



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ  
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ  
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ



ΓΕΩΡΓΙΑ Β. ΚΑΡΑΝΑΣΙΟΥ

ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΕΚΤΙΜΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ ΣΤΗΝ  
ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΕΥΡΩΠΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΜΕΣΟΓΕΙΟΥ: ΠΑΡΟΝ –  
ΜΕΛΛΟΝ, ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΚΑΙ ΛΗΨΗ ΜΕΤΡΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ  
2023





ΓΕΩΡΓΙΑ Β. ΚΑΡΑΝΑΣΙΟΥ

Φοιτήτρια Τμήματος Γεωλογίας, ΑΕΜ: 5794

ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΕΚΤΙΜΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ  
ΤΗΣ ΕΥΡΩΠΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΜΕΣΟΓΕΙΟΥ: ΠΑΡΟΝ – ΜΕΛΛΟΝ, ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ  
ΚΑΙ ΛΗΨΗ ΜΕΤΡΩΝ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας,  
Τομέα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας

**Επιβλέπουσα:**

Τολίκα Κωνσταντία

Αναπληρώτρια Καθηγήτρια



© Γεωργία Β. Καρανάσιου, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας, 2023

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΕΚΤΙΜΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΕΥΡΩΠΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΜΕΣΟΓΕΙΟΥ: ΠΑΡΟΝ – ΜΕΛΛΟΝ, ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΚΑΙ ΛΗΨΗ ΜΕΤΡΩΝ – *Διπλωματική Εργασία*

© Georgia V. Karanasiou, School of Geology, Dept. of Meteorology and Climatology, 2023

All rights reserved.

UPDATED ESTIMATIONS OF CLIMATE CHANGE OVER THE EUROPEAN AND THE MEDITERRANEAN REGION: PRESENT – FUTURE AND MEASURE STRATEGIES – *Bachelor Thesis*

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

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



Μετά το πέρας της ολοκλήρωσης της διπλωματικής εργασίας στο πλαίσιο του προπτυχιακού προγράμματος σπουδών μου, θα ήθελα να ευχαριστήσω όσους και όσες στήριξαν την προσπάθεια μου και πίστεψαν σε εμένα.

Πρωτίστως, θα ήθελα να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα καθηγήτρια μου κα Τολίκα Κωνσταντία διότι η επιστημονική συμβολή και εμπειρία της καθώς και η πολύτιμη βοήθεια της σε ό, τι χρειαζόμουν συνέβαλαν στην διεκπεραίωση της εργασίας μου.

Επιπροσθέτως, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλα τα μέλη του τομέα που με ενέπνευσαν να ασχοληθώ με το αντικείμενο της μετεωρολογίας – κλιματολογίας και να ακολουθήσω τον συγκεκριμένο τομέα.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου καθώς και όλα τα αγαπημένα μου πρόσωπα.



**Σύγχρονες εκτιμήσεις για την κλιματική αλλαγή στην  
περιοχή της Ευρώπης και της Μεσογείου: Παρόν – Μέλλον,  
στρατηγικές και Λήψη Μέτρων**



## Περίληψη

Σκοπός της εργασίας ήταν να παρουσιαστεί η κλιματική αλλαγή και πώς αυτή αξιολογείται σε ό,τι αφορά την Μεσόγειο και Ευρώπη σύμφωνα με την 6<sup>η</sup> έκθεση της IPCC. Για το σκοπό αυτό, συγκεντρώθηκαν και παρουσιάζονται όλες και εκείνες οι μελέτες και τα δεδομένα της έκθεσης που αναφέρονται συγκεκριμένα στην Ευρώπη και τη Μεσόγειο. Από την παρουσίαση αυτή διαπιστώνεται ότι η κλιματική αλλαγή θα επηρεάσει μια σειρά από παράγοντες κλιματικής επίπτωσης και ειδικότερα τους εξής: α) θέρμανση και ψύξη, β) υγρασία και ξηρασία, γ) άνεμος, δ) χιόνι και πάγος, ε) παράκτια και ωκεάνια φαινόμενα και στ) σύνθετα συμβάντα (σύνθετες πλημμύρες). Επιπλέον, για τη Μεσόγειο ειδικότερα, η κλιματική αλλαγή θα επηρεάσει το εύρος και τη συχνότητα της υπερθέρμανσης κατά τους καλοκαιρινούς μήνες.

*Λέξεις - κλειδιά: έκθεση IPCC, κλιματική αλλαγή, Ευρώπη, Μεσόγειος*



## Abstract

The purpose of the paper was to present climate change and how it is assessed in regards to the Mediterranean and Europe according to the 6th report of the IPCC. To this end, all those studies and data inside the report specifically referring to Europe and the Mediterranean have been gathered and presented. From this presentation it is established that climate change will affect a number of climate impact factors and in particular the following: a) heat and cold, b) humidity and drought, c) wind, d) snow and ice, e) coastal and oceanic phenomena and f) complex events (complex floods). Furthermore, for the Mediterranean in particular, climate change will affect the extent and frequency of warming during the summer months.

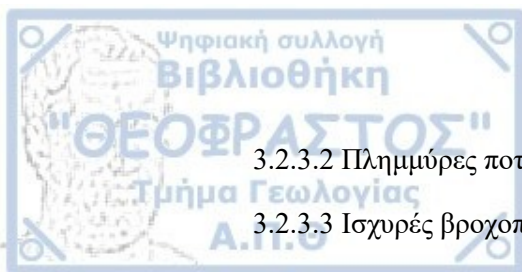
**Keywords:** *IPCC report, climate change, Europe, Mediterranean*



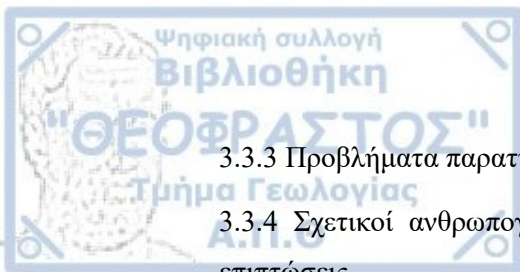


## Περιεχόμενα

Περίληψη .....	i
Abstract .....	ii
Περιεχόμενα.....	iii
Κατάλογος Εικόνων και Σχημάτων .....	vi
Κατάλογος Πινάκων .....	ix
Κεφάλαιο 1 <sup>ο</sup> : Εισαγωγή .....	1
1.1 Εισαγωγή στο θέμα και σκοπός της εργασίας.....	1
1.2 Σύνοψη Κεφαλαίων .....	3
Κεφάλαιο 2 <sup>ο</sup> : Τοπικό κλίμα στην Ευρώπη και τη Μεσόγειο.....	4
2.1 Εισαγωγή.....	4
2.2 Κύρια χαρακτηριστικά του κλίματος της Ευρώπης και ευρήματα από προηγούμενες εκθέσεις της IPCC.....	5
2.2.1 Κύρια στοιχεία του τοπικού κλίματος .....	5
2.2.2 Αποτελέσματα προηγούμενων εκθέσεων της IPCC .....	7
2.3 Αξιολόγηση και σύνθεση παρατηρήσεων, τάσεων και κατανομής .....	9
Κεφάλαιο 3 <sup>ο</sup> : Η κλιματική αλλαγή στην Ευρώπη και τη Μεσόγειο .....	17
3.1 Εισαγωγή.....	17
3.2 Η κλιματική αλλαγή στην Ευρώπη και την Μεσόγειο.....	17
3.2.1 Εισαγωγικά στοιχεία - κύριες εκτιμήσεις κλιματικής αλλαγής .....	17
3.2.2 Θερμότητα και ψύχος .....	19
3.2.2.1 Μέση θερμοκρασία αέρα.....	19
3.2.2.2 Υψηλές ακραίες θερμοκρασίες .....	20
3.2.2.3 Περίοδοι ψύχους και παγετός.....	24
3.2.2.4 Σύνοψη .....	24
3.2.3 Υγρασία και ξηρασία.....	25
3.2.3.1 Μέση βροχόπτωση .....	25



3.2.3.2 Πλημμύρες ποταμών .....	25
3.2.3.3 Ισχυρές βροχοπτώσεις και πλημμύρες λόγω βροχόπτωσης .....	27
3.2.3.4 Κατολισθήσεις.....	28
3.2.3.5 Ξηρασία.....	28
3.2.3.6 Υδρολογική ξηρασία.....	29
3.2.3.7 Γεωργική και οικολογική ξηρασία.....	32
3.2.3.8 Πυρκαγιές.....	34
3.2.3.9 Σύνοψη.....	34
3.2.4 Άνεμος.....	35
3.2.4.1 Μέση ταχύτητα ανέμου.....	35
3.2.4.2 Ισχυρές ανεμοθύελλες.....	36
3.2.4.3 Σύνοψη.....	38
3.2.5 Χιόνι και πάγος.....	38
3.2.5.1 Χιόνι.....	38
3.2.5.2 Παγετώνες.....	39
3.2.5.3 Μόνιμος πάγος.....	40
3.2.5.4 Ισχυρές χιονοπτώσεις, χιονοθύελλες και χαλάζι.....	40
3.2.5.5 Σύνοψη.....	41
3.2.6 Παράκτια και ωκεάνια φαινόμενα.....	41
3.2.6.1 Σχετική στάθμη της θάλασσας.....	41
3.2.6.2 Παράκτιες πλημμύρες.....	42
3.2.6.3 Διάβρωση των ακτών.....	43
3.2.6.4 Θαλάσσια κύματα καύσωνα.....	44
3.2.6.5 Σύνοψη.....	46
3.2.7 Λοιποί παράγοντες.....	47
3.2.7.1 Σύνθετα συμβάντα.....	47
3.3 Παράδειγμα κλιματικής αλλαγής στη Μεσόγειο - καλοκαιρινή υπερθέρμανση .....	49
3.3.1 Εισαγωγή.....	49
3.3.2 Το κλίμα της Μεσογείου.....	49



3.3.3 Προβλήματα παρατήρησης.....	50
3.3.4 Σχετικοί ανθρωπογενείς και φυσικοί παράγοντες που οδηγούν τις κλιματικές επιπτώσεις.....	52
3.3.4.1 Προσομοίωση μοντέλου και κατανομή.....	53
3.3.4.2 Μελλοντικές πληροφορίες για το κλίμα από παγκόσμιες προσομοιώσεις.....	56
3.3.4.3 Μελλοντικές πληροφορίες για το κλίμα από την περιοχική μείωση κλίμακας.....	59
3.3.4.4 Λοιπές κλιματικές πληροφορίες υπερθέρμανσης.....	61
Κεφάλαιο 4 <sup>ο</sup> : Συμπεράσματα.....	62
Βιβλιογραφία .....	66

- Σχήμα 2.1: Οι τέσσερις κλιματολογικές περιοχές της Ευρώπης..... 6
- Σχήμα 2.2: Παρατηρημένες γραμμικές τάσεις ετήσιας μέσης θερμοκρασίας του αέρα στην επιφάνεια της γης (a, b) και τον νετό (e, f) βάσει των συνόλων δεδομένων Berkeley, CRU-TS και GPCC (οι τάσεις υπολογίζονται για την ίδια περίοδο (1961–2015) και εκφράζονται ως °C ανά δεκαετία για τη θερμοκρασία και ως σχετική μεταβολή (σε σχέση με τον κλιματολογικό μέσο όρο) ανά δεκαετία για τον νετό) ..... 12
- Σχήμα 2.3: (a) Μέση τάση για την περίοδο 1980-2015 της ετήσιας μέσης θερμοκρασίας του αέρα στην επιφάνεια της γης (°C ανά δεκαετία) βάσει του E-OBS (τα δεδομένα για μη ευρωπαϊκές χώρες της Μεσογείου έχουν αποκρυφθεί). (b) Χρονικές σειρές μέσης ετήσιας ανωμαλίας θερμοκρασίας σχετικές με την περίοδο 1980-2015 (με γκρι σκίαση) συγκεντρωμένες για την περιοχή της ξηράς σε καθεμία από τις τέσσερις ευρωπαϊκές υποπεριοχές βάσει των E-OBS, CRU-TS, Berkeley και ERA5 (οι μέσες τάσεις για τις περιόδους 1901-2015, 1961-2015 και 1980-2015 παρουσιάζονται για κάθε σύνολο δεδομένων με αντίστοιχα χρώματα στις ίδιες μονάδες με το πλαίσιο (α)). (c) Μέση τάση για την περίοδο 1980-2015 του ετήσιου μέσου νετού (mm/ ημέρα\*δεκαετία). (d) Χρονικές σειρές μέσης ετήσιας ανωμαλίας νετού σχετικές με την περίοδο 1980-2015 (με γκρι σκίαση) συγκεντρωμένες για την περιοχή της ξηράς σε καθεμία από τις τέσσερις ευρωπαϊκές υποπεριοχές βάσει των E-OBS, CRU-TS, GPCC και GPCP (τα δεδομένα του E-OBS δεν παρουσιάζονται στα (b) και (d) για την ανατολική Ευρώπη) ..... 13
- Σχήμα 2.4: Ανωμαλίες ετήσιων μέσων θερμοκρασιών του αέρα στην επιφάνεια της γης για την περίοδο 1850-1900 για την Ευρώπη και τη βόρεια Αμερική (παρουσιάζονται χρονοσειρές για ιστορικές ανθρωπογενείς και φυσικές (καφέ), φυσικές (πράσινο) ανωμαλίες και ανωμαλίες λόγω θερμοκηπιακών αερίων (γκρι) και αερολυμάτων (μπλε) (οι παχιές γραμμές δείχνουν τη μέση τιμή πολλαπλών μοντέλων προσομοιώσεων και οι σκιασμένες περιοχές δείχνουν το εύρος διακύμανσης) και χρονοσειρές για ανωμαλίες βάσει του συνόλου δεδομένων HadCRUT5 (μαύρο)) ..... 14
- Σχήμα 3.1: Προβλεπόμενες αλλαγές στην a-c) ετήσια μέγιστη θερμοκρασία (TXx) και d-f) στην ετήσια ελάχιστη θερμοκρασία (TNn) στους 1,5 °C, 2 °C και 4 °C της υπερθέρμανσης του πλανήτη σε σύγκριση με τη γραμμή βάσης της περιόδου 1850-1900. Οι αριθμοί επάνω δεξιά υποδεικνύουν τον αριθμό των συμπεριλαμβανομένων προσομοιώσεων. Η αβεβαιότητα αντιπροσωπεύεται χρησιμοποιώντας την απλή προσέγγιση: καμία επικάλυψη δεν υποδεικνύει περιοχές με υψηλή συμφωνία μοντέλου, όπου  $\geq 80\%$  των μοντέλων συμφωνούν στο πρόσημο της αλλαγής. Οι διαγώνιες γραμμές υποδεικνύουν περιοχές με χαμηλή συμφωνία μοντέλου, όπου  $< 80\%$  των μοντέλων συμφωνούν στο πρόσημο της αλλαγής ..... 21
- Σχήμα 3.2: Προβλεπόμενες αλλαγές σε επιλεγμένους δείκτες οδηγών επίπτωσης κλίματος για την Ευρώπη: α) μέση μεταβολή για 1 στα 100 χρόνια εκφόρτιση ποταμού ανά μονάδα υδρολογικής λεκάνης (Q100,  $m^3/s \cdot km^2$ ), b) μέση αλλαγή στον αριθμό ημερών με ισοδύναμο ύψος νερού που παράγεται από την τήξη του χιονιού (SWE) πάνω από 100 mm (από Νοέμβριο ως Μάρτιο), από μοντέλα EURO-CORDEX για την περίοδο 2041-2060 σε σχέση με την περίοδο 1995-2014 και από το σενάριο RCP8.5 (οι διαγώνιες γραμμές υποδεικνύουν περιοχές όπου λιγότερο από το 80% των μοντέλων συμφωνούν στο

πρόσχημο (κατεύθυνση) της αλλαγής), c) διάγραμμα ράβδων του μέσου όρου του Q100 ( $m^3/s \cdot km^2$ ) σε χερσαίες εκτάσεις για τις τέσσερις κλιματολογικές περιοχές της Ευρώπης (η αριστερή στήλη σε κάθε πλαίσιο (αριστερός άξονας y) δείχνει τις απόλυτες τιμές Q100 του πρόσφατου παρελθόντος (1995-2014) σε γκρι αποχρώσεις, ενώ οι άλλες στήλες (δεξιός άξονα y) δείχνουν τις αλλαγές Q100 σε σχέση με τις τιμές του πρόσφατου παρελθόντος για δύο χρονικές περιόδους (2041-2060 και 2081-2100) και για τρία επίπεδα υπερθέρμανσης του πλανήτη (1,5 °C (μωβ), 2 °C (κίτρινο) και 4 °C (καφέ))) και d) διάγραμμα ράβδων του Q100 ( $m^3/s \cdot km^2$ ) απόλυτες τιμές για τον αριθμό ημερών με ισοδύναμο ύψος νερού που παράγεται από την τήξη του χιονιού (SWE) πάνω από 100 mm, καλυμμένα σε κελιά πλέγματος με τουλάχιστον 14 τέτοιες ημέρες στο πρόσφατο παρελθόν.....22

Σχήμα 3.3: Μέσος όρος των προβλεπόμενων αλλαγών σε επιλεγμένους δείκτες κινητήριου κλίματος με βάση τα μοντέλα CMIP6: a-c) Μέσος αριθμός ημερών ανά έτος με μέγιστη θερμοκρασία άνω των 35 °C, d-f) μέσος αριθμός ημερών ανά έτος με τον δείκτη θερμότητας να υπερβαίνει τους 41 °C, g-i) αριθμός αρνητικών γεγονότων ανωμαλίας βροχοπτώσεων ανά δεκαετία με χρήση του εξαμηνιαίου τυποποιημένου δείκτη βροχοπτώσεων, j-l) μέση υγρασία του εδάφους (%), m-o) μέση ταχύτητα ανέμου (%), p-r) αλλαγή στην ακραία στάθμη της θάλασσας (περιοδικότητα 100 ετών συνολικής στάθμης νερού, m) για την περίοδο 2081-2100 βάσει του σεναρίου SSP1-2.6 (αριστερή στήλη) και του σεναρίου SSP5-8.5 (δεξιά στήλη) και για την περίοδο 2041-2060 βάσει του σεναρίου SSP5-8.5 (μεσαία στήλη), όλα εκφρασμένα ως αλλαγές σε σχέση με την περίοδο 1995-2014 (εξαιρέση αποτελεί η ακραία συνολική στάθμη νερού που είναι για το p) βάσει του RCP4.5 για το 2100, για το q) βάσει του RCP8.5 για το 2050 και για το r) βάσει το RCP8.5 για το 2100, όλα σε σχέση με το 1980–2014). Σημειώνεται ότι καμία επικάλυψη δεν υποδεικνύει περιοχές με υψηλή συμφωνία μοντέλου, όπου  $\geq 80\%$  των μοντέλων συμφωνούν στο πρόσχημο (κατεύθυνση) της αλλαγής. Οι διαγώνιες γραμμές υποδεικνύουν περιοχές με χαμηλή συμφωνία μοντέλου, όπου  $< 80\%$  των μοντέλων συμφωνούν στο πρόσχημο της αλλαγής .....31

Σχήμα 3.4: Παρατηρούμενος και προσομοιωμένος λόγος περιοχικής πιθανότητας θαλάσσιων κυμάτων καύσωνα για την περίοδο 1985-2014 και για το τέλος του 21<sup>ου</sup> αιώνα κάτω από δύο διαφορετικά σενάρια εκπομπών θερμοκηπιακών αερίων (Ο λόγος πιθανότητας είναι η αναλογία κατά την οποία ο αριθμός των ημερών θαλάσσιων κυμάτων καύσωνα ανά έτος έχει αυξηθεί σε σχέση με την προβιομηχανική εποχή, ενώ το θαλάσσιο κύμα καύσωνα ορίζεται ως η απόκλιση πέρα από το ημερήσιο 99<sup>ο</sup> εκατοστημόριο (παράθυρο 11 ημερών) στην ασχέτως εποχής θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας): a) λόγος πιθανότητας θαλάσσιων κυμάτων καύσωνα κατά την περίοδο 1985-2014 (το μέσο μοτίβο θέρμανσης έχει προστεθεί για τον υπολογισμό του λόγου πιθανότητας) και b-d) προσομοίωση μέσου όρου πιθανότητας μέσω χρήσης προσομοιώσεων CMIP6 για b) τις περιόδους 1985-2014 και 2081-2100 στα σενάρια c) SSP1- 2.6 και d) SSP5-8.5 (οι περιοχές με γκρίζες διαγώνιες γραμμές στο d) υποδεικνύουν μόνιμα θαλάσσια κύματα καύσων (>360 ημέρες καύσωνα ανά έτος)).....46

Σχήμα 3.5: Πτυχές της καλοκαιρινής υπερθέρμανσης στην περιοχή της Μεσογείου: a) μηχανισμοί και αναδράσεις που εμπλέκονται στην ενισχυμένη θερινή υπερθέρμανση της Μεσογείου, b) θέσεις σταθμών παρατήρησης, c) διαφορές στα σύνολα δεδομένων παρατήρησης θερμοκρασίας για τα χερσαία σημεία της Μεσογείου Θάλασσας και 46°B και δυτικά των 30°A, d) παρατηρούμενες γραμμικές τάσεις της θερμοκρασίας του αέρα στην επιφάνεια της γης κατά το καλοκαίρι (Ιούνιος - Αύγουστος) (°C/ δεκαετία)

κατά την περίοδο 1960-2014, ε) Χρονικές σειρές μέσων ανωμαλιών καλοκαιρινής θερμοκρασίας διαφορετικών επίγειων σημείων (25°N–50°N, 10°W– 40°E) της Μεσογείου (°C, γραμμή βάσης 1995-2014) (τα διαφορετικά χρώματα και γραμμές αναφέρονται σε διαφορετικά σύνολα δεδομένων), f) κατανομή γραμμικών τάσεων μεσογειακής θερινής θερμοκρασίας την περίοδο 1960–2014 (°C/ δεκαετία) για διαφορετικά σύνολα δεδομένων (εμφανίζονται επίσης τα μέσα συνόλου) και g) μέσες διαφορές συνόλου σε σχέση με τη γραμμική τάση θερμοκρασίας για την περίοδο 1960–2014 (°C/ δεκαετία) για διαφορετικά σύνολα δεδομένων..... 51

Σχήμα 3.6: Εκτιμώμενη καλοκαιρινή υπερθέρμανση της Μεσογείου: a) χρονικές σειρές μέσων ανωμαλιών καλοκαιρινής θερμοκρασίας του αέρα στην επιφάνεια της γης διαφορετικών επίγειων σημείων (25°B–50°B, 10°B–40°A) της Μεσογείου (°C, περίοδος αναφοράς: 1995-2014) (οι πορτοκαλί, γαλάζιες και πράσινες γραμμές δείχνουν χαμηλοπερατά φιλτραρισμένο μέσα συνόλων HighResMIP, CORDEX EUR-44 (RCP8.5, 20 μέλη) και CORDEX EUR-11 (RCP8.5, 37 μέλη), ενώ οι μπλε και σκούρες κόκκινες γραμμές και οι σκιάσεις δείχνουν χαμηλοπερατά φιλτραρισμένα μέσα συνόλων και τυπικές αποκλίσεις των CMIP5 (RCP8.5, 41 μέλη) και CMIP6 (SSP5-8.5, 36 μέλη), b) κατανομή γραμμικών τάσεων μεσογειακής καλοκαιρινής θερμοκρασίας την περίοδο 2015-2050 (°C/ δεκαετία) για CORDEX EUR-11 (RCP8,5, πράσινοι κύκλοι), CORDEX EUR-44 (RCP8,5, γαλάζιοι κύκλοι), HighResMIP (υψηλής ανάλυσης μελλοντικές κλιματικές εκτιμήσεις, πορτοκαλί κύκλοι), CMIP6 (SSP5-8.5, σκούρο κόκκινο κύκλοι), CMIP5 (RCP8.5, μπλε κύκλοι) και επιλεγμένα μεγάλης κλίμακας ενιαία μοντέλα αρχικής κατάστασης (γκρι διαγράμματα, MIROC6, CSIRO-Mk3-6-0 και MPI -ESM) (εμφανίζονται επίσης τα μέσα συνόλων), c) γραμμικές τάσεις εκτιμήσεων μέσων συνόλων για την περίοδο 2015–2050 (°C/ δεκαετία) των CMIP5 (RCP8,5), CORDEX EUR-44 (RCP8,5), CORDEX EUR-11 (RCP8,5), CMIP6 (SSP5- 8.5) και HighResMIP (υψηλής ανάλυσης μελλοντικές κλιματικές εκτιμήσεις) και d) εκτιμώμενη καλοκαιρινή υπερθέρμανση της Μεσογείου σε σύγκριση με την παγκόσμια μέση ετήσια υπερθέρμανση των CMIP5 (διακεκομμένες γραμμές, RCP2.6 σε σκούρο μπλε, RCP4.5 σε ανοιχτό μπλε, RCP6.0 σε πορτοκαλί και RCP8.5 σε κόκκινο) και CMIP6 (συμπαγείς γραμμές, SSP1-2.6 σε σκούρο μπλε, SSP2-4.5 σε κίτρινο, SSP3-7.0 σε κόκκινο και SSP5-8.5 σε σκούρο κόκκινο)..... 56

Σχήμα 3.7: Αντοχή σε ατέλειες και επεκτασιμότητα ανθρωπογενούς επίδρασης σε περιοχική κλίμακα: χωρικά μοτίβα της μεταβολής θερμοκρασίας του αέρα στην επιφάνεια της γης (°C/ °C)) για το ευρωπαϊκό και αφρικάνικο καλοκαίρι (Ιούνιος-Αύγουστος) για διαφορετικά επίπεδα υπερθέρμανσης του πλανήτη και μοτίβο επεκτασιμότητας του τέλους του 21<sup>ου</sup> αιώνα (οι περιοχές με σημαντική μεταβολή επισημαίνονται με διασταυρούμενη διαγράμμιση, ενώ οι περιοχές χωρίς μεταβολή ή χωρίς ισχυρή μεταβολή με διασταύρωση αρνητικής κλίσης)..... 58



## Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 3.1: Εκτιμώμενη κατεύθυνση της αλλαγής στους παράγοντες που οδηγούν τις κλιματικές επιπτώσεις για την Ευρώπη και σχετικά επίπεδα βεβαιότητα/ εμπιστοσύνης.....48



## Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup>: Εισαγωγή

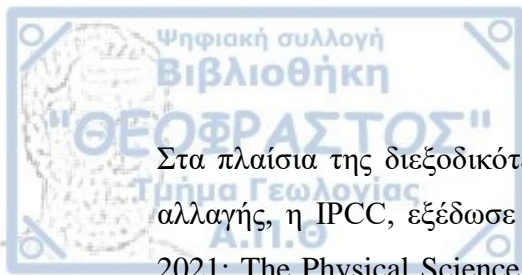
### 1.1 Εισαγωγή στο θέμα και σκοπός της εργασίας

Στην σύγχρονη εποχή ένα από τα πλέον καίρια ζητήματα αποτελεί η κλιματική αλλαγή και οι επιπτώσεις που αυτή μπορεί να έχει τόσο στην ανθρωπότητα όσο και στο περιβάλλον. Η κλιματική αλλαγή αναφέρεται τόσο στην υπερθέρμανση του πλανήτη, όσο και σε ένα ευρύτερο φάσμα αλλαγών που παρατηρούνται σε αυτόν, όπως είναι η άνοδος της στάθμης της θάλασσας και το λιώσιμο των πάγων μεταξύ άλλων. Η κλιματική αλλαγή προκαλείται σε μεγάλο βαθμό από τις ανθρώπινες δραστηριότητες που σχετίζονται με την καύση ορυκτών καυσίμων και την επακόλουθη εκπομπή και συγκέντρωση των θερμοκηπιακών αερίων στην ατμόσφαιρα (NASA, 2022 γ)).

Οι επιπτώσεις της προκληθείσας από τον άνθρωπο κλιματικής αλλαγής δεν αφορούν μόνο το μέλλον, αφού είναι ήδη ορατές στο σήμερα με φαινόμενα όπως είναι για παράδειγμα η μείωση του όγκου του θαλάσσιου πάγου, η επιταχυνόμενη άνοδος της στάθμης της θάλασσας, καθώς τα μεγαλύτερης έντασης και διάρκειας κύματα καύσωνα. Παράλληλα είναι οι επιπτώσεις αυτές φαίνεται να μην είναι αναστρέψιμες, ενώ εκτιμάται να επιδεινωθούν εφόσον οι ανθρώπινες δραστηριότητες συνεχίζουν να επιβαρύνουν την ατμόσφαιρα με αυξημένες συγκεντρώσεις αερίων του θερμοκηπίου (NASA, 2022 α)).

Μάλιστα ορισμένες από τις αλλαγές στο παγκόσμιο κλίμα, συμπεριλαμβανομένων της παρατεταμένης ξηρασίας, των πυρκαγιών και των ακραίων βροχοπτώσεων, λαμβάνουν χώρα με έναν ρυθμό ταχύτερο από αυτό που είχαν στο παρελθόν εκτιμήσει οι επιστήμονες. Πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα με την Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)), που ιδρύθηκε από τα Ηνωμένα Έθνη με στόχο την ανάπτυξη της επιστημονικής γνώσης και κατανόησης αναφορικά με την προκληθείσα από τις ανθρώπινες δραστηριότητες κλιματική αλλαγή και πιο συγκεκριμένα σύμφωνα με την Ειδική Έκθεση για την Υπερθέρμανση του Πλανήτη κατά 1,5 °C (Special Report on Global Warming of 1.5 °C (SR1.5)), ποτέ στο παρελθόν δεν έχουν διαπιστωθεί αντίστοιχες με τις παρατηρούμενες στο παρόν αλλαγές του παγκόσμιου κλίματος. Οι αλλαγές αυτές δεν θεωρείται μάλιστα ότι μπορούν να αντιστραφούν στα επόμενα εκατοντάδες έως χιλιάδες χρόνια (NASA, 2022 α)).





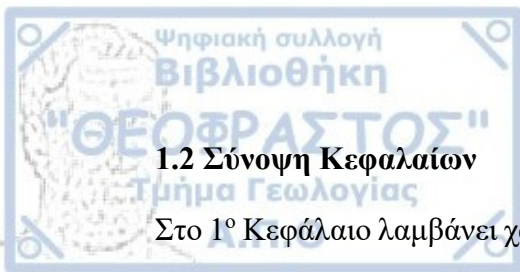
Στα πλαίσια της διεξοδικότερης και πιο επικαιροποιημένης μελέτης της κλιματικής αλλαγής, η IPCC, εξέδωσε το 2021 την 6<sup>η</sup> Έκθεση Αξιολόγησης (Climate Change 2021: The Physical Science Basis), που ασχολείται με την πιο ενημερωμένη φυσική κατανόηση του κλιματικού συστήματος και της κλιματικής αλλαγής μέσα από το συνδυασμό των πλέον πρόσφατων εξελίξεων στην επιστήμη του κλίματος και των πολλαπλών παρατηρήσεων του παλαιοκλίματος, της κατανόησης διεργασιών και των παγκόσμιων και περιοχικών προσομοιώσεων του κλίματος (UNDRR, 2022).

Στην συγκεκριμένη έκθεση αναφέρεται ότι τα εκπεμπόμενα από τις ανθρώπινες δραστηριότητες αέρια, που παγιδεύουν τη γήινη ακτινοβολία (ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος), έχουν ήδη συμβάλει σε μια αύξηση της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας κατά 1 °C σε σύγκριση με την προβιομηχανική εποχή. Μάλιστα, στις επόμενες δεκαετίες η αύξηση αυτή πιστεύεται ότι θα αγγίξει ή ακόμα και θα ξεπεράσει τους 1,5 °C, προκαλώντας ποικίλες και πολλαπλές επιπτώσεις με τη μορφή ακραίων φαινομένων μεταξύ άλλων (IPCC, 2021; NASA, 2022 α)).

Είναι φανερό όμως ότι οι επιπτώσεις αυτές θα είναι διαφορετικές όταν πρόκειται για διαφορετικές περιοχές της γης. Λαμβάνοντας αυτό υπόψη, στην 6<sup>η</sup> έκθεση της IPCC παρουσιάζεται για πρώτη φορά μια αναλυτικότερη αξιολόγηση της κλιματικής αλλαγής σε τοπικό επίπεδο, σε περιοχές δηλαδή όπως η Ευρώπη και η Μεσόγειος (IPCC, 2021).

Αυτός είναι και ο σκοπός της παρούσας εργασίας, να παρουσιαστεί δηλαδή η κλιματική αλλαγή και πώς αυτή αξιολογείται σε ό,τι αφορά την Μεσόγειο και Ευρώπη σύμφωνα με την 6<sup>η</sup> έκθεση της IPCC. Στο πλαίσιο αυτό και πριν την ανάλυση αξιολόγησης της κλιματικής αλλαγής των δύο περιοχών, παρουσιάζεται μια σύνοψη του υπάρχοντος κλίματός τους, καθώς και οι κίνδυνοι για αυτό λόγω της κλιματικής αλλαγής.

Κατά συνέπεια, η εργασία είναι καθαρά θεωρητική και βασίζεται στη βιβλιογραφική επισκόπηση της 6<sup>ης</sup> έκθεσης της IPCC. Τα δεδομένα/ στοιχεία, που αναφέρονται στην Ευρώπη και τη Μεσόγειο εντοπίστηκαν, κατηγοριοποιήθηκαν και συντέθηκαν ανάλογα με το ζήτημα που πραγματεύονται, για να αναπτυχθεί το περιεχόμενο της εργασίας.



## 1.2 Σύνοψη Κεφαλαίων

Στο 1<sup>ο</sup> Κεφάλαιο λαμβάνει χώρα η εισαγωγή στο θέμα, ορίζεται ο σκοπός της εργασίας και τέλος γίνεται μια συνοπτική παρουσίαση των Κεφαλαίων που την αποτελούν. Το 2<sup>ο</sup> Κεφάλαιο αναφέρεται στο υπάρχον τοπικό κλίμα της Ευρώπης και της Μεσογείου, ενώ το 3<sup>ο</sup> Κεφάλαιο αναφέρεται στο κύριο ζήτημα της εργασίας, δηλαδή την αξιολόγηση της κλιματικής αλλαγής στις συγκεκριμένες δύο περιοχές. Στο 4<sup>ο</sup> και τελευταίο Κεφάλαιο, εξάγονται τα συμπεράσματα βάσει όσων αναλύθηκαν προηγουμένως.

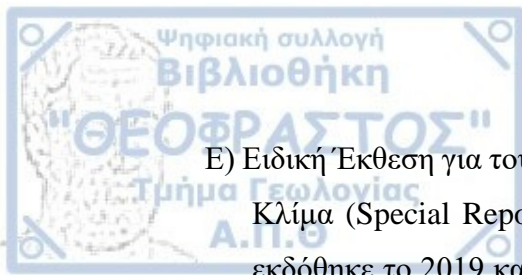


## Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup>: Τοπικό κλίμα στην Ευρώπη και τη Μεσόγειο

### 2.1 Εισαγωγή

Στην 6<sup>η</sup> έκθεση της IPCC, παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά του παρόντος κλίματος και οι κύριοι κίνδυνοι που απορρέουν από την κλιματική αλλαγή σε ό,τι αφορά την Ευρώπη και τη Μεσόγειο. Πριν να παρουσιαστεί η συγκεκριμένη ανάλυση, σημειώνεται ότι τα δεδομένα της έχουν βασιστεί σε προηγούμενες εκθέσεις της IPCC μεταξύ άλλων και ειδικότερα τις εξής εκθέσεις (IPCC, 2021; IPCC, 2022):

- A) Ειδική Έκθεση για τη Διαχείριση των Κινδύνων Ακραίων Φαινομένων και Καταστροφών για την Προώθηση της Προσαρμογής στην Κλιματική Αλλαγή (Special Report on Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation (SREX)), που εκδόθηκε το 2012 και που πραγματεύεται τα ακραία καιρικά και κλιματικά φαινόμενα και την επίδραση σε αυτά της κλιματικής αλλαγής, καθώς και τις βέλτιστες πρακτικές για τη διαχείριση των φαινομένων αυτών.
- B) Έκθεση AR5 για την Κλιματική Αλλαγή 2014: Επιπτώσεις, Προσαρμογή και Ευπάθεια (AR5 Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability (AR5 WGII)) που εκδόθηκε το 2014 και που εστιάζει στις αξιολόγηση και διαχείριση των κινδύνων της κλιματικής αλλαγής.
- Γ) Ειδική Έκθεση για την Υπερθέρμανση του Πλανήτη κατά 1,5 °C (Special Report on Global Warming of 1.5 °C (SR1.5)), που εκδόθηκε το 2018 και που αναφέρεται στις επιπτώσεις της υπερθέρμανσης του πλανήτη κατά 1,5 °C πάνω από τα προβιομηχανικά επίπεδα και τις σχετικές παγκόσμιες οδούς εκπομπής αερίων θερμοκηπίου, στο πλαίσιο της ενίσχυσης της παγκόσμιας αντίδρασης στην απειλή της κλιματικής αλλαγής, της βιώσιμης ανάπτυξης και των προσπαθειών για την εξάλειψη της φτώχειας.
- Δ) Ειδική Έκθεση για τους Ωκεανούς και την Κρυόσφαιρα σε ένα Μεταβαλλόμενο Κλίμα (Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate (SROCC)), που εκδόθηκε το 2019 και που πραγματεύεται τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στις θάλασσες, τον θαλάσσιο πάγο, τους πάγους και παγετώνες.



Ε) Ειδική Έκθεση για τους Ωκεανούς και την Κρυόσφαιρα σε ένα Μεταβαλλόμενο Κλίμα (Special Report on Climate Change and Land (SRCCL)), που επίσης εκδόθηκε το 2019 και που εστιάζει στην κλιματική αλλαγή, την ερημοποίηση, την υποβάθμιση της γης και τη βιώσιμη διαχείρισή της, την επισιτιστική ασφάλεια και τις ροές αερίων θερμοκηπίου στα χερσαία οικοσυστήματα.

Η αξιολόγηση εδώ εστιάζει στις αλλαγές στη μέση θερμοκρασία και στον υετό (βροχόπτωση και χιόνι), συμπεριλαμβανομένων παρατηρήσεων κατά τα πιο πρόσφατα έτη και βελτιώσεων παρατηρούμενων συνόλων δεδομένων.

## **2.2 Κύρια χαρακτηριστικά του κλίματος της Ευρώπης και ευρήματα από προηγούμενες εκθέσεις της IPCC**

### **2.2.1 Κύρια στοιχεία του τοπικού κλίματος**

Οι δυτικοί άνεμοι συνοδευόμενοι με τις τροχιές των καταιγίδων του Ατλαντικού με τις υφέσεις και τους αντικυκλώνες που ταξιδεύουν από τον Ατλαντικό προς την ενδοχώρα της Ευρώπης αποτελούν τα κύρια κλιματικά χαρακτηριστικά που χαρακτηρίζουν την καθημερινή έως τη διαχρονική μεταβλητότητα στην Ευρωπαϊκή περιοχή. Ο Σιβηρικός αντικυκλώνας το χειμώνα καθορίζει τον κρύο καιρό στην Ανατολική Ευρώπη και μπορεί να επηρεάσει άλλες περιοχές με ψυχρές εισβολές. Οι ενδοεποχιακές και ενδοετείς διακυμάνσεις οφείλονται σε τρόπους μεταβλητότητας του κλίματος, όπως είναι για παράδειγμα η ταλάντωση του Βορείου Ατλαντικού<sup>1</sup> (NAO, North Atlantic Oscillation) (IPCC, 2021).

