986-2005 και 2081-2100, καθώς και η διαφορά των δύο περιόδων

Απόλυτα ελάχιστη τιμή της μέσης T (°C)	Ποσοστό σημείων πλέγματος 1986-2005	Ποσοστό σημείων πλέγματος 2081-2100	Διαφορά
-30 έως -23	0.9%	0%	-0.9%
-23 έως -16	7.1%	0.4%	-6.7%
-16 έως -9	7.9%	1.8%	-6.1%
-9 έως -2	18.8%	13%	-5.8%
-2 έως 5	38.9%	26%	-12.9%
5 έως 12	26.4%	47.5%	21.1%
12 έως 19	0%	11.3%	11.3%

Στο Σχήμα 34 παρουσιάζεται η χωρική κατανομή των τιμών του δείκτη ελάχιστης μέσης θερμοκρασίας για την μελλοντική περίοδο 2081-2100 σύμφωνα με το σενάριο SSP5-8.5, προκειμένου να γίνει η σύγκριση των αποτελεσμάτων αυτών με εκείνων της περιόδου αναφοράς 1986-2005. Οι ελάχιστες μέσες θερμοκρασίες αναμένεται σε όλη την περιοχή μελέτης να είναι θερμότερες σε σύγκριση με την περίοδο 1986-2005. Συγκεκριμένα, η πλειοψηφία των σημείων πλέγματος στην Ιβηρική χερσόνησο κυμαίνεται από -2 έως 5°C, ενώ από -9 έως -2°C κυμαίνονται οι θερμοκρασίες στο βόρειο τμήμα της. Στην νοτιοδυτική Γαλλία αλλά και την Ιταλία οι ελάχιστες μέσες θερμοκρασίες αναμένεται να φτάσουν τους 5°C και οι ορεινές περιοχές των δύο χωρών, τις ημέρες με τις ψυχρότερες μέσες θερμοκρασίες δεν θα πέσουν κάτω από τους -23°C,

σε αντίθεση με την περίοδο αναφοράς, όπου στα μεγάλα υψόμετρα των Άλπεων οι ελάχιστες θερμοκρασίες έφταναν τους -30°C . Για την Βαλκανική χερσόνησο, συμπεριλαμβανομένης της ηπειρωτικής Ελλάδας, εκτός της Πελοποννήσου, οι ελάχιστες μέσες θερμοκρασίες θα κυμαίνονται από -9 έως -2°C , ενώ στα ίδια επίπεδα θα είναι και η κεντρική Τουρκία και η περιοχή στα ανατολικά της Μαύρης θάλασσας. Η νησιωτική Ελλάδα, τα παράλια της Τουρκίας, η Κύπρος και η Μέση Ανατολή αναμένεται να βιώσουν ελάχιστες μέσες θερμοκρασίες μεταξύ -2 και 12°C . Οι χαμηλότερες ακραίες θερμοκρασίες σημειώνονται κυρίως στην ανατολική Τουρκία, όπου οι τιμές φτάνουν τους -23°C . Η πλειοψηφία των σημείων πλέγματος της Αφρικανικής ηπείρου ανήκουν στην θερμοκρασιακή κλάση τω $5-12^{\circ}\text{C}$ και μόνο το δυτικό της τμήμα θα βιώσει ελάχιστες μέσες θερμοκρασίες έως -2°C .



Σχήμα 34 Απόλυτα ελάχιστη τιμή της μέσης θερμοκρασίας κατά την περίοδο 2081-2100, σύμφωνα με το σενάριο SSP5-8.5

4.4.3 Μέτρο συγκέντρωσης r – Ελάχιστη μέση θερμοκρασία

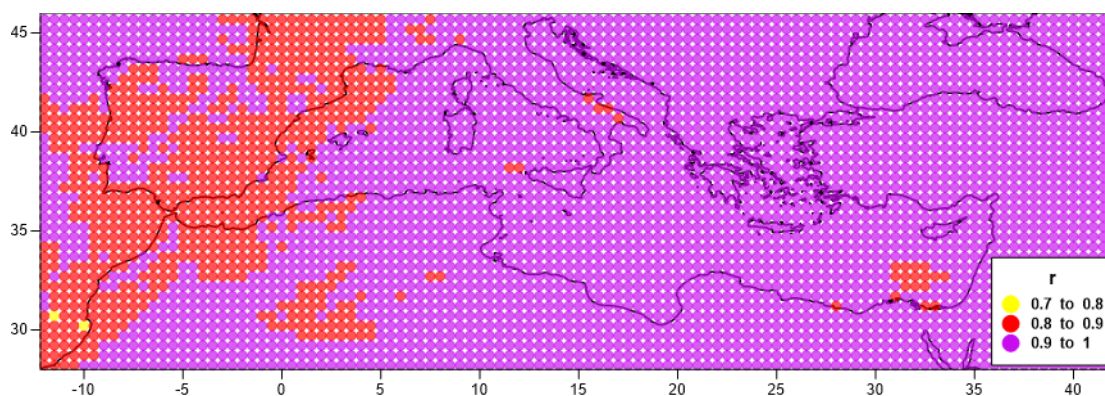
Στον Πίνακα 18 φαίνεται η κατανομή των τιμών του δείκτη r για την ελάχιστη μέση θερμοκρασία, για την περίοδο αναφοράς, την περίοδο 2081-2100 καθώς και η διαφορά τους. Η μηδενική τιμή του δείκτη r δείχνει ότι κάθε έτος εμφανίζει το επεισόδιο διαφορετική μέρα για κάθε έτος, ενώ τιμή του δείκτη ίση με την μονάδα δηλώνει ότι και για τα είκοσι έτη το επεισόδιο ελάχιστης μέσης θερμοκρασίας εμφανίζεται ακριβώς την ίδια μέρα. Οι τιμές του μέτρου συγκέντρωσης r δεν είναι μικρότερες του 0.7 για κανένα σημείο πλέγματος και πιο συγκεκριμένα μόλις το 0.1% των σημείων αντιστοιχεί σε τιμές 0.7-0.8, τόσο για την περίοδο αναφοράς όσο και για το μέλλον. Κατά την περίοδο 1986-2005, η πλειοψηφία των σημείων πλέγματος (82.6%) παίρνει τιμές του δείκτη μεγαλύτερες του 0.9, δηλαδή το μεγαλύτερο μέρος της περιοχής μελέτης βιώνει την ελάχιστη μέση θερμοκρασία πολύ κοντινές μέρες και για τα 20 έτη της ανάλυσης. Αντίθετα, κατά την μελλοντική περίοδο τα σημεία πλέγματος για τιμές

του δείκτη μεγαλύτερες του 0.9 μειώνονται κατά 27.7% και έτσι η κατανομή των σημείων πλέγματος διαμορφώνεται σχεδόν ίσα στις δύο κλάσεις 0.8-0.9 και 0.9-1, με το 45 και 54.9% των σημείων πλέγματος αντίστοιχα. Να σημειωθεί πως τόσο κατά την περίοδο αναφοράς όσο και κατά τη μελλοντική περίοδο, κανένα σημείο πλέγματος δεν παίρνει τιμή του μέτρου συγκέντρωσης μεγαλύτερη από 0.98.

Πίνακας 18: Σύγκριση περιόδου αναφοράς και μελλοντικής περιόδου μελέτης των ποσοστιαίων τιμών του μέτρου συγκέντρωσης r για την ελάχιστη μέση θερμοκρασία

Εύρος τιμών δείκτη r	Ποσοστό σημείων πλέγματος 1986-2005	Ποσοστό σημείων πλέγματος 2081-2100	Διαφορά
0.7-0.8	0.1%	0.1%	0%
0.8-0.9	17.4%	45.0%	27.6%
0.9-1	82.6%	54.9%	-27.7%

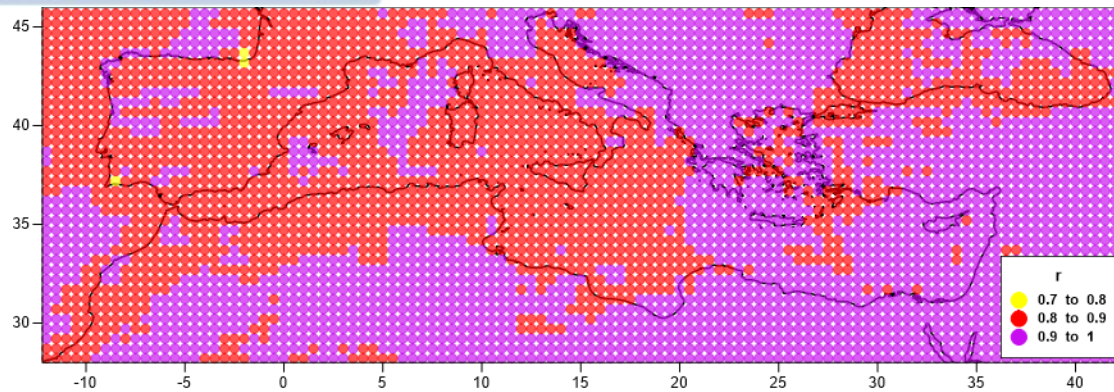
Στο Σχήμα 35 παρουσιάζεται η χωρική κατανομή των τιμών του μέτρου συγκέντρωσης r για την περίοδο αναφοράς 1986-2005. Σχεδόν ολόκληρη η περιοχή μελέτης παίρνει τιμές του δείκτη r από 0.9 έως 1. Εξαίρεση αποτελεί η δυτική Μεσόγειος, συμπεριλαμβανομένης της Ιβηρικής χερσονήσου, της νοτιοδυτικής Γαλλίας, και της ακτής της βορειοδυτικής Αφρικής, όπου οι τιμές του μέτρου συγκέντρωσης κυμαίνονται από 0.8 έως 0.9.



Σχήμα 35: Δείκτης r ελάχιστης μέσης θερμοκρασίας κατά την περίοδο αναφοράς 1986-2005 - Ιστορικά δεδομένα μοντέλου

Στο Σχήμα 36 απεικονίζονται τα αποτελέσματα της χωρικής κατανομής των τιμών του μέτρου συγκέντρωσης r , για την μελλοντική περίοδο 2081-2100, όπως αυτή προκύπτει με βάση το κλιματικό σενάριο SSP5-8.5 για τον δείκτη ελάχιστης μέσης θερμοκρασίας. Τα σημεία πλέγματος που αντιστοιχούν σε τιμές του δείκτη από 0.8 έως 0.9 έχουν εξαπλωθεί τόσο στην κεντρική Μεσόγειο όσο και στην ευρύτερη περιοχή της Μαύρης θάλασσας. Αξίζει να σημειωθεί ότι στα Βαλκάνια, συμπεριλαμβανομένης της Ελλάδας και της Κύπρου οι τιμές του δείκτη r παραμένουν κοντά στη μονάδα, κάτι το οποίο

δείχνει ότι η περιοχή βιώνει την ελάχιστη μέση θερμοκρασία σε πολύ παρόμοιο χρονικό διάστημα και για τα 20 έτη της ανάλυσης.