Η υπερθέρμανση του πλανήτη μπορεί να οδηγήσει σε συστηματικές αλλαγές στην περιοχική μεταβλητότητα του κλίματος μέσω θερμοδυναμικών αποκρίσεων όπως οι

---

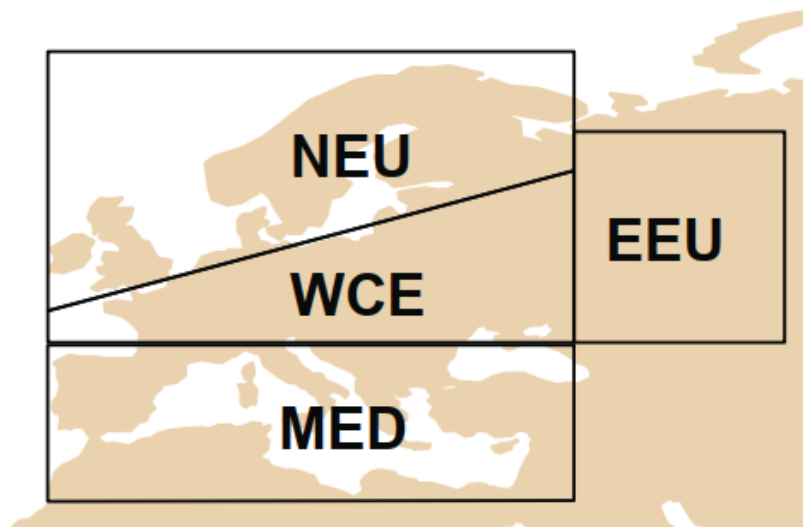
<sup>1</sup> Η ταλάντωση του Βορείου Ατλαντικού είναι το κυρίαρχο μέσο ατμοσφαιρικής μεταβλητότητας μεγάλης κλίμακας στη λεκάνη του Βόρειου Ατλαντικού. Χαρακτηρίζεται από εναλλασσόμενες διακυμάνσεις στην πίεση της στάθμης της θάλασσας μεταξύ του Αζορικού Υψηλού (υποτροπικό σύστημα υψηλής πίεσης που εκτείνεται στον ανατολικό υποτροπικό Βόρειο Ατλαντικό και τη δυτική Ευρώπη κατά τη διάρκεια του χειμώνα και σχετίζεται με αντικυκλωνικούς ανέμους στον υποτροπικό Βόρειο Ατλαντικό (Cresswell-Clay et al., 2022)) στις υποτροπικές περιοχές και της Ισλανδικού Χαμηλού (ημιμόνιμο κύτταρο ή κοιλότητα χαμηλής πίεσης που βρίσκεται στον Βόρειο Ατλαντικό μεταξύ της Ισλανδίας και της νότιας Γροιλανδίας (Hordon, 1987)) στα μεσαία έως μεγάλα γεωγραφικά πλάτη, με κάποια προέκταση προς τα βόρεια βαθιά στην Αρκτική (Hurrell et al., 2003).

τροποποιημένες (altered) θερμοβαθμίδες<sup>2</sup> (Kröner et al., 2017; Brogli et al., 2019) α και οι αναδράσεις<sup>3</sup> εδάφους και ατμόσφαιρας (Zampieri και Lionello, 2011; Βοέ και Terray, 2014).

Οι περιοχικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των διεργασιών στο κλιματικό σύστημα (ή αλλιώς οι περιοχικές αναδράσεις) συμπεριλαμβανομένων της αντίθεσης εδάφους-θάλασσας, της επιφάνειας της θάλασσας, της επιφάνειας του εδάφους, των σύννεφων, των αερολυμάτων, της ακτινοβολίας και άλλων διεργασιών, ρυθμίζουν την περιοχική απόκριση στην ενισχυμένη θέρμανση (IPCC, 2021).

Οι κλιματολογικές περιοχές που ορίζονται για την Ευρώπη, είναι οι εξής (Σχήμα 2.1) τέσσερις (IPCC, 2021):

1. Περιοχή της Δυτικής και Κεντρικής Ευρώπης (WCE)
2. Περιοχή της Βόρειας Ευρώπης (NEU)
3. Περιοχή της Ανατολικής Ευρώπης (EEU)
4. Περιοχή της Μεσογείου (MED).

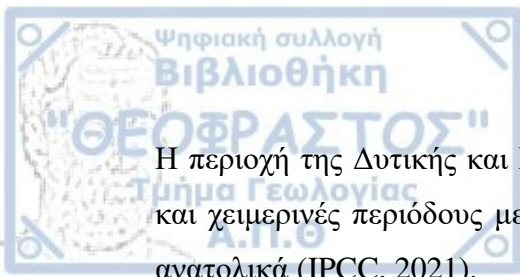


**Σχήμα 2.1:** Οι τέσσερις κλιματολογικές περιοχές της Ευρώπης

Πηγή: IPCC, 2021

<sup>2</sup> Θερμοβαθμίδα είναι ο ρυθμός μείωσης της θερμοκρασίας με το ύψος στην ατμόσφαιρα (Meyers, 2002).

<sup>3</sup> Αναδράσεις είναι οι διαδικασίες που μπορούν είτε να ενισχύσουν είτε να μειώσουν τις επιπτώσεις των αρχικών παραγόντων (ηλιακή ακτινοβολία, εκπομπές αερίων θερμοκηπίου, αερολύματα, σκόνη, καπνός και αιθάλη) του κλίματος (NASA, 2022 β)).



Η περιοχή της Δυτικής και Κεντρικής Ευρώπης παρουσιάζει διακριτές καλοκαιρινές και χειμερινές περιόδους με μια αυξανόμενη ηπειρωτικότητα του κλίματος προς τα ανατολικά (IPCC, 2021).

Η περιοχή της Βόρειας Ευρώπης, κοντά στον Ατλαντικό Ωκεανό, χαρακτηρίζεται από υψηλή υγρασία και σχετικά ήπιους χειμώνες δεχόμενη την ισχυρή επίδραση των τροχιών των καταιγίδων του Ατλαντικού (IPCC, 2021).

Η περιοχή της Ανατολικής Ευρώπης καλύπτει το δυτικό τμήμα της Ρωσίας και των γειτονικών περιοχών και έχει κλίμα με ηπειρωτικά χαρακτηριστικά (σημειώνεται ότι πολλά περιοχικά σύνολα δεδομένων και προβολές μοντέλων που αξιολογούνται εδώ δεν καλύπτουν επαρκώς την συγκεκριμένη περιοχή) (IPCC, 2021).

Η περιοχή της Μεσογείου στο νότιο τμήμα της Ευρώπης χαρακτηρίζεται από ήπιους χειμώνες και ζεστά και ξηρά καλοκαίρια ή από ένα λεγόμενο μεσογειακό κλίμα. Καλύπτει τόσο τις νότιες περιοχές της Ευρώπης όσο και τις ακτές της Βόρειας Αφρικής (IPCC, 2021).

### **2.2.2 Αποτελέσματα προηγούμενων εκθέσεων της IPCC**

Στην Έκθεση AR5 για την Κλιματική Αλλαγή 2014: Επιπτώσεις, Προσαρμογή και Ευπάθεια (AR5 Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability (AR5 WGII)) αναφέρεται με μεγάλη βεβαιότητα ότι οι παρατηρούμενες τάσεις του κλίματος δείχνουν τοπικές αλλαγές της θερμοκρασίας και των βροχοπτώσεων στην Ευρώπη. Η μέση θερμοκρασία στην Ευρώπη συνέχισε να αυξάνεται, με τα εποχιακά ποσοστά θέρμανσης να είναι μεγαλύτερα σε μεγάλα γεωγραφικά πλάτη στη βόρεια Ευρώπη. Η ετήσια βροχόπτωση έχει αυξηθεί στη Βόρεια Ευρώπη και έχει μειωθεί σε περιοχές της Νότιας Ευρώπης (IPCC, 2014).

Σύμφωνα με την Ειδική Έκθεση για τους Ωκεανούς και την Κρυόσφαιρα σε ένα Μεταβαλλόμενο Κλίμα (Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate (SROCC)), από την άλλη, αναφέρεται με μεγάλη βεβαιότητα ότι τις τελευταίες δεκαετίες έχει παρατηρηθεί μια μείωση της χιονοκάλυψης (snow cover) σε χαμηλά υψόμετρα και στην έκταση παγετώνων, με επακόλουθες αλλαγές στα ετήσια και εποχιακά μοτίβα απορροής (IPCC, 2019 β)).

Παράλληλα βάσει της Ειδικής Έκθεσης για τους Ωκεανούς και την Κρυόσφαιρα σε ένα Μεταβαλλόμενο Κλίμα (Special Report on Climate Change and Land (SRCLL)) διαπιστώνεται ότι η παρατηρούμενη πράσινη βλάστηση και δάσωση κατά τα τελευταία 30 χρόνια επηρεάζει τόσο την θερμοκρασία κατά την περίοδο του καλοκαιριού όσο και τη χειμερινή θερμοκρασία λόγω της μειωμένης χιονοκάλυψης και της αυξημένης σκίασης του χιονιού σε δασικές περιοχές (IPCC, 2019 α)).

Η Έκθεση AR5 WGII αναφέρει ότι το χειμερινό εξάμηνο, η Βόρεια και Δυτική και Κεντρική Ευρώπη είναι πιθανό να παρουσιάζουν αύξηση στον μέσο υετό, που σχετίζεται με αυξημένη ατμοσφαιρική υγρασία και σύγκλιση υγρασίας και την εντατικοποίηση στην εξωτροπική (extratropical) κυκλωνική<sup>4</sup> δραστηριότητα. Καμία αλλαγή ή μέτρια μείωση εκτιμάται από την άλλη για την περιοχή της Μεσογείου. Κατά την θερμή περίοδο του έτους είναι πιθανό η μέση βροχόπτωση στη Βόρεια και Δυτική και Κεντρική Ευρώπη να παρουσιάσει μόνο μικρές αλλαγές με μια αντίθετα αξιοσημείωτη μείωση να παρατηρείται στην περιοχή της Μεσογείου (IPCC, 2014).

Ειδικότερα βάσει της Ειδικής Έκθεσης για την Υπερθέρμανση του Πλανήτη κατά 1,5 °C (Special Report on Global Warming of 1.5 °C (SR1.5)), αυτές οι αλλαγές στον υετό θα είναι πιο έντονες για μια υπερθέρμανση του πλανήτη της τάξης των 2 °C σε σύγκριση με μια υπερθέρμανση της τάξης των 1,5 °C (IPCC, 2014).

Για μια υπερθέρμανση της τάξης των 2 °C, αύξηση της απορροής εκτιμάται για τη Βορειοανατολική Ευρώπη, ενώ μείωση αναμένεται για την περιοχή της Μεσογείου, όπου οι διαφορές απορροής για μια υπερθέρμανση του πλανήτη μεταξύ 1,5 °C και 2 °C θα είναι πιο εμφανείς (μέτρια βεβαιότητα/ εμπιστοσύνη) (IPCC, 2014).

Σύμφωνα τέλος με την έκθεση SROCC, οι προβολές του σεναρίου RCP8.5<sup>5</sup>, οδηγούν σε μια απώλεια άνω του 80% της μάζας του πάγου από μικρούς παγετώνες μέχρι το

---

<sup>4</sup> Ένας εξωτροπικός κυκλώνας μπορεί να έχει ανέμους τόσο αδύναμους όσο μια τροπική καταιγίδα ή τόσο ισχυρούς όσο ένας τυφώνας. Παραδείγματα εξωτροπικών κυκλώνων περιλαμβάνουν χιονοθύελλες και τα συνηθισμένα συστήματα χαμηλής πίεσης που παρέχουν μεγάλο μέρος της βροχόπτωσης στις ηπείρους και πιο συγκεκριμένα στις μέσου γεωγραφικού πλάτους περιοχές τους (NOAA, χ.χ.).

<sup>5</sup> Το σενάριο RCP8.5 είναι ένα από τα σεναρία ή αντιπροσωπευτικές οδούς συγκέντρωσης, που περιγράφουν αρκετές πιθανές μελλοντικές οδούς. Κάθε σενάριο ορίζει μια οδό σε ό,τι αφορά τη συγκέντρωση του άνθρακα στην ατμόσφαιρα σε οποιαδήποτε ημερομηνία (σημειώνεται ότι οι συγκεκριμένες οδοί ορίζονται από την άποψη της συγκέντρωσης, δηλαδή του επιπέδου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα και όχι του όγκου των εκπομπών άνθρακα). Το σενάριο RCP8.5 αναφέρεται στη συγκέντρωση του άνθρακα που οδηγεί σε μια υπερθέρμανση του πλανήτη κατά μέσο όρο 8,5 W/ m<sup>2</sup> κατά μήκος του πλανήτη. Το σενάριο RCP8.5 οδηγεί σε μια αύξηση της θερμοκρασίας κατά περίπου 4,3 °C μέχρι το 2100 σε σύγκριση με τις θερμοκρασίες της προβιομηχανικής εποχής. Το σενάριο RCP8.5

τέλος του 21<sup>ου</sup> αιώνα στην περιοχή της Κεντρικής Ευρώπης (υψηλή βεβαιότητα/ εμπιστοσύνη). Η χιονοκάλυψη και οι παγετώνες αναμένεται να μειωθούν καθόλη τη διάρκεια του 21<sup>ου</sup> αιώνα (IPCC, 2019 β)).

### 2.3 Αξιολόγηση και σύνθεση παρατηρήσεων, τάσεων και κατανομής

Για να υποστηρίξουν τις κλιματολογικές αναλύσεις και την αξιολόγηση μοντέλων, οι εθνικές μετεωρολογικές και υδρολογικές υπηρεσίες καθιστούν διαθέσιμα ολοένα και περισσότερα επιτόπια ομογενοποιημένα και ελεγμένα ποιοτικά δεδομένα υψηλής χωρικής και χρονικής ανάλυσης (Déqué και Somot, 2008; Vidal et al., 2010; Rauthe et al., 2013; Noël et al., 2015; Fantini et al., 2018; Lussana et al., 2018; Herrera et al., 2019; Skrynyk et al., 2020).

Η συμπερίληψη πρόσθετων δεδομένων μετεωρολογικών σταθμών οδηγεί σε μια καλύτερη αναπαράσταση στατιστικών ακραίων βροχοπτώσεων από τα σύνολα δεδομένων παγκόσμιας ή ηπειρωτικής κλίμακας. Πρόσφατα παραγόμενα πλέγματα, που συγχωνεύουν δεδομένα ραντάρ και σταθμών, επιτρέπουν την επίτευξη υψηλότερων χωρικών και χρονικών αναλύσεων (Haiden et al., 2011; Berg, Norin και Olsson, 2016; Fumière et al., 2020).

Ένας αριθμός περιοχικών αποτελεσμάτων εκ νέου ανάλυσης έχει καταστεί διαθέσιμος και για την περιοχή της Ευρώπης. Ένα ευρωπαϊκό σύνολο περιοχικών εκ νέου αναλύσεων από το 1961 έως το 2019 αποδεικνύεται ότι προσφέρει πρόσθετη ακρίβεια και αξιοπιστία σε σύγκριση με τα παγκόσμια αποτελέσματα των δεδομένων re-analysis. Παρόλα αυτά, ταυτόχρονα εισάγει πρόσθετες αβεβαιότητες, ειδικά για βασισμένους σε κρίσιμα όρια δείκτες κλίματος (IPCC, 2021).

Ωστόσο, τα πλεγματικά δεδομένα (gridded data) για την περιοχή της Ευρώπης είναι αναξιόπιστα όταν πρόκειται για περιοχές με σποραδικά δεδομένα (Fantini et al., 2018; Kotlarski et al., 2019; Berthou et al., 2020). Επίσης, πολλά σύνολα δεδομένων χρησιμοποιούν διαφορετικές προσεγγίσεις παρεμβολής και παραγωγής κανονικού πλέγματος, δηλαδή καναβοποίησης (gridding), γεγονός που αυξάνει την αβεβαιότητα

---

συχνά αντιπαραβάλλεται με το σενάριο RCP2.6, στο οποίο προκύπτει μια αύξηση της θερμοκρασίας κατά περίπου 1,8 °C μέχρι το 2100 (Climate Nexus, χ.χ.).





τους και περιπλέκει τις συγκριτικές αξιολογήσεις (Prein και Gobiet, 2017; Fantini et al., 2018).

Για ορισμένες υποπεριοχές, οι διαφορές μεταξύ των συνόλων δεδομένων έχει αποδειχθεί ότι είναι του ίδιου μεγέθους με τα σφάλματα σε περιοχικά κλιματικά μοντέλα, αλλά η αβεβαιότητα παρατηρήσεων μειώνεται σημαντικά όταν χρησιμοποιούνται σύνολα δεδομένων παρόμοιας φύσης και αντιπροσωπευτικότητας (Kotlarski et al., 2019).

Εκτός από την παγκόσμια εμφάνιση των παρατηρούμενων τάσεων θερμοκρασίας και υετού του Σχήματος 2.2, οι τάσεις μέσης ετήσιας θερμοκρασίας και υετού για την περίοδο μεταξύ 1980 και 2015, που υπολογίζονται από το σύνολο δεδομένων E-OBS<sup>6</sup>, παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.3 μαζί με χρονοσειρές ανωμαλιών θερμοκρασίας και υετού σε σχέση με τη μέση τιμή για την περίοδο 1980–2015 από τα σύνολα δεδομένων E-OBS, CRU-TS<sup>7</sup>, EWEMBI<sup>8</sup> και Berkeley<sup>9</sup> για τη θερμοκρασία και τα σύνολα δεδομένων E-OBS, CRU-TS, GPCC<sup>10</sup> και GPCP<sup>11</sup> για τον υετό (IPCC, 2021)

Στην Βόρεια Ευρώπη έχει παρατηρηθεί μια συνεχής θέρμανση, ιδιαίτερα κατά την άνοιξη, ενώ μια ετήσια μέση αύξηση της θερμοκρασίας κατά 0,4 °C ανά δεκαετία έχει αναφερθεί μεταξύ 1970 και 2008. Στην δυτική και κεντρική Ευρώπη αυξήσεις της θερμοκρασίας από τα μέσα του 20<sup>ου</sup> αιώνα έχουν τεκμηριωθεί για την Πολωνία και την

<sup>6</sup> Είναι ένα ημερήσιο πλέγμα δεδομένων παρατήρησης μόνο για την ξηρά για το σύνολο της Ευρώπης (Copernicus Climate Data Store, χ.χ.). Τα δεδομένα παρέχουν στοιχεία για την ημερήσια μέση θερμοκρασία, την ημερήσια ελάχιστη και μέγιστη θερμοκρασία και το ημερήσιο άθροισμα βροχόπτωσης (Χαρίση, 2019).

<sup>7</sup> Είναι ένα ευρέως χρησιμοποιούμενο σύνολο δεδομένων για το κλίμα σε ένα πλέγμα γεωγραφικού πλάτους 0,5° και γεωγραφικού μήκους 0,5° σε όλες τις χερσαίες περιοχές του κόσμου εκτός της Ανταρκτικής. Προέρχεται από την παρεμβολή μηνιαίων κλιματικών ανωμαλιών από εκτεταμένα δίκτυα παρατηρήσεων μετεωρολογικών σταθμών (Harris et al., 2020).

<sup>8</sup> Είναι ένα σύνολο δεδομένων που καλύπτει ολόκληρη την υδρόγειο σε 0,5° οριζόντια και με μια ημερήσια χρονική ανάλυση από το 1979 έως το 2016 (ISIMIP, χ.χ.).

<sup>9</sup> Είναι ένα σύνολο δεδομένων που αρχικά αποτελούσε ένα πλέγμα ανακατασκευής των αρχείων θερμοκρασίας του αέρα στην επιφάνεια της γης από το 1701 μέχρι και σήμερα και που τώρα περιλαμβάνει ένα συγχωνευμένο σύνολο δεδομένων ξηράς-θαλάσσης από το 1850 μέχρι και σήμερα (UCAR, 2023 α)).

<sup>10</sup> Σύνολο μηνιαίων και ημερήσιων δεδομένων υετού για την περίοδο από το 1891 μέχρι και σήμερα που προκύπτουν από παγκόσμια δεδομένα σταθμών και που παρέχονται από Κέντρο Παγκόσμιας Κλιματολογίας Υετού (Global Precipitation Climatology Centre) (UCAR, 2023 β)).

<sup>11</sup> Δεδομένα μηνιαίας βροχόπτωσης σε ένα παγκόσμιο πλέγμα 2,5° από το 1979 μέχρι και σήμερα (UCAR, 2023 γ)).

Ουκρανία. Οι παρατηρήσεις αποκλειστικά για την ξηρά υποδεικνύουν μια ταχεία αύξηση στη μέση θερμοκρασία του αέρα στην επιφάνεια της γης το καλοκαίρι (Ιούνιος-Ιούλιος-Αύγουστος) από τα μέσα της δεκαετίας του 1990 (IPCC, 2021).

Στην ανατολική Ευρώπη δεν έχει παρατηρηθεί κάποια σημαντική τάση στις μέσες θερμοκρασίες του χειμώνα μεταξύ 1881 και 2016 στη Λευκορωσία. Σε περιοχές της Μεσογείου οι θερμοκρασίες της άνοιξης και του καλοκαιριού έχει αναφερθεί ότι αυξάνονται ταχύτερα από ό,τι τις υπόλοιπες εποχές (IPCC, 2021).

Το Σχήμα 2.3 δείχνει ότι από το 1980 σε κάθε ευρωπαϊκή περιοχή όλα τα σύνολα δεδομένων δείχνουν μια σταθερή αύξηση της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας από 0,04 °C ως και 0,05 °C. Οι τάσεις στη θερμοκρασία της ξηράς στην Ευρώπη δεν μπορούν να εξηγηθούν χωρίς να ληφθεί υπόψη η ανθρωπογενής υπερθέρμανση, που προκύπτει από τις ανθρωπογενείς εκπομπές αερολυμάτων (Σχήμα 2.4). Είναι σχεδόν βέβαιο ότι η μέση ετήσια θερμοκρασία συνεχίζει να αυξάνεται σε κάθε κλιματολογική περιοχή της Ευρώπης (IPCC, 2021).

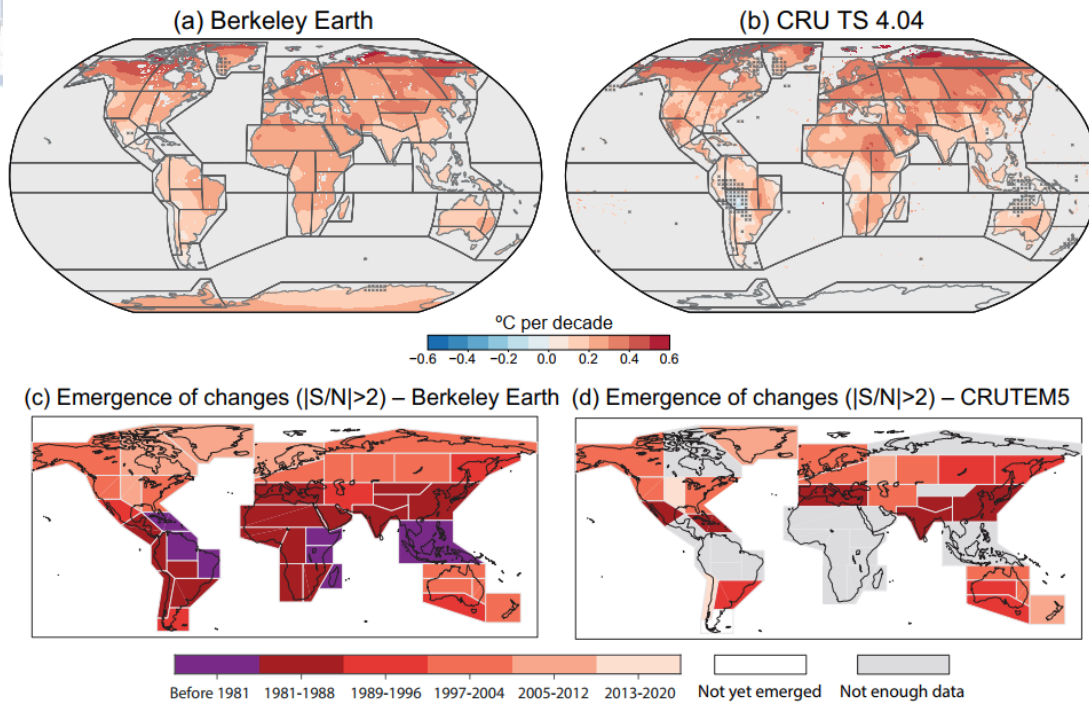
Οι τάσεις πολλών δεκαετιών σε ό,τι αφορά τη μέση βροχόπτωση είναι γενικά μικρές και μη σημαντικές. Εκτός από τις δυσκολίες που σχετίζονται με την κάλυψη της παρατήρησης, την υποαλίευση<sup>12</sup> της βροχόπτωσης και την ανομοιογένεια δεδομένων, κυριαρχεί η ισχυρή ενδοετήσια μεταβλητότητα και μια μεταβλητότητα πολλών δεκαετιών τουλάχιστον τους δύο τελευταίους αιώνες (IPCC, 2021).

Ωστόσο, σημαντικές τάσεις βροχοπτώσεων έχουν καταγραφεί για πρόσφατες περιόδους, όπως για παράδειγμα στη νοτιοδυτική Ευρώπη μεταξύ 1960 και 2000 και στην Βόρεια Ευρώπη μεταξύ 1961 και 2015. Επίσης, ορισμένες μελέτες υποδεικνύουν ότι στη Μεσόγειο οι βροχοπτώσεις έχουν μειωθεί και έχουν σημειωθεί συχνότερες και εντονότερες ξηρασίες μεταξύ 1960 και 2000, που σε ορισμένες περιοχές δεν μπορούν να εξηγηθούν χωρίς την ανθρωπογενή επίδραση (IPCC, 2021).

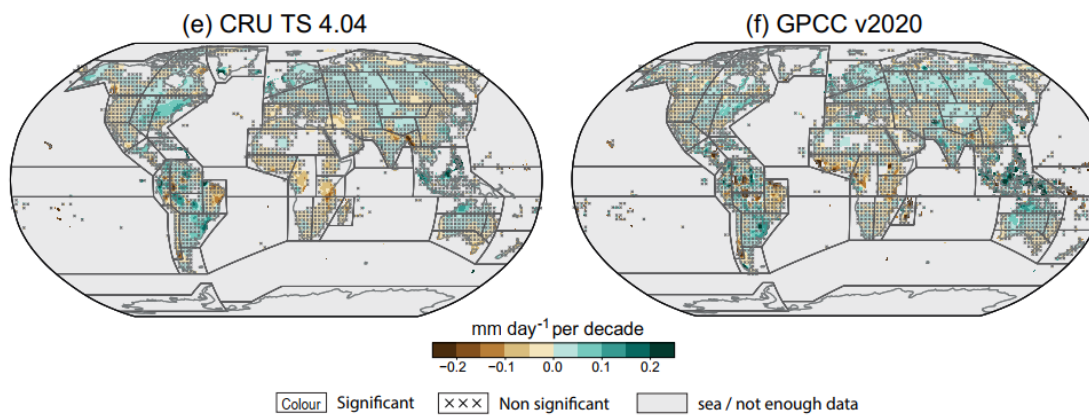
---

<sup>12</sup> Η συνηθισμένη εγκατάσταση αγωγών βροχόπτωσης με στεφάνες πάνω από την επιφάνεια του εδάφους έχει ως αποτέλεσμα τη διαφορά μεταξύ της βροχόπτωσης που αλιεύεται και της ποσότητας που φτάνει στο επίπεδο του εδάφους, κάτι που ονομάζεται υποαλίευση (undercatch) (Muchan και Dixon, 2019).

Trends of annual temperature (1961-2015)

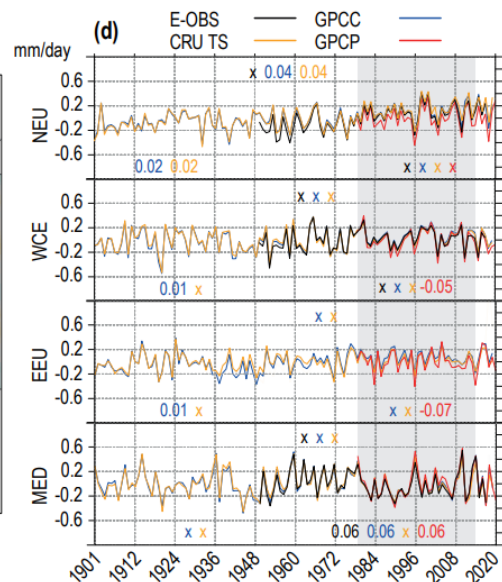
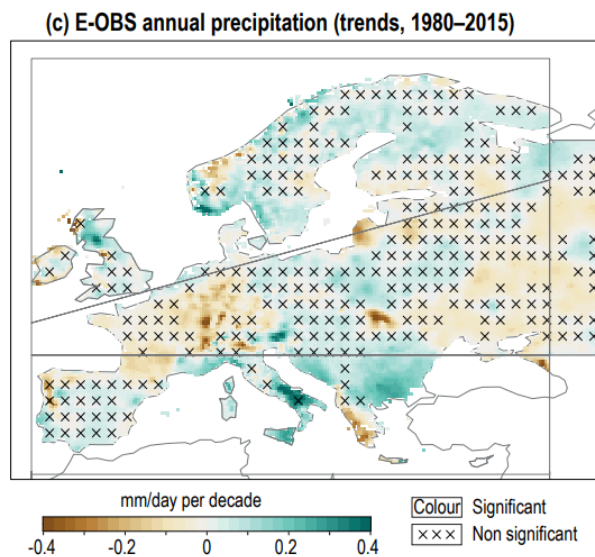
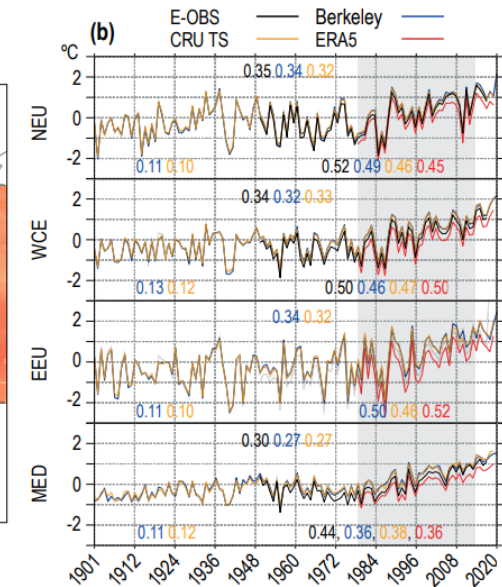
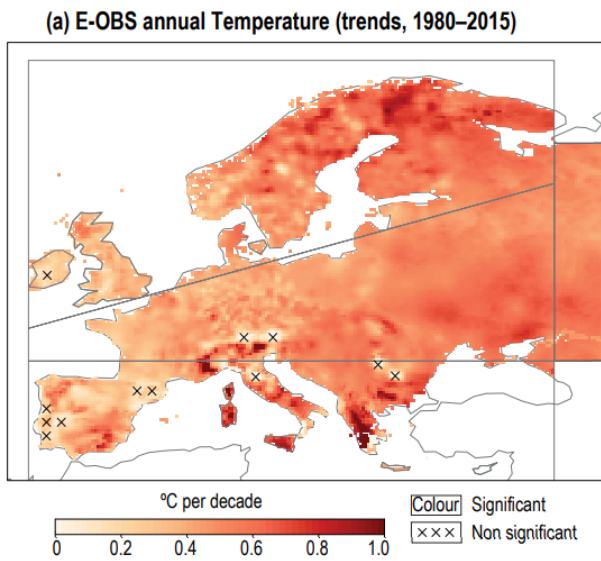


Trends of annual precipitation (1961-2015)



**Σχήμα 2.2:** Παρατηρημένες γραμμικές τάσεις ετήσιας μέσης θερμοκρασίας του αέρα στην επιφάνεια της γης (a, b) και τον νετό (e, f) βάσει των συνόλων δεδομένων Berkeley, CRU-TS και GPCC (οι τάσεις υπολογίζονται για την ίδια περίοδο (1961–2015) και εκφράζονται ως °C ανά δεκαετία για τη θερμοκρασία και ως σχετική μεταβολή (σε σχέση με τον κλιματολογικό μέσο όρο) ανά δεκαετία για τον νετό)

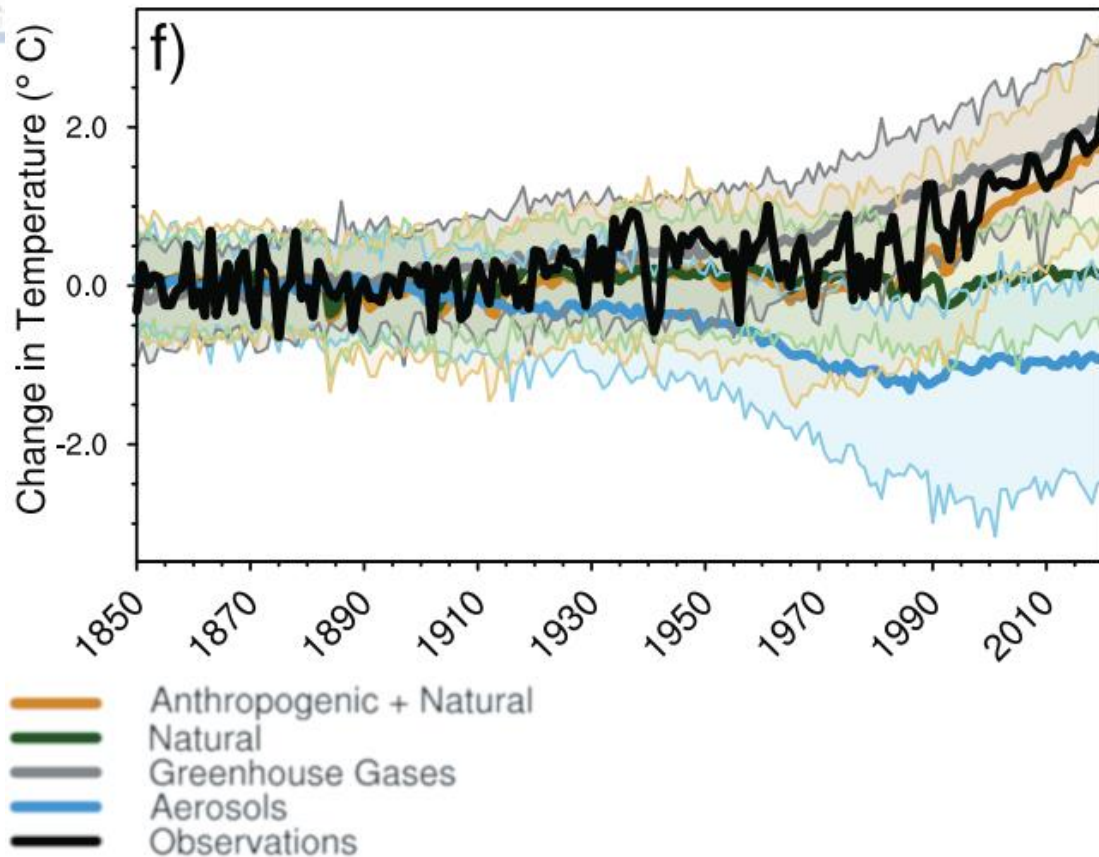
Πηγή: IPCC, 2021



**Σχήμα 2.3:** (a) Μέση τάση για την περίοδο 1980-2015 της ετήσιας μέσης θερμοκρασίας του αέρα στην επιφάνεια της γης (°C ανά δεκαετία) βάσει του E-OBS (τα δεδομένα για μη ευρωπαϊκές χώρες της Μεσογείου έχουν αποκρυφθεί). (b) Χρονικές σειρές μέσης ετήσιας ανωμαλίας θερμοκρασίας σχετικές με την περίοδο 1980-2015 (με γκρι σκίαση) συγκεντρωμένες για την περιοχή της ξηράς σε καθεμία από τις τέσσερις ευρωπαϊκές υποπεριοχές βάσει των E-OBS, CRU-TS, Berkeley και ERA5 (οι μέσες τάσεις για τις περιόδους 1901-2015, 1961-2015 και 1980-2015 παρουσιάζονται για κάθε σύνολο δεδομένων με αντίστοιχα χρώματα στις ίδιες μονάδες με το πλαίσιο (a)). (c) Μέση τάση για την περίοδο 1980-2015 του ετήσιου μέσου νετού (mm/ ημέρα\*δεκαετία). (d) Χρονικές σειρές μέσης ετήσιας ανωμαλίας νετού σχετικές με την περίοδο 1980-2015 (με γκρι σκίαση) συγκεντρωμένες για την περιοχή της ξηράς σε καθεμία από τις τέσσερις ευρωπαϊκές υποπεριοχές βάσει των E-OBS, CRU-TS, GPCP και GPCP (τα δεδομένα του E-OBS δεν παρουσιάζονται στα (b) και (d) για την ανατολική Ευρώπη)

Πηγή: IPCC, 2021

## Europe and North Africa



**Σχήμα 2.4:** Ανομαλίες ετήσιων μέσων θερμοκρασιών του αέρα στην επιφάνεια της γης για την περίοδο 1850-1900 για την Ευρώπη και τη βόρεια Αμερική (παρουσιάζονται χρονοσειρές για ιστορικές ανθρωπογενείς και φυσικές (καφέ), φυσικές (πράσινο) ανωμαλίες και ανωμαλίες λόγω θερμοκηπιακών αερίων (γκρι) και αερολυμάτων (μπλε) (οι παχιές γραμμές δείχνουν τη μέση τιμή πολλαπλών μοντέλων προσομοιώσεων και οι σκιασμένες περιοχές δείχνουν το εύρος διακύμανσης) και χρονοσειρές για ανωμαλίες βάσει του συνόλου δεδομένων HadCRUT5 (μαύρο))

Πηγή: IPCC, 2021

Άλλες μελέτες υποδεικνύουν ότι αυτή η τάση μπορεί να θεωρηθεί ως έκφραση μιας εσωτερικής μεταβλητότητας πολλών δεκαετιών, που οδηγείται κυρίως από την ταλάντωση του Βορείου Ατλαντικού. Η παγκόσμια συσκότιση (global dimming) και λάμπρυνση (global brightening) αναφέρεται επίσης ότι επηρεάζουν τις τάσεις των βροχοπτώσεων στην περιοχή της Μεσογείου (IPCC, 2021).

Τα μεγάλης κλίμακας χωρικά μοτίβα της ετήσιας μέσης τάσης των βροχοπτώσεων των δεδομένων E-OBS μεταξύ 1980 και 2015, που παρουσιάζονται στο Σχήμα 2.3, είναι σε

γενικές γραμμές συνεπή με τις τάσεις που προέρχονται από τις βάσεις δεδομένων CRU-TS, GPCP και GPCC (IPCC, 2021).