Σχήμα 36: Χωρική κατανομή του δείκτη r για την ελάχιστη μέση θερμοκρασία κατά την περίοδο 2081-2100 σύμφωνα με το σενάριο SSP5-8.5

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η ανάλυση της εποχικότητας των ακραίων βροχοπτώσεων και θερμοκρασιών στην Μεσόγειο στην μελλοντική περίοδο 2081-2100, καθώς και η σύγκριση των αποτελεσμάτων με την περίοδο αναφοράς 1986-2005, με χρήση της μεθόδου της κυκλικής στατιστικής. Ειδικότερα, για την διερεύνηση της εποχικότητας χρησιμοποιήθηκαν κλιματικοί δείκτες και αναλύθηκε τόσο η ημερομηνία εμφάνισης του ακραίου επεισοδίου αλλά και το κατώφλι σύμφωνα με το οποίο ορίστηκε ο κάθε δείκτης προσπαθώντας να εντοπιστούν γεωγραφικές περιοχές με παρόμοια χρονικά χαρακτηριστικά ακραίων κλιματικών φαινομένων. Τέλος, μελετήθηκε και το μέτρο συγκέντρωσης r . Τιμές του δείκτη ίσες με 1, υποδηλώνουν πως τα επεισόδια ακραίας βροχόπτωσης εμφανίστηκαν και για τα είκοσι χρόνια μελέτης ακριβώς την ίδια μέρα στο συγκεκριμένο σημείο πλέγματος, τιμές του δείκτη ίση με το 0 δηλώνει ότι κανένα από τα είκοσι έτη δεν εμφανίζει ίδια μέρα το επεισόδιο με κάποιο από τα υπόλοιπα έτη.

Από τα αποτελέσματα διαπιστώνεται πως για κάθε δείκτη προκύπτουν διαφορετικά συμπεράσματα ως προς την περίοδο εμφάνισης των τιμών που έχουν υπολογιστεί, ωστόσο σε ότι αφορά την θερμοκρασία, αποτυπώνονται σε μεγάλο βαθμό οι επιπτώσεις της επερχόμενης αύξησης της μέσης θερμοκρασίας την περίοδο 2081-2100 και σύμφωνα με το σενάριο υψηλών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου SSP5-8.5. Οι Kostopoulou και Jones (2005), αν και χρησιμοποίησαν παλιότερα κλιματικά μοντέλα, απέδειξαν την αύξηση των δεικτών μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας για τη περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου.

Σε ότι αφορά την εποχικότητα της ακραίας βροχόπτωσης, από την ανάλυση των αποτελεσμάτων προέκυψε ότι το κλιματικό μοντέλο υποεκτιμά το ποσοστό των σημείων πλέγματος που εμφανίζουν το ακραίο επεισόδιο βροχόπτωσης κατά τους χειμερινούς μήνες και το υπερεκτιμά ελαφρώς κατά τις υπόλοιπες εποχές του έτους, για την περίοδο αναφοράς. Γενικά, τον Ιανουάριο και τον Φεβρουάριο, οι ακραίες βροχοπτώσεις εμφανίζονται στην ανατολική Μεσόγειο και συγκεκριμένα στη δυτική και νότια Τουρκία, το Ισραήλ, τη Συρία, τον Λίβανο, καθώς και στη βόρεια Αφρική. Τους μήνες Μάιο-Ιούνιο, μόνο στη βορειοανατολική Ισπανία, τη Γαλλία, την πλειονότητα των σημείων δικτύου στη Βαλκανική Χερσόνησο και τη Μαύρη Θάλασσα, εμφανίζονται τα επεισόδια. Κατά τη θερμότερη περίοδο από τον Ιούλιο έως

τον Οκτώβριο, τα επεισόδια εμφανίζονται στην ηπειρωτική Ευρώπη, ιδίως στον Κόλπο της Γενεύης και στην ανατολική Μαύρη Θάλασσα. Τα αποτελέσματα αυτά συμφωνούν με τα ευρήματα των Alpert et al. (2008), τα οποία έδειξαν ότι η μεγαλύτερη συχνότητα ακραίων βροχοπτώσεων παρατηρήθηκε κατά τη διάρκεια του Ιανουαρίου και του Φεβρουαρίου στην ανατολική Μεσόγειο. Επιπλέον, τα αποτελέσματα αντικατοπτρίζουν εκείνα των Rajczak et al. (2013) για τις νότιες Άλπεις και τον κόλπο της Γένοβας, οι οποίοι επίσης διαπίστωσαν ότι οι ακραίες βροχοπτώσεις είναι παρούσες και κατά τους χειμερινούς μήνες (Ιανουάριος-Φεβρουάριος), ενώ οι Petrucci et al. (2017) καταλήγουν επίσης στο συμπέρασμα ότι τα ακραία γεγονότα βροχόπτωσης στη νότια Ιταλία, συμβαίνουν κυρίως τον Σεπτέμβριο-Οκτώβριο.

Στο μέλλον, αναμένεται αύξηση των ακραίων βροχοπτώσεων κατά τη διάρκεια της ψυχρής περιόδου για την περίοδο 2081-2100 στο πλαίσιο του SSP5-8.5. Οι ακραίες βροχοπτώσεις μετατοπίζονται προς την αρχή της χειμερινής περιόδου, για την πλειονότητα των σημείων πλέγματος της περιοχής μελέτης, ενώ ορισμένες περιοχές στην ανατολική Ισπανία και τη βόρεια Γαλλία, την κεντρική Ιταλία και την Κροατία αναμένεται να βιώσουν αυτά τα επεισόδια κατά τη θερμότερη περίοδο του έτους, από τον Ιούλιο έως τον Οκτώβριο. Επιπλέον, τα επεισόδια αυτά σύμφωνα με το μέτρο συγκέντρωσης r , αναμένεται κατά τη μελλοντική περίοδο να συμβαίνουν πιο κοντά μεταξύ τους μέσα στο έτος. Η μελέτη των Marelle et al. (2018) έδειξε επίσης ότι μέχρι το τέλος του 21ου αιώνα, σύμφωνα με το σενάριο RCP8.5, οι ακραίες βροχοπτώσεις πρόκειται να μετατοπιστούν σημαντικά αργότερα μέσα στο έτος στις περισσότερες περιοχές, από το καλοκαίρι και τις αρχές του φθινοπώρου, στο φθινόπωρο και το χειμώνα. Ωστόσο, το μέγεθος αυτής της αλλαγής θα μπορούσε επίσης να διαφέρει έντονα μεταξύ των διαφόρων περιοχών.