Ωστόσο, διαθέτουν πιο σαφείς χωρικές λεπτομέρειες. Οι τάσεις που υπολογίζονται για τους περιφερειακούς μέσους όρους είναι ευαίσθητες στην επιλογή του χρονικού περιθωρίου: για την περίοδο 1980-2015 η μέση ετήσια βροχόπτωση, που υπολογίζεται κατά μέσο όρο στις περιοχές, δείχνει μια θετική τάση (μη σημαντική στο  $p = 0,05$ ), ενώ για τις βάσεις δεδομένων CRU-TS και GPCC η τάση, που υπολογίστηκε για την περίοδο 1901-2015, είναι θετική για την βόρεια, την ανατολική και την δυτική και κεντρική Ευρώπη, ενώ δεν είναι σημαντική για τη Μεσόγειο. Οι τάσεις των βροχοπτώσεων για τη Μεσόγειο είναι σημαντικές μόνο σε επιλεγμένες περιοχές (IPCC, 2021).

Επίσης, οι τάσεις για την Βόρεια Ευρώπη δείχνουν μεγάλη χωρική μεταβλητότητα και υπόκεινται στη μεταβλητότητα πολλών δεκαετιών, που σχετίζεται με την ταλάντωση του Βορείου Ατλαντικού, αλλά είναι γενικά θετικές κατά τον 20<sup>ο</sup> αιώνα (Σχήμα 2.3). Υπάρχει μέτρια πεποίθηση ότι η μέση ετήσια βροχόπτωση στην βόρεια, την ανατολική και την δυτική και κεντρική Ευρώπη έχει αυξηθεί από τις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα (IPCC, 2021).

Στην Ευρωπαϊκή Μεσόγειο, οι παρατηρούμενες τάσεις των βροχοπτώσεων της ξηράς παρουσιάζουν έντονη μεταβλητότητα εντός της περιοχής, με το μέγεθος και το πρόσημο της τάσης τον περασμένο αιώνα να ποικίλει ανάλογα με τη χρονική περίοδο και την ακριβή περιοχή μελέτης (μέση βεβαιότητα/ εμπιστοσύνη) (IPCC, 2021).

Οι τάσεις στις χιονοπτώσεις και το λιώσιμο του χιονιού σχετίζονται με εποχιακές αλλαγές τόσο στη θερμοκρασία όσο και στις βροχοπτώσεις. Στην ανατολική Ευρώπη, οι ημερομηνίες έναρξης της τήξης έχουν μετατοπιστεί κατά μία έως δύο εβδομάδες την περίοδο 1979-2012 (Mioduszewski et al., 2015).

Στην Ευρασία, οι τάσεις στην έκταση της χιονοκάλυψης κατά την άνοιξη και στις αρχές του καλοκαιριού έχουν αυξηθεί κατά την περίοδο 1971-2014 (Hernández-Henríquez, Déry και Derksen, 2015). Μεταξύ 1966 και 2012, κατά μέσο όρο σε ολόκληρη την Ευρασία, το μηνιαίο μέσο βάθος χιονιού μειώθηκε το φθινόπωρο και αυξήθηκε το χειμώνα και την άνοιξη (Zhong et al., 2018), ενώ η έκταση του χιονιού μειώθηκε τα τελευταία 40 χρόνια (Skaugen, Stranden και Saloranta, 2012).

Στη βόρεια Ευρώπη στα τέλη του χειμώνα και στις αρχές της άνοιξης το βάθος χιονιού και η χιονοκάλυψη μειώθηκε από τις αρχές της δεκαετίας του 1960 στη Φινλανδία και τη Νορβηγία εξαρτώμενη από το υψόμετρο (Skaugen, Strandén και Saloranta, 2012), ενώ το χειμερινό βάθος χιονιού αυξήθηκε στη βόρεια Σουηδία. Είναι πολύ πιθανό ότι από τις αρχές της δεκαετίας του 1980 σε περιοχές της βόρειας και ανατολικής Ευρώπης, που κυριαρχεί το χιόνι, η διάρκεια της περιόδου χιονόπτωσης έχει μειωθεί με την περιοχική θέρμανση και τις ημερομηνίες έναρξης της τήξης έχουν προσαυξηθεί (IPCC, 2021).

Η αυξανόμενη τάση στην επιφανειακή ακτινοβολία μικρού μήκους κύματος, σύμφωνα με την έκθεση AR5 WGII (IPCC, 2014) ότι έχει συμβεί από τη δεκαετία του 1980, τεκμηριώνεται τόσο για την Ευρώπη όσο και την περιοχή της Μεσογείου (Nabat et al., 2014; Sanchez-Lorenzo et al., 2015; Cramer, Guiot και Marini, 2020). Αυτή η αυξητική τάση έχει αποδοθεί στη μείωση των ανθρωπογενών θετικών αερολυμάτων κατά την περίοδο 1980-2012 (Nabat et al., 2014). Είναι πιθανό ότι οι τάσεις στα ανθρωπογενή αερολύματα στην Ευρώπη έχουν δημιουργήσει θετικές τάσεις στην ακτινοβολία μικρού μήκους κύματος και στη θερμοκρασία της επιφάνειας από τη δεκαετία του 1980 (IPCC, 2021).

Αξιολογήσεις των παρατηρούμενων ευρωπαϊκών τάσεων στα ακραία μετεωρολογικά φαινόμενα και τους παράγοντες επίπτωσης στο κλίμα αναφέρονται σε άλλα σημεία της παραπάνω έκθεσης (IPCC, 2014). Η έκθεση τεκμηριώνει μια αύξηση στη συχνότητα και την έκταση των κυμάτων καύσωνα και τις ημερήσιες μέγιστες θερμοκρασίες, ενώ εξετάζει την αβεβαιότητα σχετικά με την ανίχνευση των τάσεων στις μετεωρολογικές ξηρασίες και τον ρόλο της αυξανόμενης ζήτησης ατμοσφαιρικής εξάτμισης (atmospheric evaporative demand) σε υδρολογικές και οικολογικές/ αγροτικές ξηρασίες (IPCC, 2021).

Επιπλέον αναφέρει ότι η τάση αύξησης της ξηρασίας στη Μεσόγειο, σχετίζεται με τη μείωση της υγρασίας του εδάφους και την αύξηση της ζήτησης ατμοσφαιρικών υδρατμών. Στη συνέχεια αναφέρει την αυξημένη πιθανότητα και ένταση των ακραίων ημερήσιων βροχοπτώσεων, την αυξημένη πιθανότητα πυρκαγιών, την ουσιαστική μεταβλητότητα στη μέση ταχύτητα ανέμου και τις τάσεις στις καταιγίδες και τις ριπές ανέμου. Η επιτάχυνση της άνοδος της στάθμης της θάλασσας στον Ατλαντικό και στην Ευρώπη αναλύεται επίσης στην συγκεκριμένη έκθεση (IPCC, 2021).

## Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup>: Η κλιματική αλλαγή στην Ευρώπη και τη Μεσόγειο

### 3.1 Εισαγωγή

Η κλιματική αλλαγή στην Ευρώπη και τη Μεσόγειο στην 6<sup>η</sup> Έκθεση Αξιολόγησης (Climate Change 2021: The Physical Science Basis) παρουσιάζεται υπό το πρίσμα πληροφοριών που σχετίζονται με τοπικές επιπτώσεις, καθώς και με στόχο την αντίστοιχη εκτίμηση κινδύνου.

Οι συγκεκριμένες πληροφορίες παρουσιάζονται στο παρόν Κεφάλαιο πρώτα για την Ευρώπη και στη συνέχεια για τη Μεσόγειο ειδικότερα. Σημειώνεται ότι οι πληροφορίες αυτές ανά παράγοντα κλιματικής επίπτωσης με τους παράγοντες αυτούς να αποτελούν ειδικότερα τους εξής: α) θερμότητα και ψύχος, β) υγρασία και ξηρασία, γ) άνεμος, δ) χιόνι και πάγος, ε) παράκτια και ωκεάνια φαινόμενα και στ) λοιποί παράγοντες.

### 3.2 Η κλιματική αλλαγή στην Ευρώπη και την Μεσόγειο

#### 3.2.1 Εισαγωγικά στοιχεία - κύριες εκτιμήσεις κλιματικής αλλαγής

Στην Ευρώπη υπάρχουν πολύ ισχυρές ενδείξεις για μια πολύ πιθανή αύξηση στις μέγιστες θερμοκρασίες και τη συχνότητα των επεισοδίων καύσωνα. Η αύξηση του μεγέθους και της συχνότητας των υψηλών μέγιστων θερμοκρασιών έχει παρατηρηθεί σταθερά σε όλες τις περιοχές, συμπεριλαμβανομένων της Κεντρικής Ευρώπης και της Νότιας Ευρώπης (IPCC, 2021).

Στη Βόρεια Ευρώπη έχει παρατηρηθεί μια έντονη αύξηση των ακραίων χειμερινών φαινομένων υπερθέρμανσης. Οι παρατηρήσεις της θερμοκρασίας για τις χειμερινές περιόδους ψύχους δείχνουν μια μακροπρόθεσμη φθίνουσα συχνότητα στην Ευρώπη και οι τυπικές περίοδοι ψύχους, όπως αυτές που παρατηρήθηκαν τον χειμώνα 2009–2010, έχουν δύο φορές μικρότερη πιθανότητα εμφάνισης αυτήν τη στιγμή από ό,τι αν δεν είχε παρατηρηθεί μια αλλαγή του κλίματος (IPCC, 2021).

Παράλληλα, στην Ευρώπη είναι πολύ πιθανό ότι η ένταση και η συχνότητα των φαινομένων ακραίων υψηλών θερμοκρασιών θα αυξηθεί, ενώ ταυτόχρονα και η ένταση και η συχνότητα των φαινομένων ακραίου ψύχους θα μειωθεί σε σύγκριση με



το σενάριο αναφοράς της περιόδου 1995-2014, ακόμη και υπό μια υπερθέρμανση του πλανήτη κατά 1,5 °C. Αυτές οι αλλαγές είναι σχεδόν βέβαιο ότι θα συμβούν υπό μια υπερθέρμανση του πλανήτη κατά 4 °C (IPCC, 2021).

Σε περιοχική κλίμακα, είναι πιθανό η ένταση και η συχνότητα των φαινομένων ακραίων υψηλών θερμοκρασιών να αυξηθεί και η ένταση και η συχνότητα των φαινομένων ακραίου ψύχους να μειωθεί σε σύγκριση με το σενάριο αναφοράς της περιόδου 1995-2014, ακόμη και υπό μια υπερθέρμανση του πλανήτη κατά 1,5 °C. Αυτές οι αλλαγές είναι σχεδόν βέβαιο ότι θα συμβούν υπό μια υπερθέρμανση του πλανήτη κατά 4 °C (IPCC, 2021).

Επιπλέον, οι αυξήσεις των κυμάτων καύσωνα αναμένεται είναι μεγαλύτερες στη νότια Μεσόγειο και τη Σκανδιναβία. Οι μεγαλύτερες αυξήσεις στον αριθμό των ημερών καύσωνα αναμένονται για τις πόλεις της Νότιας Ευρώπης, ενώ οι πόλεις της Κεντρικής Ευρώπης θα παρατηρήσουν τις μεγαλύτερες αυξήσεις στις μέγιστες θερμοκρασίες καύσωνα (IPCC, 2021).

Από την άλλη σε ό,τι αφορά τις βροχοπτώσεις, στην Ευρώπη υπάρχουν ισχυρές ενδείξεις ότι το μέγεθος και η ένταση των ακραίων βροχοπτώσεων έχει αυξηθεί πολύ πιθανότατα από τη δεκαετία του 1950. Υπάρχει μια σημαντική αύξηση στην υψηλότερη ποσότητα βροχόπτωσης μίας ημέρας και υψηλότερη ποσότητα βροχόπτωσης πέντε ημερών κατά την περίοδο 1950–2018 στην Ευρώπη συνολικά. Ο αριθμός των μετεωρολογικών σταθμών με αυξήσεις υπερβαίνει κατά πολύ εκείνους με μειώσεις στη συχνότητα της ημερήσιας βροχόπτωσης που υπερβαίνει το 90° ή το 95° εκατοστημόριο σε σειρές ενός αιώνα. Τα γεγονότα 5, 10 και 20 ετών βροχόπτωσης μιας ημέρας και πέντε ημερών κατά τη διάρκεια του 1951-1960 έχουν γίνει πιο συνηθισμένα από τη δεκαετία του 1950 (IPCC, 2021).

Ωστόσο, μπορεί να υπάρχουν μεγάλες αποκλίσεις μεταξύ των μελετών και των περιοχών και των εποχών. Ενδείξεις για αυξανόμενες ακραίες βροχοπτώσεις παρατηρούνται συχνότερα το καλοκαίρι και το χειμώνα, αλλά όχι σε άλλες εποχές. Αύξηση παρατηρείται στην κεντρική Ευρώπη και στη Ρουμανία. Οι τάσεις στην περιοχή της Μεσογείου γενικά δεν είναι συνεπείς χωρικά, με μειώσεις στη δυτική Μεσόγειο και ορισμένες αυξήσεις στην ανατολική Μεσόγειο. Στην Ολλανδία, η συνολική βροχόπτωση, που υποβοηθείται από ακραίες τιμές υψηλότερες από το 99° εκατοστημόριο, διπλασιάζεται ανά 1 °C αύξηση της υπερθέρμανσης, αν και οι ακραίες



τάσεις βροχοπτώσεων στη Βόρεια Ευρώπη μπορεί να διαφέρουν σε διαφορετικές εποχές (IPCC, 2021).

Επιπλέον, στην Ευρώπη οι ακραίες βροχοπτώσεις πιθανότατα θα αυξηθούν σε επίπεδα υπερθέρμανσης του πλανήτη 2 °C και κάτω. Ωστόσο, είναι πολύ πιθανό να αυξηθούν για υψηλότερα επίπεδα υπερθέρμανσης για την Ευρώπη συνολικά. Η διάμεση τιμή μοντέλων CMIP6 προβλέπει αύξηση στις τιμές των περιόδων επιστροφής 10 και 50 ετών της υψηλότερης ποσότητας βροχόπτωσης μίας ημέρας και της υψηλότερης ποσότητας βροχόπτωσης πέντε ημερών στην πλειονότητα της περιοχής για ένα επίπεδο υπερθέρμανσης του πλανήτη της τάξης των 2 °C, με περισσότερο από το 95% της Ευρώπης να παρουσιάζει αύξηση σε υψηλότερα επίπεδα υπερθέρμανσης (IPCC, 2021).

Τα πιο έντονα συμβάντα βροχοπτώσεων, που παρατηρούνται σήμερα στην Ευρώπη, εκτιμάται να διπλασιαστούν σχεδόν σε εμφάνιση για κάθε 1 °C περαιτέρω υπερθέρμανσης του πλανήτη. Οι ακραίες βροχοπτώσεις εκτιμάται να αυξηθούν τόσο το χειμώνα όσο και το καλοκαίρι στην Ευρώπη (IPCC, 2021).

Υπάρχουν περιοχικές διαφορές, με μειώσεις ή καμία αλλαγή για το νότιο τμήμα της Ευρώπης, όπως η νότια Μεσόγειος, αβέβαιες αλλαγές στην κεντρική Ευρώπη και έντονη αύξηση στα υπόλοιπα τμήματα, συμπεριλαμβανομένης της περιοχής των Άλπεων, καθώς και στη βόρεια Ευρώπη. Σε έναν κόσμο θερμότερο κατά 3 °C, θα υπάρξει μια ισχυρή αύξηση των ακραίων βροχοπτώσεων πάνω από το 80% των χειρσαίων περιοχών στη βόρεια Ευρώπη (IPCC, 2021).

### **3.2.2 Θερμότητα και ψύχος**

#### **3.2.2.1 Μέση θερμοκρασία αέρα**

Ήδη από την Έκθεση AR5 WGII, μελέτες έχουν επιβεβαιώσει ότι η μέση τάση για άνοδο της θερμοκρασίας στην Ευρώπη αυξάνεται. Τα παρατηρούμενα μοτίβα τάσης θέρμανσης είναι σε μεγάλο βαθμό συνεπή με εκείνα που προσομοιώνονται από παγκόσμια και περιοχικά κλιματικά μοντέλα και είναι πολύ πιθανό οι συγκεκριμένες τάσεις να οφείλονται σε μεγάλο βαθμό στην ανθρώπινη επίδραση στο κλίμα (IPCC, 2021).

Ειδικότερα, η ανθρώπινη επίδραση στο κλίμα έχει θεωρηθεί πολύ πιθανό να είναι υπεύθυνη για ένα περισσότερο από το ήμισυ της παρατηρούμενης αύξησης στην παγκόσμια μέση θερμοκρασία της επιφάνειας μεταξύ του 1951 και του 2010, ενώ ταυτόχρονα έχει θεωρηθεί σχεδόν βέβαιο ότι η εσωτερική μεταβλητότητα από μόνη της δεν θα μπορούσε να εξηγήσει την παρατηρούμενη υπερθέρμανση του πλανήτη από το 1951 και μετά (Stocker et al., 2013).

Όλες οι τάσεις της θερμοκρασίας είναι πολύ πιθανό να συνεχιστούν για μια υπερθέρμανση του πλανήτη της τάξης του 1,5 °C ή 2 °C και 3 °C. Η μελλοντική θέρμανση οδηγεί σε υπέρβαση διαφορετικών ορίων θερμοκρασίας, που σχετίζονται α) με ασθένειες που μεταδίδονται από φορείς<sup>13</sup> (μέση βεβαιότητα/ εμπιστοσύνη) (Caminade et al., 2012; Medlock et al., 2013), β) με διεισδυτικά αλλεργιογόνα (invasive allergens) (μέση βεβαιότητα/ εμπιστοσύνη) (Storkey et al., 2014; Hamaoui-Laguel et al., 2015), γ) με τα όρια θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας στη Μεσόγειο (που είναι πιθανόν να υπερβούν τους 20 °C) ή δ) με την ανάπτυξη βακτηρίων του γένους *Vibrio* (Vezzulli et al., 2015).

Η μελλοντική θέρμανση εκτιμάται επίσης να οδηγήσει σε υπέρβαση των ορίων του δείκτη βαθμομερών ψύξης (>22 °C), που χαρακτηρίζει μια πιθανή αύξηση της ενεργειακής ζήτησης για ψύξη στη νότια Ευρώπη με την αύξηση αυτή πιθανώς να υπερβαίνει το 40% σε ορισμένες περιοχές (Sprinoni, Vogt και Barbosa, 2015) ως το 2050 σύμφωνα με το σενάριο RCP8.5 (υψηλή βεβαιότητα/ εμπιστοσύνη) (Corpora et al., 2021).

### 3.2.2.2 Υψηλές ακραίες θερμοκρασίες

Η συχνότητα των κυμάτων καύσωνα που παρατηρούνται στην Ευρώπη είναι πολύ πιθανόν να έχει αυξηθεί τις τελευταίες δεκαετίες λόγω της προκληθείσας από τον άνθρωπο αλλαγής της ατμοσφαιρικής σύνθεσης (λόγω παγκοσμίως πρωτίστως των εκπομπών θερμοκηπιακών αερίων και λόγω τοπικώς δευτερευόντως των αλλαγών

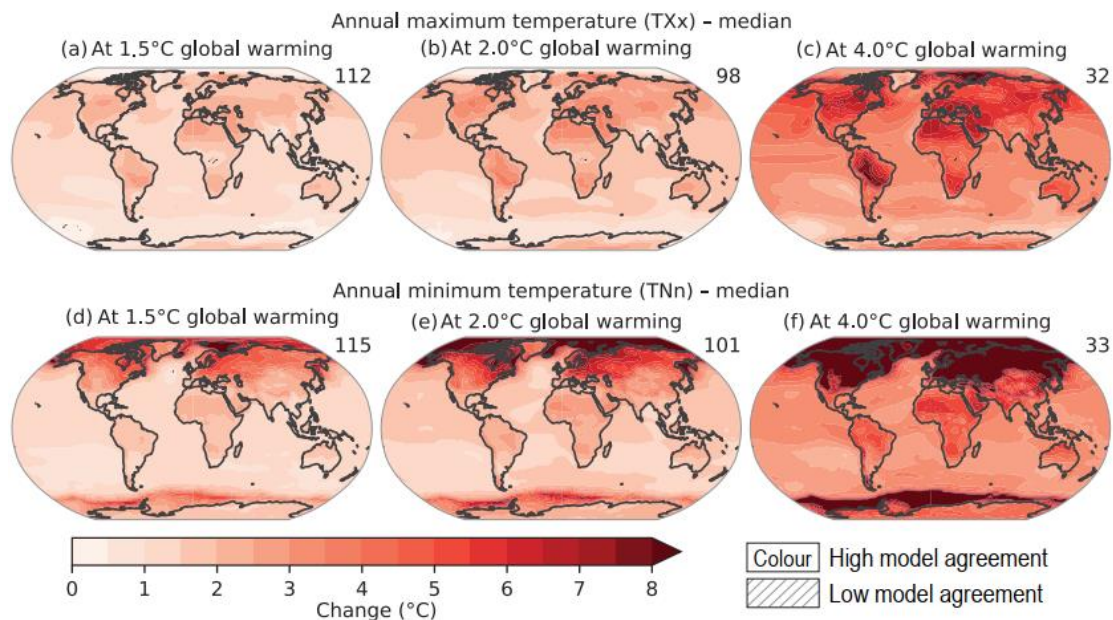
---

<sup>13</sup> Οι ασθένειες που μεταδίδονται με φορείς είναι λοιμώξεις που μεταδίδονται από το τσίμπημα μολυσμένων ειδών αρθρόποδων, όπως είναι για παράδειγμα τα κουνούπια, τα τσιμπούρια, οι τριατομίνες, οι σκνίπες και οι μαύρες μύγες. Οι αρθρόποδοι φορείς είναι ψυχρόαιμοι (εκτόθερμοι) και κατά συνέπεια ιδιαίτερα ευαίσθητοι στους κλιματικούς παράγοντες (ECDC, 2023).

χρήσης γης, των αλλαγών κάλυψης γης ή/ και των συγκεντρώσεων αερολυμάτων (IPCC,2021).

Επιπλέον μια ανθρωπογενής αύξηση του δείκτη θερμικής καταπόνησης κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού σε όλες τις περιοχές της Ευρώπης έχει εντοπιστεί με βάση τις τάσεις του δείκτη WBGT<sup>14</sup> για την περίοδο 1973 - 2012 (μέτρια βεβαιότητα/ εμπιστοσύνη, περιορισμένα στοιχεία) (Knutson και Ploshay, 2016).

Είναι πολύ πιθανό η συχνότητα των κυμάτων καύσωνα να αυξηθεί κατά τη διάρκεια του 21<sup>ου</sup> αιώνα ανεξάρτητα από το σενάριο εκπομπών σε κάθε ευρωπαϊκή περιοχή και για ένα επίπεδο παγκόσμιας θέρμανσης της τάξης του 1,5 °C και 2 °C (Σχήμα 3.1) (IPCC, 2021).

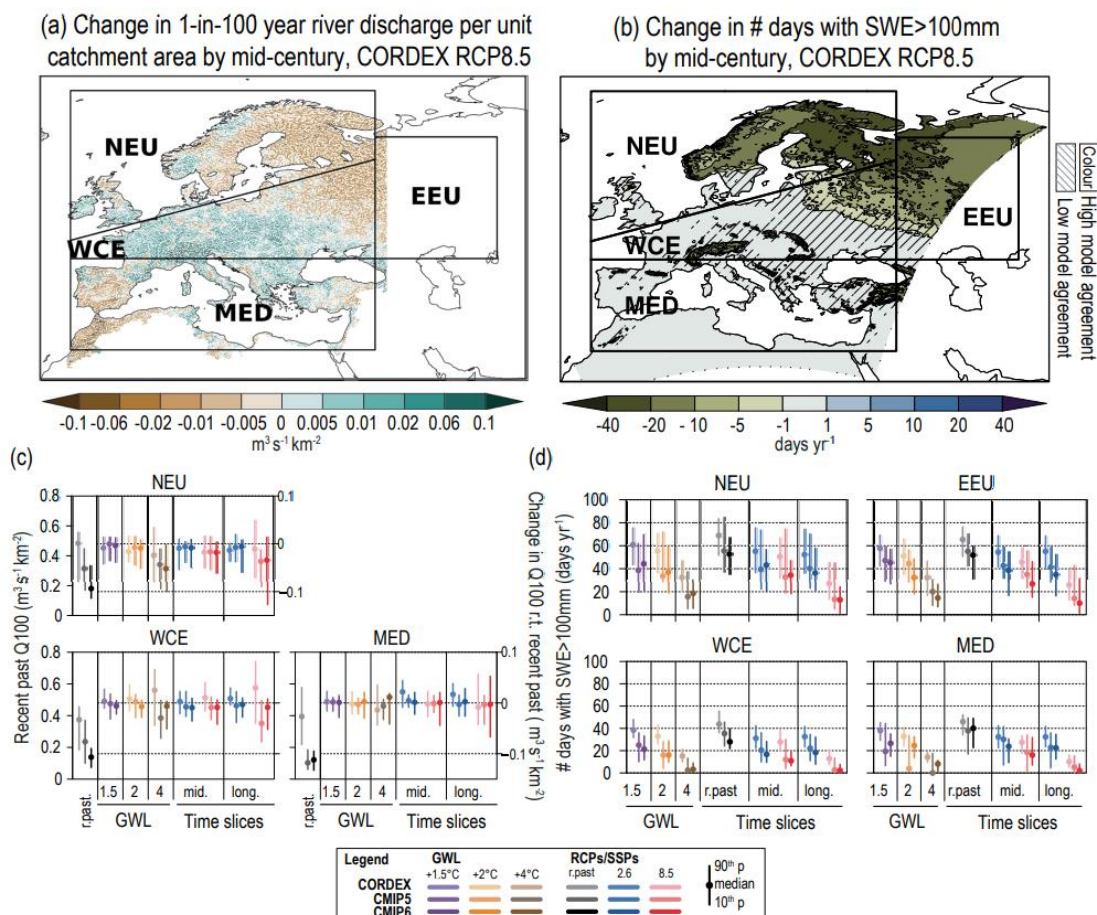


**Σχήμα 3.1:** Προβλεπόμενες αλλαγές στην a-c) ετήσια μέγιστη θερμοκρασία (TXx) και d-f) στην ετήσια ελάχιστη θερμοκρασία (TNn) στους 1,5 °C, 2 °C και 4 °C της υπερθέρμανσης του πλανήτη σε σύγκριση με τη γραμμή βάσης της περιόδου 1850-1900. Οι αριθμοί επάνω δεξιά υποδεικνύουν τον αριθμό των συμπεριλαμβανομένων προσομοιώσεων. Η αβεβαιότητα αντιπροσωπεύεται χρησιμοποιώντας την απλή προσέγγιση: καμία επικάλυψη δεν υποδεικνύει περιοχές με υψηλή συμφωνία μοντέλου, όπου  $\geq 80\%$  των μοντέλων συμφωνούν στο πρόσημο της αλλαγής. Οι διαγώνιες γραμμές υποδεικνύουν περιοχές με χαμηλή συμφωνία μοντέλου, όπου  $< 80\%$  των μοντέλων συμφωνούν στο πρόσημο της αλλαγής

Πηγή: IPCC, 2021

<sup>14</sup> Ο δείκτης WBGT (wet-bulb globe temperature ή θερμοκρασία υγρού βολβού σφαίρας) είναι ένα μέτρο της θερμικής καταπόνησης στο άμεσο ηλιακό φως, που λαμβάνει υπόψη τη θερμοκρασία, την υγρασία, την ταχύτητα του ανέμου, τη γωνία του ήλιου και τη νεφοκάλυψη (ηλιακή ακτινοβολία). Διαφέρει από τον δείκτη θερμότητας, που λαμβάνει υπόψη τη θερμοκρασία και την υγρασία και υπολογίζεται για σκιερές περιοχές (National Weather Service, χ.χ.).

Το θερμικό στρες, που οφείλεται τόσο στην υψηλή θερμοκρασία όσο και υγρασία και που επηρεάζει τη νοσηρότητα, τη θνησιμότητα και την ικανότητα εργασίας, εκτιμάται να αυξηθεί σύμφωνα με όλα τα σενάρια εκπομπών και τα επίπεδα παγκόσμιας θέρμανσης μέχρι τα μέσα του αιώνα (Σχήμα 3.2) (IPCC, 2021).



**Σχήμα 3.2:** Προβλεπόμενες αλλαγές σε επιλεγμένους δείκτες οδηγών επίπτωσης κλίματος για την Ευρώπη: α) μέση μεταβολή για 1 στα 100 χρόνια εκφόρτιση ποταμού ανά μονάδα υδρολογικής λεκάνης ( $Q_{100}$ ,  $m^3/s \cdot km^2$ ), β) μέση αλλαγή στον αριθμό ημερών με ισοδύναμο ύψος νερού που παράγεται από την τήξη του χιονιού (SWE) πάνω από 100 mm (από Νοέμβριο ως Μάρτιο), από μοντέλα EURO-CORDEX για την περίοδο 2041-2060 σε σχέση με την περίοδο 1995-2014 και από το σενάριο RCP8.5 (οι διαγώνιες γραμμές υποδεικνύουν περιοχές όπου λιγότερο από το 80% των μοντέλων συμφωνούν στο πρόσημο (κατεύθυνση) της αλλαγής), γ) διάγραμμα ράβδων του μέσου όρου του  $Q_{100}$  ( $m^3/s \cdot km^2$ ) σε χερσαίες εκτάσεις για τις τέσσερις κλιματολογικές περιοχές της Ευρώπης (η αριστερή στήλη σε κάθε πλαίσιο (αριστερός άξονας y) δείχνει τις απόλυτες τιμές  $Q_{100}$  του πρόσφατου παρελθόντος (1995-2014) σε γκρι αποχρώσεις, ενώ οι άλλες στήλες (δεξιός άξονας y) δείχνουν τις αλλαγές  $Q_{100}$  σε σχέση με τις τιμές του πρόσφατου παρελθόντος για δύο χρονικές περιόδους (2041-2060 και 2081-2100) και για τρία επίπεδα υπερθέρμανσης του πλανήτη (1,5 °C (μωβ), 2 °C (κίτρινο) και 4 °C (καφέ)) και δ) διάγραμμα ράβδων του  $Q_{100}$  ( $m^3/s \cdot km^2$ ) απόλυτες τιμές για τον αριθμό ημερών με ισοδύναμο ύψος νερού που παράγεται από την τήξη του χιονιού (SWE)



πάνω από 100 mm, καλυμμένα σε κελιά πλέγματος με τουλάχιστον 14 τέτοιες ημέρες στο πρόσφατο παρελθόν

Πηγή: IPCC, 2021

Σύμφωνα με το σενάριο RCP8.5, ο αναμενόμενος αριθμός ημερών με τον δείκτη WBGT υψηλότερο από 31 °C είναι κατά μέσο όρο περίπου 25, 30 και 40 ημέρες το χρόνο στην περιοχή της Μεσογείου και περίπου 30, 40 και 60 ημέρες το χρόνο σε χαμηλές παράκτιες πεδιάδες, όπως η κοιλάδα του Πάδου, οι ιταλικές, οι ελληνικές και οι ισπανικές ακτές και τα νησιά της Μεσογείου (Corpora et al., 2021).

Μια μέση αύξηση μερικών ημερών το χρόνο της μέγιστης ημερήσιας θερμοκρασίας που υπερβαίνει τους 35 °C, θερμοκρασία που αποτελεί ένα τυπικό κρίσιμο όριο για την παραγωγικότητα των καλλιεργειών, αναμένεται στα μέσα του αιώνα στην κεντρική Ευρώπη και μια αύξηση 10 με 20 ημερών αναμένεται για τις περιοχές της Μεσογείου περιοχές (Σχήμα 3.2 b) (Corpora et al., 2021).

Αντίθετα, σύμφωνα με το σενάριο SSP1-2.6<sup>15</sup>, η αύξηση αυτού του αριθμού ημερών παραμένει περιορισμένη σε λιγότερο από περίπου 10 ημέρες και περιορίζεται στις περιοχές της Μεσογείου. Ο μετριασμός αναμένεται να έχει ισχυρό αποτέλεσμα, με το επικίνδυνο όριο θερμότητας του δείκτη θερμότητας > 41 °C να εκτιμάται, σύμφωνα με το σενάριο SSP58.5, να ξεπεραστεί 5-10 ημέρες περισσότερες ετησίως στις περιοχές της Μεσογείου και κατά μερικές επιπλέον ημέρες το χρόνο στις περιοχές της Δυτικής και Κεντρικής Ευρώπης και της Ανατολικής Ευρώπης. Από την άλλη, τέτοιες αυξήσεις θα απουσίαζαν ουσιαστικά στο σενάριο SSP1-2.6<sup>16</sup> (Εικόνα 3.2 d-f)) (IPCC, 2021).

---

<sup>15</sup> Το SSP1-2.6 είναι ένα από τα σενάρια των Ηνωμένων Εθνών για το μέλλον, βάσει του οποίου οι παγκόσμιες εκπομπές CO<sub>2</sub> μειώνονται σοβαρά, αλλά όχι τόσο γρήγορα, φτάνοντας στο καθαρό μηδέν μετά το 2050. Οι κοινωνίες στρέφονται σε πιο βιώσιμες πρακτικές, με το επίκεντρο να μετατοπίζεται από την οικονομική ανάπτυξη στη συνολική ευημερία. Αυξάνονται οι επενδύσεις στην παιδεία και την υγεία. Η ανισότητα μειώνεται. Οι θερμοκρασίες σταθεροποιούνται περίπου κατά 1,8 °C υψηλότερες μέχρι το τέλος του αιώνα (Januta, 2021).

<sup>16</sup> Το SSP5-8.5 είναι επίσης ένα από τα σενάρια των Ηνωμένων Εθνών για το μέλλον, το οποίο όμως θα πρέπει να αποφευχθεί με κάθε κόστος. Τα τρέχοντα επίπεδα εκπομπών CO<sub>2</sub> διπλασιάζονται περίπου ως το 2050. Η παγκόσμια οικονομία αναπτύσσεται γρήγορα, αλλά αυτή η ανάπτυξη τροφοδοτείται από την εκμετάλλευση των ορυκτών καυσίμων, καθώς και από έναν ενεργοβόρο τρόπο ζωής. Μέχρι το 2100, η μέση παγκόσμια θερμοκρασία είναι υψηλότερη κατά 4,4 °C (Januta, 2021).

### 3.2.2.3 Περίοδοι ψύχους και παγετός

Οι παρατηρήσεις θερμοκρασίας για τις χειμερινές περιόδους ψύχους στην Ευρώπη δείχνουν μια μακροπρόθεσμα φθίνουσα συχνότητα (Brunner et al., 2018) με την πιθανότητα εμφάνισής τους να εκτιμάται να μειωθεί στο μέλλον (υψηλή βεβαιότητα/ εμπιστοσύνη) και ουσιαστικά να εξαφανιστεί μέχρι το τέλος του αιώνα (IPCC, 2021).

Η συχνότητα των ημερών παγετού είναι πολύ πιθανό να μειωθεί για όλα τα σενάρια και όλους τους χρονικούς ορίζοντες (Lindner et al., 2014; Coppola et al., 2021) με συνέπειες για τη γεωργία και τα δάση. Ένας απλός δείκτης βαθμοημερών θέρμανσης, που χαρακτηρίζει τη ζήτηση θέρμανσης, δείχνει μια μεγάλη παρατηρούμενη πτωτική τάση για τη χειμερινή ζήτηση ενέργειας θέρμανσης στην Ευρώπη (Spinoni et al., 2015). Αυτή η τάση είναι πολύ πιθανό να συνεχιστεί καθ' όλη τη διάρκεια τον 21<sup>ο</sup> αιώνα, με μειώσεις της τάξης του 20% με 30% για τη Βόρεια Ευρώπη, περίπου 20% για την Κεντρική Ευρώπη και 35% για τη Νότια Ευρώπη, μέχρι τα μέσα του αιώνα και σύμφωνα με το σενάριο RCP8.5 (Spinoni et al., 2018; Coppola et al., 2021).

### 3.2.2.4 Σύνοψη

Συνοψίζοντας, ανεξάρτητα από το σενάριο, είναι σχεδόν βέβαιο ότι η αύξηση της θερμοκρασίας θα συνεχιστεί στην Ευρώπη και υπάρχει μεγάλη βεβαιότητα/ εμπιστοσύνη ότι η παρατηρούμενη αύξηση των ακραίων θερμοκρασιών οφείλεται σε ανθρώπινες δραστηριότητες. Είναι πολύ πιθανό η συχνότητα των ακραίων θερμοκρασιών να αυξηθεί κατά τον 21<sup>ο</sup> αιώνα με μια αυξανόμενη διαβάθμιση προς τις νότιες περιοχές. Οι ακραίες υψηλές θερμοκρασίες θα υπερβαίνουν συχνότερα τα κρίσιμα όρια για την υγεία, τη γεωργία και άλλους τομείς (υψηλή βεβαιότητα/ εμπιστοσύνη), με έντονες διαφορές μεταξύ των σεναρίων μετριασμού των επιπτώσεων. Είναι πολύ πιθανό ότι η συχνότητα των περιόδων ψύχους και των ημερών παγετού θα συνεχίσει να μειώνεται κατά τη διάρκεια του 21<sup>ου</sup> αιώνα και είναι πιθανό ότι οι περίοδοι ψύχους θα εξαφανιστούν ουσιαστικά προς το τέλος του αιώνα (IPCC, 2021).

### 3.2.3 Υγρασία και ξηρασία

#### 3.2.3.1 Μέση βροχόπτωση

Οι βροχοπτώσεις έχουν γενικά αυξηθεί στη βόρεια Ευρώπη και έχουν μειωθεί στη νότια Ευρώπη, ειδικά το χειμώνα (Fischer και Knutti, 2016; Knutson και Zeng, 2018). Αυτές οι τάσεις στην αύξηση της βροχόπτωσης στο βορρά και στη μείωση της βροχόπτωσης στο νότο αντιπροσωπεύονται επίσης από παγκόσμιες και περιοχικές προσομοιώσεις κλίματος (Jacob et al., 2014; Rajczak και Schär, 2017; Lionello και Scarascia, 2018; Coppola et al., 2021) και έχουν αποδοθεί στην κλιματική αλλαγή (IPCC, 2021).

Μελέτες από την Έκθεση AR5 WGII και μετά σε συνδυασμό με τα πρότζεκτ EURO-CORDEX και MED-CORDEX και το πιο πρόσφατο σύνολο CMIP6<sup>17</sup>, έχουν αυξήσει την βεβαιότητα/ εμπιστοσύνη στις περιοχικές προβολές μέσης και ακραίας βροχόπτωσης (Prein et al., 2016) και δείχνουν ότι είναι πολύ πιθανό η βροχόπτωση να αυξηθεί στη Βόρεια Ευρώπη κατά τους μήνες Δεκέμβριο, Ιανουάριο και Φεβρουάριο και να μειωθεί στη Μεσόγειο κατά τους μήνες Ιούνιο, Ιούλιο και Αύγουστο σε όλα τα κλιματικά σενάρια εκτός από τα σενάρια RCP2.6 και SSP1-2.6 και για τις περιόδους κατά τα μέσα και το τέλος του αιώνα (Coppola et al., 2021).

#### 3.2.3.2 Πλημμύρες ποταμών

Υπάρχει μια υψηλή βεβαιότητα/ εμπιστοσύνη για μια παρατηρούμενη αυξητική τάση στις πλημμύρες των ποταμών στην περιοχή της Δυτικής και Κεντρικής Ευρώπης και μια μέτρια βεβαιότητα/ εμπιστοσύνη για μείωση στις περιοχές της Βόρειας και Νότιας Ευρώπης (IPCC, 2021).

Η Ειδική Έκθεση SR1.5 παρουσιάζει στοιχεία αύξησης των αναφερόμενων πλημμυρών στο Ηνωμένο Βασίλειο κατά την περίοδο 1884–2013 και αυξανόμενες

---

<sup>17</sup> Το πρόγραμμα σύγκρισης συνδυαστικών μοντέλων (Coupled Model Intercomparison Project (CMIP)) της IPCC είναι μια διεθνής προσπάθεια βελτίωσης των κλιματικών μοντέλων, συγκρίνοντας πολλαπλές προσομοιώσεις μοντέλων με παρατηρήσεις και μεταξύ τους. Αυτές οι συγκρίσεις μπορούν να βοηθήσουν στην κατανόηση για τις προηγούμενες και μελλοντικές κλιματικές αλλαγές και επίσης να οδηγήσουν σε βελτιώσεις των κλιματικών μοντέλων (GFDL, χ.χ.). Το CMIP6 (έκτη φάση του προγράμματος) συντονίζει τις κάπως ανεξάρτητες δραστηριότητες σύγκρισης συνδυαστικών μοντέλων και τα πειράματά τους που έχουν υιοθετήσει μια κοινή υποδομή για τη συλλογή, την οργάνωση και τη διανομή εξόδου από μοντέλα που εκτελούν κοινά σύνολα πειραμάτων (ESGF-CoG, 2022).



τάσεις στα ετήσια δεδομένα μέγιστης ημερήσιας ροής κατά την περίοδο 1966–2005 σε διάφορα μέρη της Ευρώπης. Αν και η υψηλή ροή δεν παρουσιάζει ομοιόμορφες τάσεις για μια ολόκληρη περιοχή (Hall et al., 2014; Mediero et al., 2015) ή για συγκεκριμένες περιοχές Mudersbach, Bender και Netzel, 2017; Vicente-Serrano et al., 2017; Trambly et al., 2019), υπάρχουν περιοχικά πρότυπα σημαντικών τάσεων πλημμύρας (IPCC, 2021).

Με βάση την πιο εκτεταμένη βάση δεδομένων ροής ποταμών, που καλύπτει την περίοδο 1960–2010, έχει εντοπιστεί μια αύξηση της συχνότητας πλημμυρών στη βορειοδυτική Ευρώπη, μια μείωση στις μεσαίες και μεγάλες λεκάνες απορροής στη νότια Ευρώπη και μια μείωση των πλημμυρών στην Ανατολική Ευρώπη (Blöschl et al., 2019).

Οι διαπιστώσεις αυτές είναι σε συμφωνία με τις έρευνες των Mediero et al. (2014), Arheimer και Lindström (2015), Gudmundsson, Seneviratne και Zhang (2017), Krysanova et al. (2017), Kundzewicz, Pin'skwar και Brakenridge (2018) και Mangini et al. (2018).

Υπάρχει μια υψηλή βεβαιότητα/ εμπιστοσύνη για μια αύξηση στις πλημμύρες των ποταμών στην περιοχή της Δυτικής και Κεντρικής Ευρώπης και μια μέτρια βεβαιότητα/ εμπιστοσύνη για μια μείωση στις περιοχές της Βόρειας, της Ανατολικής και τη Νότιας Ευρώπης για τα μέσα και τα τέλη του αιώνα σύμφωνα με το σενάριο RCP8.5 (Di Sante et al., 2021).

Η βεβαιότητα/ εμπιστοσύνη είναι αντίστοιχα χαμηλή σύμφωνα με το σενάριο RCP2.6. Η εκτιμώμενη αύξηση στην περιοχή της Δυτικής και Κεντρικής Ευρώπης είναι περίπου 10% (18% έως το τέλος του αιώνα) και η εκτιμώμενη μείωση στην περιοχή της Βόρειας Ευρώπης είναι 5% (11% έως το τέλος του αιώνα) για μια μέγιστη ροή με περιοδικότητα 100 ετών για τα μέσα του αιώνα, σύμφωνα με το σενάριο RCP8.5 (Σχήμα 3.2 a) (Di Sante et al., 2021).

Χρησιμοποιώντας ως όριο την ανάλυση συχνότητας ακραίων γεγονότων ροής αιχμής πάνω από μια περιοδικότητα 100 ετών, που είναι το μέσο επίπεδο προστασίας του ευρωπαϊκού δικτύου ποταμών (Rojas, Feyen και Watkiss, 2013), οι Alfieri et al. (2017) και Alfieri et al. (2015) δείχνουν ότι η Ευρώπη είναι μια από τις περιοχές όπου μπορεί να εμφανιστούν οι μεγαλύτερες αυξήσεις στον κίνδυνο πλημμύρας, με λίγες μόνο

χώρες στην περιοχή της Ανατολικής Ευρώπης να παρουσιάζουν μείωση (Λιθουανία, Λευκορωσία και Πολωνία) (Osuch et al., 2017).

Επιπλέον, διαπιστώνουν μια σημαντική αύξηση των γεγονότων με αιχμή εκφόρτισης μιας περιοδικότητας άνω των 100 ετών (Q100) στο μεγαλύτερο μέρος της Ευρώπης, διαπίστωση που είναι σε συμφωνία με τους Rojas et al. (2012), Hirabayashi et al. (2013), Dankers et al. (2014), Forzieri et al. (2016), Roudier et al. (2016) και Thober et al. (2018). Παράλληλα, διαπιστώνουν μια αύξηση του μεγέθους των πλημμυρών στη νότια Ευρώπη, αν και οι Giuntoli et al. (2015) δεν κάνουν την ίδια πρόβλεψη.

Τέλος, μια μέτρια αλλά σημαντική μείωση σε μια περιοδικότητα 100 ετών εκτιμάται για τις περιοχές της νότιας (λόγω της μείωσης των βροχοπτώσεων) και της βορειοανατολικής Ευρώπης (λόγω της έντονης μείωσης των πλημμυρών ποταμών που προκαλούνται από το λιώσιμο του χιονιού) (Thober et al., 2018; Di Sante, Coppola και Giorgi, 2021).

### **3.2.3.3 Ισχυρές βροχοπτώσεις και πλημμύρες λόγω βροχόπτωσης**

Τάσεις αύξησης έντονων βροχοπτώσεων έχουν εντοπιστεί στην Ευρώπη με υψηλή βεβαιότητα/ εμπιστοσύνη για τις περιοχές της Βόρειας Ευρώπης και των Άλπεων και με μέτρια βεβαιότητα/ εμπιστοσύνη στην περιοχή της Δυτικής και Κεντρικής Ευρώπης, ενώ αποδίδονται στην κλιματική αλλαγή με υψηλή βεβαιότητα/ εμπιστοσύνη στην περιοχή της Βόρειας Ευρώπης (IPCC, 2021).

Οι Guerreiro et al. (2017), βασισμένοι σε παρατηρήσεις, έδειξαν ότι το 20% των περιοχών πόλεων στις περιοχές της Δυτικής και Κεντρικής Ευρώπης και της Μεσογείου και ένα λιγότερο από το 10% των περιοχών πόλεων στις βόρειες και δυτικές παράκτιες πόλεις επηρεάζονται από πλημμύρες λόγω βροχόπτωσης.

Εκτιμήσεις βασισμένες σε πολλαπλές γραμμές στοιχείων από κλίμακες παγκόσμιων μοντέλων μέχρι και convective permitting μοντέλων δείχνουν υψηλή βεβαιότητα/ εμπιστοσύνη σε μια ακραία αύξηση της βροχόπτωσης στις περιοχές της Βόρειας, Δυτικής και Κεντρικής και Ανατολικής Ευρώπης και στην περιοχή των Άλπεων (IPCC, 2021).

Αυξήσεις με μέτρια βεβαιότητα/ εμπιστοσύνη προβλέπονται για τη λεκάνη της Μεσογείου (με αρνητική κλίση προς τα νότια) για τα μέσα και τα τέλη του αιώνα με

βάση τα σενάρια RCP4.5<sup>18</sup>, RCP8.5 και SSP58.5<sup>19</sup> και για ένα επίπεδο παγκόσμιας υπερθέρμανσης της τάξης των 2 °C ή/ και παραπάνω (IPCC, 2021).

### 3.2.3.4 Κατολισθήσεις

Οι περίοδοι βροχόπτωσης που συνδέονται με τις κατολισθήσεις αναμένεται να αυξηθούν στην περιοχή της Κεντρικής Ευρώπης μέχρι και κατά μία επιπλέον περίοδο ετησίως όταν πρόκειται για επίπεδες περιοχές σε χαμηλά υψόμετρα, καθώς και μέχρι και κατά 14 επιπλέον περιόδους ετησίως όταν πρόκειται για υψηλότερα υψόμετρα μέχρι τα μέσα του αιώνα. Αυτό θα καταστεί ακόμη πιο εμφανές προς το τέλος του αιώνα (Schlögl και Matulla, 2018).

Μια αύξηση των κατολισθήσεων κατά 45,7% και 21,2% εκτιμάται για τη νότια Ιταλία (περιοχή Καλαβρίας) μέχρι τα μέσα του αιώνα σύμφωνα με τα σενάρια RCP4.5 και RCP8.5 (Gariano και Guzzetti, 2016), καθώς και μια αύξηση κατά 40% στην Κεντρική Ιταλία (Ουμβρία) κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου (Ciabatta et al., 2016). Μια μείωση των κατολισθήσεων εκτιμάται για την οροσειρά Πελοριτάνη στη νότια Ιταλία (τόσο σύμφωνα με το σενάριο RCP4.5 όσο και σύμφωνα με το σενάριο RCP8.5) μέχρι τα μέσα του αιώνα (Peres και Cancelliere, 2018).

Μία μικρή αύξηση για μια 10ετή περιοδικότητα εκτιμάται για τα ανατολικά Καρπάθια Όρη, τους Μολδαβικούς πρόποδες των Καρπαθίων και το βόρειο τμήμα του Μολδαβικού οροπεδίου και μια μεγαλύτερη αύξηση εκδήλωσης για μια περιοδικότητα 100 ετών εκτιμάται για τις δυτικές λοφώδεις περιοχές και τα οροπέδια της Ρουμανίας (Jurchescu et al., 2017).

### 3.2.3.5 Ξηρασία

Η περιοχή της Μεσογείου παρουσιάζει στοιχεία για μειωμένες βροχοπτώσεις μεγάλης κλίμακας κατά την περίοδο 1901-2010, οι οποίες οφείλονται τουλάχιστον εν μέρει στην

---

<sup>18</sup> Το σενάριο RCP4.5 είναι ένα σενάριο σταθεροποίησης, που σημαίνει ότι το επίπεδο κλιματικού εξαναγκασμού λόγω μεταβολής της ακτινοβολίας (radiative forcing) σταθεροποιείται στα 4,5 W/ m<sup>2</sup> πριν από το 2100 με τη χρήση μιας σειράς τεχνολογιών και στρατηγικών για τη μείωση των εκπομπών των θερμοκηπιακών αερίων (NOAA, 2023 α)).

<sup>19</sup> Το σενάριο SSP58.5 αντιπροσωπεύει το υψηλό άκρο ενός εύρους πέντε μελλοντικών κοινωνικοοικονομικών μελλοντικών μονοπατιών της ανθρωπότητας που αντιστοιχεί στο RCP8.5 (IPCC, 2018).

ανθρωπογενή εξαναγκασμό σύμφωνα με τα μοντέλα CMIP5<sup>20</sup> (Knutson and Zeng, 2018). Παρόλα αυτά, υπάρχει χαμηλή συμφωνία μεταξύ των μελετών σχετικά με την παρατηρούμενη τάση βροχόπτωσης στην περιοχή της Μεσογείου (IPCC, 2021).

Η βροχόπτωση αναμένεται να μειωθεί μέχρι τα μέσα και το τέλος του αιώνα σύμφωνα με τα μοντέλα RCP8.5 και SSP5-8.5 με μια ισχυρή συμφωνία να παρατηρείται μεταξύ των μοντέλων CMIP5, CMIP6 και των περιοχικών μοντέλων που χρησιμοποιήθηκαν στο CORDEX στην κατεύθυνση της αλλαγής. Με την ταυτόχρονη αύξηση της θερμοκρασίας και μείωση της βροχόπτωσης υπάρχει μεγάλη βεβαιότητα/ εμπιστοσύνη για μια αυξημένη ξηρασία στην περιοχή της Μεσογείου (Coppola et al., 2021).

Για την περιοχή της Βόρειας Ευρώπης υπάρχει μεγάλη βεβαιότητα/ εμπιστοσύνη για μια μείωση της ξηρασίας, γεγονός που συνδέεται με την αύξηση της μέσης βροχόπτωσης, καθώς και για μια μειωμένη μετεωρολογική ξηρασία<sup>21</sup> με βάση δείκτες, όπως ο τυποποιημένος δείκτης βροχοπτώσεων και οι διαδοχικές ξηρές ημέρες (Σχήμα 3.3 g-i) (Coppola et al., 2021).

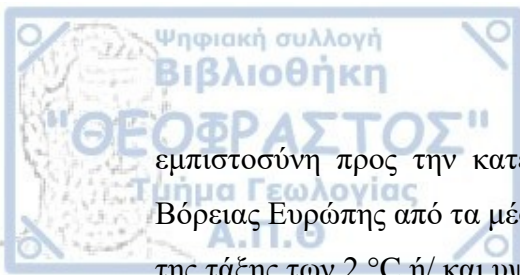
### 3.2.3.6 Υδρολογική ξηρασία

Υπάρχει μεγάλη βεβαιότητα/ εμπιστοσύνη ότι οι υδρολογικές ξηρασίες έχουν αυξηθεί στη λεκάνη της Μεσογείου με μια μεσαία βεβαιότητα/ εμπιστοσύνη στην ανθρωπογενή συμβολή και μια υψηλή βεβαιότητα/ εμπιστοσύνη ότι θα συνεχίσουν να αυξάνονται στον 21<sup>ο</sup> αιώνα για επίπεδα παγκόσμιας υπερθέρμανσης της τάξης των 2 °C ή/ και υψηλότερα για όλα τα σενάρια εκτός των σεναρίων RCP2.6 και SSP1-2.6 (IPCC, 2021).

Υπάρχει μια μέση βεβαιότητα/ εμπιστοσύνη για μια αύξηση της υδρολογικής ξηρασίας στην περιοχή της Δυτικής και Κεντρικής Ευρώπης και μια χαμηλή βεβαιότητα/

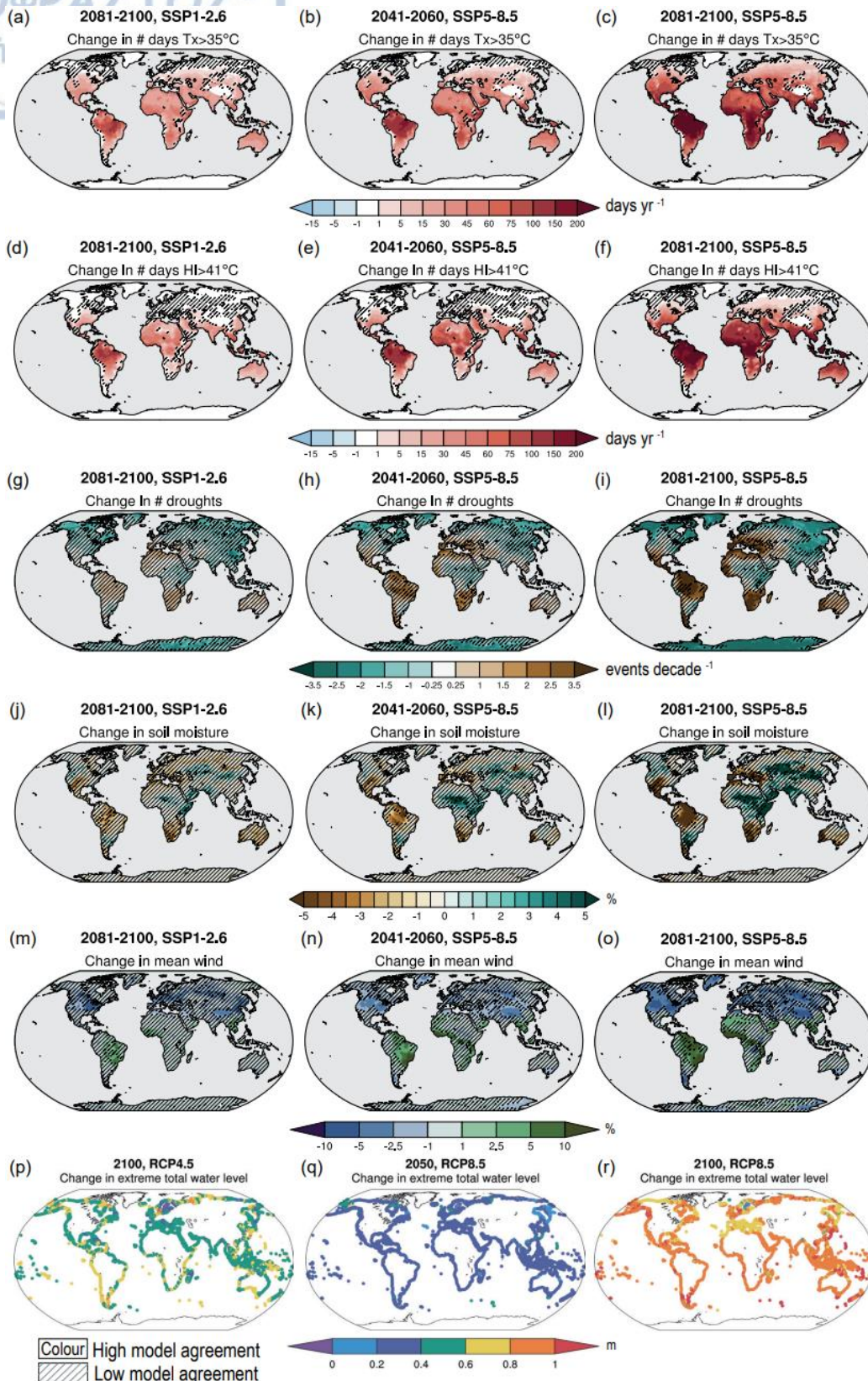
<sup>20</sup> Το CMIP5 αποτελεί την προηγούμενη φάση του προγράμματος CMIP της IPCC, που προωθούσε ένα τυπικό σύνολο προσομοιώσεων μοντέλων με στόχο να α) αξιολογήσει πόσο ρεαλιστικά είναι τα μοντέλα στην προσομοίωση του πρόσφατου παρελθόντος και β) να παρέχει προβλέψεις για τη μελλοντική κλιματική αλλαγή σε δύο χρονικές κλίμακες: βραχυπρόθεσμες (ως το 2035 περίπου) και μακροπρόθεσμες (μέχρι το 2100 και μετά από αυτό) (Lawrence Livermore National Laboratory, χ.χ.).

<sup>21</sup> Η μετεωρολογική ξηρασία συμβαίνει όταν μοτίβα ξηρού καιρού κυριαρχούν σε μια περιοχή. Από την άλλη, η υδρολογική ξηρασία παρατηρείται όταν η χαμηλή παροχή νερού γίνεται εμφανής, ειδικά σε ρέματα, ταμιεντήρες και υπόγεια ύδατα, συνήθως μετά από πολλούς μήνες μετεωρολογικής ξηρασίας, ενώ η αγροτική ξηρασία συμβαίνει όταν επηρεάζονται οι καλλιέργειες (NOAA, 2023 β)). Τέλος, η οικολογική ξηρασία είναι ένα σποραδικό έλλειμμα διαθεσιμότητας νερού που οδηγεί τα οικοσυστήματα πέρα από τα όρια ευπάθειας, επηρεάζει τις υπηρεσίες οικοσυστήματος και προκαλεί ανάδραση σε φυσικά ή/και ανθρώπινα συστήματα (NIDIS, 2023).

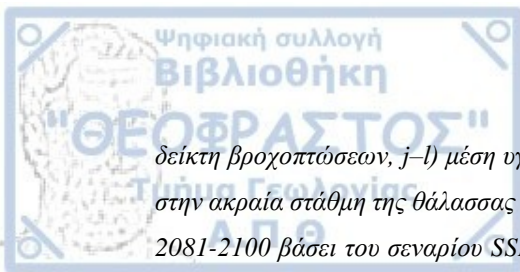


εμπιστοσύνη προς την κατεύθυνση της αλλαγής για περιοχή της Ανατολικής και Βόρειας Ευρώπης από τα μέσα του αιώνα και για επίπεδα παγκόσμιας υπερθέρμανσης της τάξης των 2 °C ή/ και υψηλότερα για όλα τα σενάρια εκτός των σεναρίων RCP2.6 και SSP1-2.6 (Σχήμα 3.3 4 g-i) (IPCC, 2021).

Η ξηρασία ρευματορροής (streamflow droughts) αναμένεται να γίνει πιο έντονη στις περιοχές της Μεσογείου και της Δυτική Ευρώπης (τα τρέχοντα γεγονότα των τελευταίων 100 ετών θα μπορούσαν να συμβούν περίπου κάθε 2 με 5 έτη μέχρι το 2080 (Forzieri et al., 2016).



Σχήμα 3.3: Μέσος όρος των προβλεπόμενων αλλαγών σε επιλεγμένους δείκτες κινητήριου κλίματος με βάση τα μοντέλα CMIP6: a–c) Μέσος αριθμός ημερών ανά έτος με μέγιστη θερμοκρασία άνω των  $35^\circ\text{C}$ , d–f) μέσος αριθμός ημερών ανά έτος με τον δείκτη θερμότητας να υπερβαίνει τους  $41^\circ\text{C}$ , g–i) αριθμός αρνητικών γεγονότων ανωμαλίας βροχοπτώσεων ανά δεκαετία με χρήση του εξαμηνιαίου τυποποιημένου



δείκτη βροχοπτώσεων,  $j-l$ ) μέση υγρασία του εδάφους (%),  $m-o$ ) μέση ταχύτητα ανέμου (%),  $p-r$ ) αλλαγή στην ακραία στάθμη της θάλασσας (περιοδικότητα 100 ετών συνολικής στάθμης νερού,  $m$ ) για την περίοδο 2081-2100 βάσει του σεναρίου SSP1-2.6 (αριστερή στήλη) και του σεναρίου SSP5-8.5 (δεξιά στήλη) και για την περίοδο 2041-2060 βάσει του σεναρίου SSP5-8.5 (μεσαία στήλη), όλα εκφρασμένα ως αλλαγές σε σχέση με την περίοδο 1995-2014 (εξάιρεση αποτελεί η ακραία συνολική στάθμη νερού που είναι για το  $p$ ) βάσει του RCP4.5 για το 2100, για το  $q$ ) βάσει του RCP8.5 για το 2050 και για το  $r$ ) βάσει το RCP8.5 για το 2100, όλα σε σχέση με το 1980–2014). Σημειώνεται ότι καμία επικάλυψη δεν υποδεικνύει περιοχές με υψηλή συμφωνία μοντέλου, όπου  $\geq 80\%$  των μοντέλων συμφωνούν στο πρόσημο (κατεύθυνση) της αλλαγής. Οι διαγώνιες γραμμές υποδεικνύουν περιοχές με χαμηλή συμφωνία μοντέλου, όπου  $< 80\%$  των μοντέλων συμφωνούν στο πρόσημο της αλλαγής

Πηγή: IPCC, 2021

Η αντίθετη τάση εκτιμάται για τις περιοχές της Βόρειας, Ανατολικής και Κεντρικής Ευρώπης, όπου οι υψηλότερες βροχοπτώσεις που υπερβαίνουν την επίπτωση της αυξημένης εξατμισοδιαπνοής αναμένεται να οδηγήσουν σε μια μείωση της συχνότητας ξηρασίας ρευματοροής (Forzieri et al., 2014).

Για επίπεδα παγκόσμιας υπερθέρμανσης της τάξης των 2 °C η ξηρασία θα γίνει πιο έντονη και μακρύτερης διάρκειας στην περιοχή της Μεσογείου και τη Γαλλία κυρίως λόγω των λιγότερων βροχοπτώσεων και της υψηλότερης εξατμισοδιαπνοής (IPCC, 2021).

Μια μείωση της διάρκειας και της έντασης της ξηρασίας εκτιμάται για τις περιοχές της Βόρειας και Ανατολικής Ευρώπης NEU και το EEU (Roudier et al., 2016). Στις νότιες Άλπεις, τόσο οι χειμερινές όσο και οι καλοκαιρινές χαμηλές ροές αναμένεται να είναι πιο σοβαρές, με μια μείωση κατά 25% κατά τη δεκαετία του 2050 (Vidal et al., 2016).

### 3.2.3.7 Γεωργική και οικολογική ξηρασία

Υπάρχει μια μεσαία βεβαιότητα/ εμπιστοσύνη ότι οι γεωργικές και οικολογικές ξηρασίες έχουν αυξηθεί στην περιοχή της Δυτικής και Κεντρικής Ευρώπης και την περιοχή της Μεσογείου και μια μεσαία βεβαιότητα/ εμπιστοσύνη ότι ανθρωπογενείς παράγοντες έχουν συμβάλει στην αύξηση σε ό,τι αφορά την περιοχή της Μεσογείου (IPCC, 2021).

Η γεωργική και οικολογική ξηρασία εκτιμάται να αυξηθεί στις περιοχές της Μεσογείου (υψηλή βεβαιότητα/ εμπιστοσύνη) και της Δυτικής και Κεντρικής Ευρώπης (μέση

βεβαιότητα/ εμπιστοσύνη) μέχρι τα μέσα του 21<sup>ου</sup> αιώνα. Επιπλέον, με μεγάλη βεβαιότητα/ εμπιστοσύνη η αύξηση αυτή εκτιμάται μέχρι τα τέλη του 21<sup>ου</sup> αιώνα για επίπεδα παγκόσμιας υπερθέρμανσης της τάξης των 2 °C ή/ και υψηλότερα σε όλα τα σενάρια εκτός των σεναρίων RCP2.6 και SSP1-2.6. Μια χαμηλή βεβαιότητα/ εμπιστοσύνη προς την κατεύθυνση της αλλαγής εκτιμάται για τις περιοχές της Ανατολικής και Βόρειας Ευρώπης για όλα τα σενάρια και τα επίπεδα υπερθέρμανσης του πλανήτη (Σχήμα 3.3 k) (IPCC, 2021).

Πρόσφατες τοπικές μελέτες παρέχουν πρόσθετο πλαίσιο κινδύνου αναφορικά με τις αλλαγές στην ευρωπαϊκή ξηρασία. Οι γεωργικές και οικολογικές συνθήκες ξηρασίας αναμένεται να εντείνουν στην περιοχή της Νότιας Ευρώπης μέχρι το τέλος του 21<sup>ου</sup> αιώνα βάσει του δωδεκάμηνου δείκτη δριμύτητας ξηρασίας (δείκτης υγρασίας του εδάφους (drought severity index)) και του ελλείματος βροχοπτώσεων του τυποποιημένου δείκτη βροχοπτώσεων του τυποποιημένου δείκτη βροχόπτωσης - εξατμισοδιαπνοής. Θα υπάρχουν μάλιστα περιοχές στη νότια Ευρώπη, όπου αυτός ο τύπος ξηρασίας θα μπορούσε να είναι έως και 14 φορές χειρότερος από τη χειρότερη ξηρασία στην ιστορική περίοδο της ανθρωπότητας (Guerreiro et al., 2018).

Συμβάντα ξηρασίας, που παρατηρούνται μια φορά ανά 10 έτη, αναμένεται να παρατηρούνται κάθε δεύτερο έτος (Mora et al., 2018, Ruosteenoja et al., 2018). Η περιοχή της Μεσογείου θα παρατηρήσει 100 επιπλέον έτη πίεσης (έτη δηλαδή με τρεις διαδοχικούς μήνες έλλειψης βροχοπτώσεων μεγαλύτερης από 25%) (Giorgi, Coppola και Raffaele, 2018). Μια αύξηση τόσο της συχνότητας ξηρασίας (ως δύο συμβάντα ανά δεκαετία) όσο και της σοβαρότητάς της (Spinoni et al., 2020), καθώς και μια αύξηση των διαδοχικών ξηρών ημερών αναμένεται για το νότιο τμήμα της περιοχής της Μεσογείου (Lionello και Scarascia, 2020).

Αντίθετα, οι ξηρασίες αναμένεται να μειωθούν το χειμώνα στην περιοχή της Βόρειας Ευρώπης (Spinoni et al., 2018). Αυτά τα ευρήματα επιβεβαιώνονται από τα σύνολα δεδομένων των EURO-CORDEX, CMIP5 και CMIP6, που δείχνουν μια αλλαγή στη συχνότητα συχνότητας ξηρασίας στην περιοχή της Μεσογείου, που θα κυμαίνεται μεταξύ 2 και 3 συμβάντων ανά δεκαετία μέχρι τα μέσα του 21<sup>ου</sup> αιώνα σύμφωνα με το σενάριο RCP8.5 (Σχήμα 3.3 g-i) (Coppola et al., 2021).



### 3.2.3.8 Πυρκαγιές

Οι καιρικές συνθήκες που ευνοούν την εμφάνιση πυρκαγιάς<sup>22</sup> έχουν αυξηθεί περίπου από το 1980 σε ορισμένες περιοχές της Ευρώπης, συμπεριλαμβανομένων των περιοχών της Μεσογείου (χαμηλή βεβαιότητα/ εμπιστοσύνη) (Barbero et al., 2020; Giannaros, Kotroni και Lagouvardos, 2021). Ωστόσο, πέρα από λίγες μελέτες, λείπουν σε μεγάλο βαθμό στοιχεία σχετικά με την απόδοση αυτών των τάσεων στην ανθρωπογενή κλιματική αλλαγή (Forzieri et al., 2016).

Ταυτόχρονα, εκτιμάται μια αύξηση των καιρικών συνθηκών που ευνοούν την εμφάνιση πυρκαγιάς για το μεγαλύτερο μέρος της Ευρώπης και ιδιαίτερα για τις περιοχές της Δυτικής, Ανατολικής και Κεντρικής Ευρώπης μέχρι το 2080 (τα τρέχοντα συμβάντα σε μια διάρκεια 100 ετών αναμένεται να παρατηρούνται κάθε 5 με 50 έτη) με μια προοδευτική αύξηση της βεβαιότητα/ εμπιστοσύνης και της συμφωνίας κατά τη διάρκεια του 21<sup>ου</sup> αιώνα (μέση βεβαιότητα/ εμπιστοσύνη) (Forzieri et al., 2016; Abatzoglou, Williams και Barbero, 2019). Με το συνδυασμό της αυξημένης ξήρανσης και θερμότητας στις περιοχές της Μεσογείου εκτιμάται μια αύξηση των δεικτών καιρού πυρκαγιάς, βάσει των σεναρίων RCP4.5 και RCP8.5, ήδη από τα μέσα του 21<sup>ου</sup> αιώνα (υψηλή βεβαιότητα/ εμπιστοσύνη) (Abatzoglou, Williams και Barbero, 2019; Dupuy et al., 2020; Ruffault et al., 2020), καθώς και μια αύξηση των καμένων εκτάσεων κατά 40% και 100% για επίπεδα παγκόσμιας υπερθέρμανσης της τάξης των 2 °C και 3 °C αντίστοιχα (Turco et al., 2018).

### 3.2.3.9 Σύνοψη

Συνοψίζοντας, παρατηρείται μεγάλη βεβαιότητα/ εμπιστοσύνη ότι οι πλημμύρες των ποταμών θα αυξηθούν στις περιοχές της Κεντρικής και Δυτικής Ευρώπης και μέτρια ή/ και χαμηλή βεβαιότητα/ εμπιστοσύνη ότι θα μειωθούν στις περιοχές της Βόρειας, Ανατολικής και Νότιας Ευρώπης για τα μέσα και τα τέλη του 21<sup>ου</sup> αιώνα σύμφωνα με τα σενάρια RCP8.5 και RCP2.6 αντίστοιχα. Παρατηρείται επιπλέον μεγάλη βεβαιότητα/ εμπιστοσύνη ότι η ξηρασία θα αυξηθεί για τα μέσα και τα τέλη του 21<sup>ου</sup> αιώνα σύμφωνα με τα σενάρια RCP8.5 και SSP5-8.5. Παρατηρείται ακόμα μεγάλη

<sup>22</sup> Ο καιρικές συνθήκες που ευνοούν την εμφάνιση πυρκαγιάς είναι η χρήση μετεωρολογικών παραμέτρων, όπως η σχετική υγρασία, η ταχύτητα και η κατεύθυνση του ανέμου, τα ύψη ανάμειξης και η υγρασία του εδάφους, για να καθοριστεί αν οι συνθήκες είναι ευνοϊκές για την ανάπτυξη φωτιάς και τη διασπορά καπνού (NOAA, 2023 γ)).

βεβαιότητα/ εμπιστοσύνη ότι οι γεωργικές, οικολογικές και υδρολογικές ξηρασίες θα αυξηθούν στην περιοχή της Μεσογείου για τα μέσα και τα τέλη του 21<sup>ου</sup> αιώνα σύμφωνα με όλα τα σενάρια RCP εκτός από το σενάριο RCP2.6, καθώς και για επίπεδα παγκόσμιας υπερθέρμανσης της τάξης των 2 °C ή/ και υψηλότερα. Υπάρχει μεγάλη βεβαιότητα/ εμπιστοσύνη στην αύξηση των καιρικών συνθηκών που ευνοούν την εμφάνιση πυρκαγιάς στην περιοχή της Μεσογείου (IPCC, 2021).

### 3.2.4 Άνεμος

#### 3.2.4.1 Μέση ταχύτητα ανέμου

Οι μέσες ταχύτητες του επιφανειακού ανέμου έχουν μειωθεί στην Ευρώπη, όπως και σε πολλές άλλες περιοχές του βόρειου ημισφαιρίου, τις τελευταίες τέσσερις δεκαετίες (μέση αυτοπεποίθηση), με μια αντιστροφή προς μια αυξητική τάση την τελευταία δεκαετία (χαμηλή βεβαιότητα/ εμπιστοσύνη). Με άλλα λόγια, τα αποτελέσματα δεν είναι πλήρως συνεπή σε όλες τις μελέτες (Tian et al., 2019; Deng et al., 2021). Επαναληπτικές αναλύσεις δείχνουν επίσης φθίνοντες ανέμους στην Ευρώπη (Deng et al., 2021) με μια όμως μεγάλη μεταβλητότητα μεταξύ των διαφορετικών δεκαετιών (Laurila, Sinclair και Gregow, 2021). Η πτωτική τάση έχει προκαλέσει αντίστοιχη πτώση στους δείκτες αιολικού δυναμικού σε όλη την Ευρώπη (χαμηλή βεβαιότητα/ εμπιστοσύνη) (Tian et al., 2019).

Ωστόσο, υπάρχει μικρή συμφωνία και περιορισμένα στοιχεία ότι οι ιστορικές τάσεις του κλιματικού μοντέλου είναι συνεπείς με τις παρατηρούμενες τάσεις (Tian et al., 2019; Deng et al., 2021). Αρκετοί παράγοντες έχουν αποδοθεί σε αυτές τις τάσεις, όπως η ανάπτυξη των δασών, η αστικοποίηση, οι τοπικές αλλαγές στη μέτρηση του ανέμου και την έκθεση σε αερολύματα (Bichet et al., 2012), καθώς και η φυσική μεταβλητότητα (Zeng et al., 2019).

Λόγω των αλλαγών της μέσης ταχύτητας του επιφανειακού ανέμου (Li et al., 2018) και της μετατόπισης προς τους πόλους της εξόδου του αεροχείμαρρου (jet stream exit) του Βόρειου Ατλαντικού, οι μέσες ταχύτητες επιφανειακών ανέμων εκτιμάται να μειωθούν στις μεσογειακές περιοχές σύμφωνα με τα σενάρια RCP4.5 και το RCP8.5 από τα μέσα του αιώνα και μετά ή για επίπεδα παγκόσμιας υπερθέρμανσης της τάξης των 2 °C ή/ και υψηλότερα (υψηλή βεβαιότητα/ εμπιστοσύνη) με αποτέλεσμα μια επακόλουθη

μείωση του δυναμικού αιολικής ενέργειας (μέση βεβαιότητα/ εμπιστοσύνη) (Σχήμα 3.3) (Hueging et al., 2013; Tobin et al., 2015, 2018; Davy et al., 2018; Karnauskas, Lundquist και Zhang, 2018; Kjellström et al., 2018; Moemken et al., 2018).

Ωστόσο, αλλαγές σε υποπεριοχές εμφανίζονται σε περιοχικά κλιματικά μοντέλα, όπως η αύξηση της ταχύτητας του ανέμου στο Αιγαίο και στη βόρεια Αδριατική Θάλασσα, όπου εκτιμάται μείωση των συμβάντων ψυχρού ανέμου τύπου Bora και αύξηση των συμβάντων δυνατών ανέμων τύπου Σιρόκου από τα μέσα του 21<sup>ου</sup> αιώνα και μετά σύμφωνα με τα σενάρια RCP4.5 και RCP8.5 (μέση βεβαιότητα/ εμπιστοσύνη) (Tobin et al., 2016; Davy et al., 2018; Belušić Vozila et al., 2019).

Εκτιμήσεις, όπως αυτές που αναφέρονται παραπάνω, υποδεικνύουν επίσης μια μείωση της μέσης ταχύτητας ανέμου στην περιοχή της Βόρειας Ευρώπης (μέτρια βεβαιότητα/ εμπιστοσύνη, μέτρια συμφωνία) (Karnauskas et al., 2018; Tobin et al., 2018; Jung και Schindler, 2019).

Η ημερήσια και η διαχρονική μεταβλητότητα του ανέμου εκτιμάται να αυξηθεί σύμφωνα με το σενάριο RCP8.5 μόνο στην περιοχή της Βόρειας Ευρώπης (χαμηλή βεβαιότητα/ εμπιστοσύνη) (Moemken et al., 2018), γεγονός που μπορεί να επηρεάσει τη διαχείριση του ηλεκτρικού δικτύου και την παραγωγή αιολικής ενέργειας (χαμηλή βεβαιότητα/ εμπιστοσύνη). Οι ταχύτητες του ανέμου εκτιμάται να μετατοπιστούν προς πιο συχνά συμβάντα κάτω από τα όρια που αναστέλλουν την παραγωγή αιολικής ενέργειας (Weber, Gotzens και Witthaut, 2018).

Τα γεγονότα μη ύπαρξης ανέμου μπορεί να γίνουν πιο συχνά σε μελλοντικά κλιματικά σενάρια σε ορισμένες περιοχές της Ευρώπης κατά το δεύτερο μισό του 21<sup>ου</sup> αιώνα (Horton et al., 2014; Vautard et al., 2018) με πιθανές συνέπειες στην ποιότητα του αέρα (χαμηλή βεβαιότητα/ εμπιστοσύνη) (ICPP, 2021).