Σχετικά με την εμφάνιση της πρώτης ημέρας με μέγιστη μέση θερμοκρασία την περίοδο 1986-2005, τον Μάιο αυτό εμφανίζεται στα μικρότερα γεωγραφικά πλάτη και συγκεκριμένα στο ανατολικό τμήμα της Αφρικής, αλλά και στις ακτές της στον Ατλαντικό ωκεανό. Τον Ιούνιο η μέση μέγιστη θερμοκρασία εμφανίζεται για τα περισσότερα σημεία πλέγματος της ηπειρωτικής περιοχής, ενώ τον Ιούλιο σημειώνεται πάνω από την θάλασσα, την κεντρική Ισπανία, την Τουρκία και την δυτική Αφρική. Τέλος, τον Αύγουστο τα επεισόδια πρωτοεμφανίζονται για περιορισμένη έκταση του νότιου τμήματος του Ατλαντικού.

Κατά την περίοδο 2081-2100 και σύμφωνα με το σενάριο SSP5-8.5 η ημερομηνία εμφάνισης για τα περισσότερα σημεία πλέγματος (66.1%) είναι το διάστημα 1 με 15 Ιουλίου, ενώ τον Μάιο τα σημεία πλέγματος που παρατηρούνται είναι ελάχιστα. Χωρικά η μετατόπιση αυτή αφορά ολόκληρη της λεκάνη της Μεσογείου και ιδιαίτερα την ηπειρωτική Ευρώπη που η αλλαγή γίνεται αισθητή σε όλη της την έκταση. Έτσι εξάγεται το συμπέρασμα ότι η ημερομηνία εμφάνισης του επεισοδίου μέγιστης μέσης θερμοκρασίας θα είναι αργότερα μέσα στο καλοκαίρι και όπως φαίνεται αυτό σχετίζεται άμεσα με το θερμοκρασιακό κατώφλι του δείκτη του 95^{ου} ποσοστημορίου. Συγκεκριμένα, λόγω της αύξησης της μέσης θερμοκρασίας της Γης, το κατώφλι αυτό αναμένεται να αυξηθεί κατά πολύ τη μελλοντική περίοδο και κατά συνέπεια η μεγαλύτερη αυτή θερμοκρασία συναντάται πιο αργά μέσα στη θερινή περίοδο. Πολλές εργασίες που μελετούν ακραία φαινόμενα μέγιστης θερμοκρασίας δείχνουν έντονα την αύξηση αυτή, ιδιαίτερα κατά τους καλοκαιρινούς μήνες (Zittis et al., 2016, 2019, 2022). Επιπλέον, αξίζει να σημειωθεί ότι συγκρίνοντας το παγκόσμιο κλιματικό μοντέλο με τα δεδομένα ERA5 παρατηρήθηκε ξεκάθαρη υποεκτίμηση 95^ο ποσοστημορίου, ιδιαίτερα στην περιοχή της ερήμου Σαχάρα, στην βορειοδυτική Αφρική, όπου σύμφωνα με τα δεδομένα ERA5 οι τιμές ξεπερνούν τους 39°C φτάνοντας έως και τους 43°C. Είναι σύνηθες τα αποτελέσματα των μοντέλων να υποεκτιμούν τις μέγιστες ή τις ελάχιστες τιμές με αυτό να είναι άμεση συνέπεια των απλουστεύσεων του μοντέλου καθώς και της περιορισμένης χωρικής ανάλυσης (Alpert et al., 2008).

Η ελάχιστη μέση θερμοκρασία παρουσιάζει ενδιαφέρον τόσο ως προς την μελλοντική ημερομηνία εμφάνισης της, αλλά και ως προς την απόλυτη ελάχιστη τιμή της μέσης θερμοκρασίας στην λεκάνη της Μεσογείου. Πιο αναλυτικά, ως προς το χρονικό διάστημα εμφάνισης του πρώτου επεισοδίου ελάχιστης μέσης θερμοκρασίας, για την πλειοψηφία των σημείων πλέγματος κατά την περίοδο αναφοράς, αυτό καταγράφεται το διάστημα 16 με 31 Ιανουαρίου, ενώ σε μερικά σημεία, της νοτιοδυτικής Ιβηρικής χερσονήσου και της Αφρικής αυτό καταγράφεται το πρώτο δεκαήμερο του έτους. Κατά το πρώτο δεκαπενθήμερο του Φεβρουαρίου η ημέρα με ελάχιστη μέση θερμοκρασία εμφανίζεται πάνω από την δυτική Μεσόγειο θάλασσα, την βόρεια Ιταλία και Ισπανία και στις δυτικές όχθες της περιοχής μελέτης στην μεριά του Ατλαντικού ωκεανού. Το διάστημα 16 με 28 Φεβρουαρίου τα επεισόδια εμφανίζονται στο μεγαλύτερο τμήμα που καλύπτει ο Ατλαντικός ωκεανός, καθώς και στις Βαlearίδες Νήσους, ενώ κανένα σημείο πλέγματος δεν αντιστοιχεί στο διάστημα 15 με 31 Δεκεμβρίου. Αξίζει βέβαια

να σημειωθεί ότι κατά την αξιολόγηση του κλιματικού μοντέλου φάνηκε περισσότερα επεισόδια να αντιστοιχούν στην αρχή της ψυχρής περιόδου το διάστημα 15 Δεκεμβρίου με 15 Ιανουαρίου.