#### **3.2.4.2 Ισχυρές ανεμοθύελλες**

Υπάρχουν μεγάλες αβεβαιότητες για τις προηγούμενες εξελίξεις των ανεμοθύελλων και των ακραίων ανέμων στην Ευρώπη. Οι ισχυροί άνεμοι κοντά στην επιφάνεια έχουν μειωθεί τις τελευταίες δεκαετίες (Smits, Klein Tank. και Können, 2005; Tian et al., 2019; Vautard et al., 2019) σύμφωνα με παρατηρήσεις κοντά στην επιφάνεια. Σημαντικές αρνητικές τάσεις της συχνότητας των κυκλώνων την άνοιξη και θετικές τάσεις το καλοκαίρι έχουν βρεθεί στη λεκάνη της Μεσογείου για την περίοδο 1979-

2008 (Lionello et al., 2016). Αντίθετα, αυξητικές τάσεις έχουν βρεθεί στις περιοχές του Αρκτικού Ωκεανού (Wickström et al., 2020). Αυτές οι τάσεις δεν συνδέονται με σημαντικές τάσεις σε εξωτροπικούς κυκλώνες (IPCC, 2021).

Υπάρχει μέτρια βεβαιότητα/ εμπιστοσύνη ότι η σειριακή ομαδοποίηση των ανεμοθύελλων, προκαλώντας σωρευμένες οικονομικές απώλειες, στο μελλοντικό κλίμα θα αυξηθεί σε πολλές περιοχές της Ευρώπης υπό τις κλιματικές προβολές στην Ευρώπη (Economou et al., 2015).

Οι ισχυροί άνεμοι και οι εξωτροπικές ανεμοθύελλες εκτιμάται να έχουν ελαφρώς αυξανόμενη συχνότητα και πλάτος στο μέλλον στην περιοχή της Βόρειας, Δυτικής και Κεντρικής Ευρώπης (Forzieri et al., 2016; Vautard et al., 2019) σύμφωνα με το σενάριο RCP8.5 μέχρι το τέλος του 21<sup>ου</sup> αιώνα (μέση βεβαιότητα/ εμπιστοσύνη), καθώς και στα ανοικτά των ευρωπαϊκών ακτών (Martínez-Alvarado et al., 2018) λόγω της αύξησης της έντασης των εξωτροπικών ανεμοθύελλων για επίπεδα παγκόσμιας υπερθέρμανσης της τάξης των 2 °C ή/ και υψηλότερα (Zappa et al., 2013) σε αυτές τις περιοχές.

Η συχνότητα των ανεμοθύελλων, συμπεριλαμβανομένων των μεσογειακών κυκλώνων, εκτιμάται να μειωθεί στις περιοχές της Μεσογείου και οι εντάσεις τους εκτιμάται να αυξηθούν από τα μέσα του 21<sup>ου</sup> αιώνα και μετά σύμφωνα με το σενάριο RCP8.5 (μέση βεβαιότητα/ εμπιστοσύνη) (Forzieri et al., 2016; Tous et al., 2016).

Εκτιμήσεις μικρότερης κλίμακας φαινομένων κινδύνου, όπως ανεμοστρόβιλοι, ριπές ανέμων, χαλαζοθύελλες και κεραυνοί δεν είναι άμεσα διαθέσιμες, εν μέρει λόγω της αδυναμίας των κλιματικών μοντέλων να προσομοιώσουν τέτοια φαινόμενα. Τα δίκτυα παρατήρησης για τέτοια φαινόμενα συνήθως στερούνται ομοιογένειας για μεγάλες περιόδους, εμποδίζοντας την ανίχνευση σαφών τάσεων.

Για παράδειγμα, ενώ δεν έχουν εντοπιστεί ισχυρές τάσεις (Hermida et al., 2015; Mohr, Kunz και Geyer, 2015; Burcea, Cică και Bojariu, 2016), τα περιβάλλοντα με χαλαζοθύελλα (ευνοϊκές ατμοσφαιρικές διαμορφώσεις) έχουν αυξηθεί σε συχνότητα (χαμηλή βεβαιότητα/ εμπιστοσύνη, περιορισμένα στοιχεία) (Sanchez et al., 2017).

Σε μελλοντικές κλιματικές περιόδους είναι πιο πιθανό ότι τα περιβάλλοντα χαρακτηριζόμενα από υψηλή συναγωγή θα γίνουν πιο συχνά μέχρι το τέλος του 21<sup>ου</sup> αιώνα με βάση το σενάριο RCP8.5 (Mohr, Kunz και Keuler, 2015) και υπάρχει μέτρια βεβαιότητα/ εμπιστοσύνη ότι τέτοια περιβάλλοντα θα γίνουν πιο συχνά μέχρι τη δεκαετία του 2050 με βάση το σενάριο RCP4.5 (IPCC, 2021).

### 3.2.4.3 Σύνοψη

Υπάρχει μεγάλη πεποίθηση ότι οι μέσες ταχύτητες του ανέμου θα μειωθούν στην περιοχή της Μεσογείου και μέτρια βεβαιότητα/ εμπιστοσύνη αντίστοιχων μειώσεων στην περιοχή της Βόρειας Ευρώπης μετά τα μέσα του 21<sup>ου</sup> αιώνα για επίπεδα παγκόσμιας υπερθέρμανσης της τάξης των 2 °C ή/ και υψηλότερα. Μια ελαφρώς αυξημένη συχνότητα και εύρος εξωτροπικών κυκλώνων, ισχυρών ανέμων και εξωτροπικών καταιγίδων εκτιμάται για τις περιοχές της Βόρειας, Κεντρικής και Δυτικής Ευρώπης μέχρι τα μέσα του 21<sup>ου</sup> αιώνα και μετά για επίπεδα παγκόσμιας υπερθέρμανσης της τάξης των 2 °C ή/ και υψηλότερα (μέτρια βεβαιότητα/ εμπιστοσύνη). Η συχνότητα των μεσογειακών κυκλώνων τροπικού τύπου (Medicanes) εκτιμάται να μειωθεί (μέτρια βεβαιότητα/ εμπιστοσύνη), αλλά η έντασή τους εκτιμάται να αυξηθεί μέχρι τα μέσα του 21<sup>ου</sup> αιώνα και μετά για επίπεδα παγκόσμιας υπερθέρμανσης της τάξης των 2 °C ή/ και υψηλότερα.

## 3.2.5 Χιόνι και πάγος

### 3.2.5.1 Χιόνι

Στην Ευρώπη έχουν παρατηρηθεί εκτεταμένες και επιταχυνόμενες μειώσεις του βάθους του χιονιού (snow depth) και του ισοδύναμου ύψους νερού, που παράγεται από την τήξη του χιονιού (Σχήμα 3.2). Στα Πυρηναία έχει παρατηρηθεί μια αργή μείωση της χιονοκάλυψης, ξεκινώντας από τη βιομηχανική περίοδο. Η μείωση αυτή παρουσίασε μια απότομη αύξηση από το 1955 και μετά (López-Moreno et al., 2020).

Οι εκτιμήσεις των φυσικών συνθηκών χιονιού στο τέλος του αιώνα εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από το σενάριο, καθώς είναι σταθερές για το σενάριο RCP2.6 και μειώνονται συνεχώς για το σενάριο RCP8.5, ώστε να μην υπάρχουν πλέον φυσικές συνθήκες χιονιού σε καμία από τις τοποθεσίες στις γαλλικές Άλπεις και τα Πυρηναία (Spandre et al., 2019). Ομοίως, η Νορβηγία και η Αυστρία θα δουν επίσης μια αύξηση του φυσικού υψομέτρου του χιονιού με συνέπειες για την περίοδο του σκι (Scott et al., 2020; Steiger και Scott, 2020).

Στις Άλπεις, πρόσφατες προσομοιώσεις εκτιμούν μια μείωση του ισοδύναμου ύψους νερού, που παράγεται από την τήξη του χιονιού στα 1500 m πάνω από την επιφάνεια

της θάλασσας κατά 80% με 90% μέχρι το 2100 σύμφωνα με το σενάριο SRES A1B<sup>23</sup> και μια περίοδο χιονιού που θα ξεκινούσε 2 με 4 εβδομάδες αργότερα και που θα τελείωνε 5 με 10 εβδομάδες νωρίτερα από τον μέσο όρο της περιόδου 1992-2012, κάτι που ισοδυναμεί με μια μετατόπιση στο υψόμετρο της τάξης των περίπου 700 m (IPCC, 2021).

Για υψόμετρα άνω των 3000 m πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας, αναμένεται μείωση του ισοδύναμου ύψους νερού, που παράγεται από την τήξη του χιονιού κατά τουλάχιστον 10% μέχρι το τέλος του 21<sup>ου</sup> αιώνα, ακόμη και αν υποθεθεί η μεγαλύτερη εκτιμώμενη αύξηση των βροχοπτώσεων. Παρόμοιες τάσεις παρατηρούνται για τα Πυρηναία και τη Σκανδιναβία (Räisänen και Eklund, 2012).

Για τις βόρειες γαλλικές Άλπεις για ένα υψόμετρο πάνω από 1500 m και τις τοποθεσίες Ötztal στις αυστριακές Άλπεις, το ισοδύναμο ύψος νερού, που παράγεται από την τήξη του χιονιού έχει μια παρόμοια πτωτική τάση που εξαρτάται υψομετρικά για τα σενάρια RCP2.6, RCP4.5 και RCP8.5 μέχρι τα μέσα του αιώνα και με μια σημαντική διαφοροποίηση να παρατηρείται στο δεύτερο μισό του αιώνα, αγγίζοντας μέχρι και συνθήκες χωρίς χιόνι σύμφωνα με το σενάριο RCP8.5 (IPCC, 2021).

### 3.2.5.2 Παγετώνες

Οι παρατηρήσεις και οι μελλοντικές εκτιμήσεις των αλλαγών της μάζας των ευρωπαϊκών παγετώνων αναφέρουν ότι είναι σχεδόν βέβαιο ότι οι παγετώνες θα συρρικνωθούν στο μέλλον και υπάρχει μια μέτρια βεβαιότητα/ εμπιστοσύνη στον χρόνο και στους ρυθμούς μεταβολής της μάζας. Η περιοχή της Κεντρικής Ευρώπης είναι μία από τις περιοχές όπου οι παγετώνες αναμένεται να χάσουν σημαντική μάζα ακόμη και σε σενάρια χαμηλών εκπομπών (IPCC, 2021).

Ειδικότερα, οι εκτιμήσεις υποδεικνύουν ότι οι παγετώνες στην περιοχή της Κεντρικής Ευρώπης θα χάσουν ένα  $63 \pm 31\%$ ,  $80 \pm 22\%$  και  $93 \pm 13\%$  της μάζας τους σε σύγκριση με το 2015 μέχρι το τέλος του 21<sup>ου</sup> αιώνα βάσει των σεναρίων RCP2.6, RCP4.5 και

---

<sup>23</sup> Το SRES A1B είναι ένα σενάριο εκπομπών της IPCC στο οποίο προβλέπεται ένας μελλοντικός κόσμος της πολύ γρήγορης οικονομικής ανάπτυξης, η χαμηλή αύξηση του πληθυσμού και η ταχεία εισαγωγή νέας και αποτελεσματικότερης τεχνολογίας. Σημαντικά υποκείμενα θέματα είναι η οικονομική και πολιτιστική σύγκλιση και η δημιουργία ικανοτήτων, με σημαντική μείωση των περιοχικών διαφορών στο κατά κεφαλήν εισόδημα. Σε αυτόν τον κόσμο, οι άνθρωποι επιδιώκουν τον προσωπικό πλούτο και όχι την περιβαλλοντική ποιότητα (IPCC Data Distribution Centre, χ.χ.).

RCP8.5 αντίστοιχα (Marzeion et al., 2020). Για τα ίδια σενάρια, οι παγετώνες στη Σκανδιναβία εκτιμάται να χάσουν ένα  $55 \pm 33\%$ ,  $66 \pm 34\%$  και  $82 \pm 24\%$  της μάζας τους σε σύγκριση με το 2015 (IPCC, 2021).

Η σχεδόν βέβαιη συρρίκνωση των παγετώνων υποδεικνύει παράλληλα σημαντική μείωση των όγκων πάγου των παγετώνων στις Ευρωπαϊκές Άλπεις μέχρι το 2050 (47% με 52% σε σχέση με το 2017 για τα σενάρια RCP2.6, RCP4.5 και RCP8.5). Σύμφωνα με το σενάριο RCP2.6, περίπου τα δύο τρίτα ( $63 \pm 11\%$ ) του όγκου πάγου κατά το έτος 2017 εκτιμάται να χαθούν μέχρι το 2100. Αντίθετα, υπό την ισχυρή θέρμανση του σεναρίου RCP8.5, οι παγετώνες στις Ευρωπαϊκές Άλπεις εκτιμάται να εξαφανιστούν σε μεγάλο βαθμό μέχρι το 2100 ( $94 \pm 4\%$  απώλεια όγκου σε σύγκριση με το 2017 (Zekollari, Huss και Farinotti, 2019)).

### 3.2.5.3 Μόνιμος πάγος

Στην Ευρώπη, ο μόνιμος πάγος βρίσκεται σε ψηλά βουνά και στη Σκανδιναβία, καθώς και στα νησιά της Αρκτικής (όπως είναι για παράδειγμα η Ισλανδία). Τις τελευταίες δεκαετίες ο μόνιμος πάγος έχει χαθεί και η επιταχυνόμενη θέρμανση σε μεγάλα υψόμετρα και γεωγραφικά πλάτη έχει ευνοήσει μια αύξηση των θερμοκρασιών του μόνιμου πάγου της τάξης των  $0,2 \pm 0,1$  °C μεταξύ του 2007 και του 2016 (Romanovsky et al., 2018; Noetzli et al., 2019).

Κατά τη διάρκεια του 21<sup>ου</sup> αιώνα, ο μόνιμος πάγος είναι πολύ πιθανό να υποστεί μια αυξανόμενη απόψυξη και υποβάθμιση σε όλα τα σενάρια και είναι σχεδόν βέβαιο ότι η έκταση και ο όγκος του μόνιμου πάγου θα μειωθούν με την αύξηση της υπερθέρμανσης του πλανήτη (IPCC, 2021).

### 3.2.5.4 Ισχυρές χιονοπτώσεις, χιονοθύελλες και χαλάζι

Υπάρχει μια χαμηλή βεβαιότητα/ εμπιστοσύνη ότι η κλιματική αλλαγή θα επηρεάσει τους επεισοδιακούς κινδύνους που σχετίζονται με τον πάγο και το χιόνι (περιορισμένα στοιχεία). Η αλλαγή στη μάζα χιονιού στις Άλπεις αναμένεται να οδηγήσει σε μια πιθανή μείωση της συνολικής δραστηριότητας χιονοστιβάδων μέχρι το τέλος του 21<sup>ου</sup> αιώνα (χαμηλή βεβαιότητα/ εμπιστοσύνη), εκτός πιθανώς από το χειμώνα και εκτός από περιοχές με μεγάλα υψόμετρα (Castebrunet et al., 2014).

Για τις χιονοθύελλες ή τις παγερές καταιγίδες, υπάρχουν επίσης περιορισμένα στοιχεία λόγω περιορισμένου αριθμού μελετών. Από την άλλη, οι έντονες χιονοπτώσεις έχουν μειωθεί σε συχνότητα τις τελευταίες δεκαετίες και αυτό αναμένεται να συνεχιστεί στο μελλοντικό κλίμα (χαμηλή βεβαιότητα/ εμπιστοσύνη) (Beniston et al., 2018).

Η παγωμένη βροχή αναμένεται να αυξηθεί στις περιοχές της Δυτικής, Κεντρικής και Νότιας Ευρώπης μέχρι το τέλος του 21<sup>ου</sup> αιώνα υπό τις συνθήκες των σεναρίων RCP4.5 και RCP8.5 (χαμηλή βεβαιότητα/ εμπιστοσύνη) (Kämäräinen et al., 2018).

Τα φαινόμενα τήξης χιονιού, θα μειωθούν στις περιοχές της Βόρειας Ευρώπης (Pall et al., 2019) και κατά 48% κατά μέσο όρο στη νότια Σκανδιναβία (Poschlod et al., 2020) λόγω της μείωσης των χιονοπτώσεων (IPCC, 2021).

### **3.2.5.5 Σύνοψη**

Συνοπτικά, η μελλοντική έκταση της χιονοκάλυψης και η εποχιακή διάρκεια θα μειωθούν (υψηλή βεβαιότητα/ εμπιστοσύνη) και είναι σχεδόν βέβαιο ότι οι παγετώνες θα συνεχίσουν να συρρικνώνονται. Εκτιμάται μείωση του όγκου του πάγου στις ευρωπαϊκές Άλπεις και τη Σκανδιναβία (υψηλή βεβαιότητα/ εμπιστοσύνη). Υπάρχει μεγάλη βεβαιότητα/ εμπιστοσύνη ότι ο μόνιμος παγετός θα υποστεί αυξανόμενη απόψυξη και υποβάθμιση κατά τον 21<sup>ο</sup> αιώνα.

## **3.2.6 Παράκτια και ωκεάνια φαινόμενα**

### **3.2.6.1 Σχετική στάθμη της θάλασσας**

Κατά την περίοδο 1900-2018, διαπιστώθηκε μια περιοχική μέση αλλαγή της σχετικής στάθμης της θάλασσας κατά 1,08 mm ετησίως (από 0,79 mm μέχρι 1,38 mm) στον υποπολικό Βόρειο Ατλαντικό σε σύγκριση με μια περιοχική μέση αλλαγή της παγκόσμιας μέσης στάθμης της θάλασσας κατά περίπου 1,7 mm ετησίως. Για την περίοδο 1993–2018, η άνοδος της σχετική στάθμη της θάλασσας σε όλη την Ευρώπη άγγιξε 2,17 mm ετησίως (από 1,66 mm μέχρι 2,66 mm) (Frederikse et al., 2020) σε σύγκριση με μια άνοδο της παγκόσμιας μέσης στάθμης της θάλασσας κατά 3,25 mm ετησίως (IPCC, 2021).



Η άνοδος της σχετικής στάθμης της θάλασσας είναι εξαιρετικά πιθανό να συνεχιστεί στους ωκεανούς γύρω από την Ευρώπη. Οι περιοχικές μέσες εκτιμήσεις της ανόδου της σχετικής της στάθμης της θάλασσας για τους ωκεανούς σε όλη την Ευρώπη κυμαίνονται από 0,4 m με 0,5 m βάσει του σεναρίου SSP1-2,6 και από 0,7 m με 0,8 m βάσει του σεναρίου SSP5-8,5 για την περίοδο 2081-2100 σε σχέση με την περίοδο 1995-2014 (μέσες τιμές), πράγμα που σημαίνει ότι υπάρχουν τοπικά μεγάλες αποκλίσεις από την εκτιμώμενη αλλαγή της παγκόσμιας μέσης στάθμης της θάλασσας (IPCC, 2021).

Αυτές οι εκτιμήσεις για την άνοδο της σχετικής της στάθμης της θάλασσας μπορεί, ωστόσο, να είναι υποτιμημένες λόγω πιθανής μερικής αναπαράστασης της καθίζησης της γης στην εκτίμησή τους. Η πρόβλεψη είναι ισχυρότερη για τις ακτές της Βόρειας Θάλασσας και του Ατλαντικού, ακολουθούμενες από τη Μαύρη Θάλασσα. Η Βαλτική Θάλασσα, αντίθετα, παρουσιάζει τη χαμηλότερη αύξηση λόγω της ανύψωσης της γης (Vousdoukas et al., 2017). Το μοντέλο συμφωνίας είναι ισχυρότερο για τη Μεσόγειο (IPCC, 2021).

### 3.2.6.2 Παράκτιες πλημμύρες

Η παρούσα 1 ανά 100 έτη ακραία συνολική στάθμη νερού είναι μεταξύ 0,5 m και 1,5 m στη λεκάνη της Μεσογείου, μεταξύ 2,5 m και 5,0 m στις ευρωπαϊκές ακτές του δυτικού Ατλαντικού, γύρω από το Ηνωμένο Βασίλειο και κατά μήκος της ακτής της Βόρειας Θάλασσας και μεταξύ 1,5 m και 2,5 m κατά μήκος της ακτής της Βαλτικής Θάλασσας (Kirezci et al., 2020). Παρόμοιες τιμές αναφέρουν οι Vousdoukas et al. (2018).

Υπάρχει μεγάλη πεποίθηση ότι το μέγεθος και η συχνότητα εμφάνισης της ακραίας συνολικής στάθμης νερού θα αυξηθούν σε ολόκληρη την Ευρώπη (Σχήμα 3.3 p-r), εκτός από τη βόρεια Βαλτική Θάλασσα. Σε όλη την περιοχή, η 1 ανά 100 έτη ακραία συνολική στάθμη νερού εκτιμάται να αυξηθεί (σε σχέση με το 1980-2014) κατά 4 cm με 40 cm και κατά 6 cm με 47 cm μέχρι το 2050 βάσει των σεναρίων RCP4,5 και RCP8.5 αντίστοιχα. Μέχρι το 2100, η αύξηση εκτιμάται να είναι 6 cm με 88 cm και 25 cm με 186 cm βάσει των σεναρίων RCP4,5 και RCP8.5 αντίστοιχα (Vousdoukas et al., 2018; Kirezci et al., 2020).

Επιπλέον, σύμφωνα με το σενάριο RCP4.5, η παρούσα 1 ανά 100 έτη ακραία συνολική στάθμη νερού εκτιμάται να έχει διάμεσες περιόδους επιστροφής μεταξύ 1 ανά 5 έτη και 1 ανά 20 έτη μέχρι το 2050 και να παρατηρείται τουλάχιστον μία φορά το χρόνο μέχρι το 2100 στη Μεσόγειο και τη Μαύρη Θάλασσα. Στην υπόλοιπη Ευρώπη εκτιμάται κυρίως να έχει διάμεσες περιόδους επιστροφής μεταξύ 1 ανά 20 έτη και 1 ανά 50 έτη μέχρι το 2050 και μεταξύ 1 ανά 5 έτη και 1 ανά 20 έτη μέχρι το 2100 (Vousdoukas et al., 2018).

Από την άλλη, σύμφωνα με το σενάριο RCP8.5, η παρούσα 1 ανά 100 έτη ακραία συνολική στάθμη νερού εκτιμάται να έχει διάμεσες περιόδους επιστροφής μεταξύ 1 ανά 1 έτος και 1 ανά 5 έτη μέχρι το 2050 και να παρατηρείται περισσότερες από μια φορά το χρόνο μέχρι το 2100 στη Μεσόγειο και τη Μαύρη Θάλασσα. Στην υπόλοιπη Ευρώπη εκτιμάται κυρίως να έχει διάμεσες περιόδους επιστροφής μεταξύ 1 ανά 5 έτη μέχρι το 2050 και να παρατηρείται περισσότερες από μια φορά το χρόνο μέχρι το 2100 (IPCC, 2021).

### 3.2.6.3 Διάβρωση των ακτών

Οι εκτιμήσεις αλλαγής της ακτογραμμής κατά την περίοδο 1984-2015 υποδεικνύουν ρυθμούς υποχώρησης της ακτογραμμής της τάξης των περίπου 0,5 m ετησίως κατά μήκος των αμμωδών ακτών των περιοχών της Δυτικής και Κεντρικής Ευρώπης και της Μεσογείου, των περίπου 4 m ετησίως στην περιοχή της Ανατολικής Ευρώπης (περιοχή της Κασπίας Θάλασσας). Από την άλλη, υποδεικνύουν περισσότερο ή λιγότερο σταθερές ακτές στην περιοχή της Βόρειας Ευρώπης (Luijendijk et al., 2018; Mentaschi et al., 2018). Οι Mentaschi et al. (2018) αναφέρουν μια απώλεια παράκτιας περιοχής της τάξης των 270 km<sup>2</sup> για μια περίοδο 30 ετών (από το 1984 μέχρι το 2015) κατά μήκος των ακτών του Ευρωπαϊκού Ατλαντικού.

Οι εκτιμήσεις υποδεικνύουν ότι οι αμμώδεις ακτές σε όλη την ήπειρο (εκτός από αυτές που συνορεύουν με τη βόρεια Βαλτική Θάλασσα) θα υποχωρήσουν κατά τον 21<sup>ο</sup> αιώνα (υψηλή βεβαιότητα/ εμπιστοσύνη). Οι εκτιμήσεις μεταβολής της διάμεσης ακτογραμμής σε σχέση με το 2010, δείχνουν ότι, μέχρι τα μέσα του αιώνα, οι ακτογραμμές θα υποχωρήσουν μεταξύ 25 m και 60 m κατά μήκος των αμμωδών ακτών στις περιοχές της Δυτικής και Κεντρικής Ευρώπης και της Μεσογείου τόσο βάσει του

σεναρίου RCP4.5 όσο και βάσει του σεναρίου RCP8.5 (Athanasiou et al., 2020; Vousdoukas et al., 2020).

Οι εκτιμήσεις για τα μέσα του 21<sup>ου</sup> αιώνα για την περιοχή της Βόρειας Ευρώπης δεν δείχνουν καμία ουσιαστικά υποχώρηση της ακτογραμμής βάσει του σεναρίου RCP4.5. Δείχνουν, ωστόσο, μια υποχώρηση περίπου 40 m βάσει του σεναρίου RCP8.5. Μέχρι το 2100, προβλέπονται διάμεσες υποχωρήσεις της ακτογραμμής της τάξης των περίπου 50 m για τις περιοχές της Βόρειας Ευρώπης και της Μεσογείου βάσει του σεναρίου RCP4.5, οι οποίες και αυξάνονται σε περίπου 80 m βάσει του σεναρίου RCP8.5 (Vousdoukas et al., 2020).

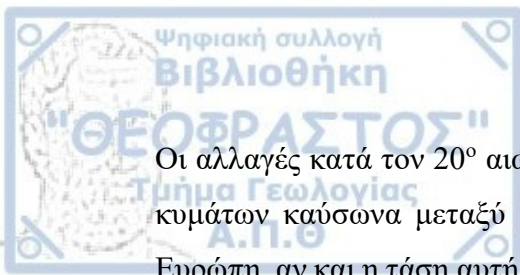
Τέλος, οι μέσες εκτιμήσεις για το τέλος του 21<sup>ου</sup> αιώνα για την περιοχή της Δυτικής και Κεντρικής Ευρώπης είναι πολύ υψηλότερες αγγίζοντας τα 100 m (βάσει του σεναρίου RCP4,5) και τα 160 m (βάσει του σεναρίου RCP8,5). Το συνολικό μήκος των αμμωδών ακτών στην Ευρώπη που εκτιμάται να υποχωρήσει κατά περισσότερο από 100 m μέχρι το 2100 βάσει των σεναρίων RCP4.5 και RCP8.5 αντιστοιχώντας σε περίπου 12.000 km και 18.000 km αντίστοιχα και σημειώνοντας μια αύξηση της τάξης των περίπου 54% (Vousdoukas et al., 2020).

Σε ό,τι αφορά την περιστασιακή διάβρωση των ακτών, το 31% με 88% όλων των παραλιών του Αιγαίου εκτιμάται, αν και με σημαντική αβεβαιότητα, να παρουσιάσουν πλήρη διάβρωση με μια άνοδο της στάθμης της θάλασσας κατά 0,5 m και ένα ανώτατο όριο ανόδου ίσο με 0,6 m (Monioudi et al., 2017).

### **3.2.6.4 Θαλάσσια κύματα καύσωνα**

Η μέση θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας του Ατλαντικού Ωκεανού και της Μεσογείου έχει αυξηθεί μεταξύ 0,25 °C και 1 °C από την περίοδο 1982-1998. Αυτή η μέση θέρμανση της επιφάνειας των ωκεανών συσχετίζεται με μεγαλύτερα και συχνότερα θαλάσσια κύματα καύσωνα στην περιοχή (Oliver et al., 2018).

Κατά την περίοδο 1982–2016, οι ακτές της Ευρώπης γνώρισαν κατά μέσο όρο περισσότερα από 2 θαλάσσια κύματα καύσωνα ετησίως με την ανατολική Μεσόγειο και τη Σκανδιναβία να αντιμετωπίζουν 2,5 με 3 θαλάσσια κύματα καύσωνα ετησίως. Η μέση διάρκεια ήταν μεταξύ 10 και 15 ημερών (Oliver et al., 2018).



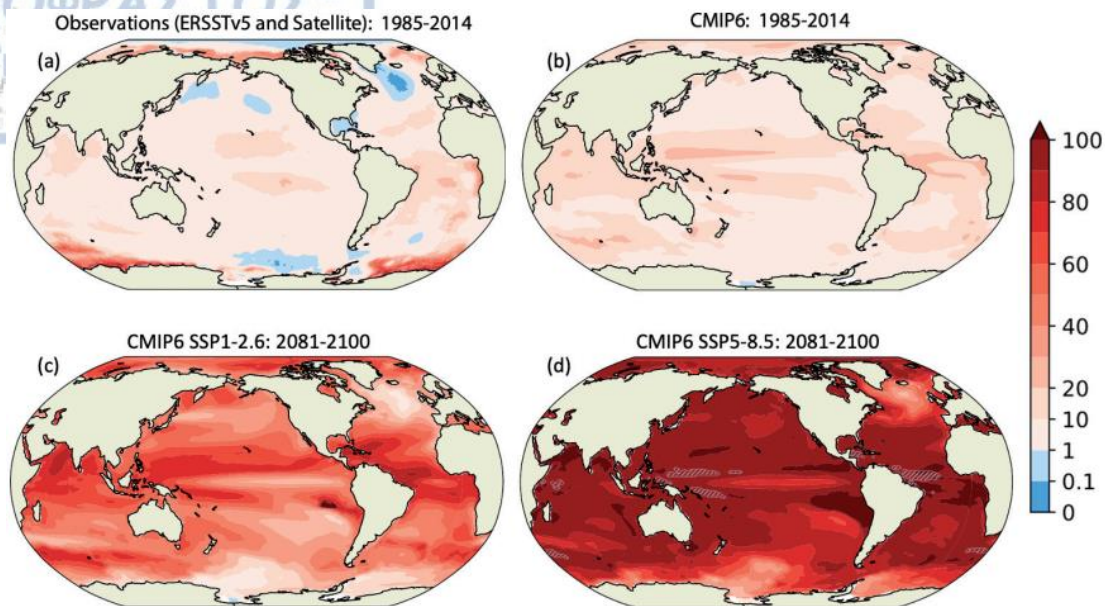
Οι αλλαγές κατά τον 20<sup>ο</sup> αιώνα δείχνουν μια αύξηση της συχνότητας των θαλάσσιων κυμάτων καύσωνα μεταξύ 1 και 2 θαλάσσια κύματα καύσωνα ανά δεκαετία στην Ευρώπη, αν και η τάση αυτή δεν είναι στατιστικά σημαντική. Μια αύξηση της έντασης ανά συμβάν παρατηρείται στον Βόρειο Ατλαντικό και τη Μεσόγειο και μείωση στον Ατλαντικό στα ανοικτά των Βρετανικών Νήσων. Ο συνολικός αριθμός ημερών θαλάσσιων κυμάτων καύσωνα ανά δεκαετία έχει αυξηθεί στη Μεσόγειο (Oliver et al., 2018).

Τα μέσα θαλάσσια κύματα καύσωνα εκτιμάται να αυξηθούν κατά 1 °C με 3 °C σε όλη την Ευρώπη μέχρι το 2100, με ένα ανώτατο όριο των περίπου 4 °C με 5 °C να παρατηρείται κατά μήκος της αρκτικής ακτής της Ευρώπης σύμφωνα με τα σενάρια RCP4.5 και RCP8.5, γεγονός που οδηγεί σε μια συνεχή αύξηση της συχνότητας, του μεγέθους και της διάρκειας των θαλάσσιων κυμάτων καύσωνα (Oliver et al., 2018).

Ταυτόχρονα, οι εκτιμήσεις για τα σενάρια SSP1-2.6 και SSP5-8.5 δείχνουν μια αύξηση των θαλάσσιων κυμάτων καύσωνα σε όλη την Ευρώπη μέχρι την περίοδο 2081-2100, σε σχέση με την περίοδο 1985–2014 (Σχήμα 3.4) (IPCC, 2021).

Οι Darmaraki et al. (2019) εκτιμούν ότι βάσει του σεναρίου RCP8.5 και μέχρι το τέλος του 21<sup>ου</sup> αιώνα θα υπάρχει ένα θαλάσσιο κύμα καύσωνα κάθε χρόνο στη βόρεια Μεσόγειο θάλασσα, ενώ κάθε τέτοιο κύμα θα διαρκεί τρεις μήνες περισσότερο, θα τέσσερις φορές πιο έντονο και 42 φορές πιο σοβαρό από τα σημερινά θαλάσσια κύματα καύσωνα στην περιοχή.

Τέλος, οι Frölicher et al. (2018) δείχνουν ότι στην Ευρώπη η μεταβολή της πιθανότητας για τον αριθμό των ημερών θαλάσσιων κυμάτων καύσωνα που υπερβαίνουν το 99<sup>ο</sup> εκατοστημόριο του προβιομηχανικού επιπέδου είναι 4%, 15% και 30% για επίπεδα υπερθέρμανσης του πλανήτη 1 °C, 2 °C και 3,5 °C αντίστοιχα. Η αύξηση των θαλάσσιων κυμάτων καύσωνα στη Μεσόγειο θα επηρεάσει πολλά είδη που ζουν σε ρηγά νερά και έχουν μειωμένη κινητικότητα με συνέπειες για συναφείς οικονομικές δραστηριότητες (Galli et al., 2017).



**Σχήμα 3.4:** Παρατηρούμενος και προσομοιωμένος λόγος περιοχικής πιθανότητας θαλάσσιων κυμάτων καύσινα για την περίοδο 1985-2014 και για το τέλος του 21<sup>ου</sup> αιώνα κάτω από δύο διαφορετικά σενάρια εκπομπών θερμοκηπιακών αερίων (Ο λόγος πιθανότητας είναι η αναλογία κατά την οποία ο αριθμός των ημερών θαλάσσιων κυμάτων καύσινα ανά έτος έχει αυξηθεί σε σχέση με την προβιομηχανική εποχή, ενώ το θαλάσσιο κύμα καύσινα ορίζεται ως η απόκλιση πέρα από το ημερήσιο 99<sup>ο</sup> εκατοστημόριο (παράθυρο 11 ημερών) στην ασχέτως εποχής θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας): α) λόγος πιθανότητας θαλάσσιων κυμάτων καύσινα κατά την περίοδο 1985-2014 (το μέσο μοτίβο θέρμανσης έχει προστεθεί για τον υπολογισμό του λόγου πιθανότητας) και b-d) προσομοίωση μέσω όρου πιθανότητας μέσω χρήσης προσομοιώσεων CMIP6 για b) τις περιόδους 1985-2014 και 2081-2100 στα σενάρια c) SSP1- 2.6 και d) SSP5-8.5 (οι περιοχές με γκρίζες διαγώνιες γραμμές στο d) υποδεικνύουν μόνιμα θαλάσσια κύματα καύσινα (>360 ημέρες καύσινα ανά έτος))

Πηγή: IPCC, 2021

### 3.2.6.5 Σύνοψη

Γενικά, υπάρχει μεγάλη βεβαιότητα/ εμπιστοσύνη ότι οι περισσότερες κλιματικές επιπτώσεις που σχετίζονται με τις ακτές/ ωκεανούς στην Ευρώπη θα αυξηθούν κατά τον 21<sup>ο</sup> αιώνα για όλα τα σενάρια και τους χρονικούς ορίζοντες. Η άνοδος της σχετικής στάθμης της θάλασσας είναι εξαιρετικά πιθανό να συνεχιστεί σε όλη την Ευρώπη (εκτός από τη βόρεια Βαλτική Θάλασσα), συμβάλλοντας σε αυξημένες παράκτιες πλημμύρες σε περιοχές με χαμηλό υψόμετρο και σε μια υποχώρηση της ακτογραμμής κατά μήκος των περισσότερων αμμωδών ακτών (υψηλή βεβαιότητα/ εμπιστοσύνη). Τα θαλάσσια κύματα καύσινα αναμένεται επίσης να αυξηθούν σε όλη την περιοχή κατά τον 21<sup>ο</sup> αιώνα (υψηλή βεβαιότητα/ εμπιστοσύνη) (IPCC, 2021).

### 3.2.7.1 Σύνθετα συμβάντα

Ένα τυπικό σύνθετο συμβάν που παρατηρείται στον ευρωπαϊκό χώρο είναι οι σύνθετες πλημμύρες λόγω του συνδυασμού ακραίων γεγονότων στο επίπεδο της θάλασσας και ακραίων γεγονότων βροχοπτώσεων που σχετίζονται με υψηλά επίπεδα απορροής. Στο παρόν κλίμα, οι ακτές της Μεσογείου εκτίθενται σε μεγαλύτερη πιθανότητα αυτού του τύπου σύνθετων πλημμυρών (Bevacqua et al., 2019).

Σύμφωνα με το σενάριο RCP8.5, η πιθανότητα αυτών των συμβάντων εκτιμάται ότι θα αυξηθεί κατά μήκος των ακτών της Βόρειας Ευρώπης (δυτική ακτή του Ηνωμένου Βασιλείου, βόρεια Γαλλία, ανατολική και νότια ακτή της Βόρειας Θάλασσας και ανατολικό μισό της Μαύρης Θάλασσας) με το ποσοστό της ακτογραμμής που αντιμετωπίζει σήμερα τέτοια γεγονότα τουλάχιστον μία φορά κάθε 6 έτη, να αυξάνεται μεταξύ 3% και 11% μέχρι το τέλος του 21<sup>ου</sup> αιώνα (Bevacqua et al., 2019).

Ακόμα, σύμφωνα με το σενάριο RCP8.5, οι περιοχές της Ρωσίας, της Γαλλίας και της Γερμανίας αναμένεται να παρουσιάσουν αύξηση στη συχνότητα και τη διάρκεια των σύνθετων υγρών και ψυχρών συμβάντων, ενώ η Ισπανία και η Βουλγαρία εκτιμάται να παραμείνουν περισσότερο σε μια ζεστή και ξηρή κατάσταση μέχρι τα μέσα του 21<sup>ου</sup> αιώνα (Sedlmeier et al., 2016).

Τα σύνθετα συμβάντα ξηρών και ζεστών καλοκαιριών έχουν αυξηθεί στην Ευρώπη. Οι Manning et al. (2019) έχουν διαπιστώσει ότι η πιθανότητα τέτοιων σύνθετων συμβάντων έχει αυξηθεί σε μεγάλο μέρος της Ευρώπης μεταξύ των περιόδων 1950-1979 και 1984-2013 κυρίως στη νότια, την ανατολική και τη δυτική Ευρώπη. Τα σύνθετα θερμά και ξηρά ακραία συμβάντα εκτιμάται να αυξηθούν στην Ευρώπη μέχρι τα μέσα του αιώνα σύμφωνα με τα σενάρια SRES A1B και RCP8.5 με μια ιδιαίτερα ισχυρή τάση να προβάλλεται για τη νότια και ανατολική Γερμανία και την Τσεχική Δημοκρατία (Sedlmeier et al., 2016).