Κατά τη μελλοντική περίοδο 2081-2100, σύμφωνα με το σενάριο SSP5-8.5, η πλειοψηφία των σημείων πλέγματος εξακολουθούν να εμφανίζουν την ημέρα με ελάχιστη μέση θερμοκρασία το διάστημα 16-31 Ιανουαρίου ωστόσο τα σημεία πλέγματος, έχουν αυξηθεί κατά 10.7% για το πρώτο δεκαήμερο του Ιανουαρίου κάτι το οποίο δείχνει μετακίνηση του πρώτου επεισοδίου προς την αρχή του έτους. Ως προς την χωρική κατανομή της ημερομηνίας εμφάνισης της ημέρας με ελάχιστη μέση θερμοκρασία, κατά το πρώτο δεκαπενθήμερο του έτους τα επεισόδια αναμένεται να εμφανίζονται στην Ιβηρική χερσόνησο, την βόρεια Ιταλία, την Ελλάδα και την Αφρική με μεγαλύτερο πλήθος σημείων πλέγματος σε σχέση με την περίοδο αναφοράς. Τα σημεία πλέγματος που αντιστοιχούν στο διάστημα 16-31 Ιανουαρίου, εντοπίζονται στην μεγαλύτερη έκταση της ηπειρωτικής περιοχής μελέτης, καθώς και στην θαλάσσια περιοχή γύρω από την Ιταλία και την Ελλάδα. Τον Φεβρουάριο δεν αναμένεται να εμφανίζονται τα επεισόδια ελάχιστης μέσης θερμοκρασίας πάνω από την ηπειρωτική περιοχή μελέτης, ενώ στο διάστημα 15-31 Δεκεμβρίου δεν αντιστοιχεί κανένα σημείο πλέγματος για την περίοδο 2081-2100. Όπως και στην περίπτωση των ακραία μέγιστων θερμοκρασιών, η αύξηση της μέσης θερμοκρασίας της γης, αποτυπώνεται και στις απόλυτες τιμές των ελάχιστων τιμών της μέσης θερμοκρασίας. Συγκεκριμένα, τα σημεία πλέγματος με θετικές τιμές του δείκτη από 5 έως 19°C παρουσιάζουν συνολική αύξηση την περίοδο 2081-2100, 32.4%. Οι ελάχιστες τιμές θερμοκρασίας -30 έως -23°C δεν αντιστοιχούν σε κανένα σημείο πλέγματος, σε αντίθεση με την περίοδο αναφοράς, ενώ θερμοκρασίες από 12 έως 19°C αντιστοιχούν σε σημεία πλέγματος της Αφρικανικής ηπείρου μόνο κατά τη μελλοντική περίοδο. Σημαντικό εύρημα σχετικά με τις τιμές των ελάχιστων μέσων θερμοκρασιών παρουσιάζεται και στην εργασία των Lionello και Scarascia (2018), οι οποίοι έδειξαν ότι κατά τη μελλοντική περίοδο, η ελάχιστη και η μέγιστη θερμοκρασία κατά μήκος της ζώνης γεωγραφικού πλάτους 30-46°B αυξάνεται με παρόμοιο τρόπο ή η ελάχιστη θερμοκρασία αυξάνεται πιο έντονα. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι τα αποτελέσματα του κλιματικού μοντέλου σε σχέση με τα ERA5 παρουσίασαν μικρές διαφοροποιήσεις. Συγκεκριμένα φαίνεται



οι ημέρες με ελάχιστη τιμή μέσης θερμοκρασίας να καθυστερούν περίπου 15 ημέρες να εμφανιστούν.

Κλείνοντας, αξίζει να σημειωθεί πως στο μέλλον η παρούσα μελέτη μπορεί να ενισχυθεί και τα αποτελέσματα να βελτιωθούν, με την χρήση δεδομένων της τελευταίας φάση του Coupled Model Intercomparison Project (CMIP6), τα οποία θα έχουν υποστεί δυναμικό υποβιβασμό κλίμακας και θα είναι αποτέλεσμα περιοχικών κλιματικών μοντέλων.

Alpert, P., Krichak, S. O., Shafir, H., Haim, D., & Osetinsky, I. (2008). Climatic trends to extremes employing regional modeling and statistical interpretation over the E. Mediterranean. *Global and Planetary Change*, 63(2-3), 163-170. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2008.03.003>

Ambrizzi, T., Reboita, M. S., da Rocha, R. P., & Llopart, M. (2019). The state of the art and fundamental aspects of regional climate modeling in South America. *Annals of the new york academy of sciences*, 1436(1), 98-120. <https://doi.org/10.1111/nyas.13932>

Anderson, B. G., & Bell, M. L. (2009). Weather-related mortality: how heat, cold, and heat waves affect mortality in the United States. *Epidemiology (Cambridge, Mass.)*, 20(2), 205. DOI: 10.1097/EDE.0b013e318190ee08

Aradottir AL, Robertson A, Moore E (1997). "Circular Statistical Analysis of Birch Colonization and the Directional Growth Response of Birch and Black Cottonwood in South Iceland." *Agricultural and Forest Meteorology*, 84(1-2), 179–186. [https://doi.org/10.1016/S0168-1923\(96\)02385-4](https://doi.org/10.1016/S0168-1923(96)02385-4)

Bayliss, A. C., & Jones, R. C. (1993). Peaks-over-threshold flood database: Summary statistics and seasonality (IH Rep. 121). Wallingford, UK: Institute of Hydrology. https://nora.nerc.ac.uk/id/eprint/6075/1/IH_121.pdf

Beniston, M., & Stephenson, D. B. (2004). Extreme climatic events and their evolution under changing climatic conditions. *Global and planetary change*, 44(1-4), 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2004.06.001>

Berens, P. (2009). CircStat: a MATLAB toolbox for circular statistics. *Journal of statistical software*, 31, 1-21. DOI: [10.18637/jss.v031.i10](https://doi.org/10.18637/jss.v031.i10)

Beyene, M. T., Jain, S., & Gupta, R. C. (2018). Linear-circular statistical modeling of lake ice-out dates. *Water Resources Research*, 54, 7841–7858. <https://doi.org/10.1029/2017WR021731>

Bowers, J. A., Morton, I. D., & Mould, G. I. (2000). Directional statistics of the wind and waves. *Applied ocean research*, 22(1), 13-30. [https://doi.org/10.1016/S0141-1187\(99\)00025-5](https://doi.org/10.1016/S0141-1187(99)00025-5)

Chen, D., Dai, A., & Hall, A. (2021). The convective-to-total precipitation ratio and the "drizzling" bias in climate models. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 126(16), e2020JD034198. <https://doi.org/10.1029/2020JD034198>

Copernicus Climate Change Service, Climate Data Store, (2021): CMIP6 climate projections. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS). (Accessed on 29-09-2022), 10.24381/cds.c866074c

Costa, A. C., & Soares, A. (2009). Trends in extreme precipitation indices derived from a daily rainfall database for the South of Portugal. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 29(13), 1956-1975. <https://doi.org/10.1002/joc.1834>

Cui, D., Liang, S., & Wang, D. (2021). Observed and projected changes in global climate zones based on Köppen climate classification. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 12(3), e701. <https://doi.org/10.1002/wcc.701>

Dow, K., & Downing, T. E. (2016). *The atlas of climate change: mapping the world's greatest challenge*. University of California Press.

Drobinski, P., Alonzo, B., Bastin, S., Silva, N. D., & Muller, C. (2016). Scaling of precipitation extremes with temperature in the French Mediterranean region: What explains the hook shape? *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 121(7), 3100-3119. <https://doi.org/10.1002/2015JD023497>

Dükeloh, A., & Jacobeit, J. (2003). Circulation dynamics of Mediterranean precipitation variability 1948–98. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 23(15), 1843-1866.

Easterling, D. R., Evans, J. L., Groisman, P. Y., Karl, T. R., Kunkel, K. E., & Ambenje, P. (2000). Observed variability and trends in extreme climate events: a brief review. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 81(3), 417-426. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(2000\)081<0417:OVATIE>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(2000)081<0417:OVATIE>2.3.CO;2)

Field, C. B., Barros, V. R., Mastrandrea, M. D., Mach, K. J., Abdrabo, M. K., Adger, N., ... & Yohe, G. W. (2014). Summary for policymakers. In *Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: global and sectoral aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 1-32). Cambridge University Press. DOI: [10013/epic.45157](https://doi.org/10.1017/epic.45157)

Foley, J. A., Defries, R., Asner, G. P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S. R., Chapin, F. S., Coe, M. T., Daily, G. C., Gibbs, H. K., Helkowski, J. H., Holloway, T., Howard, E. A., Kucharik, C. J., Monfreda, C., Patz, J. A., Prentice, I. C., Ramankutty, N., & Snyder, P. K. (2005). Global consequences of land use. *Science (New York, N.Y.)*, 309(5734), 570–574. <https://doi.org/10.1126/science.1111772>

Fraisse, C. W., Breuer, N. E., Zierden, D., & Ingram, K. T. (2009). From climate variability to climate change: Challenges and opportunities to Extension. *Journal of Extension*, 47(2), 2FEA9.

G.H. Dayton (2008). *Encyclopedia of Ecology*. <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/seasonality>

Hall, J., & Blöschl, G. (2018). Spatial patterns and characteristics of flood seasonality in Europe. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22(7), 3883-3901. <https://doi.org/10.5194/hess-22-3883-2018>

Hall, J., & Blöschl, G. (2018). Spatial patterns and characteristics of flood seasonality in Europe. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22(7), 3883-3901. <https://doi.org/10.5194/hess-22-3883-2018>

Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Biavati, G., Horányi, A., Muñoz Sabater, J., ... & Thépaut, J. N. (2018). ERA5 hourly data on single levels from 1979 to present. Copernicus climate change service (c3s) climate data store (cds), 10(10.24381).

Hertig, E. and Jacobeit, J. (2008), Assessments of Mediterranean precipitation changes for the 21st century using statistical downscaling techniques. *Int. J. Climatol.*, 28: 1025-1045. <https://doi.org/10.1002/joc.1597>

Hu, Z. Z., Yang, S., & Wu, R. (2003). Long-term climate variations in China and global warming signals. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 108(D19). doi:10.1029/2003JD003651

IPCC, 2007: *Climate Change 2007: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 pp ISBN 2-9169-122-4

IPCC, 2018: Annex I: Glossary [Matthews, J.B.R. (ed.)]. In: *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, sustainable development, and efforts to eradicate poverty* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. Cambridge



University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 541-562, doi:[10.1017/9781009157940.008](https://doi.org/10.1017/9781009157940.008).

Karaibrahimoglu, A., Ayhan, S., Karaagac, M., & Artac, M. (2021). Circular analyses of dates on patients with gastric carcinoma. *Journal of Applied Statistics*, 48(13-15), 2931-2943. doi: [10.1080/02664763.2021.1977259](https://doi.org/10.1080/02664763.2021.1977259)

Kostopoulou, E. and Jones, P (2005). Assessment of climate extremes in the Eastern Mediterranean. *Meteorol. Atmos. Phys.* 89, 69–85. <https://doi.org/10.1007/s00703-005-0122-2>

Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., & Rubel, F. (2006). World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. DOI: 10.1127/0941-2948/2006/0130

Kotsias, G., Lolis, C. J., Hatzianastassiou, N., Lionello, P., & Bartzokas, A. (2021). An objective definition of seasons for the Mediterranean region. *International Journal of Climatology*, 41, E1889-E1905. <https://doi.org/10.1002/joc.6819>

Kovats, R. S., & Hajat, S. (2008). Heat stress and public health: a critical review. *Annu. Rev. Public Health*, 29, 41-55. <https://doi.org/10.1146/annurev.publhealth.29.020907.090843>

Kriegler, E., Bauer, N., Popp, A., Humpenöder, F., Leimbach, M., Strefler, J., ... & Edenhofer, O. (2017). Fossil-fueled development (SSP5): An energy and resource intensive scenario for the 21st century. *Global environmental change*, 42, 297-315. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.05.015>

Li, X., Hu, Z. Z., Jiang, X., Li, Y., Gao, Z., Yang, S., ... & Jha, B. (2016). Trend and seasonality of land precipitation in observations and CMIP5 model simulations. *International Journal of Climatology*, 36(11), 3781-3793. <https://doi.org/10.1002/joc.4592>