Στο παρακάτω Πίνακα παρουσιάζεται η εκτιμώμενη κατεύθυνση της αλλαγής στους παράγοντες που οδηγούν τις κλιματικές επιπτώσεις για την Ευρώπη, καθώς και τα σχετικά επίπεδα βεβαιότητας/ εμπιστοσύνης (IPCC, 2021):

Πίνακας 3.1: Εκτιμώμενη κατεύθυνση της αλλαγής στους παράγοντες που οδηγούν τις κλιματικές επιπτώσεις για την Ευρώπη και σχετικά επίπεδα βεβαιότητα/ εμπιστοσύνης

Region	Παράγοντες που οδηγούν τις κλιματικές επιπτώσεις																													
	Θερμότητα και ψύχος		Υγρασία και ξηρασία					Άνεμος			Χιόνι και πάγος				Παράκτια και ωκεάνια φαινόμενα			Λοιπά												
	Μείση θερμοκρασία αέρα	Υπερθερμαντική ζέση	Περαιόρα ψύχους	Πανεύρος	Μείση βροχόπτωση	Πλημμυρικές ποταμών	Ισχυρές βροχοπτώσεις και ταχυμέτρες άνω βροχόπτωσης	Κατολιθώσεις	Ξηρασία	Υδρολογική ξηρασία	Γεωργική και οικολογική ξηρασία	Καφές πυρκαγιάς	Μείση ταχύτητα ανέμου	Σοβαρές ανεμοθύελλες	Τροπικοί κυκλώνες	Θύελλες άμμου και σκόνης	Χιόνι, παγετώνες και σπορίσμα πάγου	Μόρφος πάγος	Πάγος ποταμών, λιμνών και θαλασσών	Ισχυρές χιονοπτώσεις, χιονοθύελλες	Χαλάρα	Χιονοστιβάδες	Σχετική στάθμη της θάλασσας	Παράκτιες ταχυμέτρες	Ανίχνευση των ακτών	Θαλάσσια κύματα καύσωνα	Οξύτητα του ωκεανού	Καφές ρύπανσης του αέρα	Ατμοσφαιρικό CO <sub>2</sub> στην επιφάνεια	Ακτινοβολία στην επιφάνεια
Μεσόγειος	●	●	●	●	●	5						6	7			●						●	●	2	●			●		
Δυτική και Κεντρική Ευρώπη	●	●	●				4									●		●				●	●	2	●			●		
Ανατολική Ευρώπη	●	●	●													●													●	
Βόρεια Ευρώπη	●	●	●	●		1										●		●					●	8	2,3	●			●	

Υψηλή εμπιστοσύνη μείωσης      Μέτρια εμπιστοσύνη μείωσης      Χαμηλή εμπιστοσύνη στην κατεύθυνση της αλλαγής      Μέτρια εμπιστοσύνη αύξησης      Υψηλή εμπιστοσύνη αύξησης      Δεν είναι γενικά σχετικό

- Εξαιρουμένου του νότιου Ηνωμένου Βασιλείου
  - Κατά μήκος των αμμωδών ακτών και ελλείπει πρόσθετων καταβόθρων/πηγών ιζημάτων ή οποιονδήποτε φυσικών φραγμών για την υποχώρηση της ακτογραμμής
  - Η ακτογραμμή της Βαλτικής Θάλασσας αναμένεται να μετατοπιστεί μακρύτερα αν συνεχιστούν οι σημερινοί ρυθμοί αλλαγής του περιβάλλοντος της ακτογραμμής
  - Για τις Άλπεις, οι συνθήκες που ευνοούν τις κατολισθήσεις αναμένεται να αυξηθούν
  - Χαμηλή εμπιστοσύνη μείωσης στο νοτιότερο τμήμα της περιοχής
  - Γενική μείωση εκτός από το Αιγαίο
  - Μέση εμπιστοσύνη μείωσης συχνότητας και αύξησης εντάσεων
  - Εκτός από την περιοχή της βόρειας Βαλτικής Θάλασσας
- Ήδη εμφανίστηκε στην ιστορική περίοδο (μέτρια προς υψηλή εμπιστοσύνη)
  - Εμφάνιση έως το 2050 τουλάχιστον σε σενάρια RCP8.5/SSP5-8.5 (μέτρια προς υψηλή εμπιστοσύνη)
  - Εμφανίζεται μετά το 2050 και έως το 2100 τουλάχιστον σε σενάρια RCP8.5/SSP5-8.5 (μέτρια προς υψηλή εμπιστοσύνη)

Πηγή: IPCC, 2021

### 3.3 Παράδειγμα κλιματικής αλλαγής στη Μεσόγειο - καλοκαιρινή υπερθέρμανση

#### 3.3.1 Εισαγωγή

Η περιοχή της Μεσογείου δηλώνεται χαλαρά ως η περιοχή που περιβάλλει τη Μεσόγειο Θάλασσα και χαρακτηρίζεται από μια περίπλοκη ορογραφία και έντονες αντιθέσεις ξηράς – θάλασσας (IPCC, 2021).

Η περιοχή περιλαμβάνει έναν πυκνό και αυξανόμενο ανθρώπινο πληθυσμό, με μεγάλες περιοχικές διαφορές: ενώ ο πληθυσμός των ευρωπαϊκών μεσογειακών χωρών ήταν σχετικά σταθερός ή ακόμη και μειώνεται τις τελευταίες δεκαετίες, ο πληθυσμός των χωρών στις μεσογειακές περιοχές της Μέσης Ανατολής και της Βόρειας Αφρικής έχει τετραπλασιάστηκε μεταξύ 1960 και 2015 και ο βαθμός αστικοποίησης έχει αυξηθεί από 35% σε 64% κατά την ίδια περίοδο (Cramer et al., 2018). Κατά την πιο πρόσφατη περίοδο μεταξύ 2000 και 2020 το ποσοστό αστικής επέκτασης έχει ξεπεράσει το 5% (Kuang et al. al., 2021).

Η περιοχή της Μεσογείου έχει βιώσει μια σημαντική κλιματική μεταβλητότητα τις τελευταίες δεκαετίες και έχει επηρεαστεί ιδιαίτερα από σοβαρούς καύσωνες και ξηρασίες. Η αύξηση των θερμοκρασιών το καλοκαίρι θα ενισχύσει τη συχνότητα και την ένταση τέτοιων ακραίων φαινομένων και θα προκαλέσει πρόσθετη περιβαλλοντική και κοινωνικοοικονομική πίεση στην περιοχή (IPCC, 2021).

#### 3.3.2 Το κλίμα της Μεσογείου

Η Μεσόγειος έχει ένα ετερογενές κλίμα που είναι εν μέρει ημίξηρο ειδικά κατά μήκος της νότιας ακτής της Μεσογείου (Lionello et al., 2012). Χαρακτηρίζεται από ήπιους, υγρούς χειμώνες και ξηρά, θερμά ή/ και πολύ θερμά καλοκαίρια, που συνδέονται με μια μεγάλης κλίμακας κατάπτωση (subsidence), που εν μέρει σχετίζεται με τον καθοδικό κλάδο της κυκλοφορίας του Hadley. Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν τη μεσογειακή κυκλοφορία περιλαμβάνουν τη θέρμανση των μουσώνων στην Ασία (Rodwell και Hoskins, 1996; Cherchi et al., 2014; Ossó et al., 2019) και τις ανωμαλίες κυκλοφορίας που προκαλούνται από την τοπογραφία (Simpson et al., 2015).

Η εποχιακή και η διαχρονική μεταβλητότητα συνδέεται στενά με φυσικούς τρόπους μεταβλητότητας. Η Μεσόγειος θάλασσα δρα ως πηγή εξάτμισης που κυριαρχεί στον



περιφερειακό υδρολογικό κύκλο, ο οποίος χαρακτηρίζεται από μια τοπική κυκλογένεση και έναν ξεχωριστό κλάδο κυκλωνικής τροχιάς (storm track) μεσαίου γεωγραφικού πλάτους (Lionello et al., 2016). Επηρεάζει επίσης απομακρυσμένες τοποθεσίες, όπως το Σαχέλ (ζώνη που συνδέει τη κεντρική με τη βόρεια Αφρική) (Park, Bader και Matei, 2016).

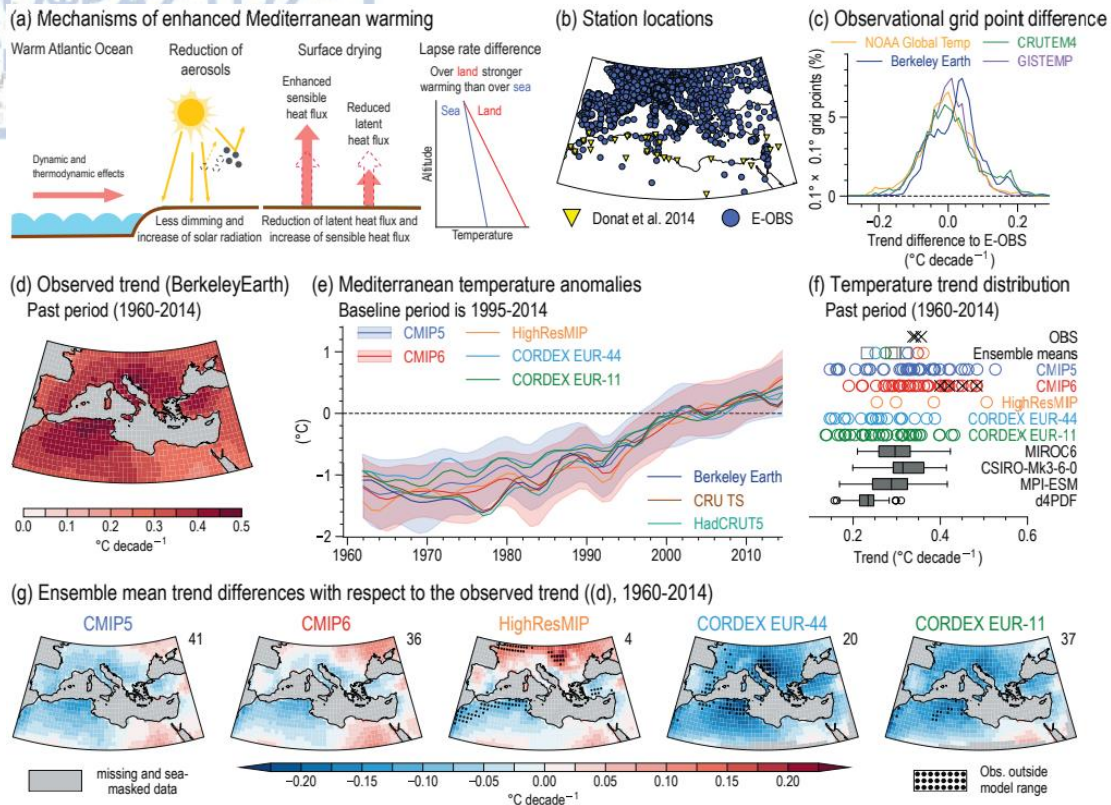
Ισχυρές καταιγίδες μπορούν να αναπτυχθούν στη Μεσόγειο. Μεταξύ αυτών, οι μεσογειακοί κύκλωνες τροπικού τύπου είναι ιδιαίτερα καταστροφικοί και παρουσιάζουν αρκετές ομοιότητες με τους τροπικούς κυκλώνες (Cavicchia, Von Storch και Gualdi, 2014; Kouroutzoglou et al., 2015; Gaertner et al., 2018). Η περιοχή της Μεσογείου χαρακτηρίζεται επίσης από ισχυρή σύζευξη γης-ατμόσφαιρας και αναδράσεις (Seneviratne et al., 2006), που προκαλούν παρατεταμένες ξηρασίες και έντονους καύσωνες, οι οποίοι μπορούν επίσης να επηρεάσουν την ηπειρωτική Ευρώπη (Zampieri et al., 2009).

Άλλες πτυχές του μεσογειακού κλίματος περιλαμβάνουν τους περιφερειακούς ανέμους, οι οποίοι μπορεί να είναι πολύ ισχυροί λόγω του φαινομένου διαύλου (channelling effect) (Obermann et al., 2018) και των ακραίων βροχοπτώσεων κατά τη διάρκεια του φθινόπωρου (Ducrocq et al., 2014; Ribes et al., 2019).

### 3.3.3 Προβλήματα παρατήρησης

Η περιοχή της Μεσογείου καλύπτει μια μεγάλη ποικιλία χωρών και οικονομιών. Αυτό έχει οδηγήσει σε μεγάλες διαφορές ως προς την ύπαρξη και τη διαθεσιμότητα καταγραφών παρατήρησης, με το νότιο τμήμα της περιοχής να καλύπτεται αραιά από μετεωρολογικούς σταθμούς (Σχήμα 3.5 b) (IPCC, 2021).

Κατά συνέπεια, λείπουν ομοιογενή, ελεγχόμενα ποιοτικά σύνολα δεδομένων παρατήρησης στο σύνολο της Μεσογειακής λεκάνης, ειδικά όταν πρόκειται για δεδομένα πριν από την εμφάνιση σημαντικών δορυφορικών παρατηρήσεων τη δεκαετία του 1970. Αβεβαιότητες παρατήρησης υπάρχουν επίσης για τις περιοχές που καλύπτονται από δίκτυα υψηλής ποιότητας όπως το European Climate Assessment & Dataset (Flaounas et al., 2012).



**Σχήμα 3.5:** Πτυχές της καλοκαιρινής υπερθέρμανσης στην περιοχή της Μεσογείου: *a)* μηχανισμοί και αναδράσεις που εμπλέκονται στην ενισχυμένη θερινή υπερθέρμανση της Μεσογείου, *b)* θέσεις σταθμών παρατήρησης, *c)* διαφορές στα σύνολα δεδομένων παρατήρησης θερμοκρασίας για τα χερσαία σημεία της Μεσογείου Θάλασσας και  $46^{\circ}B$  και δυτικά των  $30^{\circ}A$ , *d)* παρατηρούμενες γραμμικές τάσεις της θερμοκρασίας του αέρα στην επιφάνεια της γης κατά το καλοκαίρι (Ιούνιος - Αύγουστος) ( $^{\circ}C/$  δεκαετία) κατά την περίοδο 1960-2014, *e)* Χρονικές σειρές μέσω ανωμαλιών καλοκαιρινής θερμοκρασίας διαφορετικών επίγειων σημείων ( $25^{\circ}N-50^{\circ}N$ ,  $10^{\circ}W-40^{\circ}E$ ) της Μεσογείου ( $^{\circ}C$ , γραμμή βάσης 1995-2014) (τα διαφορετικά χρώματα και γραμμές αναφέρονται σε διαφορετικά σύνολα δεδομένων), *f)* κατανομή γραμμικών τάσεων μεσογειακής θερινής θερμοκρασίας την περίοδο 1960–2014 ( $^{\circ}C/$  δεκαετία) για διαφορετικά σύνολα δεδομένων (εμφανίζονται επίσης τα μέσα συνόλου) και *g)* μέσες διαφορές συνόλου σε σχέση με τη γραμμική τάση θερμοκρασίας για την περίοδο 1960–2014 ( $^{\circ}C/$  δεκαετία) για διαφορετικά σύνολα δεδομένων

Πηγή: IPCC, 2021

Μεγάλες διαφορές μέχρι και  $7^{\circ}C$  μεταξύ των συνόλων δεδομένων έχουν βρεθεί ειδικά σε ορεινές περιοχές, όπως είναι για παράδειγμα η οροσειρά του Άτλαντα στο Μαρόκο (Zittis και Hadjinicolaou, 2017; Strobach και Bel, 2019). Οι Bucchignani et al. (2016 α, β) συνέκριναν τρία διαφορετικά σύνολα δεδομένων με τις διαθέσιμες επίγειες παρατηρήσεις και διαπίστωσαν ότι παρόλο που η γεωγραφική κατανομή αβεβαιότητας είναι ποιοτικά παρόμοια για τα τρία σύνολα δεδομένων, υπάρχουν διαφορές, με την

απόλυτη αβεβαιότητα να είναι γενικά χαμηλότερη ειδικά στη Βόρεια Αφρική κατά τη θερινή και χειμερινή περίοδο. Υπάρχει μεγάλη βεβαιότητα/ εμπιστοσύνη ότι το αραιό δίκτυο παρακολούθησης σε τμήματα της περιοχής της Μεσογείου αυξάνει έντονα την αβεβαιότητα σε διαφορετικά πλέγματα δεδομένων (Σχήμα 3.5 b-c) (IPCC, 2021).

### **3.3.4 Σχετικοί ανθρωπογενείς και φυσικοί παράγοντες που οδηγούν τις κλιματικές επιπτώσεις**

Το μεσογειακό κλίμα, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια του θέρους, επηρεάζεται από μεγάλης κλίμακας μεθόδους φυσικής μεταβλητότητας, με την πιο κυρίαρχη να είναι η ταλάντωση του Βορείου Ατλαντικού το χειμώνα και η καλοκαιρινή ταλάντωση του Βορείου Ατλαντικού το καλοκαίρι (Folland et al., 2009; Bladé et al., 2012). Ωστόσο, υπάρχουν περιοχικές διαφορές (IPCC, 2021). Κατά τη διάρκεια της θετικής θερινής φάσης της ταλάντωσης του Βορείου Ατλαντικού, που σχετίζεται με ένα κατώτατο επίπεδο πάνω από τα Βαλκάνια, η Μεσόγειος είναι ασυνήθιστα υγρή (Bladé et al., 2012).

Οι οδηγοί της μεταβλητότητας του μεσογειακού κλίματος περιλαμβάνουν επίσης μεθόδους μεταβλητότητας όπως η Ατλαντική πολυετής μεταβλητότητα (Atlantic multidecadal variability) (Sutton και Dong, 2012) και ο ασιατικός μουσώνας (Rodwell και Hoskins, 1996; Logothetis et al., 2020). Επιπλέον, η αύξηση των θερμοκηπιακών αερίων, η μείωση των ανθρωπογενών αερολυμάτων στην Ευρώπη και τη Μεσόγειο από τη δεκαετία του 1980 και μετά σαν αποτέλεσμα των πολιτικών για την ατμοσφαιρική ρύπανση και την αλλαγή της ανθρωπογενούς χρήσης γης έχει αποδειχθεί ότι συνδέονται με την περιοχική υπερθέρμανση (IPCC, 2021). Ο ρόλος της μέσης ζώνης κυκλοφορίας ως παράγοντας, που οδηγεί τις κλιματικές επιπτώσεις, για το μεσογειακό κλίμα έχει τονιστεί από τους Garfinkel et al. (2020).

Ο προσδιορισμός της παρατηρούμενης καλοκαιρινής υπερθέρμανσης στη Μεσόγειο για τους παραπάνω παράγοντες, που οδηγούν τις κλιματικές επιπτώσεις και οι επιπτώσεις για μελλοντικές εκτιμήσεις συζητούνται αναλυτικότερα στη συνέχεια.

#### 3.3.4.1 Προσομοίωση μοντέλου και κατανομή

Κατά τη διάρκεια της ιστορικής περιόδου τα σύνολα δεδομένων παρατήρησης δείχνουν μεγάλη συμφωνία για την ιστορική εξέλιξη (1960–2014) της θερμοκρασίας σε κλίμακα μεσογειακής λεκάνης με μια ενισχυμένη υπερθέρμανση από τη δεκαετία του 1990 και τις πρώτες δεκαετίες του 21<sup>ου</sup> αιώνα να είναι κατά μέσο όρο περίπου περισσότερο από 1 °C θερμότερες από τα επίπεδα του τέλους του 19<sup>ου</sup> αιώνα (Σχήμα 3.5 e) (IPCC,2021).

Τις τελευταίες δεκαετίες η θερμοκρασία του αέρα στην επιφάνεια της Μεσογείου συμπεριλαμβανομένης της Μεσογείου θάλασσας, έχει αυξηθεί κατά περίπου 0,4 °C ανά δεκαετία (Macías, García-Gorriz και Stips, 2013). Οι παρατηρούμενες τάσεις στη γη δείχνουν μεγάλη γεωγραφική ανομοιογένεια (Σχήμα 3.5 d). Ταυτόχρονα, υπάρχουν αξιοσημείωτες διαφορές μεταξύ των διαφορετικών συνόλων δεδομένων σε κλίμακα σημείου πλέγματος (Σχήμα 3.5 c) (Qasmi et al., 2021).

Αρκετοί μηχανισμοί έχουν προταθεί για την ενισχυμένη υπερθέρμανση της Μεσογείου, αν και η σχετική σημασία τους και η πιθανή αλληλεπίδραση μεταξύ τους δεν είναι πλήρως κατανοητές. Οι αλλαγές στην κυκλοφορία μπορεί να έχουν συμβάλει σε αυτήν την ενισχυμένη υπερθέρμανση (Σχήμα 3.5 a) (IPCC, 2021).

Οι Sutton και Dong (2012) υποστηρίζουν ότι η πολυετής μεταβλητότητα της κυκλοφορίας πάνω από τον Ατλαντικό ωκεανό έχει προκαλέσει μια στροφή γύρω στη δεκαετία του 1990 προς θερμότερα καλοκαίρια στην Νότιας Ευρώπης. Αυτός ο μηχανισμός σχετίζεται με μια γραμμική βαροκλιτική ατμοσφαιρική απόκριση στην επιφανειακή ροή θερμότητας που σχετίζεται με την Ατλαντική πολυετή μεταβλητότητα.

Επίσης οι O'Reilly, Woollings και Zanna (2017) έχουν συσχετίσει τις θερμές καλοκαιρινές δεκαετίες με την Ατλαντική πολυετή μεταβλητότητα, αλλά η σύνδεση αυτή είναι κυρίως θερμοδυναμική. Οι Qasmi et al. (2021) εκτιμούν μια αύξηση στη μεσογειακή καλοκαιρινή θερμοκρασία κατά 0,2 °C με 0,8 °C κατά τη διάρκεια μίας θετικής Ατλαντική πολυετούς μεταβλητότητας.

Μια αυξημένη υπερθέρμανση αναμένεται στην ξηρά σε σύγκριση με τη θάλασσα λόγω των αλλαγών θερμοβαθμίδων, που σχετίζονται με τις αντιθέσεις υγρασίας της τροπόσφαιρας (Σχήμα a). Η ενισχυμένη αντίθεση θερμοκρασίας μεταξύ ξηράς και θάλασσας οδηγεί σε ανάδραση της σχετικής υγρασίας και της υγρασίας του εδάφους με την τελευταία να εξαρτάται επίσης από τα καιρικά καθεστάτα (Quesada et al.,

2012). Η παγκόσμια ενισχυμένη αντίθεση μεταξύ ξηράς και θάλασσας σε θερμοκρασία κοντά στην επιφάνεια είναι επίσης ένα ισχυρό αποτέλεσμα στα μοντέλα CMIP5 και CMIP6 (IPCC, 2021).

Λόγω του ημίξηρου κλίματος, η ισχυρή σύζευξη ατμόσφαιρας και γης έχει συμβάλει στη μεγαλύτερη αύξηση της μέσης θερμοκρασίας το καλοκαίρι σε σύγκριση με την αύξηση της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας (Seneviratne et al., 2006). Ειδικότερα, κατά τη διάρκεια των περιόδων ξηρασίας, τα όρια στην εξάτμιση λόγω της χαμηλής υγρασίας του εδάφους παρέχουν θετική ανάδραση και ενισχύουν την ένταση των καύσωνα (Lorenz et al., 2016).

Συγκρίνοντας προσομοιώσεις περιοχικών κλιματικών μοντέλων που βασίζονται στην εκ νέου ανάλυση με παρατηρήσεις, οι Knist et al. (2017) διαπίστωσαν ότι τα περιοχικά κλιματικά μοντέλα είναι σε θέση να αναπαράγουν τη διαχρονική μεταβλητότητα της υγρασίας του εδάφους, τα χωρικά μοτίβα και τους ετήσιους κύκλους επιφανειακών ροών κατά την περίοδο 1990-2008, αποκαλύπτοντας μια ισχυρή σύζευξη ατμόσφαιρας και γης ειδικά στη νότια Ευρώπη το καλοκαίρι. Επιπλέον, οι αναδράσεις των σύννεφων μπορούν να διαμορφώσουν τη μεσογειακή καλοκαιρινή θερμοκρασία (Mariotti και Dell'Aquila, 2012).

Οι παρατηρούμενες τάσεις κατά την περίοδο 1901-2010 είναι εκτός του εύρους της εσωτερικής μεταβλητότητας, που παρατηρείται στα πειράματα προβιομηχανικού ελέγχου CMIP5, ενώ συνάδουν ή είναι και μεγαλύτερες από εκείνες που έχουν προσομοιωθεί από πειράματα που περιλαμβάνουν τόσο ανθρωπογενείς όσο και φυσικές πιέσεις. Κατά συνέπεια αποδίδονται εν μέρει σε ανθρωπογενείς πιέσεις (Knutson, Zeng και Wittenberg, 2013).

Η μείωση των ανθρωπογενών αερολυμάτων στην Ευρώπη, συμπεριλαμβανομένης της Μεσογείου, ως αποτέλεσμα των ευρωπαϊκών πολιτικών αποβιομηχάνισης και ατμοσφαιρικής ρύπανσης (Turnock et al., 2016) έχει επισημανθεί ως σημαντικός παράγοντας στην παρατηρούμενη υπερθέρμανση (IPCC, 2021). Χρησιμοποιώντας πειράματα ευαισθησίας μοντέλων, οι Nabat et al. (2014) έχουν επίσης συσχετίσει την αύξηση της θερμοκρασίας στην επιφάνεια της θάλασσας στη Μεσόγειο την περίοδο από το 1980 μέχρι το 2012 με τη μείωση των συγκεντρώσεων αερολυμάτων.

Την περίοδο 1960–2014 οι παρατηρούμενες τάσεις στην ξηρά είναι συνεπείς με αυτές των περισσότερων ensemble πολλαπλών μοντέλων (Σχήμα 3.5 f), αν και υπάρχουν

μεγάλες διαφορές για μεμονωμένα μοντέλα και μέρη συνόλου. Οι μοντελοποιημένες τάσεις συνόλου-μέσης τιμής εμφανίζουν μεγάλες γεωγραφικές διακυμάνσεις. Γενικά, τόσο τα παγκόσμια όσο και τα περιοχικά μοντέλα συχνά υποτιμούν την παρατηρούμενη τάση ειδικά σε περιοχές της Βόρειας Αφρικής, της Ιταλίας, των Βαλκανίων και της Τουρκίας (IPCC, 2021).

Η αβεβαιότητα σε ό,τι αφορά την ψύξη στα παγκόσμια κλιματικά μοντέλα σχετίζεται με προσομοιωμένες τάσεις πίεσης της στάθμης της θάλασσας, που είναι αντισυσχετισμένες με την παρατηρούμενη τάση, η οποία πιθανώς οφείλεται σε συστηματικά σφάλματα μοντέλου (Boé et al., 2020 β)). Η αβεβαιότητα στην προσομοίωση της υγρασίας του εδάφους και της νεφοκάλυψης μπορεί επίσης να έχουν συμβάλει στην υποτίμηση της τάσης υπερθέρμανσης στα παγκόσμια κλιματικά μοντέλα (Van Oldenborgh et al., 2009).

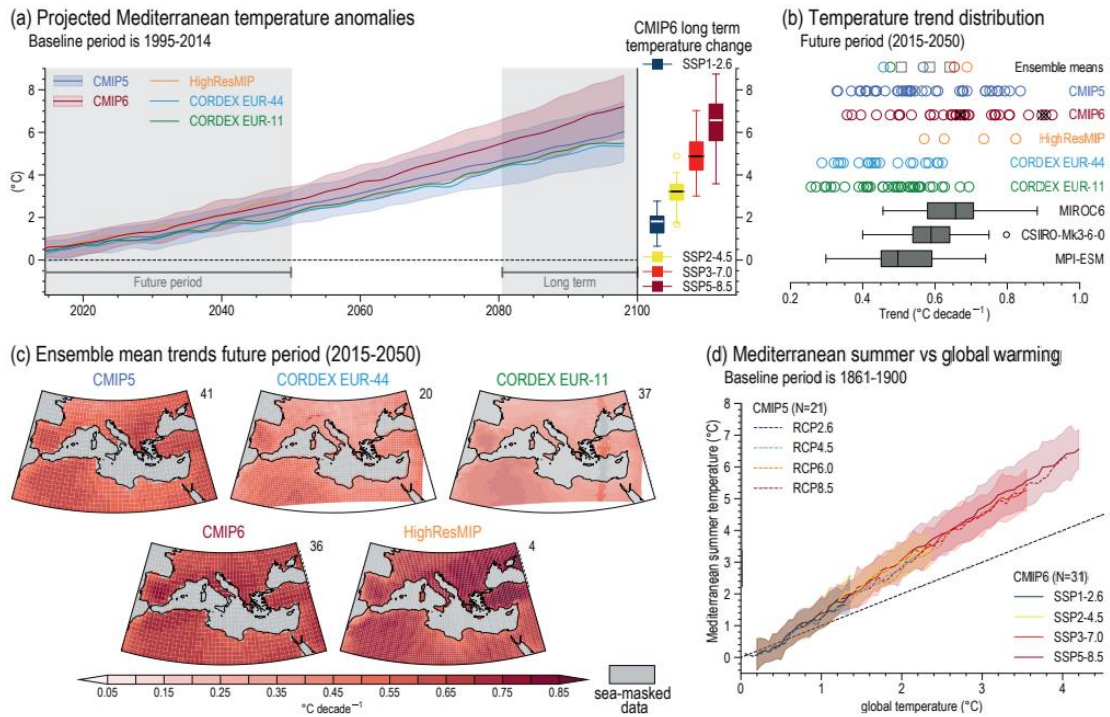
Τα αποτελέσματα CORDEX (σε μια ανάλυση  $0,44^\circ$  και  $0,11^\circ$ ) δείχνουν σταθερά μικρότερες τιμές από εκείνες στα παγκόσμια κλιματικά μοντέλα και τα διαθέσιμα σύνολα δεδομένων (Σχήμα 3.5 g) (Vautard et al., 2021). Αυτό οφείλεται εν μέρει στην υπερεκτίμηση της εξέλιξης της θερμοκρασίας πριν από το 1990 (Σχήμα 3.5 e), πιθανώς λόγω των διαφορών στις πιέσεις αερολύματος (Boé et al., 2020 α)), αν και τα παγκόσμια κλιματικά μοντέλα οδήγησης παρουσιάζουν επίσης μια ψυχρή αβεβαιότητα (Vautard et al., 2021).

Ψυχρές αβεβαιότητες κατά τις τελευταίες δεκαετίες εντοπίζονται επίσης σε προσομοιώσεις MED-CORDEX και σε προσομοιώσεις περιοχικών κλιματικών μοντέλων στο νότιο τμήμα της περιοχής της Μεσογείου, της Μέσης Ανατολής και της Βόρειας Αφρικής, αν και μια υψηλότερη ανάλυση σε συνδυασμό με τη λευκαύγεια νέων ακάλυπτων εδαφών έδαφος και την τροποποιημένη παραμετροποίηση αερολυμάτων βελτιώνουν σημαντικά τα αποτελέσματα (Bucchignani et al., 2016 α), β), 2018).

Παρά τις μεγάλες διαφορές στη μέση τάση πολλών μοντέλων (Σχήμα 3.5 g), στα περισσότερα σημεία της γης η παρατηρούμενη τάση βρίσκεται εντός του εύρους των μοντέλων σε όλα τα σύνολα. Για τη αβεβαιότητα της θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας που επιδεικνύεται από τα συζευγμένα περιοχικά κλιματικά μοντέλα, η επιλογή του παγκόσμιου μοντέλου οδήγησης έχει τον μεγαλύτερο αντίκτυπο (Darmaraki et al., 2019; Soto-Navarro et al., 2020).

### 3.3.4.2 Μελλοντικές πληροφορίες για το κλίμα από παγκόσμιες προσομοιώσεις

Η Μεσόγειος αναμένεται να είναι ένα από τα πιο εμφανή και ευάλωτα μέρη στην κλιματική αλλαγή (Diffenbaugh και Giorgi, 2012). Οι προσομοιώσεις CMIP5, CMIP6 και CORDEX μεταξύ άλλων προβάλλουν στο σύνολό τους μια μελλοντική υπερθέρμανση για τον 21<sup>ο</sup> αιώνα που κυμαίνεται μεταξύ 3,5 °C και 8,75 °C για το σενάριο RCP8,5 στο τέλος του 21<sup>ου</sup> αιώνα (έτος 2100) (Σχήμα 3.6 a, b). Τα αποτελέσματα του CMIP6 προβάλλουν μια πιο έντονη υπερθέρμανση από το CMIP5 για ένα δεδομένο σενάριο εκπομπών και μια δεδομένη χρονική περίοδο (Σχήμα 3.6 c) (Corrola et al., 2020).



**Σχήμα 3.6:** Εκτιμώμενη καλοκαιρινή υπερθέρμανση της Μεσογείου: *a)* χρονικές σειρές μέσω ανωμαλιών καλοκαιρινής θερμοκρασίας του αέρα στην επιφάνεια της γης διαφορετικών επίγειων σημείων (25°B–50°B, 10°B–40°A) της Μεσογείου (°C, περίοδος αναφοράς: 1995-2014) (οι πορτοκαλί, γαλάζιες και πράσινες γραμμές δείχνουν χαμηλοπερατά φιλτραρισμένα μέσα συνόλων HighResMIP, CORDEX EUR-44 (RCP8.5, 20 μέλη) και CORDEX EUR-11 (RCP8.5, 37 μέλη), ενώ οι μπλε και σκούρες κόκκινες γραμμές και οι σκιάσεις δείχνουν χαμηλοπερατά φιλτραρισμένα μέσα συνόλων και τυπικές αποκλίσεις των CMIP5 (RCP8.5, 41 μέλη) και CMIP6 (SSP5-8.5, 36 μέλη), *b)* κατανομή γραμμικών τάσεων μεσογειακής καλοκαιρινής θερμοκρασίας την περίοδο 2015-2050 (°C/ δεκαετία) για CORDEX EUR-11 (RCP8.5, πράσινοι κύκλοι), CORDEX EUR-44 (RCP8.5, γαλάζιοι κύκλοι), HighResMIP (υψηλής ανάλυσης μελλοντικές κλιματικές εκτιμήσεις, πορτοκαλί κύκλοι), CMIP6 (SSP5-8.5, σκούρο κόκκινοι κύκλοι), CMIP5 (RCP8.5, μπλε κύκλοι) και επιλεγμένα μεγάλης κλίμακας ενιαία μοντέλα αρχικής κατάστασης (γκρι

διαγράμματα, MIROC6, CSIRO-Mk3-6-0 και MPI -ESM) (εμφανίζονται επίσης τα μέσα συνόλων), c) γραμμικές τάσεις εκτιμήσεων μέσων συνόλων για την περίοδο 2015–2050 (°C/ δεκαετία) των CMIP5 (RCP8,5), CORDEX EUR-44 (RCP8,5), CORDEX EUR-11 (RCP8,5), CMIP6 (SSP5- 8.5) και HighResMIP (υψηλής ανάλυσης μελλοντικές κλιματικές εκτιμήσεις) και d) εκτιμώμενη καλοκαιρινή υπερθέρμανση της Μεσογείου σε σύγκριση με την παγκόσμια μέση ετήσια υπερθέρμανση των CMIP5 (διακεκομμένες γραμμές, RCP2.6 σε σκούρο μπλε, RCP4.5 σε ανοιχτό μπλε, RCP6.0 σε πορτοκαλί και RCP8.5 σε κόκκινο) και CMIP6 (συμπαγείς γραμμές, SSP1-2.6 σε σκούρο μπλε, SSP2-4.5 σε κίτρινο, SSP3-7.0 σε κόκκινο και SSP5-8.5 σε σκούρο κόκκινο)

Πηγή: IPCC, 2021

Ωστόσο, όταν αναλύεται η υπερθέρμανση της Μεσογείου ως προς τα μέσα επίπεδα υπερθέρμανσης του πλανήτη, τα δύο παραπάνω σύνολα συμφωνούν σε μεγάλο βαθμό, δείχνοντας ότι η θερινή υπερθέρμανση εκτιμάται να φτάσει σε τιμές έως και 40% με 50% μεγαλύτερες από την ετήσια υπερθέρμανση του πλανήτη (σε μεγάλο βαθμό ανεξάρτητα από μοντέλα και σενάρια εκπομπών) (Σχήμα 3.6 d) (Almazroui et al., 2020).

Υπάρχουν μεγάλες περιοχικές διαφορές με μια αυξημένη αύξηση της θερμοκρασίας να εκτιμάται για την Τουρκία, τα Βαλκάνια, την Ιβηρική Χερσόνησο και τις περιοχές της Βόρειας Αφρικής (Σχήμα 3.6 c, Σχήμα 3.7) (Almazroui et al., 2020), φθάνοντας τοπικά σε τιμές μέχρι και διπλάσιες από τον παγκόσμιο μέσο όρο (Lionello και Scarascia, 2018). Η ενισχυμένη υπερθέρμανση του καλοκαιριού αυξάνει επίσης το εύρος του εποχιακού κύκλου (Yettella και England, 2018).

Όπως προειπώθηκε, το μεσογειακό καλοκαιρινό κλίμα επηρεάζεται από μοτίβα κυκλοφορίας μεγάλης κλίμακας, από τα οποία η καλοκαιρινή ταλάντωση του Βορείου Ατλαντικού (Κύμανση του Β. Ατλαντικού – NAO – North Atlantic Oscillation) είναι το πιο σημαντικό μοτίβο (IPCC, 2021). Οι Barcikowska et al. (2020) υπογραμμίζουν τη σημασία της σωστής προσομοίωσης του θερινού αντίκτυπου της ταλάντωσης του Βορείου Ατλαντικού στο μεσογειακό κλίμα, καθώς αντισταθμίζει εν μέρει την ανθρωπογενή υπερθέρμανση στη δυτική και κεντρική Μεσόγειο.

Τα κλιματικά μοντέλα εκτιμούν μείωση των βροχοπτώσεων σε όλες τις εποχές και επέκταση του μεσογειακού κλίματος προς τα βόρεια και τα ανατολικά, με τις πληγείσες περιοχές να γίνονται πιο ξηρές με μια αυξημένη καλοκαιρινή ξήρανση. Η ξήρανση μπορεί να συμβάλει στην ενισχυμένη υπερθέρμανση με αναδράσεις στην επιφάνεια της

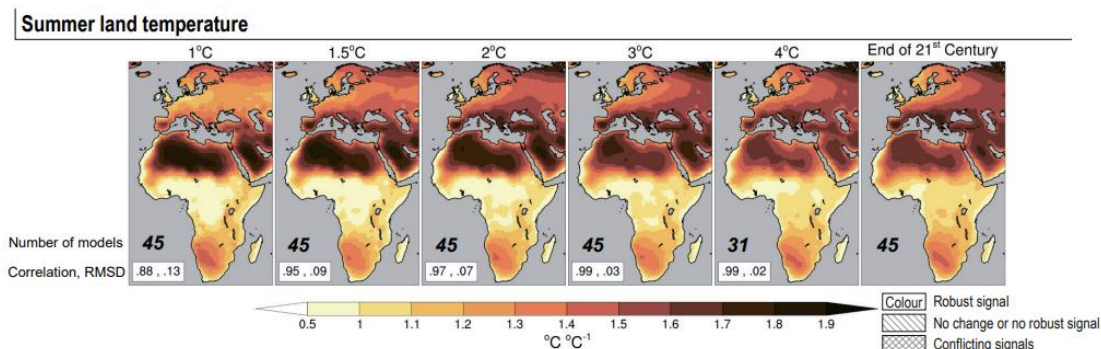


γης (IPCC, 2021). Μια αρνητική ανάδραση στην υπερθέρμανση, που προκαλείται από την ξηρότητα, μπορεί να προέρχεται από μια ενισχυμένη μεταφορά υγρασίας στην ξηρή περιοχή, που σχετίζεται με τη δυναμική απόκριση της ατμόσφαιρας (Zhou et al., 2021).

Λόγω του ξηρού κλίματος, δεν υπάρχει θετική ανάδραση εδαφικής υγρασίας και θερμοκρασίας στις περιοχές της Βόρειας Αφρικής της Μεσογείου, όπου το επιφανειακό ενεργειακό κέρδος διέπεται κυρίως από ψύξη με ακτινοβολία (Lelieveld et al., 2016), υπονοώντας ότι οι ανατροφοδοτήσεις της εδαφικής υγρασίας δεν συμβάλουν στην αυξημένη υπερθέρμανση στις συγκεκριμένες περιοχές (IPCC, 2021).

Στην περιοχή της Μεσογείου, η ημερήσια μέγιστη θερμοκρασία εκτιμάται να αυξηθεί περισσότερο από την ημερήσια ελάχιστη. Κατά συνέπεια, η διαφορά μεταξύ των μεγίστων της ημέρας και των ελάχιστων της νύχτας αναμένεται να αυξηθεί, ιδιαίτερα το καλοκαίρι. Οι ακραίες θερμοκρασίες θα επηρεαστούν επίσης, παρουσιάζοντας μια δραματική αύξηση του αριθμού των ζεστών ημερών και μια μείωση των ψυχρών νυχτών (Lionello και Scarascia, 2020). Η υπερθέρμανση του καλοκαιριού στη Μεσόγειο θα αυξήσει επίσης τη συχνότητα και την ένταση των καύσωνα (IPCC, 2021).

Spatial patterns of change at increasing global warming levels since pre-industrial period (1850–1900)  
(All patterns are CMIP6 multi-model mean changes and have been scaled to a 1°C global warming level)



**Σχήμα 3.7:** Αντοχή σε ατέλειες και επεκτασιμότητα ανθρωπογενούς επίδρασης σε περιοχική κλίμακα: χωρικά μοτίβα της μεταβολής θερμοκρασίας του αέρα στην επιφάνεια της γης (°C/°C) για το ευρωπαϊκό και αφρικάνικο καλοκαίρι (Ιούνιος-Αύγουστος) για διαφορετικά επίπεδα υπερθέρμανσης του πλανήτη και μοτίβο επεκτασιμότητας του τέλους του 21<sup>ου</sup> αιώνα (οι περιοχές με σημαντική μεταβολή επισημαίνονται με διασταυρούμενη διαγράμμιση, ενώ οι περιοχές χωρίς μεταβολή ή χωρίς ισχυρή μεταβολή με διασταύρωση αρνητικής κλίσης)

Πηγή: IPCC, 2021

### 3.3.4.3 Μελλοντικές πληροφορίες για το κλίμα από την περιοχική μείωση κλίμακας

Για την αποκάλυψη των πολύπλοκων αλληλεπιδράσεων και αναδράσεων στην περιοχή της Μεσογείου σε μια σειρά χωρικών και χρονικών κλιμάκων, αναπτύσσονται έργα περιοχικής μείωσης κλίμακας για να παρέχουν πιο ολοκληρωμένες και λεπτομερείς πληροφορίες για το μέλλον της Μεσογείου (IPCC,2021).

Ειδικότερα, από μια ανάλυση των αποτελεσμάτων CORDEX, μελέτες έχουν δείξει ότι η νότια Ευρώπη εκτιμάται να αντιμετωπίσει μια ισχυρή μη γραμμική αύξηση της θερμοκρασίας μεγαλύτερη από τον παγκόσμιο μέσο όρο (Zittis et al., 2019), ενώ εκτιμήσεις EURO-CORDEX, καθοδηγούμενες από παγκόσμια μοντέλα CMIP5, υποστηρίζουν μια λιγότερα έντονη υπερθέρμανση από αυτή του CMIP6 (Σχήμα 3.6 c) (Coppola et al., 2021). Η μη γραμμική αύξηση είναι ιδιαίτερα εμφανής τόσο για τα θερμά όσο και για τα ψυχρά άκρα (Maule, Mendlik και Christensen, 2017; Jacob et al., 2018; Kjellström et al., 2018).

Πιο συγκεκριμένα, οι Dosio and Fischer (2018) έχουν δείξει ότι σε πολλά μέρη στη νότια Ευρώπη και τη Μεσόγειο η αύξηση του αριθμού των νυχτών με θερμοκρασία πάνω από 20 °C είναι περισσότερο από 60% μεγαλύτερη υπό μια υπερθέρμανση μικρότερη από 2 °C σε σύγκριση με μια υπερθέρμανση της τάξης των 1,5 °C. Σε όλη την περιοχή, η εκτιμώμενη αύξηση της θερμοκρασίας, συμπεριλαμβανομένης μιας υψηλότερης πιθανότητας σοβαρών κυμάτων καύσωνα (Russo, Sillmann και Fischer, 2015), συνοδεύεται από μια μείωση των βροχοπτώσεων (Jacob et al., 2014; Dosio, 2016; Rajczak and Schär, 2017) με αποτέλεσμα προβλεπόμενες αυξήσεις της συχνότητας και της σοβαρότητας της ξηρασίας (Spinoni et al., 2018, 2020; Raymond et al., 2019). Επίσης, η συχνότητα και η σφοδρότητα των θαλάσσιων κυμάτων καύσωνα της Μεσογείου εκτιμάται να αυξηθούν (Darmaraki et al., 2019).

Σημειώνεται ότι μόνο ένας περιορισμένος αριθμός προσομοιώσεων περιοχικών κλιματικών μοντέλων για την Μέση Ανατολή και Βόρεια Αφρική είναι διαθέσιμος επί του παρόντος. Για τη νότια και την ανατολική Μεσόγειο, εκτιμάται μια μέση θέρμανση που κυμαίνεται από 3 °C για το σενάριο RCP4,5 μέχρι και 9 °C για το σενάριο RCP8,5 στο τέλος του 21<sup>ου</sup> αιώνα σε σύγκριση με την αρχή του (Bucchignani et al., 2018; Ozturk et al. , 2018).

Η συχνότητα και η διάρκεια των κυμάτων καύσωνα και ο ετήσιος αριθμός των εξαιρετικά θερμών ημερών (δηλαδή εκείνων με μέγιστη θερμοκρασία  $> 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) στη νότια Μεσόγειο θα αυξηθούν σημαντικά. Για την περίοδο 2070–2099 σε σχέση με την περίοδο 1971–2000, ο ετήσιος αριθμός των εξαιρετικά θερμών ημερών μπορεί να φτάσει ακόμη και τις 70 ημέρες για το σενάριο RCP8.5 (Lelieveld et al., 2016; Almazroui, 2019; Driouech et al., 2020; Varela, Rodríguez-Díaz και DeCastro, 2020).

Παρά τις μεγάλες προσπάθειες αυτών περιοχικών πρότζεκτ με σκοπό τη μείωση κλίμακας, ο παγκόσμιος πίνακας περιοχικών κλιματικών μοντέλων εξακολουθεί να είναι σποραδικός και να μην έχει συστηματικό σχεδιασμό για την εξερεύνηση των πηγών αβεβαιότητας (IPCC, 2021).

Εστιάζοντας στην Ιβηρική χερσόνησο, το παγκόσμιο κλιματικό μοντέλο οδήγησης είναι ο κύριος παράγοντας που συμβάλλει στην αβεβαιότητα στο σύνολο. Μπορεί να συμβούν φυσικά συνεπείς αλλά απίθανες μεταβολές θερμοκρασίας στα περιοχικά κλιματικά μοντέλα. Ένα παράδειγμα είναι μια ισχυρή αύξηση της θερμοκρασίας στα Πυρηναία λόγω της υπερβολικής χιονοκάλυψης στο σημερινό κλίμα (IPCC, 2021).

Βασισμένοι σε ένα παλαιότερο σύνολο προσομοιώσεων περιοχικών κλιματικών μοντέλων, οι Déqué et al. (2012) υποστηρίζουν επίσης ότι η μεγαλύτερη πηγή αβεβαιότητας στην απόκριση της θερμοκρασίας στη νότια Ευρώπη είναι η επιλογή του παγκόσμιου μοντέλου οδήγησης (ενώ για τις καλοκαιρινές βροχοπτώσεις η επιλογή του περιφερειακού κλιματικού μοντέλου επικρατεί στην αβεβαιότητα).

Τέλος, οι Boé et al. (2020 α)) διαπιστώνουν ότι σε μια μεγάλη περιοχή της Ευρώπης, συμπεριλαμβανομένων τμημάτων της Μεσογείου, τα περιοχικά κλιματικά μοντέλα προβάλλουν μια θερινή υπερθέρμανση κατά  $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  με  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$  ψυχρότερη από ό,τι τα παγκόσμια μοντέλα για το τέλος του 21<sup>ου</sup> αιώνα. Αυτό προκαλείται από διαφορές στην ηλιακή ακτινοβολία που σχετίζονται με την απουσία χρονικά μεταβαλλόμενων ανθρωπογενών αερολυμάτων στα περιοχικά κλιματικά μοντέλα (Boé et al., 2020 α); Gutiérrez et al., 2020), η οποία επηρεάζει επίσης τις σημειωμένες διαφορές στην νεφοκάλυψη μεταξύ των παγκόσμιων μοντέλων και των περιοχικών κλιματικών μοντέλων (Bartók et al., 2017).

Οι στατιστικές μελέτες μείωσης της κλίμακας για τη Μεσόγειο επιβεβαιώνουν τα αποτελέσματα από μελέτες παγκόσμιων μοντέλων και περιοχικών κλιματικών μοντέλων με μεγάλη συμφωνία μεταξύ των μελλοντικών εκτιμήσεων που δείχνουν



χαμηλότερα ποσοστά υπερθέρμανσης το χειμώνα και την άνοιξη και στις περισσότερες περιπτώσεις, υψηλότερα ποσοστά το καλοκαίρι και το φθινόπωρο (Jacobeit et al., 2014).

#### **3.3.4.4 Λοιπές κλιματικές πληροφορίες υπερθέρμανσης**

Υπάρχει πολύ μεγάλη βεβαιότητα/ εμπιστοσύνη (υψηλή συμφωνία, ισχυρά στοιχεία) ότι η περιοχή της Μεσογείου έχει γνωρίσει μια καλοκαιρινή αύξηση της θερμοκρασίας τις τελευταίες δεκαετίες, η οποία είναι ταχύτερη από την αύξηση για το θερινό μέσο όρο του βόρειου ημισφαιρίου (Bruci, Islami και Kamberi, 2016; IPCC, 2021).

Υπάρχει επίσης πολύ μεγάλη βεβαιότητα/ εμπιστοσύνη (υψηλή συμφωνία, ισχυρά στοιχεία) ότι η εκτιμώμενη αύξηση της θερμοκρασίας του καλοκαιριού στη Μεσόγειο θα είναι μεγαλύτερη από το επίπεδο υπερθέρμανσης του πλανήτη, με αύξηση της συχνότητας και της έντασης των καύσωνα (Bruci, Islami και Kamberi, 2016; IPCC, 2021).

## Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup>: Συμπεράσματα

Σκοπός της εργασίας ήταν να παρουσιαστεί η κλιματική αλλαγή και πώς αυτή αξιολογείται σε ό,τι αφορά την Μεσόγειο και Ευρώπη σύμφωνα με την 6<sup>η</sup> έκθεση της IPCC. Για το σκοπό αυτό, στην εργασία παρουσιάζονται όλες και εκείνες οι μελέτες και τα δεδομένα της έκθεσης που αναφέρονται συγκεκριμένα στην Ευρώπη και τη Μεσόγειο. Μάλιστα για τη Μεσόγειο γίνεται παρουσίαση ενός συγκεκριμένου παραδείγματος κλιματικής αλλαγής, αυτό της υπερθέρμανσης κατά τους καλοκαιρινούς μήνες.

Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω, καθώς και ότι η κλιματική αλλαγή στην 6<sup>η</sup> έκθεση της IPCC παρουσιάζεται υπό το πρίσμα πληροφοριών που σχετίζονται με τοπικές επιπτώσεις, καθώς και με στόχο την αντίστοιχη εκτίμηση κινδύνου, άμεσα διαπιστώνεται ότι η κλιματική αλλαγή θα επηρεάσει μια σειρά από παράγοντες κλιματικής επίπτωσης και ειδικότερα τους εξής: α) θερμότητα και ψύχος, β) υγρασία και ξηρασία, γ) άνεμος, δ) χιόνι και πάγος, ε) παράκτια και ωκεάνια φαινόμενα και στ) σύνθετα συμβάντα.

Πιο συγκεκριμένα, βάσει παρουσιαζόμενων μελετών και δεδομένων και ανεξαρτήτως σεναρίου, είναι σχεδόν βέβαιο ότι η αύξηση της θερμοκρασίας θα συνεχιστεί στην Ευρώπη με την παρατηρούμενη αύξηση των ακραίων θερμοκρασιών να θεωρείται κυρίως αποτέλεσμα ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Αξίζει μάλιστα να σημειωθεί ότι η αύξηση αυτή αναμένεται να οδηγήσει σε υπέρβαση διαφορετικών ορίων θερμοκρασίας, που σχετίζονται α) με ασθένειες που μεταδίδονται από φορείς (μέση βεβαιότητα/ εμπιστοσύνη), β) με διεισδυτικά αλλεργιογόνα (μέση βεβαιότητα/ εμπιστοσύνη), γ) με τα όρια θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας στη Μεσόγειο, που είναι πιθανόν να υπερβούν τους 20 °C ή ακόμα δ) με την ανάπτυξη βακτηρίων του γένους *Vibrio*.

Πολύ πιθανή θεωρείται ταυτόχρονα η αύξηση της συχνότητας των υψηλών ακραίων θερμοκρασιών με μια αυξανόμενη διαβάθμιση να παρατηρείται προς τις νότιες περιοχές. Οι ακραίες υψηλές θερμοκρασίες θα υπερβαίνουν συχνότερα τα κρίσιμα όρια για την υγεία, τη γεωργία και άλλους τομείς, με το βαθμό επίδρασης να εξαρτάται από το σενάριο μετριασμού επιπτώσεων. Μάλιστα, το θερμικό στρες, που οφείλεται τόσο στην υψηλή θερμοκρασία όσο και υγρασία και που επηρεάζει τη νοσηρότητα, τη

θνησιμότητα και την ικανότητα εργασίας, εκτιμάται να αυξηθεί σύμφωνα με όλα τα σενάρια εκπομπών και τα επίπεδα παγκόσμιας θέρμανσης μέχρι τα μέσα του αιώνα.

Αντίθετα, οι περίοδοι ψύχους και οι ημέρες παγετού θεωρείται ότι θα συνεχίσουν να μειώνονται με τις περιόδους ψύχους να είναι πιθανόν ακόμα και να μην παρατηρούνται πλέον προς το τέλος του 21<sup>ου</sup> αιώνα. Συνέπειες έτσι θα υπάρξουν για τη γεωργία και τα δάση, ενώ παράλληλα θα παρατηρηθεί μια πτωτική τάση για τη χειμερινή ζήτηση ενέργειας θέρμανσης στην Ευρώπη.

Σε ό,τι αφορά την υγρασία και ξηρασία, οι πλημμύρες των ποταμών αναμένεται να αυξηθούν στην Κεντρική και Δυτική Ευρώπη (υψηλή πιθανότητα) και αντίθετα να μειωθούν στην Βόρεια, Ανατολική και Νότια Ευρώπη (χαμηλή πιθανότητα) μέχρι τα μέσα του αιώνα. Σημαντικό είναι να τονιστεί ότι η Ευρώπη είναι μια από τις περιοχές όπου μπορεί να εμφανιστούν οι μεγαλύτερες αυξήσεις στον κίνδυνο πλημμύρας, με λίγες μόνο χώρες στην περιοχή της Ανατολικής Ευρώπης να παρουσιάζουν μείωση. Επιπλέον, σχεδόν βέβαιο είναι ότι τόσο η γεωργική όσο η υδρολογική και οικολογική ξηρασία θα παρουσιάσουν αύξηση στη Μεσόγειο από τα μέσα του αιώνα και μετά, ενώ εξίσου πιθανή θεωρείται η αύξηση των καιρικών συνθηκών που ευνοούν την εμφάνιση πυρκαγιάς για την ίδια περιοχή.

Αναφορικά με τον άνεμο, θεωρείται πολύ πιθανή η μείωση των μέσων ταχυτήτων του ανέμου στη Μεσόγειο μετά τα μέσα του 21<sup>ου</sup> αιώνα για επίπεδα παγκόσμιας υπερθέρμανσης της τάξης των 2 °C ή/ και υψηλότερα με την ίδια πιθανότητα για τη Βόρεια Ευρώπη να είναι μέτρια. Μια ελαφρώς αυξημένη συχνότητα και εύρος εξωτροπικών κυκλώνων, ισχυρών ανέμων και εξωτροπικών καταιγίδων αναμένεται για την Βόρεια, Κεντρική και Δυτική Ευρώπη ιδίως στην περίπτωση που η παγκόσμια υπερθέρμανση αγγίζει ή/ και ξεπεράσει τους 2 °C. Η συχνότητα των μεσογειακών κυκλώνων τροπικού τύπου εκτιμάται να μειωθεί, με την έντασή τους όμως να παρατηρεί αύξηση για τα ίδια επίπεδα παγκόσμιας υπερθέρμανσης.

Όσον αφορά στο χιόνι και τον πάγο, η μελλοντική έκταση της χιονοκάλυψης και η εποχιακή διάρκειά της θα παρουσιάσουν μείωση, όπως συρρίκνωση θα παρουσιάσουν τόσο οι παγετώνες όσο και ο όγκος του πάγου στις ευρωπαϊκές Άλπεις και τη Σκανδιναβία. Όμοια, η περιοχή της Κεντρικής Ευρώπης θεωρείται μία από τις περιοχές όπου οι παγετώνες αναμένεται να χάσουν σημαντική μάζα. Συνολικά ο μόνιμος πάγος είναι πολύ πιθανό να υποστεί μια αυξανόμενη απόψυξη και υποβάθμιση και είναι

σχεδόν βέβαιο ότι η έκταση και ο όγκος του μόνιμου πάγου θα μειωθούν με την αύξηση της υπερθέρμανσης του πλανήτη.

Ταυτόχρονα, οι περισσότερες κλιματικές επιπτώσεις που σχετίζονται με τις ακτές/ωκεανούς στην Ευρώπη θα αυξηθούν. Η άνοδος της σχετικής στάθμης της θάλασσας είναι εξαιρετικά πιθανό να συνεχιστεί σχεδόν σε όλη την Ευρώπη, συμβάλλοντας σε αυξημένες παράκτιες πλημμύρες σε περιοχές με χαμηλό υψόμετρο και σε μια υποχώρηση της ακτογραμμής κατά μήκος των περισσότερων αμμωδών ακτών. Ειδικότερα, υπάρχουν εκτιμήσεις ανόδου της σχετικής της στάθμης της θάλασσας για τους ωκεανούς σε όλη την Ευρώπη κυμαίνονται από 0,4 m μέχρι και 0,8 m για την περίοδο 2081-2100 σε σχέση με την περίοδο 1995-2014. Τα θαλάσσια κύματα καύσωνα αναμένεται επίσης να αυξηθούν σε όλη την περιοχή της Ευρώπης.

Αναφορικά τέλος με τα σύνθετα συμβάντα, που για την περιοχή της Ευρώπης αποτελούν κυρίως οι σύνθετες πλημμύρες, η πιθανότητα αύξησής τους είναι μεγαλύτερη όταν πρόκειται για τη Μεσόγειο. Η πιθανότητα σύνθετων πλημμυρών εκτιμάται ότι θα αυξηθεί κατά μήκος των ακτών της Βόρειας Ευρώπης (δυτική ακτή του Ηνωμένου Βασιλείου, βόρεια Γαλλία, ανατολική και νότια ακτή της Βόρειας Θάλασσας και ανατολικό μισό της Μαύρης Θάλασσας) με το ποσοστό της ακτογραμμής που αντιμετωπίζει σήμερα τέτοια γεγονότα τουλάχιστον μία φορά κάθε 6 έτη, να αυξάνεται μεταξύ 3% και 11% μέχρι το τέλος του 21<sup>ου</sup> αιώνα. Προϋπόθεση για να συμβεί αυτό είναι μια αύξηση της θερμοκρασίας κατά περίπου 4,3 °C μέχρι το 2100 σε σύγκριση με τις θερμοκρασίες της προβιομηχανικής εποχής.

Για την ίδια προϋπόθεση, οι περιοχές της Ρωσίας, της Γαλλίας και της Γερμανίας αναμένεται να παρουσιάσουν αύξηση στη συχνότητα και τη διάρκεια των σύνθετων υγρών και ψυχρών συμβάντων, ενώ η Ισπανία και η Βουλγαρία εκτιμάται να παραμείνουν περισσότερο σε μια ζεστή και ξηρή κατάσταση μέχρι τα μέσα του 21<sup>ου</sup> αιώνα. από την άλλη, τα σύνθετα θερμά και ξηρά ακραία συμβάντα εκτιμάται να αυξηθούν στην Ευρώπη μέχρι τα μέσα του αιώνα, στην περίπτωση που ο άνθρωπος αδιαφορήσει για την προστασία του περιβάλλοντος, με μια ιδιαίτερα ισχυρή τάση να προβάλλεται για τη νότια και ανατολική Γερμανία και την Τσεχική Δημοκρατία.

Τέλος στη Μεσόγειο, πέραν των οποιωνδήποτε μεταβολών, εξαιρετικά πιθανή κρίνεται και η αύξηση των επεισοδίων καλοκαιρινής υπερθέρμανσης. Μάλιστα, η θερινή υπερθέρμανση εκτιμάται να φτάσει σε τιμές έως και 40% με 50% μεγαλύτερες από την



ετήσια υπερθέρμανση του πλανήτη (σε μεγάλο βαθμό ανεξάρτητα από μοντέλα και σενάρια εκπομπών).





## Βιβλιογραφία

- Abatzoglou, J., A. Williams, P. και Barbero, R. (2019). Global Emergence of Anthropogenic Climate Change in Fire Weather Indices. *Geophysical Research Letters*, 46(1), 326–336.
- Alfieri, L., Feyen, L., Dottori, F. και Bianchi, A. (2015). Ensemble flood risk assessment in Europe under high end climate scenarios. *Global Environmental Change*, 35, 199–212.
- Alfieri, L. et al. (2017). Global projections of river flood risk in a warmer world. *Earth's Future*, 5(2), 171–182.
- Almazroui, M. (2019). Temperature Changes over the CORDEX-MENA Domain in the 21st Century Using CMIP5 Data Downscaled with RegCM4: A Focus on the Arabian Peninsula. *Advances in Meteorology*, 2019, 5395676.
- Almazroui, M., Islam, M., Saeed, S., Saeed, F. και Ismail, M. (2020). Future Changes in Climate over the Arabian Peninsula based on CMIP6 Multimodel Simulations. *Earth Systems and Environment*, 4(4), 611–630.
- Arheimer, B. και Lindström, G. (2015). Climate impact on floods: Changes in high flows in Sweden in the past and the future (1911–2100). *Hydrology and Earth System Sciences*, 19(2), 771–784.
- Athanasίου, P. et al. (2020). Uncertainties in projections of sandy beach erosion due to sea level rise: an analysis at the European scale. *Scientific Reports*, 10(1), 11895.
- Barcikowska, M. et al. (2020). Changes in the future summer Mediterranean climate: contribution of teleconnections and local factors. *Earth System Dynamics*, 11(1), 161–181.
- Barbero, R., Abatzoglou, J., Pimont, F., Ruffault, J. και Curt, T. (2020). Attributing Increases in Fire Weather to Anthropogenic Climate Change Over France. *Frontiers in Earth Science*, 8, 527278832.
- Bartók, B. et al. (2017). Projected changes in surface solar radiation in CMIP5 global climate models and in EURO-CORDEX regional climate models for Europe. *Climate Dynamics*, 49(7–8), 2665–2683.



Belušić Vozila, A., Güttler, I., Ahrens, B., Obermann-Hellhund, A. και Telišman Prtenjak, M. (2019). Wind Over the Adriatic Region in CORDEX Climate Change Scenarios. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 124(1), 110–130.

Beniston, M. et al. (2018). The European Mountain cryosphere: a review of its current state, trends, and future challenges. *The Cryosphere*, 12(2), 759–794.

Berg, P., Norin, L. και Olsson, J. (2016). Creation of a high-resolution precipitation data set by merging gridded gauge data and radar observations for Sweden. *Journal of Hydrology*, 541, 6-13.

Berthou, S. et al. (2020). Pan-European climate at convection-permitting scale: a model intercomparison study. *Climate Dynamics*, 55(1-2), 35-59.

Bevacqua, E. et al. (2019). Higher probability of compound flooding from precipitation and storm surge in Europe under anthropogenic climate change. *Science Advances*, 5(9), eaaw5531.

Bichet, A., Wild, M., Folini, D. και Schär, C. (2012). Causes for decadal variations of wind speed over land: Sensitivity studies with a global climate model. *Geophysical Research Letters*, 39(11), L11701.

Bladé, I., Liebmann, B., Fortuny, D. και Van Oldenborgh, G. (2012). Observed and simulated impacts of the summer NAO in Europe: implications for projected drying in the Mediterranean region. *Climate Dynamics*, 39(3–4), 709–727.

Blöschl, G. et al. (2019). Changing climate both increases and decreases European river floods. *Nature*, 573(7772), 108–111.

Boé, J., et al. (2020 α). Large discrepancies in summer climate change over Europe as projected by global and regional climate models: causes and consequences. *Climate Dynamics*, 54(5–6), 2981–3002.

Boé, J. et al. (2020 β). Past long-term summer warming over western Europe in new generation climate models: role of large-scale atmospheric circulation. *Environmental Research Letters*, 15(8), 084038.

Boé, J. και Terray, L. (2014). Land–sea contrast, soil–atmosphere and cloud–temperature interactions: interplays and roles in future summer European climate change. *Climate Dynamics*, 42(3-4), 683-699.



Britannica. (2022). *Siberian anticyclone*. Προσβάσιμο στις 22 Δεκεμβρίου 2022 από την <https://www.britannica.com/science/polar-anticyclone>

Brogli, R., Kröner, N., Sørland, S., Lüthi, D. και Schär, C. (2019). The Role of Hadley Circulation and Lapse-Rate Changes for the Future European Summer Climate. *Journal of Climate*, 32(2), 385-404.

Brunner, L., Schaller, N., Anstey, J., Sillmann, J. και Steiner, A. (2018). Dependence of Present and Future European Temperature Extremes on the Location of Atmospheric Blocking. *Geophysical Research Letters*, 45(12), 6311- 6320.

Bruçi, E., Islami, B. και Kamberi, M. (2016). *Third National Communication of the Republic of Albania under the United Nations Framework Convention on Climate Change*. Ministry of Environment of the Republic of Albania.

Bucchignani, E., Cattaneo, L., Panitz, H.-J. και Mercogliano, P. (2016 α). Sensitivity analysis with the regional climate model COSMO-CLM over the CORDEXMENA domain. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 128(1), 73–95, doi:10.1007/s00703-015-0403-3.

Bucchignani, E., Mercogliano, P., Rianna, G. και Panitz, H. (2016 β). Analysis of ERA-Interim-driven COSMO-CLM simulations over Middle East – North Africa domain at different spatial resolutions. *International Journal of Climatology*, 36(9), 3346–3369.

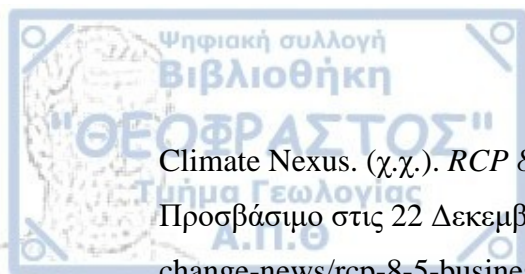
Bucchignani, E., Mercogliano, P., Panitz, H.-J. και Montesarchio, M. (2018). Climate change projections for the Middle East–North Africa domain with COSMO-CLM at different spatial resolutions. *Advances in Climate Change Research*, 9(1), 66–80.

Burcea, S., Cică, R. και Bojariu, R. (2016). Hail Climatology and Trends in Romania: 1961–2014. *Monthly Weather Review*, 144(11), 4289–4299.

Caminade, C. et al. (2012). Suitability of European climate for the Asian tiger mosquito *Aedes albopictus*: recent trends and future scenarios. *Journal of The Royal Society Interface*, 9(75), 27082717.

Castebrunet, H., Eckert, N., Giraud, G., Durand, Y. και Morin, S. (2014). Projected changes of snow conditions and avalanche activity in a warming climate: the French Alps over the 2020–2050 and 2070–2100 periods. *The Cryosphere*, 8(5), 1673–1697.

Cavicchia, L., Von Storch, H. και Gualdi, S. (2014). A long-term climatology of medicanes. *Climate Dynamics*, 43(5–6), 1183–1195.



Climate Nexus. (χ.χ.). *RCP 8.5: Business-as-usual or a worst-case scenario?*

Προσβάσιμο στις 22 Δεκεμβρίου 2022 από την <https://climatenexus.org/climate-change-news/rcp-8-5-business-as-usual-or-a-worst-case-scenario/>

Cherchi, A., Annamalai, H., Masina, S. και Navarra, A. (2014). South Asian Summer Monsoon and the Eastern Mediterranean Climate: The Monsoon– Desert Mechanism in CMIP5 Simulations. *Journal of Climate*, 27(18), 6877–6903.

Copernicus Climate Data Store. (χ.χ.). *E-OBS daily gridded meteorological data for Europe from 1950 to present derived from in-situ observations*. Προσβάσιμο στις 15 Ιανουαρίου 2023 από την <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/insitu-gridded-observations-europe?tab=overview>

Coppola, E. et al. (2020). A first-of-its-kind multi-model convection permitting ensemble for investigating convective phenomena over Europe and the Mediterranean. *Climate Dynamics*, 55(1–2), 3–34.

Coppola, E. et al. (2021). Assessment of the European Climate Projections as Simulated by the Large EURO-CORDEX Regional and Global Climate Model Ensemble. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 126(4), e2019JD032356.

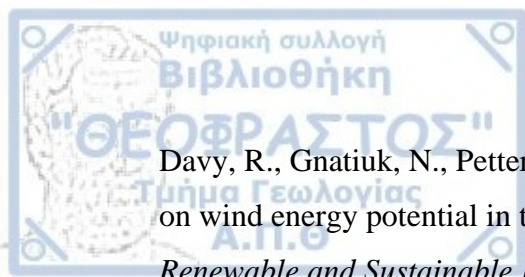
Cramer, W. et al. (2018) Climate change and interconnected risks to sustainable development in the Mediterranean. *Nature Climate Change*, 8(11), 972–980.

Cramer, W., Guiot, J. και Marini, K. (2020). *Climate and Environmental Change in the Mediterranean Basin - Current Situation and Risks for the Future. First Mediterranean Assessment Report*. Union for the Mediterranean, Plan Bleu, UNEP/MAP.

Cresswell-Clay, N. et al. (2022). Twentieth-century Azores High expansion unprecedented in the past 1,200 years. *Nature Geoscience*, 15, 548-553.

Dankers, R. et al. (2014) First look at changes in flood hazard in the Inter-Sectoral Impact Model Intercomparison Project ensemble. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(9), 3257–3261.

Darmaraki, S. et al. (2019). Future evolution of Marine Heatwaves in the Mediterranean Sea. *Climate Dynamics*, 53(3–4), 1371–1392.



Davy, R., Gnaniuk, N., Pettersson, L. και Bobylev, L. (2018). Climate change impacts on wind energy potential in the European domain with a focus on the Black Sea.

*Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 1652–1659.

Déqué, M. et al. (2012). The spread amongst ENSEMBLES regional scenarios: regional climate models, driving general circulation models and interannual variability. *Climate Dynamics*, 38(5–6), 951–964.

Deng, K., Azorin-Molina, C., Minola, L., Zhang, G. και Chen, D. (2021). Global Near-Surface Wind Speed Changes over the Last Decades Revealed by Reanalyses and CMIP6 Model Simulations. *Journal of Climate*, 34(6), 2219–2234.

Déqué, M. και Somot, S. (2008). Analysis of heavy precipitation for France using high resolution ALADIN RCM simulations. *Időjaras Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service*, 112(3-4), 179-190.

Diffenbaugh, N. και Giorgi, F. (2012). Climate change hotspots in the CMIP5 global climate model ensemble. *Climatic Change*, 114(3–4), 813–822.

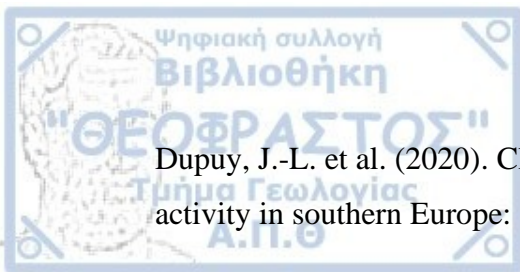
Di Sante, F., Coppola, E. και Giorgi, F. (2021). Projections of river floods in Europe using EURO-CORDEX, CMIP5 and CMIP6 simulations. *International Journal of Climatology*, 41(5), 3203–3221.

Dosio, A. (2016). Projections of climate change indices of temperature and precipitation from an ensemble of bias-adjusted high-resolution EUROCORDEX regional climate models. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 121(10), 5488–5511.

Dosio, A. και Fischer, E. (2018). Will Half a Degree Make a Difference? Robust Projections of Indices of Mean and Extreme Climate in Europe Under 1.5°C, 2°C, and 3°C Global Warming. *Geophysical Research Letters*, 45(2), 935–944.

Driouech, F., ElRhaz, K., Moufouma-Okia, W., Arjdal, K. και Balhane, S. (2020). Assessing Future Changes of Climate Extreme Events in the CORDEX-MENA Region Using Regional Climate Model ALADIN-Climate. *Earth Systems and Environment*, 4(3), 477–492.

Ducrocq, V. et al. (2014). HyMeX-SOP1: The Field Campaign Dedicated to Heavy Precipitation and Flash Flooding in the Northwestern Mediterranean. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 95(7), 1083–1100.



Dupuy, J.-L. et al. (2020). Climate change impact on future wildfire danger and activity in southern Europe: a review. *Annals of Forest Science*, 77(2), 35.

ECDC. (2023). *Vector-borne diseases*. Προσβάσιμο στις 15 Φεβρουαρίου 2023 από την <https://www.ecdc.europa.eu/en/climate-change/climate-change-europe/vector-borne-diseases#:~:text=Vector%2Dborne%20diseases%20are%20infections,especially%20sensitive%20to%20climatic%20factors>

Economou, T., Stephenson, D., Pinto, J., Shaffrey, L. και Zappa, G. (2015). Serial clustering of extratropical cyclones in a multi-model ensemble of historical and future simulations. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 141(693), 3076–3087.

ESGF-CoG. (2022). *WCRP Coupled Model Intercomparison Project (Phase 6)*. Προσβάσιμο στις 15 Φεβρουαρίου 2023 από την <https://esgf-node.llnl.gov/projects/cmip6/#:~:text=CMIP6%20coordinates%20somewhat%20independent%20model,performing%20common%20sets%20of%20experiments>

Fantini, A. et al. (2018). Assessment of multiple daily precipitation statistics in ERA-Interim driven Med-CORDEX and EURO-CORDEX experiments against high resolution observations. *Climate Dynamics*, 51(3), 877-900.

Fischer, E. και Knutti, R. (2016). Observed heavy precipitation increase confirms theory and early models. *Nature Climate Change*, 6(11), 986-991.

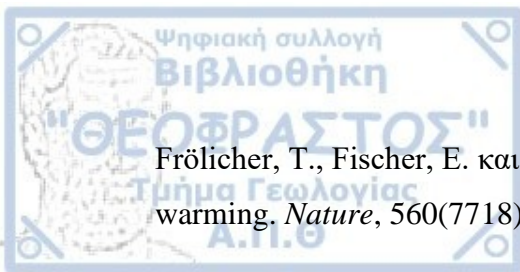
Flaounas, E. et al. (2012). Assessment of gridded observations used for climate model validation in the Mediterranean region: the HyMeX and MED-CORDEX framework. *Environmental Research Letters*, 7(2), 024017.

Folland, C. et al. (2009). The Summer North Atlantic Oscillation: Past, Present, and Future. *Journal of Climate*, 22(5), 1082–1103.

Forzieri, G. et al. (2014). Ensemble projections of future streamflow droughts in Europe. *Hydrology and Earth System Sciences*, 18(1), 85–108.

Forzieri, G. et al. (2016). Multi-hazard assessment in Europe under climate change. *Climatic Change*, 137(1–2), 105–119.

Frederikse, T. et al. (2020). The causes of sea-level rise since 1900. *Nature*, 584(7821), 393–397.



Frölicher, T., Fischer, E. και Gruber, N. (2018). Marine heatwaves under global warming. *Nature*, 560(7718), 360–364.

Fumière, Q. et al. (2020). Extreme rainfall in Mediterranean France during the fall: added value of the CNRM-AROME Convection-Permitting Regional Climate Model. *Climate Dynamics*, 55(1-2), 77-91.

Galli, G., Solidoro, C. και Lovato, T. (2017). Marine Heat Waves Hazard 3D Maps and the Risk for Low Motility Organisms in a Warming Mediterranean Sea. *Frontiers in Marine Science*, 4, 136.

Gaertner, M. et al. (2018). Simulation of medicanes over the Mediterranean Sea in a regional climate model ensemble: impact of ocean–atmosphere coupling and increased resolution. *Climate Dynamics*, 51(3), 1041–1057.

Garfinkel, C. et al. (2020). The Role of Zonally Averaged Climate Change in Contributing to Intermodel Spread in CMIP5 Predicted Local Precipitation Changes. *Journal of Climate*, 33(3), 1141–1154.

Gariano, S. και Guzzetti, F. (2016). Landslides in a changing climate. *Earth-Science Reviews*, 162, 227–252.

Gutiérrez, C. et al. (2020). Future evolution of surface solar radiation and photovoltaic potential in Europe: investigating the role of aerosols. *Environmental Research Letters*, 15(3), 034035.

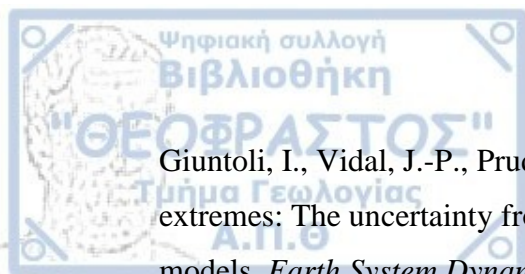
GFDL. (χ.χ.). *GFDL's Contribution to the Coupled Model Intercomparison Project*.