Lionello, P. (Ed.). (2012). *The climate of the Mediterranean region: From the past to the future*. Elsevier. https://books.google.gr/books?hl=el&lr=&id=paKNr0-wdToC&oi=fnd&pg=PP1&dq=The+Climate+of+the+Mediterranean+Region:+From+the+Past+to+the+Futu&ots=niHCHXBh4D&sig=PG-N-ILYs8_QFnsivd_hwDUDscY&redir_esc=y#v=onepage&q=The%20Climate%20of%20the%20Mediterranean%20Region%3A%20From%20the%20Past%20to%20the%20Futu&f=false

Lionello, P. and Scarascia, L. (2018). The relation between climate change in the Mediterranean region and global warming. *Reg Environ Change* 18, 1481–1493. <https://doi.org/10.1007/s10113-018-1290-1>

Lolis, C.J., Metaxas, D.A. and Bartzokas, A. (2008), On the intra-annual variability of atmospheric circulation in the Mediterranean region. *Int. J. Climatol.*, 28: 1339-1355. <https://doi.org/10.1002/joc.1634>

Mardia, K. V. (1975). Statistics of directional data. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)*, 37(3), 349-371. <https://doi.org/10.1111/j.2517-6161.1975.tb01550.x>

Marelle, L., Myhre, G., Hodnebrog, Ø., Sillmann, J., & Samset, B. H. (2018). The changing seasonality of extreme daily precipitation. *Geophysical Research Letters*, 45(20), 11-352. <https://doi.org/10.1029/2018GL079567>

Masui, T., Matsumoto, K., Hijioka, Y., Kinoshita, T., Nozawa, T., Ishiwatari, S., ... & Kainuma, M. (2011). An emission pathway for stabilization at 6 Wm⁻² radiative forcing. *Climatic change*, 109, 59-76. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0150-5>

McCarthy, A. L., Heppell, S., Royer, F., Freitas, C., & Dellinger, T. (2010). Identification of likely foraging habitat of pelagic loggerhead sea turtles (*Caretta caretta*) in the North Atlantic through analysis of telemetry track sinuosity. *Progress in Oceanography*, 86(1-2), 224-231. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2010.04.009>

Metaxas, D. A. (1978). Evidence on the importance of diabatic heating as a divergence factor in the Mediterranean. *Archiv für Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie, Serie A*, 27(1), 69-80. <https://doi.org/10.1007/BF02246462>

Moberg, A., Jones, P. D., Lister, D., Walther, A., Brunet, M., Jacobeit, J., Alexander, L. V., Della-Marta, P. M., Luterbacher, J., Yiou, P., Chen, D., Klein-Tank, A. M. G., Saladie, O., Sigro, J., Aguilar, E., Alexandersson, H., Almarza, C., Auer, I., Barriendos, M., ... Xoplaki, E. (2006). Indices for daily temperature and precipitation extremes in Europe analyzed for the period 1901-2000. *Journal of Geophysical Research D: Atmospheres*, 111(22). <https://doi.org/10.1029/2006JD007103>

Nguyen, C. H., Owen, J. S., Franke, J., Neves, L. C., & Hargreaves, D. M. (2021). Typhoon track simulations in the North West Pacific: Informing a new wind map for Vietnam. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 208, 104441. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2020.104441>

O'Neill, B. C., Kriegler, E., Ebi, K. L., Kemp-Benedict, E., Riahi, K., Rothman, D. S., ... & Solecki, W. (2017). The roads ahead: Narratives for shared socioeconomic pathways describing

world futures in the 21st century. *Global environmental change*, 42, 169-180.
<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.01.004>

O'Neill, B. C., Kriegler, E., Riahi, K., Ebi, K. L., Hallegatte, S., Carter, T. R., ... & Van Vuuren, D. P. (2014). A new scenario framework for climate change research: the concept of shared socioeconomic pathways. *Climatic change*, 122, 387-400. <https://doi.org/10.1007/s10584-013-0905-2>

O'Neill, B. C., Tebaldi, C., Van Vuuren, D. P., Eyring, V., Friedlingstein, P., Hurtt, G., ... & Sanderson, B. M. (2016). The scenario model intercomparison project (ScenarioMIP) for CMIP6. *Geoscientific Model Development*, 9(9), 3461-3482. <https://doi.org/10.5194/gmd-9-3461-2016>

Pascale, S., Lucarini, V., Feng, X., Porporato, A., & Hasson, S. U. (2015). Analysis of rainfall seasonality from observations and climate models. *Climate Dynamics*, 44, 3281-3301. doi: 10.1007/s00382-014-2278-2

Peterson, E. (2022). The Coming Global Food Crisis. https://digitalcommons.unl.edu/agecon_cornhusker/1155/

Petrucci, O., Caloiero, T., Pasqua, A. A., Perrotta, P., Russo, L., & Tansi, C. (2017). Civil protection and Damaging Hydrogeological Events: comparative analysis of the 2000 and 2015 events in Calabria (southern Italy). *Advances in Geosciences*, 44, 101-113. <https://doi.org/10.5194/adgeo-44-101-2017>

Rajczak, J., Pall, P., & Schär, C. (2013). Projections of extreme precipitation events in regional climate simulations for Europe and the Alpine Region. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118(9), 3610-3626.

Riahi, K., Rao, S., Krey, V., Cho, C., Chirkov, V., Fischer, G., ... & Rafaj, P. (2011). RCP 8.5—A scenario of comparatively high greenhouse gas emissions. *Climatic change*, 109, 33-57. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0149-y>

Riahi, K., Van Vuuren, D. P., Kriegler, E., Edmonds, J., O'Neill, B. C., Fujimori, S., ... & Tavoni, M. (2017). The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview. *Global environmental change*, 42, 153-168. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.05.009>

Sallis, P. J. (Ed.). (2018). *Extreme Weather*. BoD—Books on Demand. <https://books.google.gr/books?id=uS6RDwAAQBAJ&lpg=PR9&ots=QHK8QJTKa2&dq=examples%20extreme%20weather%20events&lr&hl=el&pg=PR2#v=onepage&q&f=false>

Sloan, T. E. R. R. Y. (2016). Introductory climate science; global warming explained. New Age International (P) Ltd., Publishers (e-book).

Soukissian, T., Karathanasi, F., Axaopoulos, P., Voukouvalas, E., & Kotroni, V. (2018). Offshore wind climate analysis and variability in the Mediterranean Sea. *International Journal of Climatology*, 38(1), 384-402. <https://doi.org/10.1002/joc.5182>

Thomson, A. M., Calvin, K. V., Smith, S. J., Kyle, G. P., Volke, A., Patel, P., ... & Edmonds, J. A. (2011). RCP4. 5: a pathway for stabilization of radiative forcing by 2100. *Climatic change*, 109, 77-94. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0151-4>

Trenberth, K.E., P.D. Jones, P. Ambenje, R. Bojariu, D. Easterling, A. Klein Tank, D. Parker, F. Rahimzadeh, J.A. Renwick, M. Rusticucci, B. Soden and P. Zhai, 2007: Observations: Surface and Atmospheric Climate Change. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4-wg1-chapter3-1.pdf>

Trigo, I. F., Bigg, G. R., & Davies, T. D. (2002). Climatology of cyclogenesis mechanisms in the Mediterranean. *Monthly Weather Review*, 130(3), 549-569. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(2002\)130<0549:COCMIT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(2002)130<0549:COCMIT>2.0.CO;2)

Trigo, R. M., Osborn, T. J., & Corte-Real, J. M. (2002). The North Atlantic Oscillation influence on Europe: climate impacts and associated physical mechanisms. *Climate Research*, 20(1), 9–17. <http://www.jstor.org/stable/24866789>

Trigo, R., Xoplaki, E., Zorita, E., Luterbacher, J., Krichak, S. O., Alpert, P., ... & Mariotti, A. (2006). Relations between variability in the Mediterranean region and mid-latitude variability. In *Developments in Earth and Environmental Sciences* (Vol. 4, pp. 179-226). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S1571-9197\(06\)80006-6](https://doi.org/10.1016/S1571-9197(06)80006-6)

UNESCO World Water Assessment Programme (2020). Water and Climate Change 978-92-3-100371-4 <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000372985.locale=en>

van Doorn E, Dhruva B, Sreenivasan Kr, Cassella V (2000). “Statistics of Wind Direction and its Increments.” *Physics of Fluids*, 12(6), 1529–1534 <https://doi.org/10.1063/1.870401>

Van Vuuren, D. P., Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A., Hibbard, K., ... & Rose, S. K. (2011). The representative concentration pathways: an overview. *Climatic change*, 109, 5-31. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0148-z>

Velikou, K., Lazoglou, G., Tolika, K., & Anagnostopoulou, C. (2022). Reliability of the ERA5 in Replicating Mean and Extreme Temperatures across Europe. *Water*, 14(4), 543. MDPI AG. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.3390/w14040543>

Voldoire, Aurore (2019). CNRM-CERFACS CNRM-CM6-1-Hr model output prepared for CMIP6 HighResMIP. Earth System Grid Federation. <https://doi.org/10.22033/ESGF/CMIP6.1387>

Walsh, R. P. D., & Lawler, D. M. (1981). Rainfall seasonality: description, spatial patterns and change through time. *Weather*, 36(7), 201-208.

Zhang, Q., Xu, C. Y., Zhang, Z., Ren, G., & Chen, Y. D. (2008). Climate change or variability? The case of Yellow river as indicated by extreme maximum and minimum air temperature during 1960–2004. *Theoretical and Applied Climatology*, 93, 35-43. <https://doi.org/10.1007/s00704-007-0328-y>

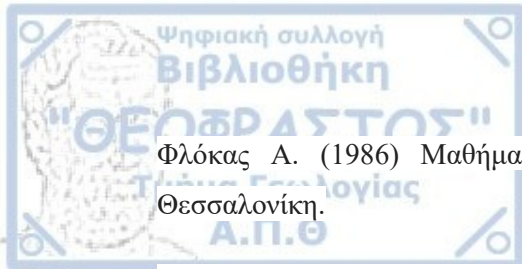
Zittis, G., Hadjinicolaou, P., Fnais, M., & Lelieveld, J. (2016). Projected changes in heat wave characteristics in the eastern Mediterranean and the Middle East. *Regional environmental change*, 16, 1863-1876. <https://doi.org/10.1007/s10113-014-0753-2>

Zittis, G., Hadjinicolaou, P., Klangidou, M., Proestos, Y., & Lelieveld, J. (2019). A multi-model, multi-scenario, and multi-domain analysis of regional climate projections for the Mediterranean. *Regional Environmental Change*, 19(8), 2621-2635. <https://doi.org/10.1007/s10113-019-01565-w>

Zittis, G., Almazroui, M., Alpert, P., Ciais, P., Cramer, W., Dahdal, Y., ... & Lelieveld, J. (2022). Climate change and weather extremes in the Eastern Mediterranean and Middle East. *Reviews of geophysics*, 60(3), e2021RG000762. <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2021RG000762>

Λότοτζης, Μ. Ν. (2012). Στατιστική ανάλυση κυκλικών δεδομένων. Μια γενική επισκόπηση και μια εφαρμογή σε μετεωρολογικά δεδομένα.

Στέργιος Νικόδημος, Σύγχρονος Γεωγραφικός Άτλας Ηπείρων, εκδ. Νικόδημος, Αθήνα, σελ. 20-21.



Φλόκας Α. (1986) Μαθήματα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας. Εκδόσεις ΖΗΤΗ-Θεσσαλονίκη.

Φλόκας Α. (1992), Μαθήματα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας. Εκδόσεις ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη, σελ. 334.