Προσβάσιμο στις 15 Φεβρουαρίου 2023 από την

[https://www.gfdl.noaa.gov/cmip/#:~:text=Coupled%20Model%20Intercomparison%20Project%20\(CMIP,lead%20to%20climate%20model%20improvements](https://www.gfdl.noaa.gov/cmip/#:~:text=Coupled%20Model%20Intercomparison%20Project%20(CMIP,lead%20to%20climate%20model%20improvements)

Giannaros, T., Kotroni, V. και Lagouvardos, K. (2021). Climatology and trend analysis (1987–2016) of fire weather in the Euro-Mediterranean. *International Journal of Climatology*, 41(S1), E491–E508.

Giorgi, F., Coppola, E. και Raffaele, F. (2018). Threatening levels of cumulative stress due to hydroclimatic extremes in the 21st century. *npj Climate and Atmospheric Science*, 1(1), 18.



Giuntoli, I., Vidal, J.-P., Prudhomme, C. και Hannah, D. (2015). Future hydrological extremes: The uncertainty from multiple global climate and global hydrological models. *Earth System Dynamics*, 6(1), 267–285.

Gudmundsson, L., Seneviratne, S. και Zhang, X. (2017). Anthropogenic climate change detected in European renewable freshwater resources. *Nature Climate Change*, 7(11), 813–816.

Guerreiro, S., Glenis, V., Dawson, R. και Kilsby, C. (2017). Pluvial Flooding in European Cities – A Continental Approach to Urban Flood Modelling. *Water*, 9(4), 296.

Guerreiro, S., Dawson, R., Kilsby, C., Lewis, E. και Ford, A. (2018). Future heat-waves, droughts and floods in 571 European cities. *Environmental Research Letters*, 13(3), 034009.

Haiden, T. et al. (2011). The integrated nowcasting through comprehensive analysis (INCA) system and its validation over the Eastern Alpine region. *Weather and Forecasting*, 26(2), 166-183.

Hall, J. et al. (2014). Understanding flood regime changes in Europe: A state-of-the-art assessment. *Hydrology and Earth System Sciences*, 18(7), 2735-2772.

Harris, I., Osborn, T., Jones, P. και Lister, D. (2020). Version 4 of the CRU TS monthly high-resolution gridded multivariate climate dataset. *Scientific Data*, 7(109), 1-18.

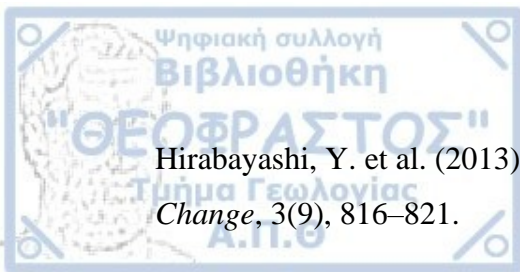
Hermida, L. et al., (2015). Hailfall in southwest France: Relationship with precipitation, trends and wavelet analysis. *Atmospheric Research*, 156, 174–188.

Hernández-Henríquez, M., Déry, S. και Derksen, C. (2015). Polar amplification and elevation-dependence in trends of Northern Hemisphere snow cover extent, 1971-2014. *Environmental Research Letters*, 10(4), 44010.

Herrera, S. et al. (2019). Iberia01: a new gridded dataset of daily precipitation and temperatures over Iberia. *Earth System Science Data*, 11(4), 1947-1956.

Hamaoui-Laguel, L. et al. (2015). Effects of climate change and seed dispersal on airborne ragweed pollen loads in Europe. *Nature Climate Change*, 5(8), 766-771.





Hirabayashi, Y. et al. (2013). Global flood risk under climate change. *Nature Climate Change*, 3(9), 816–821.

Hordon, R. (1987). Icelandic low. Στο: Finkl, C. (εκδ.), *Climatology. Encyclopedia of Earth Science*. Springer.

Horton, D., Skinner, C., Singh, D. και Diffenbaugh, N. (2014). Occurrence and persistence of future atmospheric stagnation events. *Nature Climate Change*, 4(8), 698–703.

Hueging, H., Haas, R., Born, K., Jacob, D. και Pinto, J. (2013). Regional Changes in Wind Energy Potential over Europe Using Regional Climate Model Ensemble Projections. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 52(4), 903–917.

Hurrell, J., Kushnir, Y. Ottersen, G. και Visbeck, M. (2003). An overview of the North Atlantic Oscillation. Στο: Hurrell, J., J., Kushnir, Y. Ottersen, G. και Visbeck, M. (εκδ.), *The North Atlantic Oscillation: Climatic Significance and Environmental Impact*. American Geophysical Union, σελ. 1-35.

IPCC. (2014). *AR5 Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Cambridge University Press.

IPCC. (2018). *Special Report on Global Warming of 1.5 °C*. Cambridge University Press.

IPCC. (2019 α)). *Special Report on Climate Change and Land*. Cambridge University Press.

IPCC. (2019 β)). *Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*. Cambridge University Press.

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*. Cambridge University Press.

IPCC. (2022). *Reports*. Προσβάσιμο στις 12 Δεκεμβρίου 2022 από την <https://www.ipcc.ch/reports/>

ISIMIP. (χ.χ.). *Input data set: EWEMBI*. Προσβάσιμο στις 7 Ιανουαρίου 2023 από την <https://www.isimip.org/gettingstarted/input-data-bias-adjustment/details/27/>



Jacob, D. et al. (2014). EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. *Regional Environmental Change*, 14(2), 563-578.

Jacob, D. et al. (2018). Climate Impacts in Europe Under +1.5°C Global Warming. *Earth's Future*, 6(2), 264–285.

Jacobeit, J., Hertig, E., Seubert, S. και Lutz, K. (2014). Statistical downscaling for climate change projections in the Mediterranean region: methods and results. *Regional Environmental Change*, 14(5), 1891–1906.

Jung, C. και Schindler, D. (2019). Changing wind speed distributions under future global climate. *Energy Conversion and Management*, 198, 111841.

Januta, A. (2021). *Explainer: The U.N. climate report's five futures – decoded.*

Προσβάσιμο στις 27 Ιανουαρίου 2023 από την

<https://www.reuters.com/business/environment/un-climate-reports-five-futures-decoded-2021-08-09/>

Jurchescu, M. et al. (2017). An approach to investigate the effects of climate change on landslide hazard at a national scale (Romania). Στο: Proceedings of the 33rd Romanian Geomorphology Symposium. Alexandru Ioan Cuza University of Iași Press, 121–124.

Kämäräinen, M. et al., (2018). Estimates of Present-Day and Future Climatologies of Freezing Rain in Europe Based on CORDEX Regional Climate Models. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 123(23), 13291–13304.

Karnauskas, K., Lundquist, J. και Zhang, L. (2018). Southward shift of the global wind energy resource under high carbon dioxide emissions. *Nature Geoscience*, 11(1), 38–43.

Karnauskas, K., Schleussner, C.-F., Donnelly, J. και Anchukaitis, K. (2018).

Freshwater stress on small island developing states: population projections and aridity changes at 1.5 and 2°C. *Regional Environmental Change*, 18, 2273–2282.

Kjellström, E. et al., (2018). European climate change at global mean temperature increases of 1.5 and 2°C above pre-industrial conditions as simulated by the EURO-CORDEX regional climate models. *Earth System Dynamics*, 9(2), 459–478.

Kirezci, E. et al. (2020). Projections of global-scale extreme sea levels and resulting episodic coastal flooding over the 21st Century. *Scientific Reports*, 10(1), 11629.

Kjellström, E. et al. (2018). European climate change at global mean temperature increases of 1.5 and 2°C above pre-industrial conditions as simulated by the EURO-CORDEX regional climate models. *Earth System Dynamics*, 9(2), 459–478.

Knist, S. et al. (2017). Land–atmosphere coupling in EURO-CORDEX evaluation experiments. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 122(1), 79–103.

Knutson, T. και Ploshay, J. (2016). Detection of anthropogenic influence on a summertime heat stress index. *Climatic Change*, 138(1-2), 25-39.

Knutson, T. και Zeng, F. (2018). Model assessment of observed precipitation trends over land regions: Detectable human influences and possible low bias in model trends. *Journal of Climate*, 31(12), 4617-4637.

Knutson, T., Zeng, F. και Wittenberg, A. (2013). Multimodel Assessment of Regional Surface Temperature Trends: CMIP3 and CMIP5 TwentiethCentury Simulations. *Journal of Climate*, 26(22), 8709–8743.

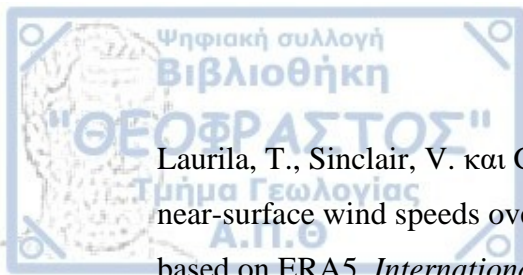
Kotlarski, S. et al. (2019). Observational uncertainty and regional climate model evaluation: A pan-European perspective. *International Journal of Climatology*, 39(9), 3730-3749.

Kouroutzoglou, J. et al. (2015). On the dynamics of a case study of explosive cyclogenesis in the Mediterranean. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 127(1), 49–73.

Kröner, N. et al. (2017). Separating climate change signals into thermodynamic, lapse-rate and circulation effects: theory and application to the European summer climate. *Climate Dynamics*, 48(9), 3425-3440.

Kuang, W. et al. (2021). Global observation of urban expansion and land-cover dynamics using satellite big-data. *Science Bulletin*, 66(4), 297–300.

Kundzewicz, Z., Pin'skwar, I. και Brakenridge, G. (2018). Changes in river flood hazard in Europe: A review. *Hydrology Research*, 49(2), 294–302.



Laurila, T., Sinclair, V. και Gregow, H. (2021). Climatology, variability, and trends in near-surface wind speeds over the North Atlantic and Europe during 1979–2018 based on ERA5. *International Journal of Climatology*, 41(4), 2253–2278.

Lawrence Livermore National Laboratory. (χ.χ.). *CMIP5 - Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 - Overview*. Προσβάσιμο στις 23 Ιανουαρίου 2023 από την

<https://pcmdi.llnl.gov/mips/cmip5/#:~:text=CMIP5%20promotes%20a%20standard%20set,out%20to%202100%20and%20beyond>)

Lelieveld, J. et al. (2016). Strongly increasing heat extremes in the Middle East and North Africa (MENA) in the 21st century. *Climatic Change*, 137, 245–260.

Li, W., Jiang, Z., Zhang, X. και Li, L. (2018). On the Emergence of Anthropogenic Signal in Extreme Precipitation Change Over China. *Geophysical Research Letters*, 45(17), 9179–9185.

Lionello, P. et al. (2016). Objective climatology of cyclones in the Mediterranean region: a consensus view among methods with different system identification and tracking criteria. *Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography*, 68(1), 29391.

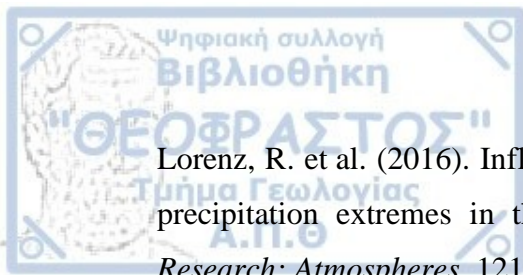
Lionello, P. et al. (2021). Introduction: Mediterranean Climate – Background Information. Στο Lionello, P. (εκδ.), *The Climate of the Mediterranean Region*. Elsevier (xxxv–xc).

Lionello, P. και Scarascia, L. (2018). The relation between climate change in the Mediterranean region and global warming. *Regional Environmental Change*, 18(5), 1481–1493.

Lionello, P. και Scarascia, L. (2020). The relation of climate extremes with global warming in the Mediterranean region and its north versus south contrast. *Regional Environmental Change*, 20(1), 31.

Logothetis, I., Tourpali, K., Misios, S. και Zanis, P. (2020). Etesians and the summer circulation over East Mediterranean in Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 simulations: Connections to the Indian summer monsoon. *International Journal of Climatology*, 40(2), 1118–1131.

López-Moreno, J. et al. (2020). Long-term trends (1958–2017) in snow cover duration and depth in the Pyrenees. *International Journal of Climatology*, 40(14), 6122–6136.



Lorenz, R. et al. (2016). Influence of land–atmosphere feedbacks on temperature and precipitation extremes in the GLACE-CMIP5 ensemble. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 121(2), 607–623.

Luijendijk, A. et al. (2018). The State of the World’s Beaches. *Scientific Reports*, 8(1), 6641.

Lussana, C. et al. (2018). seNorge2 daily precipitation, an observational gridded dataset over Norway from 1957 to the present day. *Earth System Science Data*, 10(1), 235-249.

Macias, D., Garcia-Goriz, E. και Stips, A. (2013). Understanding the Causes of Recent Warming of Mediterranean Waters. How Much Could Be Attributed to Climate Change? *PLOS ONE*, 8(11), e81591.

Mangini, W. et al. (2018). Detection of trends in magnitude and frequency of flood peaks across Europe. *Hydrological Sciences Journal*, 63(4), 493–512.

Manning, C. et al. (2019). Increased probability of compound long-duration dry and hot events in Europe during summer (1950–2013). *Environmental Research Letters*, 14(9), 094006.

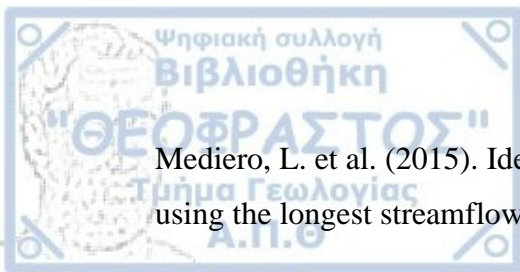
Mariotti, A. και Dell’Aquila, A. (2012). Decadal climate variability in the Mediterranean region: roles of large-scale forcings and regional processes. *Climate Dynamics*, 38(5–6), 1129–1145.

Martínez-Alvarado, O. et al. (2018). Increased wind risk from sting-jet windstorms with climate change. *Environmental Research Letters*, 13(4), 044002.

Maule, C., Mendlik, T. και Christensen, O. (2017). The effect of the pathway to a two degrees warmer world on the regional temperature change of Europe. *Climate Services*, 7, 3–11.

Marzeion, B. et al. (2020). Partitioning the Uncertainty of Ensemble Projections of Global Glacier Mass Change. *Earth’s Future*, 8(7), e2019EF001470.

Mediero, L., Santillán, D., Garrote, L. και Granados, A. (2014). Detection and attribution of trends in magnitude, frequency and timing of floods in Spain. *Journal of Hydrology*, 517, 1072–1088.



Mediero, L. et al. (2015). Identification of coherent flood regions across Europe by using the longest streamflow records. *Journal of Hydrology*, 528, 341- 360.

Medlock, J. et al. (2013). Driving forces for changes in geographical distribution of *Ixodes ricinus* ticks in Europe. *Parasites & Vectors*, 6(1), 1.

Mentaschi, L., Voudoukas, M., Pekel, J.-F., Voukouvalas, E. και Feyen, L. (2018). Global long-term observations of coastal erosion and accretion. *Scientific Reports*, 8(1), 12876.

Meyers, R. (2002). *Encyclopedia of Physical Science and Technology*. Academic Press.

Mioduszewski, J, Rennermalm, A., Robinson D. και Wang, L. (2015). Controls on Spatial and Temporal Variability in Northern Hemisphere Terrestrial Snow Melt Timing, 1979–2012. *Journal of Climate*, 28(6), 2136-2153.

Moemken, J., Reyers, M., Feldmann, H. και Pinto, J. (2018). Future Changes of Wind Speed and Wind Energy Potentials in EURO-CORDEX Ensemble Simulations. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 123(12), 6373–6389.

Mohr, S., Kunz, M. και Geyer, B. (2015). Hail potential in Europe based on a regional climate model hindcast. *Geophysical Research Letters*, 42(24), 10904–10912.

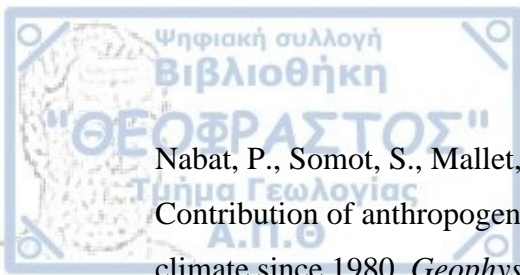
Mohr, S., Kunz, M. και Keuler, K. (2015). Development and application of a logistic model to estimate the past and future hail potential in Germany. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 120(9), 3939–3956.

Monioudi, I.N. et al. (2017). Assessment of island beach erosion due to sea level rise: the case of the Aegean archipelago (Eastern Mediterranean). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 17(3), 449–466.

Mora, C. et al. (2018). Broad threat to humanity from cumulative climate hazards intensified by greenhouse gas emissions. *Nature Climate Change*, 8(12), 1062–1071.

Muchan, K. και Dixon, H. (2019). Insights into rainfall undercatch for differing raingauge rim heights. *Hydrology Research*, 50(6), 1564-1576.

Mudersbach, C., Bender, J. και Netzel, F. (2017). An analysis of changes in flood quantiles at the gauge Neu Darchau (Elbe River) from 1875 to 2013. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 31(1), 145–157.



Nabat, P., Somot, S., Mallet, M., Sanchez-Lorenzo, A. και Wild, M. (2014).

Contribution of anthropogenic sulfate aerosols to the changing Euro-Mediterranean climate since 1980. *Geophysical Research Letters*, 41(15), 5605-5611.

NASA. (2022 α)). *EFFECTS. The Effects of Climate Change*. Προσβάσιμο στις 12 Ιανουαρίου 2023 από την <https://climate.nasa.gov/effects/>

NASA. (2022 β)). *The Study of Earth as an Integrated System*. Προσβάσιμο στις 12 Ιανουαρίου 2023 από την [https://climate.nasa.gov/nasa\\_science/science/](https://climate.nasa.gov/nasa_science/science/)

NASA. (2022 γ)). *What's the difference between climate change and global warming?* Προσβάσιμο στις 12 Ιανουαρίου 2023 από την <https://climate.nasa.gov/faq/12/whats-the-difference-between-climate-change-and-global-warming/>

National Weather Service. (χ.χ.). *WetBulb Globe Temperature*. Προσβάσιμο στις 12 Ιανουαρίου 2023 από την [https://www.weather.gov/tsa/wbgt#:~:text=The%20WetBulb%20Globe%20Temperature%20\(WBGT,is%20calculated%20for%20shady%20areas](https://www.weather.gov/tsa/wbgt#:~:text=The%20WetBulb%20Globe%20Temperature%20(WBGT,is%20calculated%20for%20shady%20areas)

NIDIS. (2023). *Ecological Drought*. Προσβάσιμο στις 22 Ιανουαρίου 2023 από την <https://www.drought.gov/what-is-drought/ecological-drought#:~:text=Ecological%20drought%20is%20an%20E2%80%9Cepisodic,2017>)

NOAA. (2023 γ)). *Fire Weather FAQ*. Προσβάσιμο στις 22 Ιανουαρίου 2023 από την <https://www.weather.gov/jan/fireweatherfaq#:~:text=Fire%20weather%20is%20the%20use,fire%20growth%20and%20smoke%20dispersion>

NOAA. (χ.χ.). *Tropical, subtropical, extratropical?* Προσβάσιμο στις 22 Ιανουαρίου 2023 από την [https://www.weather.gov/source/zhu/ZHU\\_Training\\_Page/tropical\\_stuff/sub\\_extra\\_tropical/subtropical.htm#:~:text=An%20extratropical%20cyclone%20can%20have,latitudes%20much%20of%20their%20precipitation](https://www.weather.gov/source/zhu/ZHU_Training_Page/tropical_stuff/sub_extra_tropical/subtropical.htm#:~:text=An%20extratropical%20cyclone%20can%20have,latitudes%20much%20of%20their%20precipitation)

NOAA. (2023 α)). *Climate Model: Temperature Change (RCP 4.5) - 2006 - 2100*. Προσβάσιμο στις 22 Ιανουαρίου 2023 από την <https://sos.noaa.gov/catalog/datasets/climate-model-temperature-change-rcp-45-2006->

2100/#::~:~:text=The%20RCP%204.5%20scenario%20is,for%20reducing%20greenhou  
se%20gas%20emissions

NOAA. (2023 β)). *Definition of Drought*. Προσβάσιμο στις 22 Ιανουαρίου 2023 από την <https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/dyk/drought-definition>

Noël, B. et al. (2015). Evaluation of the updated regional climate model RACMO2.3: Summer snowfall impact on the Greenland Ice Sheet. *Cryosphere*, 9(5), 1831-1844.

Noetzli, J. et al. (2019). Permafrost thermal state [in "State of the Climate in 2018"]. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 100(9), S21–22.

Obermann, A. et al. (2018). Mistral and Tramontane wind speed and wind direction patterns in regional climate simulations. *Climate Dynamics*, 51(3), 1059–1076.

Oliver, E. et al. (2018). Longer and more frequent marine heatwaves over the past century. *Nature Communications*, 9(1), 1324.

O'Reilly, C., Woollings, T. και Zanna, L. (2017). The Dynamical Influence of the Atlantic Multidecadal Oscillation on Continental Climate. *Journal of Climate*, 30(18), 7213–7230.

Ossó, A., Shaffrey, L., Dong, B. και Sutton, R. (2019). Impact of air–sea coupling on Northern Hemisphere summer climate and the monsoon–desert teleconnection. *Climate Dynamics*, 53(7–8), 5063–5078.

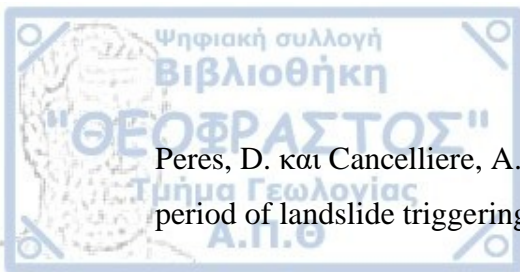
Osuch, M., Lawrence, D., Meresa, H., Napiorkowski, J. και Romanowicz, R. (2017). Projected changes in flood indices in selected catchments in Poland in the 21st century. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 31(9), 2435–2457.

Ozturk, T., Turp, M., Türkeş, M. και Kurnaz, M. (2018). Future projections of temperature and precipitation climatology for CORDEX-MENA domain using RegCM4.4. *Atmospheric Research*, 206, 87–107.

Pall, P., Tallaksen, L. και Stordal, F. (2019). A climatology of rain-on-snow events for Norway. *Journal of Climate*, 32(20), 6995–7016.

Park, J.-Y., Bader, J. και Matei, D. (2016). Anthropogenic Mediterranean warming essential driver for present and future Sahel rainfall. *Nature Climate Change*, 6(10), 941–945.





Peres, D. και Cancelliere, A. (2018). Modeling impacts of climate change on return period of landslide triggering. *Journal of Hydrology*, 567, 420–434.

Prein, A. et al. (2016). Precipitation in the EURO-CORDEX 0.11° and 0.44° simulations: high resolution, high benefits? *Climate Dynamics*, 46(1-2), 383-412.

Prein, A.F. και Gobiet, A. (2017). Impacts of uncertainties in European gridded precipitation observations on regional climate analysis. *International Journal of Climatology*, 37(1), 305-327.

Poschlod, B., Zscheischler, J., Sillmann, J., Wood, R. και Ludwig, R. (2020). Climate change effects on hydrometeorological compound events over southern Norway. *Weather and Climate Extremes*, 28, 100253.

Qasmi, S., Sanchez-Gomez, E., Ruprich-Robert, Y., Boé, J. και Cassou, C. (2021). Modulation of the Occurrence of Heatwaves over the Euro-Mediterranean Region by the Intensity of the Atlantic Multidecadal Variability. *Journal of Climate*, 34(3), 1099–1114.

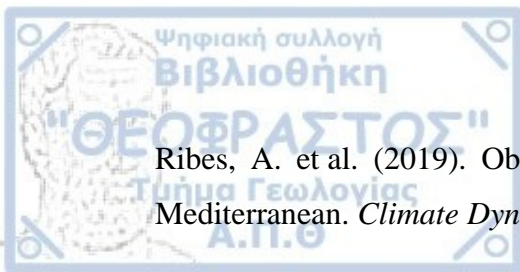
Quesada, B., Vautard, R., Yiou, P., Hirschi, M. και Seneviratne, S. (2012). Asymmetric European summer heat predictability from wet and dry southern winters and springs. *Nature Climate Change*, 2(10), 736–741.

Rajczak, J. και Schär, C. (2017). Projections of Future Precipitation Extremes Over Europe: A Multimodel Assessment of Climate Simulations. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 122(20), 10773-10800.

Räisänen, J. και Eklund, J. (2012). 21st Century changes in snow climate in Northern Europe: a high-resolution view from ENSEMBLES regional climate models. *Climate Dynamics*, 38(11–12), 2575–2591.

Rauthe, M., Steiner, H., Riediger, U., Mazurkiewicz, A. και Gratzki, A. (2013). A Central European precipitation climatology – Part I: Generation and validation of a high-resolution gridded daily data set (HYRAS). *Meteorologische Zeitschrift*, 22(3), 235-256.

Raymond, F., Ullmann, A., Trambly, Y., Drobinski, P. και Camberlin, P. (2019). Evolution of Mediterranean extreme dry spells during the wet season under climate change. *Regional Environmental Change*, 19(8), 2339–2351.



Ribes, A. et al. (2019). Observed increase in extreme daily rainfall in the French Mediterranean. *Climate Dynamics*, 52(1–2), 1095–1114.

Rodwell, M. και Hoskins, B. (1996). Monsoons and the dynamics of deserts. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 122(534), 1385–1404.

Rojas, R., Feyen, L., Bianchi, A. and Dosio, A. (2012). Assessment of future flood hazard in Europe using a large ensemble of bias-corrected regional climate simulations. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 117, D17109.

Rojas, R., Feyen, L. και Watkiss, P. (2013) Climate change and river floods in the European Union: Socio-economic consequences and the costs and benefits of adaptation. *Global Environmental Change*, 23(6), 1737–1751.

Romanovsky, V. et al. (2018). Terrestrial Permafrost [in “State of the Climate in 2017”]. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 99(8), S161–S165.

Roudier, P. et al. (2016). Projections of future floods and hydrological droughts in Europe under a +2°C global warming. *Climatic Change*, 135(2), 341–355.

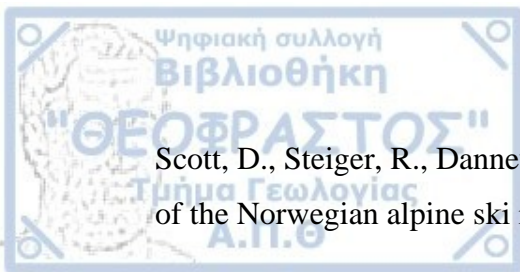
Ruosteenoja, K., Markkanen, T., Venäläinen, A., Räisänen, P. και Peltola, H. (2018). Seasonal soil moisture and drought occurrence in Europe in CMIP5 projections for the 21st century. *Climate Dynamics*, 50(3–4), 1177–1192.

Russo, S., Sillmann, J. και Fischer, E. (2015). Top ten European heatwaves since 1950 and their occurrence in the coming decades. *Environmental Research Letters*, 10(12), 124003.

Sanchez, J. et al. (2017). Are meteorological conditions favoring hail precipitation change in Southern Europe? Analysis of the period 1948–2015. *Atmospheric Research*, 198, 1–10.

Sanchez-Lorenzo, A. et al. (2015). Reassessment and update of long-term trends in downward surface shortwave radiation over Europe (1939–2012). *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 120(18), 9555–9569.

Schlögl, M. και Matulla, C. (2018). Potential future exposure of European land transport infrastructure to rainfall-induced landslides throughout the 21st century. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 18(4), 1121–1132.



Scott, D., Steiger, R., Dannevig, H. και Aall, C. (2020). Climate change and the future of the Norwegian alpine ski industry. *Current Issues in Tourism*, 23(19), 2396–2409.

Sedlmeier, K., Mieruch, S., Schädler, G. και Kottmeier, C. (2016). Compound extremes in a changing climate - a Markov chain approach. *Nonlinear Processes in Geophysics*, 23(6), 375–390.

Seneviratne, S., Lüthi, D., Litschi, M. και Schär, C. (2006). Land–atmosphere coupling and climate change in Europe. *Nature*, 443(7108), 205–209.

Simpson, I., Seager, R., Shaw, T. και Ting, M. (2015). Mediterranean Summer Climate and the Importance of Middle East Topography. *Journal of Climate*, 28(5), 1977–1996.

Skaugen, T., Stranden, H. και Saloranta, T. (2012). Trends in snow water equivalent in Norway (1931–2009). *Hydrology Research*, 43(4), 489-499.

Skrynyk, O. et al. (2020). Ukrainian early (pre-1850) historical weather observations. *Geoscience Data Journal*, 8(1), 55-73.

Smits, A., Klein Tank, A. και Können, G. (2005). Trends in storminess over the Netherlands, 1962–2002. *International Journal of Climatology*, 25(10), 1331–1344.

Soto-Navarro, J. et al. (2020). Evolution of Mediterranean Sea water properties under climate change scenarios in the Med-CORDEX ensemble. *Climate Dynamics*, 54(3–4), 2135–2165.

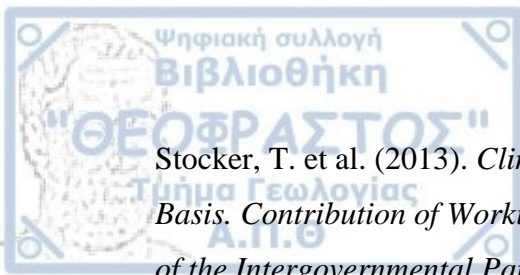
Spandre, P. et al. (2019). Winter tourism under climate change in the Pyrenees and the French Alps: relevance of snowmaking as a technical adaptation. *The Cryosphere*, 13(4), 1325–1347.

Spinoni, J., Vogt, J., και Barbosa, P. (2015). European degree-day climatologies and trends for the period 1951-2011. *International Journal of Climatology*, 35(1), 25-36.

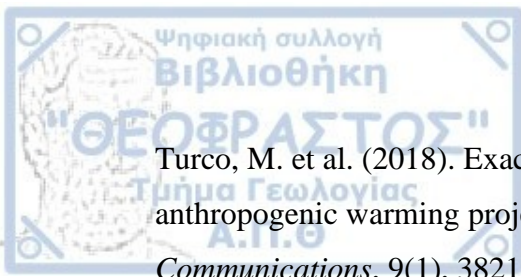
Spinoni, J. et al. (2018). Changes of heating and cooling degree-days in Europe from 1981 to 2100. *International Journal of Climatology*, 38(S1), e191-e208.

Spinoni, J. et al. (2020). Future Global Meteorological Drought Hot Spots: A Study Based on CORDEX Data. *Journal of Climate*, 33(9), 3635–3661.

Steiger, R. και Scott, D. (2020). Ski tourism in a warmer world: Increased adaptation and regional economic impacts in Austria. *Tourism Management*, 77, 104032.



- Stocker, T. et al. (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
- Storkey, J., Stratonovitch, P., Chapman, D., Vidotto, F. και Semenov, M. (2014). A Process-Based Approach to Predicting the Effect of Climate Change on the Distribution of an Invasive Allergenic Plant in Europe. *PLOS ONE*, 9(2), e88156.
- Strobach, E. και Bel, G. (2019). Regional decadal climate predictions using an ensemble of WRF parameterizations driven by the MIROC5 GCM. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 58(3), 527–549.
- Sutton, R. και Dong, B. (2012). Atlantic Ocean influence on a shift in European climate in the 1990s. *Nature Geoscience*, 5, 788.
- Tian, Q., Huang, G., Hu, K. και Niyogi, D. (2019). Observed and global climate model-based changes in wind power potential over the Northern Hemisphere during 1979–2016. *Energy*, 167, 1224–1235.
- Tramblay, Y., Mimeau, L., Neppel, L., Vinet, F. και Sauquet, E. (2019). Detection and attribution of flood trends in Mediterranean basins. *Hydrology and Earth System Sciences*, 23(11), 4419–4431.
- Thober, S. et al. (2018). Multi-model ensemble projections of European river floods and high flows at 1.5, 2-, and 3-degrees global warming. *Environmental Research Letters*, 13(1), 014003.
- Tobin, I. et al. (2015). Assessing climate change impacts on European wind energy from ENSEMBLES high-resolution climate projections. *Climatic Change*, 128(1–2), 99–112.
- Tobin, I. et al. (2016). Climate change impacts on the power generation potential of a European mid-century wind farms scenario. *Environmental Research Letters*, 11(3), 034013.
- Tobin, I. et al. (2018). Vulnerabilities and resilience of European power generation to 1.5°C, 2°C and 3°C warming. *Environmental Research Letters*, 13(4), 044024.
- Tous, M., Zappa, G., Romero, R., Shaffrey, L. και Vidale, P. (2016). Projected changes in medicanes in the HadGEM3 N512 high-resolution global climate model. *Climate Dynamics*, 47(5–6), 1913–1924.



Turco, M. et al. (2018). Exacerbated fires in Mediterranean Europe due to anthropogenic warming projected with non-stationary climate–fire models. *Nature Communications*, 9(1), 3821.

Turnock, S.T. et al. (2016). The impact of European legislative and technology measures to reduce air pollutants on air quality, human health and climate. *Environmental Research Letters*, 11(2), 24010.

UCAR. (2023 α)). *Global surface temperatures: BEST: Berkeley Earth Surface Temperatures*. Προσβάσιμο στις 12 Ιανουαρίου 2023 από την <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/global-surface-temperatures-best-berkeley-earth-surface-temperatures>

UCAR. (2023 β)). *GPCC: Global Precipitation Climatology Centre*. Προσβάσιμο στις 12 Ιανουαρίου 2023 από την <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/gpcc-global-precipitation-climatology-centre>

UCAR. (2023 γ)). *GPCP (Monthly): Global Precipitation Climatology Project*. Προσβάσιμο στις 12 Ιανουαρίου 2023 από την <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/gpcp-monthly-global-precipitation-climatology-project#:~:text=The%20GPCP%20monthly%20dataset%20is,with%20some%20delay%20for%20processing>

UNDRR. (2022). *PUBLICATION/ DOCUMENTS AND PUBLICATIONS. CLIMATE CHANGE 2021: THE PHYSICAL SCIENCE BASIS (AR6)*. Προσβάσιμο στις 22 Δεκεμβρίου 2022 από την <https://www.preventionweb.net/publication/climate-change-2021-physical-science-basis-ar6>

Varela, R., Rodríguez-Díaz, L. και DeCastro, M. (2020). Persistent heat waves projected for Middle East and North Africa by the end of the 21st century. *PLOS ONE*, 15(11), e0242477.

Van Oldenborgh, G. et al. (2009). Western Europe is warming much faster than expected. *Climate of the Past*, 5(1), 1–12.

Vautard, R. et al. (2021). Evaluation of the Large EURO-CORDEX Regional Climate Model Ensemble. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 126(17), e2019JD032344.

Vidal, J., Hingray, B., Magand, C., Sauquet, E. και Ducharne, A. (2016). Hierarchy of climate and hydrological uncertainties in transient low-flow projections. *Hydrology and Earth System Sciences*, 20(9), 3651–3672.

Vidal, J., Martin, E., Franchistéguy, L., Baillon, M. και Soubeyroux, J. (2010). A 50-year high-resolution atmospheric reanalysis over France with the Safran system. *International Journal of Climatology*, 30(11), 1627-1644.

Vautard, R. et al. (2018). Attribution of Wintertime Anticyclonic Stagnation Contributing to Air Pollution in Western Europe. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 99(1), S70–S75.

Vautard, R. et al. (2019). Human influence on European winter wind storms such as those of January 2018. *Earth System Dynamics*, 10(2), 271–286.

Vezzulli, L., Pezzati, E., Brettar, I., Höfle, M. και Pruzzo, C. (2015). Effects of Global Warming on Vibrio Ecology. *Microbiology Spectrum*, 3(3).

Vicente-Serrano, S. et al. (2017). Extreme hydrological events and the influence of reservoirs in a highly regulated river basin of northeastern Spain. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 12, 13–32.

Vousdoukas, M., Mentaschi, L., Voukouvalas, E., Verlaan, M. και Feyen, L. (2017). Extreme sea levels on the rise along Europe's coasts. *Earth's Future*, 5(3), 304–323.

Vousdoukas, M.I. et al. (2018). Global probabilistic projections of extreme sea levels show intensification of coastal flood hazard. *Nature Communications*, 9(1), 2360.

Vousdoukas, M.I. et al. (2020). Sandy coastlines under threat of erosion. *Nature Climate Change*, 10(3), 260–263.

Weber, J., Gotzens, F. και Withaut, D. (2018). Impact of strong climate change on the statistics of wind power generation in Europe. *Energy Procedia*, 153, 22–28.

Wickström, S., Jonassen, M., Vihma, T. και Uotila, P. (2020). Trends in cyclones in the high-latitude North Atlantic during 1979–2016. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 146(727), 762–779.

Yettella, V. και England, M. (2018). The Role of Internal Variability in Twenty-First-Century Projections of the Seasonal Cycle of Northern Hemisphere Surface Temperature. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 123(23), 13149–13167

Zampieri, M. και Lionello, P. (2011). Anthropogenic land use causes summer cooling in Central Europe. *Climate Research*, 46(3), 255-268.

Zampieri, M. et al. (2009). Hot European Summers and the Role of Soil Moisture in the Propagation of Mediterranean Drought. *Journal of Climate*, 22(18), 4747–4758.

Zappa, G., Shaffrey, L., Hodges, K., Sansom, P. και Stephenson, D. (2013). A Multimodel Assessment of Future Projections of North Atlantic and European Extratropical Cyclones in the CMIP5 Climate Models. *Journal of Climate*, 26(16), 5846–5862.

Zekollari, H., Huss, M. και Farinotti, D. (2019). Modelling the future evolution of glaciers in the European Alps under the EURO-CORDEX RCM ensemble. *The Cryosphere*, 13(4), 1125–1146.

Zeng, Z. et al. (2019). A reversal in global terrestrial stilling and its implications for wind energy production. *Nature Climate Change*, 9(12), 979–985.

Zhong, X. et al. (2018). Spatiotemporal variability of snow depth across the Eurasian continent from 1966 to 2012. *The Cryosphere*, 12(1), 227-245.

Zhou, S. et al. (2021). Soil moisture–atmosphere feedbacks mitigate declining water availability in drylands. *Nature Climate Change*, 11(1), 38–44.

Zittis, G. και Hadjinicolaou, P. (2017). The effect of radiation parameterization schemes on surface temperature in regional climate simulations over the MENA-CORDEX domain. *International Journal of Climatology*, 37(10), 3847–3862.

Zittis, G., Hadjinicolaou, P., Klangidou, M., Proestos, Y. και 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.

Χαρίση, Σ. (2019). *Μελέτη χρονικών και χωρικών μεταβολών της Θερμοκρασίας και της Βροχόπτωσης στην περιοχή της Κρήτης* (προπτυχιακή εργασία). Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών.