

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΙΧΘΥΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΑΤΙΝΟΥ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«Η εξέλιξη του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής από τις αρχές του
20^{ου} αιώνα έως σήμερα και οι επιπτώσεις της στους υδρολογικούς
κινδύνους και τα πλημμυρικά φαινόμενα»**

Ελεονόρα Χαλίδου

ΒΟΛΟΣ 2025

*«Η εξέλιξη του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής από τις αρχές του 20^{ου} αιώνα
έως σήμερα και οι επιπτώσεις της στους υδρολογικούς κινδύνους και τα πλημμυρικά
φαινόμενα»*

*«The evolution of the Climate Change Phenomena from the Beginning of the 20th
Century till Today and its Consequences to Hydrological Hazards and Flooding
Phenomena»*

Τριμελείς Εξεταστική Επιτροπή :

- 1) Άρης Ψιλοβίκος**, Καθηγητής, Αειφορική Διαχείριση Υδατικών Πόρων, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, **Επιβλέπων**.
- 2) Ευαγγελία Φαρσιρώτου**, Καθηγήτρια, Υδροδυναμικά και Αντιπλημμυρικά Έργα, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, **Μέλος**.
- 3) Αναστασία Αγγελάκη**, ΕΔΙΠ, Γεωργική Υδραυλική, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής & Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, **Μέλος**.

Στην αδερφή μου. Το αίμα νερό δεν γίνεται.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της Προπτυχιακής Διπλωματικής μου εργασίας, αποχαιρετώ ένα κομμάτι του εαυτού μου. Μια υπέροχη περίοδος της ζωής μου, τα φοιτητικά μου χρόνια, λαμβάνουν τέλος για να μου ανοίξουν έναν νέο δρόμο εμπειριών, που έχει ως στόχο την επαγγελματική μου εξέλιξη.

Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου προς όλους τους καθηγητές του τμήματός μου. Ο καθένας τους, με τις εμπειρίες γύρω από το αντικείμενό του, μου προσέφερε πολύτιμες γνώσεις, βασικές για την επαγγελματική μου σταδιοδρομία.

Ιδιαίτερα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Επιβλέποντα της εργασίας μου, κ. Άρη Ψιλοβίκο, για την πολύτιμη βοήθεια και την απερίγραπτη υπομονή που έδειξε κατά τη διεκπεραίωση της παρούσας εργασίας, καθώς και τα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής μου, αποτελούμενη από την κα. Ευαγγελία Φαρσιρώτου, Καθηγήτρια του Τμήματος Γ.Ι.Υ.Π. του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, και την κα. Αναστασία Αγγελάκη, ΕΔΙΠ του Τμήματος Γ.Φ.Π.Α.Π. του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, για την αμέριστη υποστήριξη και την πλήρη καθοδήγηση καθ' όλη τη διάρκεια συγγραφής της εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω την βαθιά μου ευγνωμοσύνη στην οικογένεια και τους φίλους μου για την αμέριστη συμπαράσταση και απέραντη κατανόηση και ανοχή που έδειξαν προς το πρόσωπό μου καθ' όλο το διάστημα των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ένα επίκαιρο ζήτημα που έρχεται αντιμέτωπο με την ανθρωπότητα είναι η αλλαγή του κλίματος της γης. Είναι επιβεβαιωμένο ότι το κλίμα είναι από τη φύση του μεταβαλλόμενο, αφού εξαρτάται από εσωτερικούς και εξωτερικούς παράγοντες, που από μόνοι τους δεν είναι σταθεροί. Παρόλα αυτά, το έργο του ανθρώπου διαδραμάτισε σημαντικό ρόλο στην αλλαγή του. Το κλιματικό σύστημα του πλανήτη συνδέεται με το φαινόμενο του θερμοκηπίου, το οποίο επηρεάζεται από την ανθρώπινη δραστηριότητα. Οι βιομηχανίες, η γεωργία, οι μεταφορές οδηγούν στην απελευθέρωση αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα, με αποτέλεσμα να τροποποιείται η σύνθεσή της και, κατ' επέκταση, να αυξάνεται η μέση παγκόσμια θερμοκρασία. Στα επόμενα κεφάλαια γίνεται αναφορά στην ιστορική αναδρομή της κλιματικής αλλαγής, πώς, δηλαδή, οι άνθρωποι την σύνδεσαν αρχικά με μια υπερδύναμη οντότητα και, έπειτα, ξεκίνησαν να μελετούν το κλίμα και τις διεργασίες του φτάνοντας στην θεμελίωση του φαινομένου του θερμοκηπίου, του οποίου η εγκυρότητα αμφισβητήθηκε. Ενώ τη δεκαετία του 30' η άποψη πως ο πλανήτης θερμαίνεται έγινε αποδεκτή, τη δεκαετία του 70' διχάστηκε η κοινή γνώμη, με τους μεν να υποστηρίζουν ότι η παγκόσμια θερμοκρασία μειώνεται και τους δε να πιστεύουν ότι αυξάνεται. Στη συνέχεια, οι επιστημονικές μελέτες συμμορφώθηκαν με την πεποίθηση ότι η γη ψυχραίνεται αποδίδοντας την τάση αυτή στα αυξημένα επίπεδα συγκέντρωσης θετικών αερολυμάτων, που χρησιμοποιούνταν κυρίως στη γεωργία, και αερίων παρόμοιας σύστασης, προερχόμενα από ηφαιστειακή δραστηριότητα, στην στρατόσφαιρα. Αργότερα, η άποψη αυτή διαψεύσθηκε, αφού το φαινόμενο ψύχρανσης αφορούσε μόνο περιοχές του Βόρειου Ημισφαιρίου ευνοώντας τις συνθήκες για δημιουργία θεωριών συνομωσίας. Ωστόσο, εκείνη τη περίοδο αναπτύχθηκαν τα πρώτα τρισδιάστατα μοντέλα πρόβλεψης του κλίματος για την

καλύτερη κατανόηση και μελέτη του. Τα αποτελέσματα των προβλέψεών τους, που διασταυρώθηκαν με τα αντίστοιχα άλλων μοντέλων, έδειχναν ότι ένας πιθανός διπλασιασμός της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα, θα αύξανε την μέση παγκόσμια θερμοκρασία κατά 2°C. Το γεγονός αυτό, όπως και η περίπτωση των χλωροφθορανθράκων, έστρεψε την προσοχή στην ανάγκη συνεργασίας μεταξύ των διάφορων κρατών για την έρευνα και την ανταλλαγή δεδομένων, καθώς και τον ορισμό νομοθετικών μέτρων. Εν τέλει, το 1988 ιδρύθηκε η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος (Intergovernmental Panel of Climate Change - IPCC), με σκοπό την αξιολόγηση και την ενίσχυση πληροφοριών συναφών με την κλιματική αλλαγή. Η ίδια δημοσιεύει ανά χρονικά διαστήματα αναφορές, που έχουν ως κεντρικό θέμα την αποτύπωση των επιστημονικών ερευνών, την απαρίθμηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής και των τρόπων μετριασμού και προσαρμογής τους, καθώς και την πρόβλεψη της μελλοντικής κατάστασης. Μετά την ανάλυση των έξι Εκθέσεων Αξιολόγησης της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Κλιματική Αλλαγή παρακάτω, παρουσιάζονται μια σειρά από ετήσια παγκόσμια ρεκόρ θερμοκρασιών, βροχοπτώσεων, πλημμυρών και πυρκαγιών, ακολουθούμενα από την περιγραφή των πέντε σημαντικότερων πλημμυρικών φαινομένων στον ελλαδικό χώρο, συμπεριλαμβανομένου του πρόσφατου που έπληξε την Θεσσαλία και συνδέεται με την καταιγίδα Ντάνιελ. Τέλος, προτείνονται μέτρα μετριασμού και ανάπτυξης συστημάτων παρακολούθησης έγκαιρης πρόβλεψης πλημμυρών.

Λέξεις κλειδιά: κλιματική αλλαγή, παγκόσμια μέση θερμοκρασία, αέρια θερμοκηπίου, πλημμύρες

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1. Σκοπός της διπλωματικής εργασίας	1
1.2.Φυσική κλιματική αλλαγή.....	1
1.3.Ανθρωπογενής κλιματική αλλαγή.....	5
2.ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	7
2.1.Η ιστορία της κλιματικής αλλαγής	7
2.1.1.Ο άνθρωπος επηρεάζει το κλίμα: Οι πρώτες παρατηρήσεις	7
2.1.2.Παλαιοκλιματικές παρατηρήσεις.....	8
2.1.3.Το φαινόμενο του θερμοκηπίου και οι αρχικές προβλέψεις	11
2.1.4.Οι πρώτες αμφισβητήσεις	13
2.1.5.Κοινή αποδοχή του φαινομένου	15
2.1.6.Προβλέψεις για τη μεταβολή της θερμοκρασίας	17
2.1.7.Τα πρώτα αποτελεσματικά μέτρα αντιμετώπισης	20
2.1.8.Πεποιθήσεις και θεωρίες συννομοσίας.....	23
2.2.Η ίδρυση της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Κλιματική Αλλαγή	28
2.2.1.Πρώτη Έκθεση Αξιολόγησης του IPCC	32
2.2.2.Δεύτερη Έκθεση Αξιολόγησης του IPCC	36
2.2.3.Τρίτη Έκθεση Αξιολόγησης του IPCC	38
2.2.4.Τέταρτη Έκθεση Αξιολόγησης του IPCC	43
2.2.5.Πέμπτη Έκθεση Αξιολόγησης του IPCC	48
2.2.6.Έκτη Έκθεση Αξιολόγησης του IPCC.....	51
2.3.Παγκόσμια ρεκόρ που σημειώθηκαν από το 2000 έως σήμερα.....	54
2.3.1.Παγκόσμια ρεκόρ θερμοκρασιών	55
2.3.2.Παγκόσμια ρεκόρ βροχοπτώσεων	59
2.3.3.Παγκόσμια ρεκόρ πλημμυρών	65
2.3.4.Παγκόσμια ρεκόρ πυρκαγιών	68
3.ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ	74

3.1.Κατηγοριοποίηση πλημμυρών και ευπαθών περιοχών	74
3.2.Αιτίες εμφάνισης πλημμυρών	75
3.3.Επιπλέον παράγοντες εμφάνισης πλημμυρών	77
3.4.Οι πλημμύρες στον ελλαδικό χώρο	80
3.4.1. Η κακοκαιρία Ντάνιελ (9/2023) και οι πλημμύρες στη Θεσσαλία	83
3.4.2. Ο μεσογειακός κυκλώνας Ιανός (9/2020) και οι πλημμύρες στη Θεσσαλία και σε άλλες περιοχές	93
3.4.3. Η κακοκαιρία Θάλεια (8/2020) και οι πλημμύρες σε Λαγκαδά και Εύβοια	101
3.4.4. Η πλημμύρα (11/2019) στην Χαλκιδική	108
3.4.5. Το χαμηλό βαρομετρικό “Ευρυδίκη” και οι πλημμύρες στη Δυτική Αττική (11/2017)	111
4.ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ	118
4.1.Μέτρα μετριασμού πλημμυρών	118
4.2.Συστήματα παρακολούθησης και έγκαιρης πρόγνωσης πλημμυρών	120
5.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	123
6.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	129
6.1.Ξένη Βιβλιογραφία	129
6.2.Ελληνική Βιβλιογραφία	145
6.3.Ηλεκτρονική Βιβλιογραφία	147
ABSTRACT	149

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

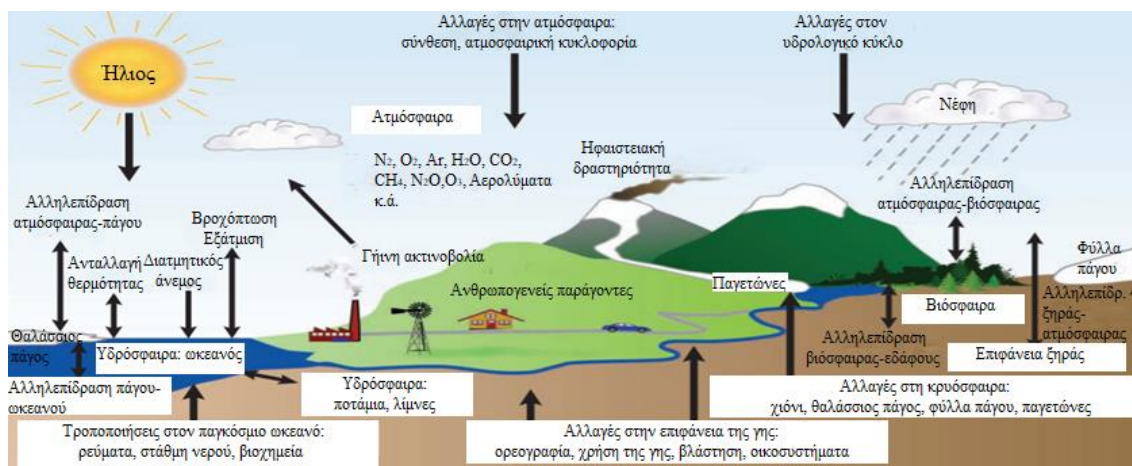
1.1. Σκοπός της διπλωματικής εργασίας

Σκοπός της παρούσας προπτυχιακής διπλωματικής εργασίας είναι η παρουσίαση του ζητήματος της κλιματικής αλλαγής με σαφήνεια από την αρχή της εμφάνισής της, δηλαδή το 1895, έως σήμερα. Βασισμένη σε επιστημονικές βιβλιογραφικές ανασκοπές και άρθρα, γίνεται αναφορά στις διάφορες επιστημονικές απόψεις που επικρατούσαν και επικρατούν, σχετικά με τις αιτίες και τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής, καθώς επίσης και σε μια σειρά πλημμυρικών φαινομένων που άφησαν το στίγμα τους στην κοινωνία της Ελλάδας και οφείλονται τόσο στην κλιματική αλλαγή όσο και σε ανθρώπινα λάθη. Πέρα από τη διαμόρφωση μιας περισσότερο ολοκληρωμένης εικόνας του θέματος και των μελλοντικών διαστάσεών του, στοχεύει, επίσης, στο να αφυπνίσει την κοινή γνώμη για τα δραστικά μέτρα που απαιτείται να παρθούν σε ατομικό, συλλογικό, αλλά και σε κυβερνητικό επίπεδο, προκειμένου να περιοριστούν οι καταστροφικές συνέπειες που επιφέρει στο φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον.

1.2. Φυσική κλιματική αλλαγή

Ανατρέχοντας στην επιστήμη του κλίματος θα έρθει κανείς αντιμέτωπος με μια σειρά από αποδεικτικά στοιχεία, τα οποία δίνουν μια ξεκάθαρη εικόνα για την εξέλιξη του κλίματος. Από την μελέτη της ιστορίας του, γίνεται αντιληπτό ότι το κλίμα της Γης μεταβάλλεται συνεχώς, από τα πρώτα χρόνια της δημιουργίας του πλανήτη. Ορισμένες αλλαγές ανιχνεύονται με την πάροδο του χρόνου, όπως είναι η αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας, ενώ άλλες είναι άμεσα εμφανείς, όπως οι αλλαγές στα καιρικά μοτίβα (Farmer & Cook 2013).

Το κλίμα της Γης αποτελεί ένα πολύπλοκο φυσικό μηχανισμό με πολλές μεταβλητές και μηχανισμούς ανάδρασης (Εικ. 1.1.). Στην πραγματικότητα αποκαλύπτει την κατάσταση που επικρατεί στην ατμόσφαιρα και εκφράζεται ποσοτικά μέσω της εκτίμησης της μέσης ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας και της μέσης ατμοσφαιρικής πίεσης σε ορισμένο τόπο και χρόνο (Khilyuk & Chilingar 2006, Sorokhtin et al. 2007).

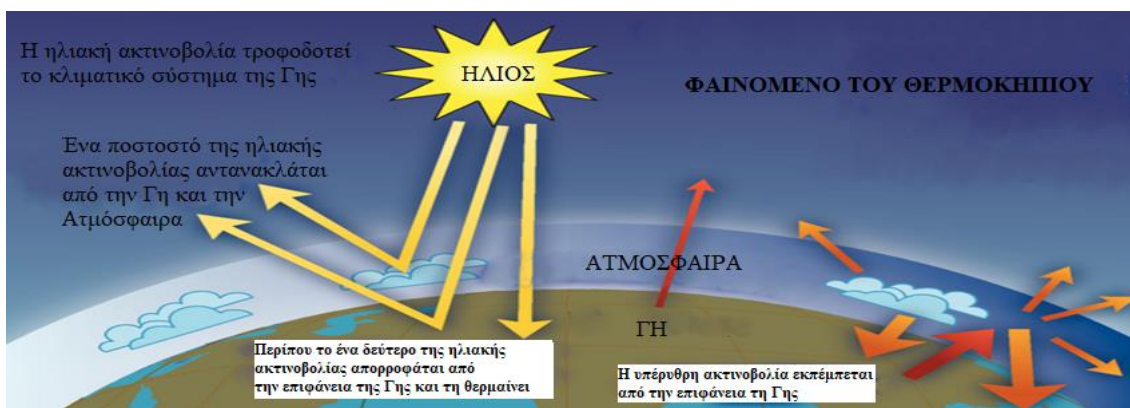


Εικόνα 1.1. Σχηματική απεικόνιση του πολύπλοκου κλιματικού συστήματος της Γης. Το κλιματικό σύστημα της Γης αποτελείται από αλληλοεπιδρώντα φυσικά, χημικά και βιολογικά υποσυστήματα, η δυναμική ισορροπία των οποίων καθορίζουν την κατανομή της ενέργειας και της ύλης διαμορφώνοντας τις κλιματικές συνθήκες (τροποποιημένο από IPCC 2007).

Οι δύο προαναφερόμενες παράμετροι καθορίζονται από τη ροή της ενέργειας και της ύλης, τη μετατροπή της ύλης στην επιφάνεια της Γης και από παράγοντες της ατμόσφαιρας και του παγκόσμιου ωκεανού. Κύρια πηγή ενέργειας της ατμόσφαιρας είναι η ηλιακή ακτινοβολία, η οποία διαδραματίζει μείζονα ρόλο στη ρύθμιση της θέρμανσης ή της ψύξης της Γης. Από την άλλη, βασικό μέσο εισόδου της ύλης στην ατμόσφαιρα αποτελεί η διαδικασία της εξάτμισης, που επηρεάζει τις φυσικές και χημικές ιδιότητες της ατμόσφαιρας. Η μετατροπή της ύλης στην επιφάνεια της Γης και στον παγκόσμιο ωκεανό διενεργείται μέσω φυσικών, χημικών και βιολογικών δραστηριοτήτων.

Επιπλέον, το κλίμα επηρεάζεται από αλλαγές στην τροχιά της Γης και την ανακατανομή της μάζας της (Khilyuk & Chilingar 2006).

Το κλιματικό σύστημα συνδέεται με το ονομαζόμενο φυσικό φαινόμενο του θερμοκηπίου (Εικ. 1.2.). Το μεγαλύτερο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας απορροφάται από την επιφάνεια της Γης και, έπειτα, ανακατανέμεται στην ατμόσφαιρα και στον ωκεανό και, στη συνέχεια, επανεκπέμπεται στο διάστημα ως υπέρυθρη ακτινοβολία σε μεγαλύτερα μήκη κύματος. Στην ατμόσφαιρα απαντώνται τα γνωστά ως αέρια του θερμοκηπίου, στα οποία συμπεριλαμβάνονται οι υδρατμοί (H_2O), το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), το υποξείδιο του νατρίου (N_2O), το μεθάνιο (CH_4), οι χλωροφθοράνθρακες (CFCs), το όζον (O_3) και άλλα στοιχεία, που έχουν την ικανότητα να απορροφούν την υπέρυθρη ακτινοβολία και να την επανεκπέμπουν προς όλες τις κατευθύνσεις (Taylor 1991). Με αυτό τον τρόπο η ακτινοβολία που τελικά προορίζεται για το διάστημα προέρχεται από τα υψηλότερα και, συνεπώς, ψυχρότερα επίπεδα της ατμόσφαιρας, γεγονός που σημαίνει ότι μεταφέρεται λιγότερη θερμότητα, σαν αποτέλεσμα η επιφάνεια της Γης να παραμένει θερμότερη (Intergovernmental Panel on Climate Change 1992).



Εικόνα 1.2. Σχηματική απεικόνιση του φαινομένου του θερμοκηπίου. Η γήινη επιφάνεια απορροφά ηλιακή ακτινοβολία και εκπέμπει υπέρυθρη, η οποία σε μεγάλο βαθμό απορροφάται

και επανεκπέμπεται από τα αέρια του θερμοκηπίου και τα νέφη, με αποτέλεσμα να θερμαίνεται η Γη (τροποποιημένο από IPCC 2007).

Ωστόσο, το κλιματικό σύστημα παρουσιάζει μεταβολές λόγω φυσικών και ανθρωπογενών πιέσεων (Daron & Stainforth 2013). Κάθε παράγοντας που προκαλεί αλλαγές στην ηλιακή ακτινοβολία που δέχεται ο πλανήτης ή στην υπέρυθρη ακτινοβολία που αντανακλάται στο διάστημα από αυτόν, καθώς επίσης και αλλαγές στην ανακατανομή της ενέργειας στην ατμόσφαιρα και μεταξύ της ατμόσφαιρας, της Γης και του ωκεανού, μπορεί να μεταβάλλει το κλίμα (Intergovernmental Panel on Climate Change 1992). Σύμφωνα με την Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC), ως κλιματική αλλαγή, ορίζεται, κάθε αλλαγή των κλιματικών παραμέτρων που παρατηρούνται σε βάθος χρόνου δεκαετιών ή περισσότερων ετών και οφείλεται είτε σε φυσικούς είτε σε ανθρωπογενείς παράγοντες (Ψιλοβίκος 2020, IPCC 2012).

Οι φυσικοί συντελεστές της κλιματικής αλλαγής μπορούν να είναι εσωτερικοί ή εξωτερικοί μηχανισμοί. Χαρακτηριστικά παραδείγματα της πρώτης κατηγορίας αποτελούν τα φαινόμενα El Niño και La Niña και η Βορειοατλαντική Κύμανση (North Atlantic Oscillation, NAO), τα οποία δημιουργούνται από αλληλεπιδράσεις μεταξύ της ατμόσφαιρας και του ωκεανού και έχουν μικρή διάρκεια ζωής (Κατσαφάδος & Μαυροματίδης 2015). Αντίθετα, οι μεταβολές που αφορούν την ηλιακή δραστηριότητα, όπως είναι ο ενδεκαετής ηλιακός κύκλος ή την τροχιά της Γης, οι οποίες έχουν επιπτώσεις στην γεωγραφική και εποχιακή κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας, ασκούν εξωτερικές πιέσεις στο κλιματικό σύστημα και σχετίζονται με αλλαγές μεγάλων χρονικών περιόδων. Στην τελευταία κατηγορία συμπεριλαμβάνεται, επίσης, η ηφαιστειακή δραστηριότητα

που παράγει ιπτάμενη τέφρα, η οποία διαθέτει την ικανότητα να αντανακλά και να απορροφά ακτινοβολία, (IPCC 2007).

1.3. Ανθρωπογενής κλιματική αλλαγή

Όσον αφορά την ανθρωπογενή κλιματική αλλαγή, είναι πρωτοφανές ότι συνδέεται με την ανθρώπινη δραστηριότητα. Η παραγωγή και η χρήση ενέργειας, οι βιομηχανίες, η γεωργία, η αποψίλωση των δασών έχουν σαν αποτέλεσμα την απελευθέρωση αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα (Εικ. 1.3.). Πρωταρχική θέση στην εκπομπή τους κατέχει η χρήση ορυκτών καυσίμων για βιομηχανικούς, εμπορικούς και μεταφορικούς σκοπούς. Ακολουθούν, με τη σειρά τους, οι βιομηχανίες, η αποψίλωση των δασών, η γεωργία και άλλοι φορείς (IPCC 1991). Με την απελευθέρωσή τους, συσσωρεύεται μεγάλη ποσότητα αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα και, κατά συνέπεια, τροποποιείται η σύνθεσή της (Hohmeyer & Rennings 1999).



Εικόνα 1.3. Σχηματική απεικόνιση των παραγόντων της αύξησης των αερίων του θερμοκηπίου.

Η καύση άνθρακα, πετρελαίου και αερίου, η αποψίλωση δασών, τα λιπάσματα που περιέχουν άζωτο, η αύξηση της εκτροφής ζώων, καθώς και φθοριούχα αέρια που συναντώνται στα αεροζόλ, τα κλιματιστικά, τα ψυγεία, τα μονωτικά υλικά και τα συστήματα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας

αυξάνουν τη συγκέντρωση των αερίων του θερμοκηπίου (τροποποιημένο από https://climate.ec.europa.eu/climate-change/causes-climate-change_en).

Η αυξημένη περιεκτικότητα σε αέρια του θερμοκηπίου επηρεάζει το ενεργειακό ισοζύγιο της Γης, με άμεσα αποτέλεσμα να θερμαίνονται τα κατώτερα επίπεδα της ατμόσφαιρας και η επιφάνεια της Γης (Robock & Graf 1994). Η ένταση της θέρμανσης είναι ανάλογη του μεγέθους της αύξησης της συγκέντρωσης κάθε αερίου του θερμοκηπίου. Επίσης, εξαρτάται από την ικανότητά τους να απορροφούν την υπέρυθη ακτινοβολία και από την συγκέντρωση των ήδη παρόντων στην ατμόσφαιρα αερίων. Στην περίπτωση ιδιαίτερα των υδρατμών, η ποσότητα της θέρμανσης είναι δυνατό να επηρεάζεται από τοπικούς παράγοντες, όπως είναι οι διακυμάνσεις του ύψους των συγκεντρώσεων των αερίων του θερμοκηπίου. Αυτό συμβαίνει διότι δεν αναμιγνύονται με ομοιόμορφο τρόπο σε όλη την έκταση της ατμόσφαιρας (IPCC 1992).

Επίσης, η αποψίλωση των δασών συντείνει στην τροποποίηση βιοφυσικών παραμέτρων, όπως είναι η λευκαύγεια (albedo) και η εξατμισοδιαπνοή, συνιστώσες που παίζουν σημαντικό ρόλο στο κλιματικό σύστημα του πλανήτη. Η εξατμισοδιαπνοή συμβάλλει στον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής ευνοώντας την εμφάνιση νεφών και ενισχύοντας της επίδραση της λευκαύγειας, η οποία με τη σειρά της βοηθά στην μείωση της παγκόσμιας θερμοκρασίας λόγω της αυξημένης αντανακλαστικότητας (Doughty 2013).

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Η ιστορία της κλιματικής αλλαγής

2.1.1. Ο άνθρωπος επηρεάζει το κλίμα: Οι πρώτες παρατηρήσεις

Η στενή σύνδεση και εξάρτηση του ανθρώπου από το περιβάλλον του ήταν ήδη αντιληπτή από τους πρώτους ανθρώπινους πολιτισμούς. Οι μεταβολές στον καιρό, στο κλίμα, στο υδάτινο περιβάλλον, οι εποχικές εναλλαγές και πολλοί άλλοι παράγοντες επηρέαζαν άμεσα τις ανθρώπινες κοινωνίες μεταβάλλοντας τις συνθήκες της καθημερινότητάς τους, αλλά και έμμεσα επηρεάζοντας τις μετακινήσεις ζώων από τα οποία εξαρτιόταν η επιβίωσή τους. Η θεοποίηση της φύσης και των καιρικών φαινομένων κατά τους πρώιμους πολιτισμούς εξέφραζαν έντονα το αίσθημα του σεβασμού, αλλά και του φόβου, απέναντι στην δύναμη της φύσης. Οι θεολογικές εκφάνσεις και πρακτικές αυτών των πεποιθήσεων είχαν ως στόχο τη διατήρηση της ισορροπίας μεταξύ φύσης και ανθρώπου, με ικεσίες, θυσίες και προσευχές να ζητούν την αλλαγή του καιρού προς καταλληλότερες για τους ανθρώπους και τις καλλιέργειές τους συνθήκες και την εξομάλυνση φυσικών φαινομένων που απειλούσαν άμεσα την επιβίωσή τους.

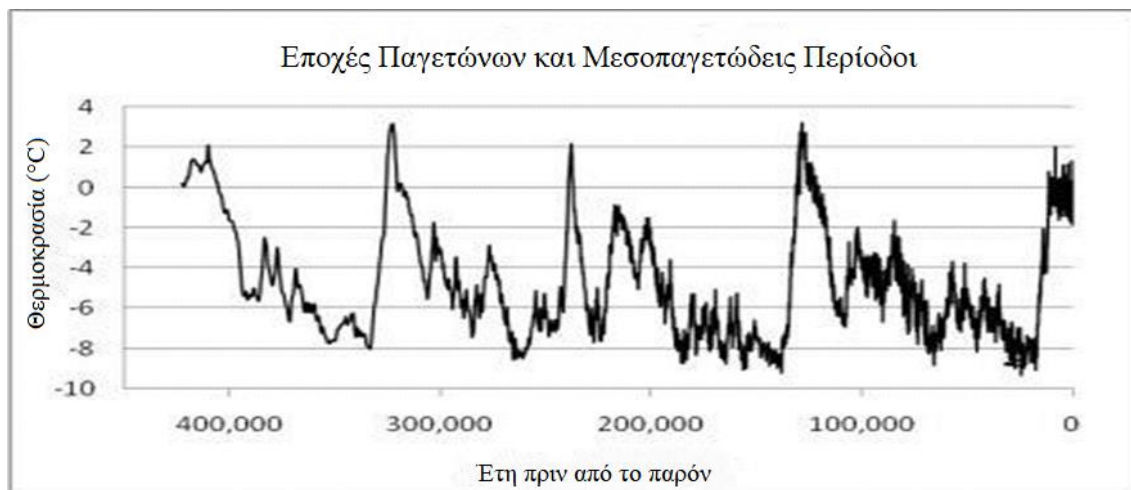
Η αμφίδρομη φύση αυτής της σχέσης έγινε αντιληπτή αργότερα, με τις πρώτες παρατηρήσεις της επίδρασης του ανθρώπου επί της φύσης να εκφράζονται από την αρχαιότητα. Μία εκ αυτών ήταν η παρατήρηση του Θεόφραστου, ότι η αποψίλωση των δασών εκθέτει τα εδάφη στο φως του ήλιου καθιστώντας τα πιο ευάλωτα και πιο ζεστά, ενώ η αποστράγγιση ενός βάλτου καθιστά την συγκεκριμένη περιοχή περισσότερο επιρρεπή στο πάγωμα (Neumann 1985). Μια έντονη διαπίστωση ήρθε, επίσης, κατά την Αναγέννηση, όταν διάφοροι μελετητές συνειδητοποίησαν πως τα εδάφη γύρω από την Μεσόγειο είχαν μεταβληθεί σημαντικά από τα αρχαία χρόνια λόγω της άρδευσης, της

αποδάσωσης και της βόσκησης (Glacken 1967). Παρόμοιες παρατηρήσεις που συνέβησαν στην περιοχή της Βόρειας Αμερικής και σχετίζονταν με την αλληλεπίδραση της γεωργίας και της βροχόπτωσης, αλλά και ιστορικές μελέτες γύρω από την περιοχή της Αρχαίας Εγγύς Ανατολής, προκάλεσαν έντονες επιστημονικές συζητήσεις σχετικά με το κατά πόσο ο άνθρωπος είναι ικανός να επηρεάσει το κλίμα (Fleming 1990). Αναλύσεις και καταγραφές των βροχοπτώσεων, της θερμοκρασίας και λοιπών στοιχείων που ακολούθησαν, έδειξαν έντονες αυξομειώσεις των παραμέτρων χωρίς, ωστόσο, να αποκαλύπτουν κάποιο σταθερό ή επαναλαμβανόμενο μοτίβο (Weart 2022).

2.1.2. Παλαιοκλιματικές παρατηρήσεις

Κατά την διάρκεια του 19^{ου} αιώνα εντατικές γεωλογικές μελέτες θεμελίωσαν την άποψη ότι υπήρχαν περίοδοι παγετώνων στο παρελθόν, σε περιοχές που δεν θα ήταν εφικτό πλέον να παρατηρηθεί κάτι ανάλογο. Αυτό ξεκίνησε μια συζήτηση σε κύκλους επιστημών και φυσιοδιφών για το τί είναι αυτό που προκαλεί τις μεταβολές του κλίματος και αν είναι ο άνθρωπος ικανός να προκαλέσει κάτι τέτοιο (Weart 2003). Το 1824, ο Γάλλος φυσικός Joseph Fourier κατέληξε στο συμπέρασμα πως η θερμοκρασία της γης θα ήταν πολύ χαμηλότερη με την απουσία της ατμόσφαιρας. Ήταν ο πρώτος που μελέτησε τις μεταβολές της θερμοκρασίας υπό το πρίσμα των μαθηματικών και κατέληξε στο ότι η θερμοκρασία της γης θα ήταν πολύ χαμηλότερη αν το μόνο μέσω θέρμανσής της ήταν η ακτινοβολία του ήλιου. Επομένως, υπέθεσε πως η ατμόσφαιρα λειτουργεί σαν μονωτής της και εγκλωβίζει την θερμότητα, με αποτέλεσμα η θερμοκρασία της επιφάνειας της γης να είναι μεγαλύτερη της αναμενόμενης (Edwards 2011). Το 1837 ο Louis Agassiz και ο William Buckland ένωσαν τις δυνάμεις τους για να τεκμηριώσουν, με πρόσφατα γεωλογικά ευρήματα από κοινές τους ερευνητικές αποστολές, την θεωρία του Agassiz για την «Εποχή των Παγετώνων». Εκτενείς μελέτες που έγιναν τόσο από τον

ίδιο τον Agassiz, όσο και από άλλες ερευνητικές ομάδες, έδειξαν πως η εποχή των παγετώνων είναι ένα παγκόσμιο περιοδικό φαινόμενο (Evans 2018).



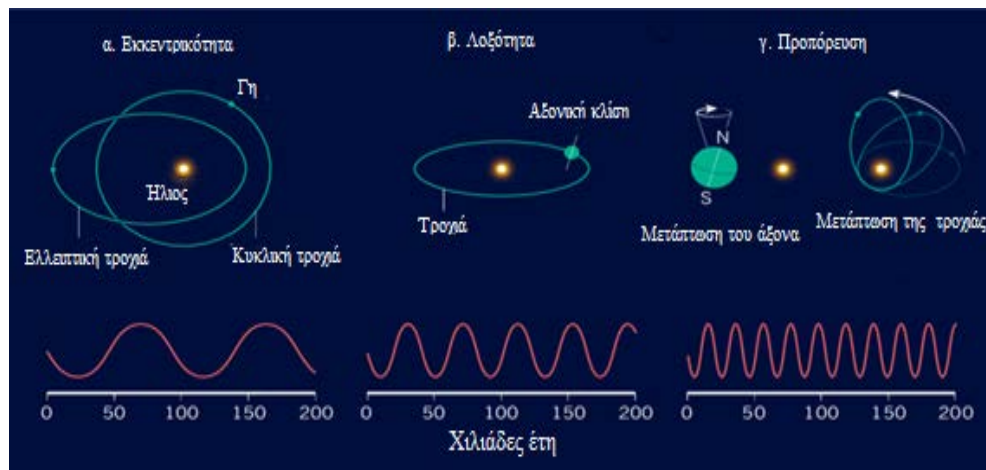
Σχήμα 2.1. Μεταβολές της θερμοκρασίας 400.000 χρόνια πριν έως σήμερα και περιοδικότητα των "Εποχών των Παγετώνων". Όπως αναπαρίσταται στον παραπάνω πίνακα, οι εποχές των παγετώνων φαίνεται να ήταν ένα παγκόσμιο φαινόμενο που επαναλαμβανόταν περιοδικά (τροποποιημένο από Petit et al 1999).

Την ίδια περίοδο, προτάθηκε πως το διοξείδιο του άνθρακα και οι υδρατμοί είναι πιθανό να παγιδεύουν την υπέρυθρη ακτινοβολία του ήλιου και κατά αυτό τον τρόπο να δημιουργείται η παρατηρούμενη θέρμανση της ατμόσφαιρας, χωρίς ωστόσο να υπάρχει κάποια πειραματική ένδειξη για κάτι τέτοιο. Η πειραματική εξέταση του φαινομένου ήρθε το 1865 από την Eunice Newton Foote που χρησιμοποίησε ένα σύστημα γυάλινων σωλήνων, το οποίο εξέθεσε σε ηλιακό φως και απέδειξε πως η θέρμανση που προκαλείται είναι μεγαλύτερη σε συμπιεσμένο αέρα συγκριτικά με το κενό (Science 2015). Χρησιμοποιώντας ως βάση την παραπάνω έρευνα, ο Tyndall ερεύνησε την απορρόφηση της ακτινοβολίας σε διαφορετικά αέρια για να καταλήξει στο συμπέρασμα ότι οι υδρατμοί, το διοξείδιο του άνθρακα και οι υδρογονάνθρακες εμποδίζουν την διέλευση της ακτινοβολίας (Tyndall 1872).

Όλα τα παραπάνω, κατευθύνονταν προς ένα στόχο, στην διερεύνηση των παλαιοκλιματικών συνθηκών της γης και στην κατανόηση των μηχανισμών που είναι ικανοί να μεταβάλλουν ή να διατηρούν σταθερά τα χαρακτηριστικά του κλίματος. Όσο περισσότερα ήταν τα στοιχεία και οι έρευνες για την απόδοση μιας εξήγησης, τόσο κλιμακώνονταν οι αντιδράσεις και οι εναλλακτικές θεωρήσεις για αυτήν. Μια από τις θεωρίες που έφερε έντονες αντιδράσεις και διαψεύστηκε, ήταν αυτή του James Croll, ο οποίος δημοσίευσε το 1875 την θεωρία ότι η κλίση της γης μεταβάλλεται περιοδικά ανά χιλιάδες χρόνια. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την έκθεση ή μη κάποιων τμημάτων της γης σε περισσότερο ή λιγότερο έντονη ηλιακή ακτινοβολία, ευνοώντας έτσι την ύπαρξη περιόδων παγετώνων στις περιοχές που «φωτοσκιάζονται» (Croll 1875). Ωστόσο, αυτή η θεωρία δεν έπεισε πολλούς επιστήμονες που επιχειρηματολογούσαν κατά τον θεωρητικών και ποιοτικών προσεγγίσεων και απαιτούσαν ποσοτικά στοιχεία προκειμένου να υποστηριχθούν οι θεωρήσεις περί του κλίματος και της κλιματικής αλλαγής.

Σε αυτό το σημείο, εμφανίστηκε ο Milutin Milankovitch, ο οποίος, με την ενδελεχή μαθηματική του έρευνα, έδωσε τα απαραίτητα στοιχεία για την θεμελίωση της παραπάνω θεώρησης. Ο Milankovitch αφιέρωσε μεγάλο κομμάτι της καριέρας του στην κατανόηση των περιοδικών κινήσεων της γης και του τρόπου που αυτές επηρεάζουν τα καιρικά φαινόμενα και το κλίμα. Συγκεκριμένα, εξέτασε κατά πόσο τρεις διαφορετικές κυκλικές κινήσεις της γης επηρεάζουν την ηλιακή ακτινοβολία που καταφθάνει στην επιφάνεια της ατμόσφαιρας της Γης και σε τι βαθμό εισέρχεται από αυτήν. Έδειξε πως αυτοί οι επονομαζόμενοι κύκλοι του Milankovitch, προκαλούν διακύμανση έως και 25% του ποσού ακτινοβολίας που δέχεται ένα μέσο γεωγραφικό πλάτος. Ο Milankovitch υποστήριζε ότι ο συνδυασμός αυτών των περιοδικών αλλαγών της θέσης της Γης

επηρεάζει μακροπρόθεσμα το κλίμα και μίλησε για περιοδικότητα των παγετωδών εποχών στα περίπου 41,000 χρόνια. Το ενδεδειγμένο έργο του έλαβε αναγνώριση δέκα χρόνια μετά το θάνατό του, το 1958, καθώς δεν είχε κατανοήσει κανένας σε βάθος την έρευνά του μέχρι τότε (Berger 1988).



Σχήμα 2.2. Αναπαράσταση των κύκλων του Milankovitch. Σύμφωνα με τη θεωρία του Milankovitch, υπάρχουν τρεις βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν την τροχιά της Γης γύρω από τον ήλιο. α. Η εκκεντρικότητα που αναφέρεται στην αλλαγή της εκκεντρότητας της τροχιάς της Γης και κυμαίνεται από κυκλική έως πιο ελλειπτική με περίοδο αλλαγής περίπου 96.000 χρόνια. β. Η κλίση του άξονα, που επηρεάζει τις εποχές, μεταβάλλεται με κύκλο περίπου 41.000 χρόνια. γ. Η μετάπτωση ισημεριών αφορά την αλλαγή της κατεύθυνσης του άξονα της Γης και έχει περίοδο περίπου 21.000 χρόνια (τροποποιημένο από Maslin 2016).

2.1.3. Το φαινόμενο του θερμοκηπίου και οι αρχικές προβλέψεις

Η συνεχόμενη αμφισβήτηση των νέων κλιματικών προσεγγίσεων από επιστημονικούς κύκλους διαφορετικής προέλευσης, ενίσχυσε ακόμα περισσότερο την αποφασιστικότητα των ερευνητών της κλιματικής αλλαγής. Έτσι, μία ολοκληρωμένη, επιστημονικά ορθή και θεμελιωμένη έρευνα του Arrhenius, το 1896, ήρθε να δώσει κατάλληλα επιχειρήματα και βάσεις για αρκετές συζητήσεις που ακολούθησαν. Χρησιμοποιώντας στοιχεία

προηγούμενων μελετών σχετικών με την πτώση της θερμοκρασίας σε διαφορετικές συνθήκες, έδειξε πως σε συνθήκες ψυχρότερης ατμόσφαιρας συγκρατούνται λιγότεροι υδρατμοί και πως αυξάνοντας την κάλυψη χιονιού και τις επιφάνειες πάγου στα μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη, η ηλιακή ακτινοβολία αντανακλάται εντονότερα με αποτέλεσμα την περαιτέρω ψύξη της.

Ο Arrhenius ήταν ο πρώτος που ποσοτικοποίησε τις επιπτώσεις που έχει η μεταβολή της συγκέντρωσης του ατμοσφαιρικού διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) στην θερμοκρασία της επιφάνειας της γης και ανακάλυψε τον επανατροφοδοτικό χαρακτήρα και τις ταυτόχρονες μεταβολές των υδρατμών, όπως και τον ρόλο που αυτοί παίζουν στην θερμοκρασία της ατμόσφαιρας (Rodhe 1997). Ωστόσο, δεν είχε τα δεδομένα που χρειαζόταν, ώστε να αποδείξει εάν κάποια τέτοια ατμοσφαιρική μεταβολή ήταν εφικτή.

Προκειμένου να απαντήσει σ' αυτή την ερώτηση, στράφηκε στον Arvid Högbom, ο οποίος μελετούσε τους κύκλους του CO_2 σε φυσικές γεωχημικές διαδικασίες, συμπεριλαμβανομένου των εκπομπών CO_2 από ηφαίστεια, της απορρόφησής του από τους ωκεανούς και πολλά ακόμη. Στηριζόμενος στις μελέτες αυτές, ο Högbom σκέφτηκε να υπολογίσει τις εκπομπές του CO_2 από εργοστάσια και βιομηχανικές πηγές. Προς έκπληξή του, είδε πως οι ανθρώπινες δραστηριότητες προσέθεταν CO_2 στην ατμόσφαιρα με ρυθμούς συγκρίσιμους με αυτούς των φυσικών διαδικασιών. Το ποσοστό του επιπρόσθετου CO_2 που εκπεμπόταν στην ατμόσφαιρα δεν ήταν μεγάλο, ωστόσο, λόγω του ρυθμού εκπομπής και της επικείμενης διαρκούς και εκθετικής βιομηχανικής ανάπτυξης, αποτελούσε έναν πιθανό μελλοντικό κίνδυνο χωρίς αβέβαιη επίπτωση στην θερμοκρασία (Weart 2008).

Βασισμένος τόσο στην δική του όσο και στην μελέτη του Högbom, ο Arrhenius προέβλεψε πως η μείωση του CO₂ κατά το ήμισυ της παρατηρούμενης συγκέντρωσης, θα ήταν ικανή να προκαλέσει μια νέα εποχή παγετώνων, καθώς δεν θα υπήρχε μεγάλη απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας και, συνεπώς, θέρμανση της ατμόσφαιρας. Σε αντίθετη περίπτωση, εάν το CO₂ διπλασιάζονταν στην ατμόσφαιρα, θα παρατηρούσαμε αύξηση της θερμοκρασίας κατά 5 – 6 °C (Arrhenius 1896). Ουσιαστικά, θεμελίωσε την έννοια του φαινομένου του θερμοκηπίου, δηλαδή την αύξηση της θερμοκρασίας της επιφάνειας της γης λόγω του CO₂ και των υπόλοιπων αέριων του θερμοκηπίου.

Στηριζόμενοι στις τότε βιομηχανικές συνθήκες και γνώσεις τους, και οι δύο πίστευαν πως χρειαζόταν το λιγότερο τρεις χιλιάδες χρόνια για να προκληθεί άνοδος της θερμοκρασίας της τάξης των 5°C. Όμως, μέχρι το 1908, όταν ο Arrhenius δημοσίευσε το διάσημο βιβλίο του σχετικά με το φαινόμενο του θερμοκηπίου, είχε παρατηρηθεί ήδη σημαντική αύξηση όσον αφορά τις καύσεις C. Για αυτό τον λόγο, άλλαξε τις προβλέψεις του, λέγοντας πως θα παρατηρηθεί αύξηση της θερμοκρασίας σε λίγες εκατοντάδες χρόνια και όχι σε τρεις χιλιάδες χρόνια, όπως πρωτοείπε.

2.1.4. Οι πρώτες αμφισβητήσεις

Πολλοί ειδικοί του κλίματος κατέκριναν την θεωρία του Arrhenius. Βρήκαν τους υπολογισμούς του ελλιπείς και πολλές φορές μη εφαρμόσιμους σε διαφορετικές συνθήκες. Τον κατηγόρησαν πως είχε υπεραπλουστεύσει το κλιματικό σύστημα. Εργαστηριακά δεδομένα έρχονταν σε αντίθεση με τις υποθέσεις του Arrhenius. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν οι μετρήσεις του Ångström και Koch, οι οποίοι μελέτησαν στο εργαστήριο το πώς η υπέρυθη ακτινοβολία διαπερνά μια αέρια στήλη με CO₂, σε διαφορετικές συγκεντρώσεις του. Συμπέραναν πως δεν μεταβάλλεται η ποσότητά της σε μεγάλο βαθμό, διότι η απορροφητικότητα του CO₂ είναι περιορισμένη

(Ångström 1900). Σημαντική η ανακάλυψη ότι οι υδρατμοί, που βρίσκονταν σε μεγαλύτερη αφθονία στην ατμόσφαιρα, εμποδίζουν τη διέλευση της υπέρυθρης ακτινοβολίας (Abbot 1908), η οποία στην πορεία αναδείχθηκε αναξιόπιστη λόγω πειραματικών σφαλμάτων. Ακολούθησαν έρευνες γύρω από το ζήτημα, όμως, θεωρήθηκαν ανεπαρκείς ή δεν δημοσιεύτηκαν ποτέ.

Μια επιπλέον δημοφιλής άποψη που εναντιώνεται στη θεωρία του φαινομένου του θερμοκηπίου κατά την περίοδο εκείνη, είναι πως η γη αυτορυθμίζεται σύμφωνα με τους κανόνες της «ισορροπίας της φύσης» και πως οι ωκεανοί είναι ικανοί να απορροφήσουν οποιοδήποτε πλεόνασμα CO₂ ή άλλων αερίων, επαναφέροντας την πολυπόθητη ισορροπία. Εάν η απορροφητικότητα των ωκεανών δεν επαρκούσε, υπήρχε και η «ομοιοστατική ρύθμιση της οργανικής ύλης», μια ακόμη δημοφιλής θεωρία της εποχής (Redfield 1958). Αυτή η βαθιά ριζωμένη αντίληψη στον ανθρώπινο πολιτισμό και στις θρησκευτικές αντιλήψεις, περί μιας ισορροπίας στην οποία οι άνθρωποι αδυνατούν να παρέμβουν, διότι οι ρίζες της είναι είτε φυσικές είτε βαθιά θεικές, δυσκόλεψαν πολύ την αποδοχή της κλιματικής αλλαγής και ιδιαίτερα της πιθανότητας της ανθρωπογενούς προέλευσής της.

Αυτή η πεποίθηση αποτέλεσε σημαντικό εμπόδιο και για τον Callendar, έναν μηχανικό και ερασιτέχνη μετεωρολόγο, ο οποίος παρουσίασε το 1938 αποδείξεις πως η μέση θερμοκρασία του βόρειου ημισφαιρίου αυξάνεται. Λύνοντας μια σειρά εξισώσεων συνέδεσε την θεωρία του αερίων του θερμοκηπίου του Arrhenius με την κλιματική αλλαγή που είχε παρατηρήσει. Τα αποτελέσματά του έδειξαν πως ο διπλασιασμός της συγκέντρωσης του ατμοσφαιρικού CO₂ είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της μέσης θερμοκρασίας κατά 2°C και συνέδεσε την αύξηση της καύσης ορυκτών καυσίμων με την αύξηση του ατμοσφαιρικού CO₂ και του φαινομένου του θερμοκηπίου (Callendar 1960).

Η χρήση νέων σπεκτροσκοπικών μεθόδων υποστήριξε την αποτελεσματική απορρόφηση υπεριώδους ακτινοβολίας από το CO₂ και από άλλα αέρια. Βέβαια, στην αρχή, κανείς δεν πείστηκε για τις δηλώσεις του και έσπευσαν χωρίς ερευνητικά δεδομένα να τον αμφισβητήσουν. Η πεποίθηση ότι η μικρή, μέχρι τότε, βιομηχανία δεν θα μπορούσε ποτέ να μεταβάλλει ολόκληρο το κλιματικό σύστημα, θεώρησαν πως είναι αυταπόδεικτη.

Ωστόσο, η αποδοχή της αύξησης της θερμοκρασίας και της ύπαρξης του φαινομένου του θερμοκηπίου, δεν φάνταζε τόσο τρομακτική. Την εποχή εκείνη, οι άνθρωποι πίστευαν πως η εξέλιξη της επιστήμης και της τεχνολογίας αποτελεί μονόδρομο προς την αιεφόρο ανάπτυξη και την ακμή του ανθρώπινου πολιτισμού. Το μέλλον φάνταζε λαμπρό, με νέες τεχνολογίες να μετατρέπουν ό,τι δυσκόλευε μέχρι τότε την ζωή των ανθρώπων σε μία όαση παραγωγής αγαθών από τι μία, και ισορροπίας μεταξύ ανθρώπου και φύσης από την άλλη. Η αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας, υπό το πρίσμα της δύσης του βόρειου ημισφαιρίου, σήμαινε πως οι επώδυνοι χειμώνες θα γίνονταν πιο ήπιοι και οι άγονες εκτάσεις θα μετατρέπονταν σε γόνιμες πεδιάδες. Ακόμα και οι ίδιοι, Arrhenius και Callendar, πίστευαν πως η προσκείμενη κλιματική αλλαγή ίσως σήμαινε την μετατροπή των μέχρι τότε αφιλόξενων περιβαλλόντων σε φιλόξενα και προσοδοφόρα (Arrhenius 1908 & Callendar 1938).

2.1.5. Κοινή αποδοχή του φαινομένου

Κατά τη δεκαετία του '30 είχε γίνει ήδη κοινά αποδεκτή η παρατήρηση της παγκόσμιας θέρμανσης του πλανήτη. Ποτάμια που συνήθως πάγωναν τον χειμώνα διατηρούσαν την ροή τους κατά την διάρκεια του έτους, βαριοί χειμώνες που κανονικά ζημίωναν με νεκρούς ορεινές περιοχές έγιναν ηπιότεροι και καλλιέργειες θερμών κλιμάτων άρχισαν να επιβιώνουν και σε διαφορετικά γεωγραφικά πλάτη (Times 1939). Δύο απόψεις επικρατούσαν. Η μια εκ των δύο υποστήριζε πως η μεταβολή του κλίματος θα απόβαινε

θετική για τη ζωή του ανθρώπου, ενώ η δεύτερη ότι η προσαρμογή σε αυτές τις συνθήκες θα ήταν δύσκολη και επιζήμια.

Το 1955, ο Hans Suess προχώρησε σε ανάλυση των ισοτόπων του άνθρακα δεκατέσσερα (C^{14}) και έδειξε πως το CO_2 που απελευθερώνεται από την καύση ορυκτών καυσίμων δεν απορροφάται αμέσως από τους ωκεανούς, όπως θεωρούσαν παλαιότερα. Μελέτες του Roger Revelle, το 1957, έδειξαν πως η επιφάνεια των ωκεανών έχει περιορισμένη απορροφητικότητα ως προς το CO_2 , γεγονός που σήμαινε μελλοντική άνοδο των επιπέδων του CO_2 , η οποία αργότερα αποδείχθηκε από τον Charles David Keeling (Revell 1957 & Weart 2003). Η καμπύλη του Keeling για την άνοδο των επιπέδων του ατμοσφαιρικού CO_2 συνεχώς αυξανόταν και, ταυτόχρονα, εντεινόταν η ανησυχία γύρω από αυτήν.

Αυτό που ανατάραξε την κοινή γνώμη ήταν οι ολοένα και περισσότερες παρατηρήσεις πως η εκβιομηχάνιση διάφορων περιοχών επιφέρουν άμεσες επιπτώσεις και σοβαρά προβλήματα στον αστικό πληθυσμό. Συγκεκριμένα, η ομίχλη του Λονδίνου, το 1953, αποτέλεσε αποδεικτικό στοιχείο πως οι εκπομπές εργοστασιακών αερίων μπορούν κυριολεκτικά και άμεσα να αποβούν μοιραίες, καθώς αυξήθηκε ο ρυθμός θανάτου των κατοίκων της περιοχής με αναπνευστικά προβλήματα (Logan 1953). Άλλα συμβάντα, όπως οι επιπτώσεις στην υγεία εξαιτίας του νέφους του Λος Άντζελες κατά την δεκαετία του '50 (Witiw 2008) και του μοιραίου νέφους του 1966 στην Νέα Υόρκη (Court 1966), προκάλεσαν έντονη ανησυχία όσον αφορά τη κλιματική αλλαγή και τις επιπτώσεις της ραγδαίας βιομηχανοποίησης στην ποιότητα ζωής του ανθρώπου.

Στα μέσα της δεκαετίας του '60, οι μελέτες των Cesare Emiliani και Wallace Broecker προκάλεσαν ένα νέο κύμα ανησυχίας. Μελετώντας τα βάθη των ωκεανών και

απολιθώματα κοραλλιών, διαπίστωσαν πως οι εποχές των παγετώνων δεν ήταν μόνο τέσσερις, όπως πιστευόταν. Αντιθέτως, οι θερμοκρασιακές μεταβολές ποίκιλλαν με εντονότερη περιοδικότητα (Weart 2011).

Με βάση τις παραπάνω παρατηρήσεις, ξεκίνησαν να διατυπώνονται προβλέψεις για το πώς ο άνθρωπος θα μπορούσε μελλοντικά να παρεμβαίνει στον καιρό, αλλά και φόβοι για τις διαστάσεις που αυτό μπορεί να πάρει. Ιδιαίτερα έντονες ήταν οι συζητήσεις γύρω από την πυρηνική ενέργεια και τις επιπτώσεις ενός πυρηνικού ατυχήματος ή μιας πυρηνικής επίθεσης. Οι πυρηνικές δοκιμές θεωρήθηκαν από πολλούς ανθρώπους, υπεύθυνες για τις καιρικές μεταβολές και εμφανίστηκαν πολλές θεωρίες περί μελλοντικής χρήσης των πυρηνικών (Weart 1988). Βέβαια, επιτεύχθηκε η αλλαγή νοοτροπίας του ανθρώπου πως η μεταβολή του φυσικού περιβάλλοντος λόγω της παρέμβασης του ανθρώπου είναι αδιανόητη και άνοιξε ο δρόμος προς την κατανόηση και την αποδοχή της άποψης πως οι ανθρώπινες δραστηριότητες έχουν την ικανότητα να αλλάξουν κατά πολύ τον τρόπο ζωής του ανθρώπου και την φύση.

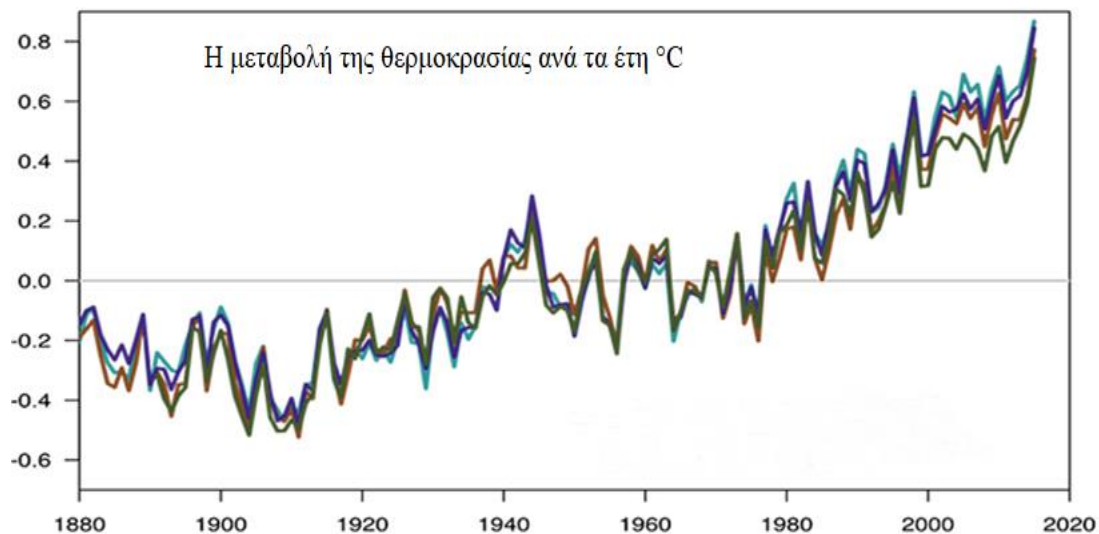
2.1.6. Προβλέψεις για τη μεταβολή της θερμοκρασίας

Κατά την διάρκεια της δεκαετίας του '70 υπήρξε ένας διχασμός γνώμης σχετικά με το αν η κλιματική αλλαγή θα οδηγούσε σε αύξηση ή μείωση της θερμοκρασίας του πλανήτη. Ο διχασμός αυτός οφειλόταν σε εκστρατείες που είχαν σαν στόχο να πείσουν την κοινή γνώμη πως και τα δύο φαινόμενα είναι εξίσου πιθανά, αποκλιμακώνοντας τις ανησυχίες. Ωστόσο, την περίοδο εκείνη περίπου οι εξαπλάσιες μελέτες περί του θέματος μιλούσαν για αύξηση της θερμοκρασίας έναντι της μείωσης (Peterson 2008).

Από την άλλη, δορυφορικά δεδομένα ενίσχυαν την άποψη περί ψύχρανσης του πλανήτη, καθώς η παγοκάλυψη του Βόρειου Ημισφαιρίου φαινόταν να αυξάνεται σε περιοχές που

μέχρι πρότινος δεν χαρακτηρίζονταν από αυτή την εικόνα. Μελέτες του Mitchell, που βασίζονταν σε αυτές τις παρατηρήσεις, ενίσχυαν τις θεωρίες υπέρ την παγκόσμιας μείωσης της θερμοκρασίας (Mitchell 1972). Αυτή η τάση ψύχρανσης του πλανήτη παρατηρήθηκε από την δεκαετία του 1940 έως και τα μέσα της δεκαετίας του 1970. Μια από τις κύριες αιτίες του φαινομένου φάνηκε πως ήταν η αλόγιστη χρήση θεικών αερολυμάτων, κυρίως, για γεωργική χρήση, η οποία οδήγησε στην αύξηση της συγκέντρωσης τέτοιων ουσιών στο επίπεδο της τροπόσφαιρας. Επίσης, η έντονη ηφαιστειακή δραστηριότητα εκείνης της περιόδου οδήγησε στην απελευθέρωση σκόνης και αερίων παρόμοιας σύστασης των θεικών αερολυμάτων στα ανώτερα επίπεδα της ατμόσφαιρας, στην στρατόσφαιρα. Ο συνδυασμός αυτών των δύο παραγόντων είχε σαν αποτέλεσμα τη μείωση της εισόδου της υπέρυθρης ακτινοβολίας στην επιφάνεια του πλανήτη λόγω του μη διάτρητου σε αυτήν στρώμα αερίων. Για αυτόν το λόγο, παρατηρήθηκε σταδιακή μείωση της θερμοκρασίας, η οποία έγινε αφορμή για την διάψευση του φαινομένου του θερμοκηπίου για ακόμα μια φορά (Mahowald 2011).

Ωστόσο, οι έρευνες που στηρίζονταν στην ψύχρανση του πλανήτη που παρατηρήθηκε την εποχή εκείνη και αμφισβητούσαν μια επικείμενη θέρμανσή του, διαψεύστηκαν από το γεγονός ότι η τάση αυτή δεν αποτελούσε ένα παγκόσμιο φαινόμενο. Τα έντονα φαινόμενα ψύχους που είχαν παρατηρηθεί εκείνες τις χρονιές σε περιοχές της Ασίας και της Βορείου Αμερικής είχαν οδηγήσει σε αυτή την ανακατανομή της παγοκάλυψης, ενώ στο Νότιο Ημισφαίριο είχαν παρατηρηθεί αυξητικές τάσεις όσον αφορά τη θερμοκρασία (Peterson et al. 2008).



Σχήμα 2.3. Μεταβολή της θερμοκρασίας από το 1880 έως το 2017. Στο παραπάνω διάγραμμα είναι εμφανής η περίοδος ψύχρανσης του πλανήτη, που παρατηρήθηκε μεταξύ των ετών 1940-1970. Τα δεδομένα πάρθηκαν από την NASA-Goddard Ινστιτούτο Διαστημικών Μελετών (γαλάζια γραμμή), το Met Office Hadley Center (κόκκινη γραμμή), το NOAA-National Center for Environmental Information (μπλε γραμμή) και από την Ιαπωνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (πράσινη γραμμή) (τροποποιημένο από <https://www.channel4.com/news/factcheck/climate-change-in-ten-graphs>).

Παρά τα ουσιαστικά γεγονότα, πληθώρα άρθρων εστίαζαν στην πρωτοφανή «ψύχρανση» του πλανήτη και αμφισβητούσαν τις προβλέψεις και τις επιστημονικές προσεγγίσεις των προηγούμενων χρόνων. Τα άρθρα αυτά είχαν τεράστια επίδραση στην διαμόρφωση της κοινής γνώμης και έθεσαν ισχυρές βάσεις για τις θεωρίες συννομωσίας ενάντια στην κλιματική αλλαγή (Gwynne 1975). Η αποδοχή του κόσμου για τέτοιες θεωρίες ήταν μεγάλη, καθώς η κύρια γραμμή των μέσων ενημέρωσης είχε προσανατολιστεί προς τα εκεί.

Το 1975, οι Manabe και Wetherald ανέπτυξαν ένα από τα πρώτα τρισδιάστατα μοντέλα πρόβλεψης του παγκόσμιου κλίματος και επανάφεραν την τάξη στις δημόσιες εικασίες

περί του θέματος (Manabe 1975). Προέβλεπε πως ένας πιθανός διπλασιασμός της συγκέντρωσης του ατμοσφαιρικού CO₂ θα σημαίνει μία αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας της τάξης των 2 °C. Στην ίδια πρόβλεψη οδηγήθηκαν και άλλα μοντέλα πρόβλεψης, κάνοντας αδύνατη την άρνηση αυτής της προσέγγισης.

Η γνώση που προέκυψε από πληθώρα μελετών των τελευταίων δεκαετιών συνοψίστηκε στο Παγκόσμιο Συνέδριο Κλίματος του 1979. Στο συνέδριο ειπώθηκε πως εύλογα φαίνεται πως μία αύξηση των επιπέδων του διοξειδίου του άνθρακα θα συνέβαλε στην σταδιακή αύξηση της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας, ιδιαίτερα σε περιοχές μεγάλου υψομέτρου.

2.1.7. Τα πρώτα αποτελεσματικά μέτρα αντιμετώπισης

Ήδη από τις αρχές τις δεκαετίας του '80 παρατηρήθηκε μείωση της ψύχρανσης του πλανήτη, καθώς οι απαγορεύσεις κατά της αλόγιστης χρήσης αερολυμάτων και της απερίσκεπτης καύσης ορυκτών καυσίμων που είχαν θεσμοθετηθεί, φάνηκαν να είναι αποτελεσματικές (Hansen et al. 1981). Πλέον έκανε την εμφάνισή της μια νέα απειλή, η οποία έθετε σε κίνδυνο τον πλανήτη. Από το 1973 είχε ήδη παρατηρηθεί πως οι αέριοι χλωροφθοράνθρακες που χρησιμοποιούνταν στην βιομηχανία, κυρίως σε ψυκτικά και προωθητικά αέρια, ήταν ικανοί να επιταχύνουν σε μεγάλο βαθμό την αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας.

Έρευνες του Ramanathan, το 1975, έδειξαν πως τα μόρια των χλωροφθορανθράκων έχουν πολύ μεγαλύτερη απορροφητική ικανότητα από άλλα ατμοσφαιρικά αέρια, παρόλο που εντοπίζονται σε πολύ μικρότερες συγκεντρώσεις από αυτά, καθιστώντας την επίδρασή τους στις κλιματικές διαδικασίες πολύ σημαντική. Ένα ακόμα συμπέρασμα των ερευνών του ήταν, πως αν τα επίπεδα χλωροφθορανθράκων παρέμεναν στα ίδια επίπεδα,

συνεργιστικά με το μεθάνιο και άλλα ατμοσφαιρικά αέρια, θα προκαλούσαν αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας δύο φορές γρηγορότερα από ότι προβλεπόταν (Ramanathan 1975).

Ακόμα, μελέτες που διεξήχθησαν κατά την διάρκεια της δεκαετίας του '80 σε πυρήνες πάγου στην Ανταρκτική και στην Γροιλανδία έδειξαν πως οι μεταβολές σε συγκεντρώσεις CO₂ και οι θερμοκρασιακές μεταβολές παρουσίαζαν έντονη συσχέτιση, που δεν μπορούσε να αγνοηθεί (Dansgaard et al. 1982, Claude et al. 1985).

Λόγω των παραπάνω ερευνών, θεσμοθετήθηκαν μέτρα με σκοπό τον μετριασμό των επιπτώσεων της βιομηχανικής παραγωγής στο περιβάλλον. Οι κύριες αποφάσεις ελήφθησαν κατά την Σύμβαση της Βιέννης για την Προστασία της Στιβάδας του Όζοντος το 1985. Η σύμβαση στόχευε στην συνεργασία διάφορων κρατών προκειμένου να ερευνήσουν και να ανταλλάξουν πληροφορίες σχετικά με την περιβαλλοντική απειλή που ελλόχευε, αλλά και να προχωρήσουν σε μια συμφωνία νομοθετικών μέτρων που θα περιορίζαν τις επιζήμιες για την στιβάδα του όζοντος συνέπειες. Ωστόσο, η συμμετοχή στην Σύμβαση της Βιέννης δεν ήταν τόσο δεσμευτική, όσο συμβουλευτική.

Ένα μεγάλο περιβαλλοντικό πλήγμα ήταν το πυρηνικό ατύχημα του Τσέρνομπιλ της Ουκρανίας το 1986, που πέρα από τις τεράστιες επιπτώσεις που είχε στην υγεία χιλιάδων ανθρώπων, έμελλε να στρέψει για πολλά χρόνια την προσοχή της ανθρωπότητας μακριά από την χρήση πυρηνικής ενέργειας. Πριν από το συμβάν, πολλές συζητήσεις σε επιστημονικούς και ευρύτερους κύκλους κατέληγαν στο συμπέρασμα, πως το μέλλον της παραγωγής της ενέργειας βρίσκεται στην χρήση πυρηνικής ενέργειας. Τα μέχρι τότε μειονεκτήματα της καύσης ορυκτών καυσίμων, αλλά και η περιορισμένη διαθεσιμότητα τέτοιων πόρων σε προκαθορισμένες περιοχές του πλανήτη, έκαναν πολύ δημοφιλή ως

ενεργειακή λύση την χρήση πυρηνικής ενέργειας. Βέβαια υπήρχε μεγάλη μερίδα του κόσμου που αμφισβητούσε και κινδυνολογούσε κατά μιας τέτοιας κατάστασης, η οποία αποτέλεσε την πλειοψηφία της κοινής γνώμης μετά το πυρηνικό ατύχημα του Τσέρνομπιλ. Η πιθανή παύση της καύσης ορυκτών και η αντικατάστασή τους από πυρηνικούς αντιδραστήρες σταμάτησε να αποτελεί μια πιθανότητα περιβαλλοντικής ανακούφισης, και άρχισε να αποτελεί φόβο πολλών εκατομμυρίων ανθρώπων. Επομένως, έπρεπε να βρεθούν προσαρμογές του υπάρχοντος συστήματος παραγωγής ενέργειας, δηλαδή της καύσης ορυκτών καυσίμων, ως προς ένα πιο φιλικό προς το περιβάλλον σύστημα (Moller et al. 2011, Mousseau et al. 2017).

Την υποχρέωση στην τήρηση συγκεκριμένων περιοριστικών μέτρων για την αντιμετώπιση του προβλήματος της στιβάδας του όζοντος θεμελίωσε, δύο χρόνια μετά την Σύμβαση της Βιέννης, το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ (Brooks et al. 2000). Βασική αρχή του Πρωτοκόλλου του Μόντρεαλ ήταν η απαγόρευση της παραγωγής και χρήσης ουσιών που καταστρέφουν το στρατοσφαιρικό όζον (ODS), ιδιαίτερα των χλωροφθορανθράκων (CFCs), προτείνοντας την αντικατάστασή τους με υδροχλωροφθοράνθρακες (HFCs). Σταδιακά πολλές χώρες υπέγραψαν το πρωτόκολλο, καθιστώντας το την πιο μαζική εφαρμογή νομοθεσίας υπέρ της προστασίας του πλανήτη. Αποτέλεσμα αυτής ήταν η μείωση του συνολικού όγκου των ODS, τόσο στην στρατόσφαιρα όσο και στην τροπόσφαιρα. Ακολούθησε η αναχαίτιση της μείωσης της στιβάδας του όζοντος κατά το τέλος της δεκαετίας του '90 και η σταθεροποίηση της ολικής ποσότητας του όζοντος ήδη από το 2000, δίνοντας ελπίδες για την μελλοντική αποκατάσταση της στιβάδας σε επίπεδα προ του 1980 (Brooks et al. 2000).

Τα περιβαλλοντικά αποτελέσματα της εφαρμογής του Πρωτοκόλλου του Μόντρεαλ θεωρούνται αισιόδοξα ως προς την συνεργασία για την αντιμετώπιση του προβλήματος.

Ωστόσο, τα κύρια σημεία-κλειδιά που προηγήθηκαν της επιτυχίας, ήταν η μαζική και ταυτόχρονη συμφωνία μεταξύ πολλών κρατών, καθώς και η συμπεριληπτική νομοθεσία. Με τον χαρακτηρισμό της συμπεριληπτικής νομοθεσίας, εννοούνται τα διαφορετικά μέτρα ανά συμμετέχον κράτος, με βάση τον διαχωρισμό σε αναπτυγμένα και αναπτυσσόμενα κράτη, καθώς είναι διαφορετικά τα όρια επιβολών στη βιομηχανία των μεν και των δε. Επίσης, οι κοινωνικές συνθήκες της εποχής εκείνης ήταν ευνοϊκές καθώς ακολουθούσαν ένα παγκόσμιο περιβαλλοντικό ρεύμα που μεγιστοποιήθηκε κατά την δεκαετία του '70 και απαίτησε μέτρα κατά της περιβαλλοντικής αδιαφορίας. Εν κατακλείδι αυτό που κατάφερε με επιτυχία το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ ήταν η συνεργασία πολλών κρατών, που έβαλαν στην άκρη τα συμφέροντά τους προκειμένου να αντιμετωπίσουν από κοινού τον κίνδυνο της καταστροφής της στιβάδας του όζοντος και η κοινή γνώμη να έχει πλέον πειστεί για τις επιπτώσεις των ανθρωπογενών παραγόντων στην ισορροπία της φύσης (Epstein 2014).

2.1.8. Πεποιθήσεις και θεωρίες συνωμοσίας

Από την δεκαετία του 1850, η οποία μπορεί να θεωρηθεί η απαρχή της βιομηχανικής επανάστασης, μέχρι σήμερα, έχουν ακουστεί δεκάδες έως εκατοντάδες διαφορετικές γνώμες σχετικά με την κλιματική αλλαγή, κυρίως λόγω της απλής άγνοιας του κόσμου και των ίδιων των επιστημόνων. Πολλοί άνθρωποι χαρακτήριζαν την κλιματική αλλαγή ως μια θεωρία συνωμοσίας, καθώς πίστευαν πως ήταν απλά ένα εργαλείο κοινωνικής καταπίεσης και χειραγώγησης του κόσμου. Το σίγουρο είναι πως η κοινή, αλλά και η επιστημονική γνώμη αντιστάθηκε σθεναρά στην αποδοχή πως ο άνθρωπος και οι δραστηριότητες του μπορούν να επιφέρουν τόσο έντονες αλλαγές στο περιβάλλον.

Ως θεωρίες συνωμοσίας χαρακτηρίζονται, γενικά, οι αστήρικτες εξηγήσεις γεγονότων ή περιστάσεων που κατηγορούν ισχυρές ομάδες ότι συνωμοτούν κρυφά και κακόβουλα για

δικό τους όφελος εναντίον του κοινού καλού (Popper 1972, Lewandowsky et al 2013, Uscinski et al. 2016). Σχετικές θεωρίες υπάρχουν όσον αφορά την κλιματική αλλαγή και υποστηρίζουν ότι οι επιστήμονες που μελετούν το κλίμα και τις μεταβολές του, σκόπιμα παραποιούν δεδομένα για να λάβουν χρηματοδότηση έρευνας, ή ότι η κλιματική αλλαγή είναι μια ατεκμηρίωτη θεωρία των αριστερών ριζοσπαστών προκειμένου να υπονομεύσουν την τοπική κυριαρχία και το υπάρχον οικονομικό σύστημα (Douglas et al. 2015). Ενώ υπάρχουν πολλά διαφορετικά στοιχεία για την άποψη της κοινής γνώμης επί του θέματος, ένα σημαντικό μέρος των δημοσκοπήσεων που αφορούν κατοίκους των ΗΠΑ (Lewandowsky et al. 2013) διαπιστώνουν ότι το 20% των ερωτηθέντων πιστεύει, ότι η κλιματική αλλαγή «είναι ένα ψέμα που διαδίδεται από διεφθαρμένους επιστήμονες που επιθυμούν να ξοδέψουν όλο και περισσότερα χρήματα των φορολογουμένων στην έρευνα για το κλίμα». Άλλες δημοσκοπήσεις στις ΗΠΑ διαπιστώνουν ότι το 37% των ερωτηθέντων πιστεύει ότι «η υπερθέρμανση του πλανήτη είναι φάρσα» και το 41% λέει ότι είναι σίγουρα ή πιθανώς αλήθεια ότι «η υπερθέρμανση του πλανήτη είναι ένας μύθος που επινοήθηκε από επιστήμονες» (Polling 2013, Cassino 2016).

Ωστόσο, όχι μόνο στις ΗΠΑ, αλλά και σε πολλές άλλες χώρες, η ευρεία, και κοινώς αποδεκτή στους επιστημονικούς κύκλους, γνώμη σχετικά με την φύση της κλιματικής αλλαγής έρχεται σε εντυπωσιακή αντίθεση με τον δημόσιο διάλογο (Boykoff & Boykoff 2004, Painter et al. 2015, Tranter et al. 2015). Επομένως, η κλιματική αλλαγή αποτελεί μια μοναδική περίπτωση, καθώς η επιστημονική γνώμη, έπειτα από αρκετές επιστημονικές διχογνωμίες και αντιφάσεις που έχουν αναλυθεί και σχολιαστεί παραπάνω, έχει πλέον παγιωθεί και μελετήσει εις βάθος την φύση της κλιματικής αλλαγής. Ταυτόχρονα η κοινή γνώμη έχει αντίθετη γνώμη και υπάρχει πόλωση των απόψεων που την αφορούν. Η ρητορική με συνωμοσιολογική χροιά, η οποία έχει γίνει κοινός τόπος

στο διάλογο για την κλιματική αλλαγή, μπορεί να έχει εκτεταμένες αρνητικές συνέπειες στην προσπάθεια μετριασμού των επιπτώσεων της παγκόσμιας κλιματικής αλλαγής (Douglas & Sutton 2015). Υπάρχουν πολλές διαφορετικές πλευρές με κοινό τους γνώμονα την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής ως μια θεωρία συνωμοσίας.

Συχνά λέγεται πως η κλιματική αλλαγή είναι μια καλή ευκαιρία για τους επιστήμονες που δεν διακατέχονται από επιστημονική ηθική και αποσκοπούν ξεκάθαρα στο προσωπικό τους όφελος. Έτσι, παρουσιάζοντας την κλιματική αλλαγή ως ένα παγκόσμιας σημασίας πρόβλημα που απαιτεί διερεύνηση και άμεση αντιμετώπιση, ελκύουν χρηματοδοτήσεις από κρατικούς και πολλούς άλλους φορείς, οι οποίες χρησιμοποιούνται απλά για την οικονομική τους ανέλιξη και δεν συνδράμουν σε επιστημονικό έργο. Τα αποτελέσματα των ερευνών τους ανατροφοδοτούν το «ψέμα» της κλιματικής αλλαγής, αποσκοπώντας κάθε φορά σε μεγαλύτερα κρατικά κονδύλια, εις βάρος των φορολογούμενων πολιτών, και σε μίζες από ιδιωτικές επιχειρήσεις που πιθανώς να επηρεαστούν από τα αποτελέσματα των εκάστοτε ερευνών (Tyagi et al. 2021).

Μία άλλη θεωρία είναι πως οι κυβερνόντες, οι οποίοι δεν είναι αυτοί που συνταγματικά έχουν εκλεγεί ή που παρουσιάζονται ως κυβερνόντες, αποσκοπούν στον μαζικό έλεγχο και χειρισμό της ανθρωπότητας, προκειμένου να στερεοποιήσουν το απολυταρχικό τους ρόλο. Προκειμένου να γίνει αυτό, η απειλή μιας παγκόσμιας απειλής, όπως η κλιματική αλλαγή, θα τους δώσει τα εργαλεία της παγκόσμιας διαχείρισης και την ελευθερία κινήσεων που είναι απαραίτητη για την ανεξέλεγκτη δράση τους.

Μια άλλη προσέγγιση είναι η ενεργειακή. Κάποιοι πιστεύουν πως έχει ανοίξει ένα μεγάλο επενδυτικό πεδίο στον τομέα της «Πράσινης Ενέργειας», το οποίο προκειμένου να συντηρηθεί και να επιτύχει, πρέπει να θεωρηθεί ως ενεργειακός μονόδρομος. Για να

επισκιάσει το γερά δομημένο λόμπι του πετρελαίου, πρέπει να το καταστήσει επικίνδυνο για τον άνθρωπο, επομένως η κλιματική αλλαγή αποτελεί τεράστια ευκαιρία για κάτι τέτοιο. Λόγω της κλιματικής αλλαγής, έχουν δοθεί επιχορηγήσεις πολλών τρισεκατομμυρίων δολαρίων προκειμένου να στραφούν οι επιχειρήσεις και οι ιδιώτες σε εναλλακτικές μορφές ενέργειας και να εγκαταλείψουν το παλαιωμένο, και πλέον καταστροφικό, λόμπι του πετρελαίου. Όσοι έχουν επενδύσει σε κάτι τέτοιο δεν χρειάζεται να ανησυχούν για τα κέρδη τους, εφόσον προπαγανδίζεται συνεχώς πως κύριος υπαίτιος της κλιματικής αλλαγής είναι η καύση ορυκτών καυσίμων (Douglas 2015). Επίσης, λέγεται πως πέρα από το λόμπι των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που επωφελείται από τον φόβο του κόσμου για τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής, η πυρηνική ενέργεια είναι άλλη μια μορφή ενέργειας που θα προωθηθεί και μπορεί να επικρατήσει (Muellner 2021).

Υπάρχουν πολλές ακόμα θεωρίες επί του θέματος. Ενδεικτικά, πιστεύεται ότι η κλιματική αλλαγή έχει προκληθεί εσκεμμένα μέσω γεωμηχανικής (geo-engineering) προκειμένου να αλλάξει η κατανομή των εύκρατων ζωνών στον πλανήτη, πως η κλιματική αλλαγή δεν αποτελεί πραγματικότητα καθώς προσεγγίζεται βάση φυσικών νόμων που λαμβάνουν ως αρχή ότι το σχήμα της είναι σφαιρικό, ενώ δεν είναι (flat earthers), ή ότι η κλιματική αλλαγή αποδίδεται λανθασμένα στην βιομηχανία και τους ανθρώπινους ρύπους, ενώ είναι αποτέλεσμα της αυξομείωσης της θερμοκρασίας του ήλιου (Sunspots) (Ruzmaikin 2021).

Είναι ανησυχητικό το γεγονός πως οι παραπάνω θεωρίες βρίσκουν σήμερα οπαδούς σε διάφορες χώρες και σε διαφορετικά κοινωνικά στρώματα, ανάλογα βέβαια με τα οφέλη των οπαδών τους. Ωστόσο είναι θλιβερό πως παρά την πληθώρα ερευνών που

συμφωνούν για τη φύση και τους λόγους της ανθρωπογενούς κλιματικής αλλαγής που παρατηρείται, η κοινή γνώμη δεν έχει πειστεί.

Ένα από τα βασικά προβλήματα που ξεπεράστηκαν όσον αφορά την κλιματική αλλαγή, ήταν η κατανόηση του ανθρώπου πως η φυσική ισορροπία δεν θα πρέπει να θεωρείται γενική αλήθεια και φυσικός νόμος, καθώς από ότι έγινε φανερό μπορεί να αρθεί. Η τεχνολογική ανάπτυξη του ανθρώπου και η σφοδρή αποστράγγιση του περιβάλλοντος του έχει δείξει πως είναι απολύτως ικανή να μεταβάλλει το περιβάλλον του ανθρώπου και να ανατρέψει τα μέχρι πρότινος δεδομένα.

Οι παραπάνω θεωρίες επιβιώνουν μέχρι σήμερα, παρά το γεγονός πως έχουν γίνει πολλές προσπάθειες συλλογικής επιστημονικής δράσεις πολλών χωρών, που βλέπουν πως η απειλή της κλιματικής αλλαγής αποτελεί μία παγκόσμια και πανανθρώπινη απειλή και δεν αφήνει περιθώρια πέρα από την συλλογική δράση. Αυτό έγινε αντιληπτό ήδη από την δεκαετία του '80, οπότε έπρεπε να δημιουργηθεί το κατάλληλο παγκόσμιο σώμα έρευνας που θα έχει ως μοναδικό αντικείμενο την κλιματική αλλαγή και ως μοναδικό σκοπό την αντιμετώπισή της.

Το ότι το σώμα αυτό δεν κατάφερε να πείσει μεγάλη μερίδα ανθρώπων που συνεχίζουν να πιστεύουν τις θεωρίες που προαναφέρθηκαν, δεν έχει απλά να κάνει με την αόριστη άρνησή τους επί του θέματος ή την έλλειψη εκπαίδευσης και παιδείας, αλλά και με την ίδια την φύση της περιβαλλοντικής επιτροπής που δημιουργήθηκε. Στα παρακάτω κεφάλαια γίνεται μια προσπάθεια ενδοσκόπησης του κύριου παγκόσμιου φορέα για την κλιματική αλλαγή και παρατίθενται κάποιες κριτικές απόψεις κατά του.

2.2. Η ίδρυση της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Κλιματική Αλλαγή

Η κλιματική αλλαγή είχε πλέον εγκαθιδρυθεί στις συζητήσεις των επιστημόνων όταν αποφασίστηκε η ίδρυση της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Αλλαγή του Κλίματος (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) το 1988. Σκοπός της επιτροπής ήταν η αποτίμηση και η ενίσχυση των διαθέσιμων πληροφοριών σχετικά με το θέμα της κλιματικής αλλαγής. Η δημιουργία της IPCC οφείλεται στην συνεργασία δύο οργάνων των Ηνωμένων Εθνών, τον Διεθνή Μετεωρολογικό Οργανισμό (WMO), που προωθεί την διεθνή συνεργασία σε θέματα ατμοσφαιρικών επιστημών, κλιματολογίας, υδρολογίας και γεωφυσικής, και το Περιβαλλοντικό Πρόγραμμα (UNEP), που συντονίζει τις περιβαλλοντικές στρατηγικές των Ηνωμένων Εθνών. Σήμερα, συμμετέχουν διεθνείς κυβερνήσεις παγκοσμίως και συνεργάζονται πολλοί επιστήμονες διαφορετικών ειδικοτήτων, προκειμένου το δημοσιευόμενο υλικό να είναι συμπεριληπτικό και επιστημονικά ορθό (Agrawala et al. 1997).

Η ανάγκη για την δημιουργία ενός διεθνή θεσμού που διερευνά το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής άρχισε να δημιουργείται παράλληλα με τις συζητήσεις και τις παρατηρήσεις των επιστημόνων στα τέλη της δεκαετίας του 1950, όταν και ξεκίνησε η διερεύνηση και καταγραφή των συγκεντρώσεων διοξειδίου του άνθρακα στην Ανταρκτική και στη Χαβάη (Keeling et al. 1984). Ωστόσο, το ενδιαφέρον δεν ήταν αμείωτο καθώς, πέρα από κάποια συγκεκριμένα γεγονότα, όπως ήταν η παγκόσμια «ψύχρανση» λόγω βιομηχανικών αερολυμάτων στα τέλη του 1960 και τις αρχές του 1970 (Zhang et al. 2021) και η ξηρασία στο Sahel στα μέσα του 1970 (Zeng 2003) που κινητοποίησαν συζητήσεις γύρω από την συμμετοχή του ανθρώπινου παράγοντα στην μεταβολή του κλίματος, η κοινή γνώμη αλλά και η επιστημονική κοινότητα εθελουφλούσαν.

Η θεωρία του φαινομένου του θερμοκηπίου, πώς, δηλαδή, η εκπομπή αερίων που προκαλείται από τις ανθρώπινες δραστηριότητες παίζει ρόλο στην μεταβολή του κλίματος, χρονολογείται περίπου 150 χρόνια πριν (Fourier 1827, Tyndall 1863, Arrhenius, 1896). Ωστόσο, η θεωρία αυτή πήρε επίσημο χαρακτήρα το 1965 από την Συμβουλευτική Επιτροπή Επιστημών του Προέδρου των ΗΠΑ, όταν συζητήθηκε για πρώτη φορά σε συνέδριο τέτοιας έκτασης, η πιθανή εμπλοκή του ανθρώπου στην αλλαγή του κλίματος και οι επιπτώσεις της (PSAC 1965). Στις αρχές του 1980, ωστόσο, η μέχρι τότε επιφανειακή αντιμετώπιση του θέματος και ο πιθανολογικός του χαρακτήρας άλλαξε, με κοινή αποδοχή των επιστημόνων, πως οι τάσεις θέρμανσης που παρατηρούνται, οφείλονται πιθανώς στα αυξημένα επίπεδα εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα και άλλων αερίων του θερμοκηπίου, που σημαίνει πως ο υπαίτιος παράγοντας ήταν πιθανόν η ανθρώπινη δραστηριότητα (Agrawala 1998).

Το Πρώτο Διεθνές Συνέδριο Κλίματος πραγματοποιείται το 1979 στην πόλη Γενεύη της Ελβετίας και είναι η πρώτη φορά που γίνεται επίσημα λόγος για την σημαντικότητα του προβλήματος της θέρμανσης του πλανήτη (WMO 1979). Αποτέλεσμα των συζητήσεων ήταν η οργάνωση κάποιων εργαστηρίων, τα οποία έλαβαν χώρα το 1980, 1983 και 1985 στο Φίλλαχ της Αυστρίας προκειμένου να ερευνηθεί περαιτέρω το θέμα. Σε αυτά τα εργαστήρια ισχυροποιήθηκε και βρήκε φωνή η άποψη, πως τα επόμενα χρόνια θα παρατηρηθεί η μεγαλύτερη μέση αύξηση της θερμοκρασίας στην ιστορία του ανθρώπου (WMO 1985).

Εκείνη την περίοδο οι οργανισμοί, θεσμοί αλλά και κυβερνήσεις που δραστηριοποιούνταν διεθνώς σε θέματα κλίματος και περιβάλλοντος ήταν μόλις τέσσερις, ο Παγκόσμιος μετεωρολογικός οργανισμός (WMO), το Περιβαλλοντικό Πρόγραμμα των Ηνωμένων Εθνών (UNEP), το Διεθνές Συμβούλιο Επιστημών (ICSU) και οι Ηνωμένες πολιτείες της

Αμερικής. Οι τρεις πρώτοι είχαν δείξει ήδη ενεργά την ισοκατανεμημένη συμμετοχή τους επί του θέματος, με την συνεργασία τους τα προηγούμενα χρόνια, ωστόσο, όταν ήρθε η στιγμή της θέσπισης και της οργάνωσης μιας διεθνής στρατηγικής, το ICSU μείωσε την δράση του και επικεντρώθηκε περισσότερο στην μελέτη του φαινομένου, παρά στην αντιμετώπισή του.

Οι λόγοι για τους οποίους ο ρόλος των Ηνωμένων Πολιτειών ήταν μείζονος σημασίας ήταν κυρίως η μεγάλη τους εμπειρία σε περιβαλλοντικά θέματα και σε αξιολογήσεις περιβαλλοντικών επιπτώσεων τα προηγούμενα χρόνια, το ότι αποτελούσαν τον μεγαλύτερο εκπομπέα αερίων του θερμοκηπίου και το γεγονός ότι τα μεγαλύτερα λόμπι ορυκτών καυσίμων ήταν αμερικάνικα ή χρηματοδοτούνταν κατά βάση από Αμερικανούς επενδυτές. Όλα τα παραπάνω κατέστησαν πολύ σημαντικό τον ρόλο και την επιρροή των Ηνωμένων Πολιτειών, με τις απόψεις περί της κλιματικής αλλαγής εντός των κόλπων τους, να ποικίλουν ανάλογα με τα εκάστοτε συμφέροντα. Εκείνη την περίοδο πολλές αμερικανικές υπηρεσίες είχαν δημοσιεύσει τις δικές τους εκτενείς εκτιμήσεις σε σχέση με την κλιματική αλλαγή, με τεράστιες διαφορές στην προσέγγισή τους. Οι διαφορές αφορούσαν κυρίως το μέγεθος του προβλήματος, την ανάγκη για πιθανές αποκρίσεις στο φαινόμενο και την φύση αυτών. Λόγω της έλλειψης συμφωνίας παρουσιάστηκε ως ανάγκη η δημιουργία ενός διακυβερνητικού μηχανισμού που θα διενεργούσε και θα επόπτευε τις επιστημονικές αναφορές σχετικά με την κλιματική αλλαγή (Agrawala 1997).

Αποτέλεσμα των παραπάνω διεθνών ανησυχιών ήταν η δημιουργία της Συμβουλευτικής Ομάδας για τα Αέρια Θερμοκηπίου (AGGG) το 1985 και η σύσταση της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Αλλαγή του Κλίματος (IPCC) το 1988. Ιδρυτικοί φορείς και των δύο αυτών επιτροπών υπήρξαν κατά κύριο λόγο το Περιβαλλοντικό

Πρόγραμμα (UNEP), ο Διεθνής Μετεωρολογικός Οργανισμός (WMO) και το Διεθνές Συμβούλιο Επιστημών (ICSU), με την στήριξη των Ηνωμένων Εθνών (Wolters et al. 1991). Αρχικά, κάθε ιδρυτικός φορέας εξουσιοδότησε δύο μέλη του με την συμμετοχή στο AGGG, με την αρχική ομάδα εκπροσώπων να αποτελείται από τους Gordon Goodman, Bert Bolin, Ken Hare, G. Golitsyn, Sukiyo Manabe και M. Kassas. Τα μέλη αυτά αποφάσισαν πως πρέπει να συνεχιστεί η διοργάνωση εργαστηρίων για την κλιματική αλλαγή, με ένα στο Φίλλαχ της Αυστρίας και ένα στο Μπελάτζιο της Ιταλίας το 1987. Πλέον το μεγαλύτερο ποσοστό κονδυλίων για την διοργάνωσή τους προερχόταν από το ίδρυμα Rockefeller Brothers Fund, ένα φιλανθρωπικό ίδρυμα που δημιουργήθηκε από μέλη της οικογένειας Rockefeller, της μεγαλύτερης πετρελαϊκής επιχείρησης στις ΗΠΑ κατά τον 19ο και 20ο αιώνα. Στην συνάντηση του Μπελάτζιο, προτάθηκαν τα πρώτα «όρια» κλιματικής αλλαγής. Το θεωρητικά επιτρεπτό όριο αύξησης της στάθμης της θάλασσας αποφασίστηκε πως θα είναι μεταξύ 20 - 50 mm ανά δεκαετία, ενώ το όριο της αύξησης της θερμοκρασίας θεωρήθηκε πως θα έπρεπε να είναι οι 0,1°C (Jager 1988).

Ενώ η σημαντικότητα της ύπαρξης ενός διακυβερνητικού θεσμού ήταν πλέον αδιαμφισβήτητη, το ποιοι οργανισμοί θα ήταν υπεύθυνοι για την οργάνωση και την λειτουργία του γινόταν όλο και πιο θολό. Πολιτικές πιέσεις, οικονομικά και διπλωματικά συμφέροντα σφυρηλάτησαν έντονα την δομή και την εξέλιξη του οργανισμού κατά το πέρασμα των χρόνων, με τα δύο ιδρυτικά όργανα, τον WMO και τον UNEP, να παίζουν ολοένα και μικρότερο ρόλο. Μια αναλυτική ματιά στο ποιοι πρωταγωνιστούσαν ανά περίοδο λειτουργίας στην ηγεσία του φορέα και την στάση που ακολούθησαν μπορεί να δώσει μια πρώτη εικόνα (Agrawala 1998).

Παράλληλα, από το 1989 και έπειτα, το ενδιαφέρον πολλών χωρών και οργανισμών άρχισε να στρέφεται προς την κλιματική αλλαγή και στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της

ανθρώπινης δραστηριότητας γενικότερα. Η Ολλανδία φιλοξενεί ένα συνέδριο προκειμένου να συζητηθεί το ζήτημα από διάφορους αρχηγούς κρατών, ενώ παρόμοιες συζητήσεις γίνονται στην συνάντηση Μικρών Νησιωτικών Κρατών, την Συνάντηση στο Ντακάρ, την συνάντηση των χωρών της Ομάδας των Επτά (Group of 7, G7) και στην Συνάντηση Αρχηγών Κυβερνήσεων της Κοινοπολιτείας. Σε αυτό το πλαίσιο διεθνής ανησυχίας, δημοσιεύτηκε στο τέλος του έτους η Πρώτη Έκθεση Αξιολόγησης του IPCC σχετικά με τα επιστημονικά γεγονότα, τις επιπτώσεις και τις στρατηγικές απόκρισης απέναντι στην κλιματική αλλαγή (Wolters et al. 1991).

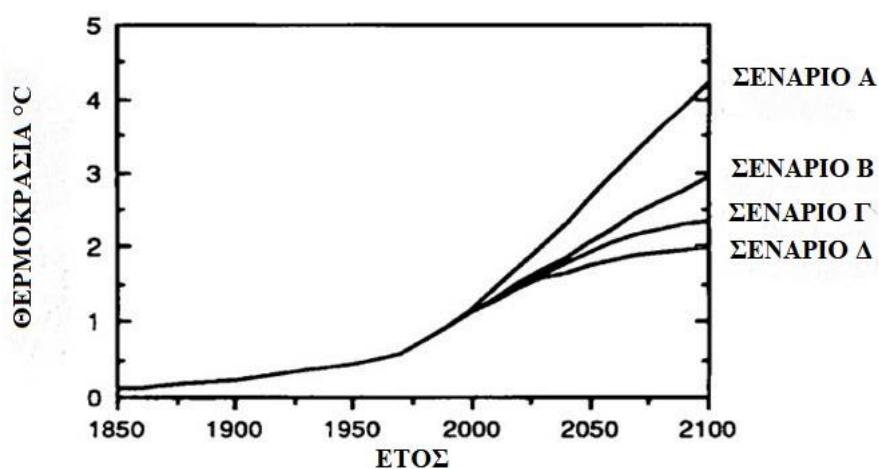
2.2.1. Πρώτη Έκθεση Αξιολόγησης του IPCC

Μέχρι στιγμής η IPCC έχει εκδώσει έξι ολοκληρωμένες εκθέσεις αξιολόγησης σχετικά με την κλιματική αλλαγή. Η Πρώτη Έκθεση Αξιολόγησης της IPCC ολοκληρώθηκε το 1990 και επιβεβαίωσε ότι υπάρχει μεν το φυσικό φαινόμενο του θερμοκηπίου που θερμαίνει τη γη, αλλά ότι η ανθρώπινη δραστηριότητα, αυξάνει τα αέρια του θερμοκηπίου ενθαρρύνοντας το φαινόμενο και καταλήγοντας στην περαιτέρω θέρμανσή της. Υπολογίστηκε πως τα τελευταία 100 χρόνια μετά την βιομηχανική επανάσταση, η παγκόσμια μέση θερμοκρασία είχε αυξηθεί κατά 0,3 - 0,6 °C, ενώ η στάθμη της θάλασσας κατά 10 - 20 cm (IPCC 1992). Τα ρεκόρ μεγαλύτερης μέσης θερμοκρασίας σημειώθηκαν κατά τη δεκαετία του 1980. Εξίσου σημαντικό ήταν, πως επιβεβαιώθηκε και τεκμηριώθηκε επιστημονικά, το γεγονός ότι το CO₂ ήταν το υπεύθυνο αέριο για παραπάνω από το 50% του φαινομένου του θερμοκηπίου. Μάλιστα, εκτιμήθηκε ότι για την σταθεροποίηση των συγκεντρώσεων των αερίων του θερμοκηπίου κατά την διάρκεια της δεκαετίας του 1990, θα έπρεπε να μειωθεί η εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα κατά 60%, η εκπομπή μεθανίου κατά 15 - 20 % και του υποξειδίου του αζώτου και των χλωροφθορανθράκων (CFCs) κατά 70 - 85 % (IPCC 1992).

Έγιναν, επίσης, προβλέψεις για την παγκόσμια μέση θερμοκρασία βασιζόμενες σε τέσσερα σενάρια, ανάλογα με το ποσοστό περιορισμού της εκπομπής αερίων του θερμοκηπίου (IPCC 1995), οι οποίες αναλύονται και απεικονίζονται στο Σχήμα 2.5. παρακάτω:

- Το Σενάριο Α (Business as-usual) αναφέρεται στον ελάχιστο έως μηδαμινό περιορισμό της εκπομπής, που καταλήγει στον διπλασιασμό των επιπέδων CO₂ έως το 2025, σε σχέση με τα αντίστοιχα επίπεδα της προβιομηχανικής περιόδου, και, κατ' επέκταση, στην άνοδο της παγκόσμιας μέσης θερμοκρασίας κατά 0,3°C ανά δεκαετία τον 21^ο αιώνα. Δηλαδή, συγκριτικά με τις δεδομένες τιμές της, η θερμοκρασία θα αυξηθεί κατά 1°C μέχρι το 2025 (2°C πάνω από την αντίστοιχη στην προβιομηχανική περίοδο) και κατά 3°C μέχρι τα τέλη του 21^{ου} αιώνα (4°C πάνω από εκείνη στην προβιομηχανική εποχή).
- Στο Σενάριο Β παρατηρούνται ορισμένα μέτρα περιορισμού, όπως η αξιοποίηση κυρίως φυσικού αερίου στην βιομηχανία της ενέργειας, η κατάργηση της αποδάσωσης και η μείωση κατά 50% των CFCs, σε σχέση με τα αντίστοιχα επίπεδα που παρουσίασαν το 1985. Αποτέλεσμα της πρακτικής αυτής είναι, ο διπλασιασμός των επιπέδων CO₂ να μετακινηθεί περίπου στο έτος 2040 και η παγκόσμια μέση θερμοκρασία να αυξηθεί κατά 0,2°C ανά δεκαετία τον 21^ο αιώνα.
- Στο Σενάριο Γ προτιμάται η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και ασφαλούς πυρηνικής ενέργειας, σταματά παντελώς η απελευθέρωση CFCs και περιορίζονται οι εκπομπές μεθανίου και υποξειδίου του αζώτου στην γεωργία, μετατοπίζοντας τον διπλασιασμό της ποσότητας CO₂ στο έτος 2050 περίπου και επιδρώντας στην αύξηση της μέσης θερμοκρασίας πάνω από 0,1°C ανά δεκαετία τον 21^ο αιώνα.

- Στο Σενάριο Δ στρέφεται η ανθρωπότητα ραγδαία στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και στην ασφαλή πυρηνική ενέργεια στις αρχές του 21^{ου} αιώνα, πραγματοποιούνται αυστηροί έλεγχοι στις ανεπτυγμένες χώρες και μετριάζονται οι εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου στις αναπτυσσόμενες. Σαν αποτέλεσμα, θα μειωθούν οι εκπομπές CO₂ κατά 50% σε σχέση με τις αντίστοιχες του 1985, θα σταθεροποιηθούν τα επίπεδά του μέχρι τα τέλη του 21^{ου} αιώνα και θα παρατηρηθεί άνοδος της μέσης θερμοκρασίας περίπου κατά 0,1°C ανά δεκαετία.



Σχήμα 2.5. Η αύξηση της παγκόσμιας μέσης θερμοκρασίας σε σχέση με την αντίστοιχη του 1765. Οι μετρήσεις του διαστήματος 1850-1990 βασίζονται σε παρατηρήσεις που έγιναν μέχρι και το 1990 και του διαστήματος 1990-2100 στηρίζεται σε προβλέψεις που προέκυψαν από τα Σενάρια Α, Β, Γ και Δ. Σενάριο Α: Χωρίς ουσιαστικά μέτρα περιορισμού των εκπομπών, η θερμοκρασία αναμένεται να αυξηθεί έως και 3°C μέχρι το τέλος του 21ου αιώνα. Σενάριο Β: Με εφαρμογή κάποιων μέτρων, προβλέπεται άνοδος της θερμοκρασίας κατά περίπου 0,2°C ανά δεκαετία. Σενάριο Γ: Η χρήση ανανεώσιμων πηγών και η διακοπή των CFCs περιορίζουν την αύξηση σε λίγο πάνω από 0,1°C ανά δεκαετία. Σενάριο Δ: Με ταχεία στροφή στις ΑΠΕ και αυστηρό έλεγχο εκπομπών, η άνοδος περιορίζεται περίπου σε 0,1°C ανά δεκαετία (τροποποιημένο από IPCC 1992).

Η αλλαγή αυτή του κλίματος είναι φυσικό και επόμενο να οδηγήσει σε φυσικές και βιολογικές επιπτώσεις, που με την σειρά τους θα έχουν αρνητικό αντίκτυπο στο κοινωνικοοικονομικό τομέα. Ένα από τα κύρια αποτελέσματά της είναι η άνοδος της επιφάνειας της θάλασσας. Προβλέπεται αύξηση της τάξης των 30 - 50 cm μέχρι το 2050 επιπλήττοντας νησιά χαμηλού υψομέτρου και παράκτιες περιοχές και του 1 m μέχρι το 2100 αναγκάζοντας την μετανάστευση εκατομμυρίων ανθρώπων (IPCC 1992). Το θαλάσσιο και παράκτιο περιβάλλον θα υποστεί τροποποιήσεις απειλώντας είδη ιχθύων και θαλάσσιων θηλαστικών και πτηνών.

Σύμφωνα με την Πρώτη Έκθεση Αξιολόγησης της IPCC, δεν είχε προσδιοριστεί ακόμη, εάν η γεωργία θα επηρεαζόταν εξ 'ολοκλήρου αρνητικά ή θετικά. Η αλλαγή του καιρού, τα έντομα που σχετίζονται με την κλιματική αλλαγή και η ποσότητα όζοντος στο έδαφος, που συνδέονται με διάφορους ρύπους, σίγουρα θα μείωναν τη παραγωγή σε περιοχές που αδυνατούν να προσαρμοστούν στις νέες προκλήσεις, όπως είναι η Βραζιλία, το Περού, οι περιοχές γύρω από τη ζώνη της Σαχέλ, η βορειοανατολική Ασία, η Κίνα και οι ασιατικές περιοχές της πρώην Σοβιετικής Ένωσης. Αντίθετα, σε υψηλά και μεσαία γεωγραφικά πλάτη, υπήρχε προοπτική αύξησης, ακόμη και επέκτασης, της παραγωγής εξαιτίας της εκτεταμένης περιόδου ανάπτυξης. Ωστόσο, η παραγωγή των τροφίμων θα διατηρούταν σταθερή, καθώς η ανάπτυξη ορισμένων ειδών απλά θα ευνοούταν σε άλλες περιοχές, ενώ, ταυτόχρονα, θα εμφανίζονταν νέες ευκαιρίες για παραγωγή ποικίλων προϊόντων.

Μια επιπλέον αναφερόμενη συνέπεια της κλιματικής αλλαγής, φαίνεται να είναι η αλλαγή στα φυσικά χερσαία οικοσυστήματα. Με την αύξηση της θερμοκρασίας και των βροχοπτώσεων, ενδέχεται οι ζώνες του κλίματος να μετατοπιστούν προς του πόλους αυξάνοντας την παραγωγικότητα ορισμένων ειδών χλωρίδας και πανίδας που μένουν

πίσω, μειώνοντας, όμως, και την αντίστοιχη άλλων ειδών λόγω στρες. Έτσι, οι κοινωνίες που στηρίζουν την οικονομία και τον τομέα της υγείας τους στα φυσικά αυτά οικοσυστήματα θα υποστούν σημαντικές ζημιές.

Όσον αφορά την υδρολογία και τις πηγές νερού, τονίζεται ότι ελλοχεύει μεν ο κίνδυνος μείωσης της διαθεσιμότητας νερού σε ορισμένες περιοχές, παρατηρείται δε αύξηση της ποσότητάς του σε άλλες. Είναι, επομένως, μείζονος σημασίας να αναπτυχθούν ανθρώπινες κατασκευές διαχείρισης και αποθήκευσης νερού για τις περιόδους πληρότητας, αλλά και να γίνει εξοικονόμηση νερού και εμφύτευση φυτών για τις περιόδους ξηρασίας.

2.2.2. Δεύτερη Έκθεση Αξιολόγησης του IPCC

Η Δεύτερη Έκθεση της IPCC δημοσιεύτηκε το 1995 και εμπλούτισε τις έως τότε γνώσεις με νέα δεδομένα και στοιχεία. Οι συγκεντρώσεις των αερίων του θερμοκηπίου αυξήθηκαν κατά το διάστημα από την προβιομηχανική περίοδο έως το 1992 και, συγκεκριμένα, το CO₂ κατά 30%, το CH₄ κατά 145% και το N₂O κατά 15%, με κύριο παράγοντα αύξησης την ανθρώπινη δραστηριότητα (IPCC 1995). Η αύξηση των αερίων αυτών, και ιδιαίτερα των μακράς διάρκειας ζωής αερίων, συμβάλλουν στην άνοδο της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας και της επιφάνειας της γης.

Σύμφωνα με την Έκθεση, διαμορφώθηκαν έξι πιθανά σενάρια, που στηρίχθηκαν στον πληθυσμό, την οικονομική ανάπτυξη, τη χρήση γης, τις αλλαγές στην τεχνολογία και την διαθεσιμότητα ενέργειας και καυσίμων στο διάστημα 1990 - 2100, προβλέποντας την αύξηση των εκπομπών σε όλα τα στάδια. Τα χαμηλότερα επίπεδα βρέθηκαν στην περίπτωση, όπου ο πληθυσμός και η οικονομική ανάπτυξη εμφανίζουν πτώση. Η «καλύτερη εκτίμηση» προέβλεψε την αύξηση της παγκόσμιας μέσης θερμοκρασίας κατά

2°C μέχρι το 2100, χαμηλότερη της αντίστοιχης εκτίμησης του 1990 (IPCC 1995). Η διαφορά της θερμοκρασίας προκύπτει από τον υπολογισμό χαμηλότερων τιμών των εκπομπών των αερίων το 1995 και την συμπερίληψη των αερολυμάτων που ελαττώνουν τις τιμές της θερμοκρασίας.

Η θέρμανση του πλανήτη θα επηρεάσει, φυσικά, και την μέση στάθμη της θάλασσας λόγω την θέρμανσης των ωκεανών και της τήξης των πάγων. Λαμβάνοντας υπόψη την «καλύτερη εκτίμηση», προβλέπεται η άνοδος της στάθμης της θάλασσας κατά 50 cm από το 1995 έως το 2100, δηλαδή 25% χαμηλότερη της εκτίμησης του 1990 (IPCC 1995).

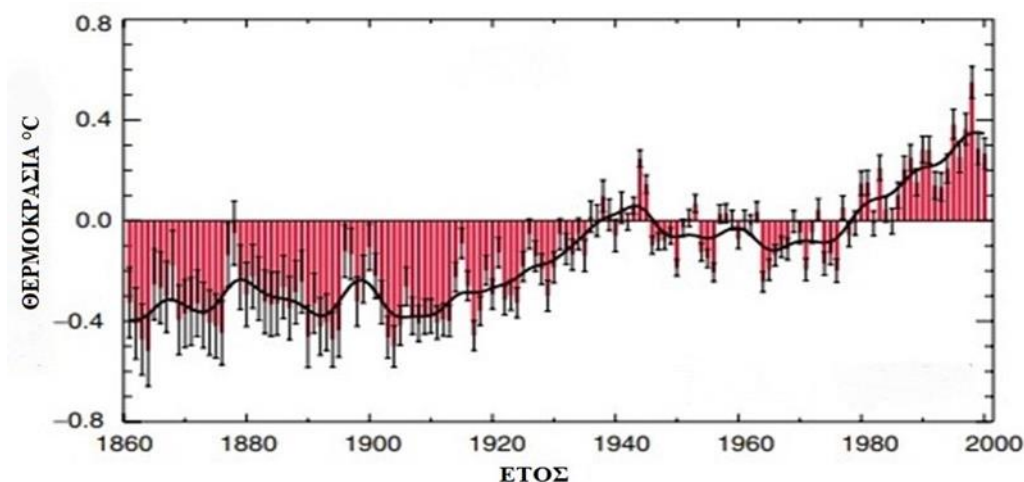
Εκτός από το ύψος της στάθμης της θάλασσας, θα προκαλέσει αλλαγές και στον υδρολογικό κύκλο. Ενδέχεται ορισμένες περιοχές να βιώσουν περισσότερες περιόδους ξηρασίας ή/και φαινόμενα πλημμύρας, συγκριτικά με άλλες που θα εμφανίσουν λιγότερες ξηρασίες ή/και πλημμύρες. Οι έρευνες έδειξαν ότι αναμένεται αύξηση της έντασης της βροχόπτωσης, ευνοώντας ακραίες καταιγίδες, χωρίς, όμως, να μπορεί να αποδειχθεί εάν θα προκληθούν αλλαγές και στην αντίστοιχη συχνότητα και γεωγραφική κατανομή αυτών.

Συμπερασματικά, οι μελέτες και οι προσομοιώσεις που διεξήχθησαν στην Δεύτερη Έκθεση Αξιολόγησης της IPCC, κατέγραψαν ότι (IPCC 1995):

- Η ξηρά θερμαίνεται περισσότερο από τη θάλασσα το χειμώνα.
- Τα υψηλά βόρεια γεωγραφικά πλάτη θερμαίνονται περισσότερο το χειμώνα.
- Η περιοχή της Αρκτικής θερμαίνεται ελάχιστα το καλοκαίρι.
- Τα υψηλά γεωγραφικά πλάτη εμφανίζουν αυξημένη κατακρήμνιση και εδαφική υγρασία το χειμώνα.

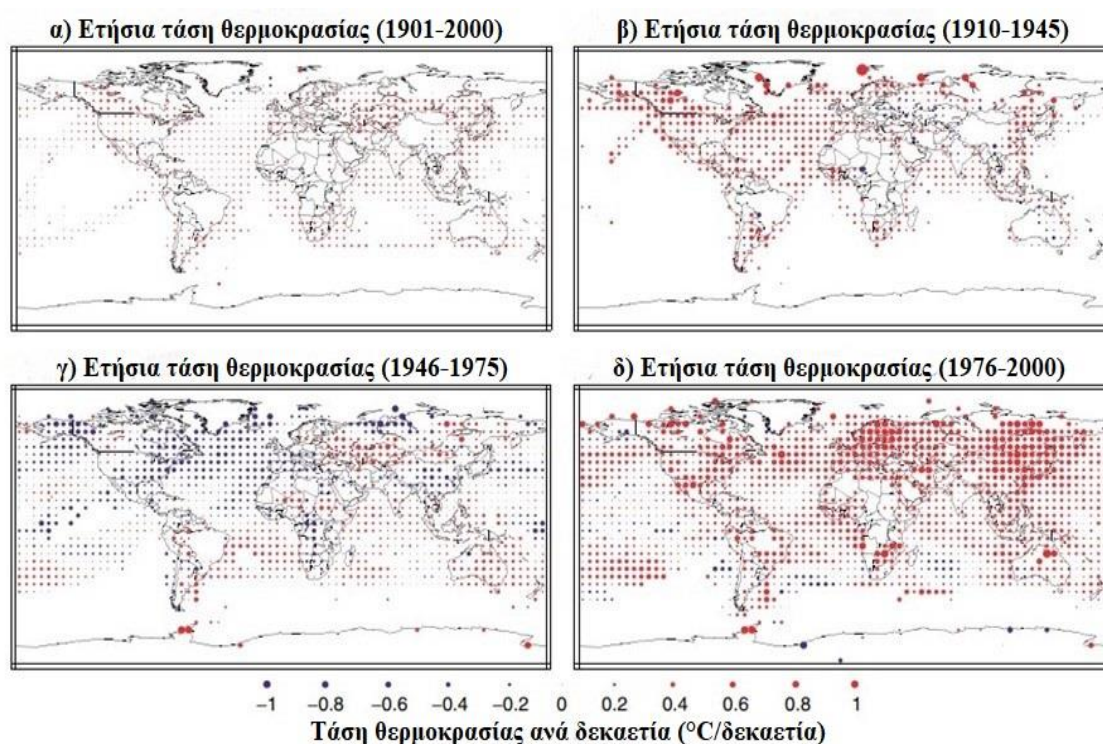
2.2.3. Τρίτη Έκθεση Αξιολόγησης του IPCC

Το 2001 ολοκληρώθηκε η Τρίτη Έκθεση Αξιολόγησης της IPCC, η οποία έχτισε την συνέχεια των προηγούμενων εκθέσεων, μοιράζοντας επιπρόσθετα δεδομένα και νέες μετρήσεις που προέκυψαν από την μελέτη της κλιματικής αλλαγής. Όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 2.6., η παγκόσμια μέση θερμοκρασία παρουσίασε μια κυμαινόμενη αύξηση από το 1861 και έπειτα, η οποία φτάνει τους $0,6 \pm 0,2$ °C τον 20^ο αιώνα. Η εκτίμηση είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη των πρώτων δύο Εκθέσεων Αξιολόγησης της IPCC, αφού προστέθηκαν στοιχεία από το διάστημα 1995 - 2000, το οποίο ανήκει στην πιο θερμή δεκαετία, εκείνη του 1990, και στο οποίο εμφανίζεται η πιο θερμή χρονιά του 1998 (Σχ. 2.6.). Επίσης, καταγράφηκαν δύο περίοδοι ανοδικής πορείας της θερμοκρασίας, με την πρώτη να ξεκινάει το έτος 1910 και να τελειώνει το 1945 και την δεύτερη να αρχίζει το 1976 και να ολοκληρώνεται το 2000 (Σχ. 2.7.).



Σχήμα 2.6. Ετήσιες αποκλίσεις της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας (°C) για την περίοδο 1860–2000 σε σχέση με τον μέσο όρο της περιόδου 1961–1990. Η δεκαετία του 1990 εμφανίζεται ως η θερμότερη, ενώ το 1998 σημειώνεται ως το θερμότερο έτος του 20ού αιώνα. Τα δεδομένα προέρχονται από θερμομέτρα (τροποποιημένο από IPCC 2001).

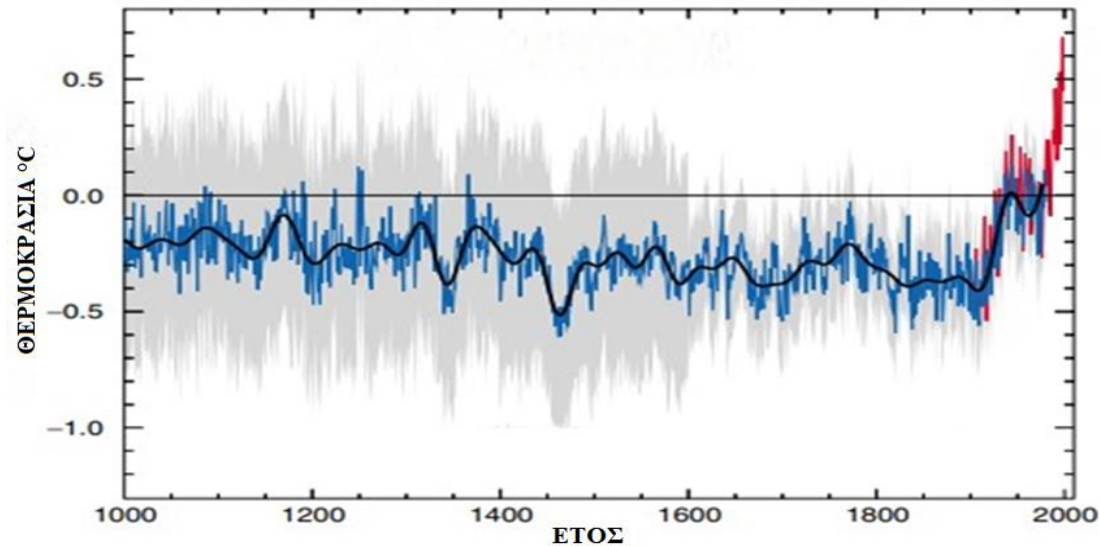
Μελετώντας τα δύο ημισφαίρια της γης, θα συνειδητοποιούσε κανείς ότι οι πληροφορίες για το νότιο ήταν ελλιπείς για να βρεθούν οι τιμές της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας. Από την άλλη, νέες αναλύσεις είχαν υποδείξει ότι η μέγιστη αύξηση της θερμοκρασίας στο βόρειο ημισφαίριο για το διάστημα 1000 - 2000, σημειώθηκε πιθανόν τον 20ο αιώνα και, συγκεκριμένα, τη δεκαετία του 1990, με πιο θερμό έτος επίσης το 1998 (Σχ. 2.8.).



Σχήμα 2.7. Τάσεις της θερμοκρασίας (°C) ανά δεκαετία για την περίοδο 1901–2000: α) συνολικά, παρατηρείται αύξηση της θερμοκρασίας, β) από το 1910 έως το 1945 η θερμοκρασία παρουσιάζει σταθερή άνοδο, γ) από το 1946 έως το 1975 καταγράφεται μείωση της θερμοκρασίας και δ) από το 1976 έως το 2000 παρατηρείται έντονη άνοδος (τροποποιημένο από IPCC 2001).

Σύμφωνα με την IPCC (2001), από το 1950 έως το 1993, είχε παρατηρηθεί αύξηση της τάξης των 0,2°C ανά δεκαετία της ελάχιστης θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας, τις νυχτερινές ώρες της ημέρας. Η μέγιστη θερμοκρασία της ατμόσφαιρας σημείωσε άνοδο

κατά $0,1^{\circ}\text{C}$ ανά δεκαετία, τις πρωινές ώρες της ημέρας. Κατά συνέπεια, μειώθηκαν οι περίοδοι με παγωνιά στα μεσαία και μεγάλα γεωγραφικά πλάτη.

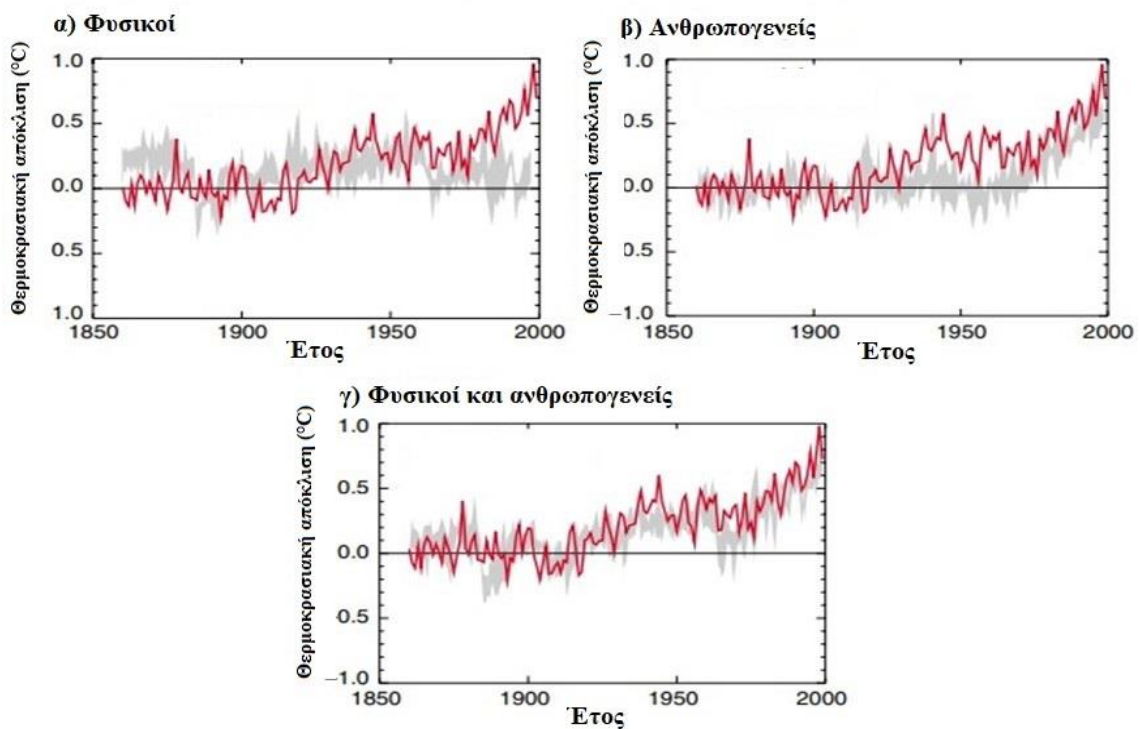


Σχήμα 2.8. Ετήσιες αποκλίσεις της θερμοκρασίας ($^{\circ}\text{C}$) στο Βόρειο Ημισφαίριο για την περίοδο 1000–2000, σε σχέση με τον μέσο όρο της περιόδου 1961–1990. Η μεγαλύτερη αύξηση παρουσιάστηκε κατά τη δεκαετία του 1990. Τα δεδομένα προέρχονται από θερμομέτρα (κόκκινα) και από δακτυλίους δέντρων, κοράλλια, πυρήνες πάγου και ιστορικές καταγραφές (μπλε). (τροποποιημένο από IPCC 2001).

Είναι σημαντικό να αναφερθεί η διαφορά μεταξύ της επιφανειακής και της θερμοκρασίας των χαμηλότερων επιπέδων των 8 km της ατμόσφαιρας. Και οι δύο μεταβλητές αυξήθηκαν από τις αρχές του 1950, περίπου κατά $0,1^{\circ}\text{C}$ ανά δεκαετία, $0,15 \pm 0,05^{\circ}\text{C}$ και $0,05 \pm 0,10^{\circ}\text{C}$ αντίστοιχα (IPCC 2001). Η διαφορά στις τιμές εμφανίζεται κυρίως στις τροπικές και υποτροπικές περιοχές και οφείλεται στην διαφορετική απόκρισή τους σε διάφορους παράγοντες, όπως η μείωση του όζοντος στην στρατόσφαιρα, τα αερολύματα στην ατμόσφαιρα ή το φαινόμενο El Niño.

Στο Σχήμα 2.9. αναπαρίσταται η εξέλιξη της θερμοκρασίας από το 1850 έως το 2000, όταν επηρεάζεται από φυσικούς παράγοντες (Σχ. 2.9a), από ανθρωπογενείς παράγοντες

(Σχ. 2.9.b) και από τον συνδυασμό και των δύο συνιστωσών (Σχ. 2.9c). Οι γραμμές με γκρίζο χρώμα σημάνουν τα αποτελέσματα με βάση τον εκάστοτε παράγοντα, ενώ οι κόκκινες την πραγματική εξέλιξη της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη. Όπως είναι ορατό, οι φυσικοί παράγοντες δεν είναι οι μόνοι υπεύθυνοι για την αύξηση της θερμοκρασίας, ιδιαίτερα στο δεύτερο μισό του 20^{ου} αιώνα. Αντιθέτως, η φύση σε συνδυασμό με τις ανθρώπινες δραστηριότητες καθόρισαν την ανοδική πορεία της.



Σχήμα 2.9. Ετήσιες αποκλίσεις της μέσης παγκόσμιας επιφανειακής θερμοκρασίας υπό την επίδραση: α) φυσικών παραγόντων, β) ανθρωπογενών παραγόντων και γ) συνδυασμού φυσικών και ανθρωπογενών παραγόντων. Τα αποτελέσματα κάθε παράγοντα απεικονίζονται με γκρίζο χρώμα, ενώ η πραγματική εξέλιξη της θερμοκρασίας σημειώνεται με κόκκινη γραμμή. Παρατηρείται ότι τόσο οι φυσικοί όσο και οι ανθρωπογενείς παράγοντες συμβάλλουν σημαντικά στην αύξηση της θερμοκρασίας (τροποποιημένο από IPCC 2001).

Η παγκόσμια μέση θερμοκρασία προβλέπεται να αυξηθεί και στο μέλλον. Η αναμενόμενη άνοδος κυμαίνεται μεταξύ 1,4°C και 5,8°C στο διάστημα 1990 - 2100, τιμές μεγαλύτερες συγκριτικά με τις εκτιμήσεις των σεναρίων των προηγούμενων Εκθέσεων Αξιολόγησης της IPCC (IPCC 2001). Τα μοντέλα προσομοίωσης είχαν δείξει ότι οι βόρειες χερσαίες εκτάσεις υψηλού γεωγραφικού πλάτους θα θερμανθούν περισσότερο, και ιδιαίτερα το χειμώνα, όπως είναι η βόρεια πλευρά της βόρειας Αμερικής και η βόρεια και κεντρική Ασία. Στον αντίποδα, η νότια Αφρική θα θερμανθεί λιγότερο την ίδια εποχή, ενώ η νότια και νοτιοανατολική Ασία το καλοκαίρι. Το ανατολικό τροπικό κομμάτι του Ειρηνικού θα υποστεί περισσότερη θέρμανση σε σχέση με το δυτικό, καθώς επίσης και οι βροχοπτώσεις θα μετακινηθούν ανατολικά.

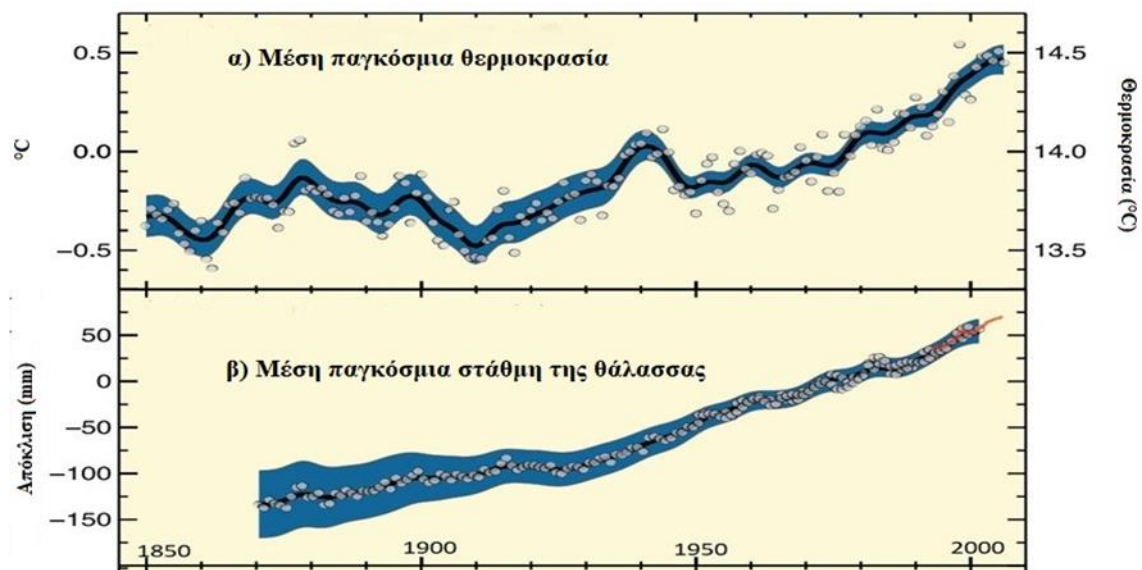
Τον 20^ο αιώνα αποτυπώθηκε αύξηση της βροχόπτωσης κατά 0,5 - 1 % ανά δεκαετία στο ηπειρωτικό κομμάτι των μεσαίου και μεγάλου γεωγραφικού πλάτους περιοχών του βόρειου ημισφαιρίου, με το δεύτερο μισό του αιώνα να παρουσιάζει 2 - 4 % αύξηση στην συχνότητα εμφάνισης έντονων βροχοπτώσεων. Στις ηπείρους της τροπικής ζώνης, η άνοδος μικραίνει μεταξύ 0,2 - 0,3 % ανά δεκαετία, καθώς επίσης στις αντίστοιχες υποτροπικές του βορείου ημισφαιρίου βρίσκεται στο 0,3% ανά δεκαετία (IPCC 2001). Παρόμοιες τάσεις δεν έχουν εντοπισθεί στο νότιο ημισφαίριο, ενώ τα επιστημονικά στοιχεία της βροχόπτωσης στους ωκεανούς εκείνη την περίοδο ήταν ανεπαρκείς. Κατά τον 21^ο αιώνα αναμένεται περαιτέρω σταδιακή αύξηση της μέσης βροχόπτωσης και, ειδικότερα, στο δεύτερο μισό του στα βόρεια μεσαία και μεγάλα γεωγραφικά πλάτη και στην Ανταρκτική το χειμώνα. Αντίθετα, οι χερσαίες περιοχές των χαμηλών γεωγραφικών πλατών θα εμφανίζουν αυξομειώσεις.

Η θέρμανση του πλανήτη θα έχει σαν αποτέλεσμα και την τήξη των πάγων, ενώ ο συνδυασμός τους θα οδηγήσει στην άνοδο της επιφάνειας της θάλασσας. Τα πλέον

βελτιωμένα μοντέλα της εποχής εκείνης κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η αύξηση που θα σημειωθεί κυμαίνεται μεταξύ 0,09 και 0,88 m στο διάστημα 1990 – 2100 (IPCC 2001). Οι τιμές φαίνεται να είναι χαμηλότερες σε σύγκριση με τις αντίστοιχες των προβλέψεων των προηγούμενων Εκθέσεων Αξιολόγησης της IPCC κι αυτό επειδή τα νέα μοντέλα έλαβαν υπόψη ότι η συμβολή της τήξης των πάγων είναι τελικά χαμηλότερη.

2.2.4. Τέταρτη Έκθεση Αξιολόγησης του IPCC

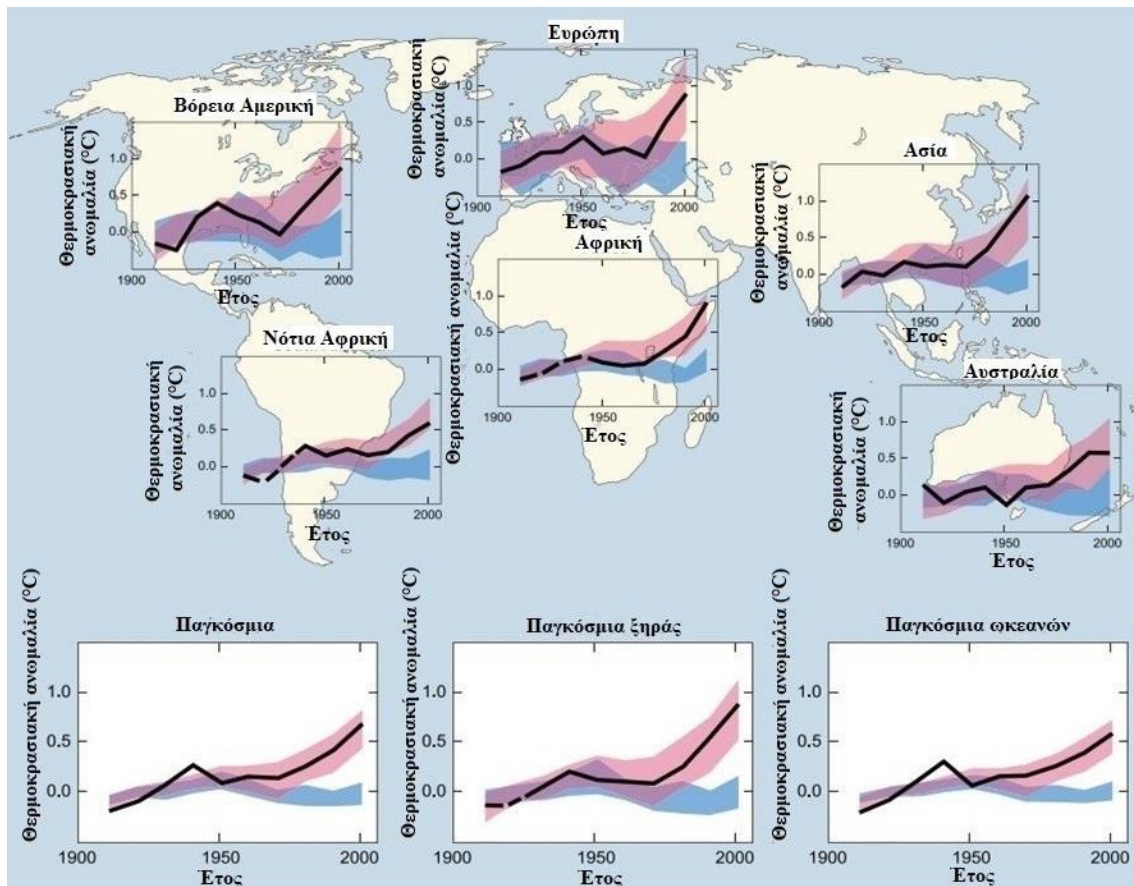
Η Τέταρτη Έκθεση Αξιολόγησης, η οποία δημοσιεύτηκε το 2007, αλλά χρειάστηκαν έξι χρόνια για την ολοκλήρωσή της, είναι η εκτενέστερη έως σήμερα. Τονίζεται για άλλη μια φορά η αδιαμφισβήτητη φύση της κλιματικής αλλαγής, με νέες παρατηρήσεις που αφορούν την αύξηση της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας, τόσο του αέρα όσο και των ωκεανών, την άνοδο της στάθμης της θάλασσας και την τήξη του πάγου και του χιονιού.



Σχήμα 2.10. Αποκλίσεις α) της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας και β) της μέσης παγκόσμιας στάθμης της θάλασσας. Με μπλε οι μετρήσεις από παλίρροιες και με κόκκινο δεδομένα από δορυφόρους. Οι καμπύλες αναπαριστούν τις τιμές ανά δεκαετία, ενώ οι κύκλοι ανά έτος (τροποποιημένο από IPCC 2007).

Σύμφωνα με την Έκθεση, τα επίπεδα CO₂, που αποτελεί το κύριο αέριο του θερμοκηπίου, αυξήθηκαν κατά 280 - 379 ppm από τη προβιομηχανική εποχή έως το 2005, με το διάστημα 1995 - 2005 να σημειώνει μεγαλύτερο μέσο ρυθμό αύξησης (1,9 ppm ανά έτος), σε σχέση με τον μέσο ρυθμό αύξησης κατά την περίοδο 1960 - 2005 (1,4 ppm ανά έτος). Αναλυτικότερα, η μέση τιμή εκπομπών CO₂ από τη χρήση ορυκτών καυσίμων, που αποτελούν την βασική πηγή απελευθέρωσης CO₂ στην ατμόσφαιρα, αυξήθηκε από 6,4 GtC ανά έτος στη δεκαετία του 1990 σε 7,2 GtC ανά έτος στο διάστημα 2000 – 2005 (IPCC 2007).

Το διάστημα 1996 - 2005 θεωρήθηκε ως ένα από τα πιο θερμά χρονικά διαστήματα από το 1850 (Σχ. 2.10.α). Ενώ η Τρίτη Έκθεση Αξιολόγησης της IPCC αναφέρθηκε σε μια γραμμική τάση αύξησης των 0,6°C για τον 20ο αιώνα, η νέα αναφορά αναθεωρεί την τιμή στους 0,74°C για το διάστημα 1906 - 2005. Το 80% της προστιθέμενης, στο κλιματικό σύστημα του πλανήτη, θέρμανσης, απορροφάται από τους ωκεανούς αυξάνοντας τη μέση θερμοκρασία του παγκόσμιου ωκεανού μέχρι και το βάθος των 3000 m (IPCC 2007). Η θέρμανση αυτή προκαλεί τη διαστολή του θαλασσινού νερού, που σε συνδυασμό με την τήξη των πάγων, έχει επηρεάσει την άνοδο της στάθμης της θάλασσας. Η μέση τιμή του ρυθμού της τελευταίας, έφτασε τα 1,8 mm ανά έτος από 1961 - 2003, με την μεγαλύτερη τιμή να παρατηρείται από 1993 - 2003 και να ανέρχεται στα 3,1 mm ανά έτος. Τον 20ο αιώνα, η άνοδος της στάθμης της θάλασσας εκτιμήθηκε στα 0,17 mm επιπρόσθετα σε σχέση με την τιμή της τον 19ο αιώνα (IPCC 2007).



Σχήμα 2.11. Χωρική κατανομή της θερμοκρασιακής ανωμαλίας (°C/έτος) ανά ήπειρο για την περίοδο 1906–2005. Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της επίδρασης αποκλειστικά φυσικών παραγόντων (μπλε), αποκλειστικά ανθρωπογενών παραγόντων (ροζ), καθώς και του συνδυασμού τους (μαύρη γραμμή) στη διαμόρφωση της θερμοκρασιακής ανωμαλίας (τροποποιημένο από IPCC 2007).

Στο Σχήμα 2.11. απεικονίζεται η χωρική κατανομή της θερμοκρασίας της επιφάνειας της γης ανά ήπειρο. Σε σχεδόν όλες τις ηπείρους παρατηρείται μια συνεχόμενη ανοδική πορεία της μεταβλητής, στα μέσα περίπου του δεύτερου μισού του 20^{ου} αιώνα. Στην Αυστραλία είναι μεν ορατή η αυξανόμενη θερμοκρασία, σταθεροποιείται δε στα τέλη του 20^{ου} αιώνα. Στο κάτω μέρος του σχήματος, αναπαρίστανται η μέση παγκόσμια θερμοκρασία, η μέση θερμοκρασία της ξηράς και η μέση θερμοκρασία του ωκεανού του

πλανήτη. Όπως φαίνεται στο σχήμα, η μέση θερμοκρασία της ξηράς καταγράφει, σε σχέση με τη μέση θερμοκρασία του ωκεανού, μεγαλύτερη τάση αύξησης.

Ένα σημαντικό αποτέλεσμα της κλιματικής αλλαγής αποτέλεσαν, και αποτελούν ακόμα, η αύξηση της συχνότητας εμφάνισης βροχοπτώσεων και ξηρασιών. Την περίοδο 1900 - 2005, καταγράφηκαν αυξημένες βροχοπτώσεις στις ανατολικές περιοχές της βόρειας και νότιας Αμερικής, στην βόρεια Ευρώπη και στην βόρεια και κεντρική Ασία, και περίοδοι ξηρασίας στη νότια Αφρική και στις περιοχές της Μεσογείου, της ζώνης του Σαχέλ και της νότιας Ασίας.

Όσον αφορά τις προβλέψεις της Πρώτης Έκθεσης Αξιολόγησης της IPCC σχετικά με την άνοδο της μέσης θερμοκρασίας μεταξύ 0,15 - 0,3 °C ανά δεκαετία στο διάστημα 1990 - 2005, νέες αναφορές της Τέταρτης Έκθεσης Αξιολόγησης της IPCC, συμπεραίνουν ότι η παρατηρούμενη αύξηση έφτασε τους 0,2°C ανά δεκαετία. Ωστόσο, η Τέταρτη Έκθεση Αξιολόγησης της IPCC δημιούργησε και τις δικές της προβλέψεις για το μέλλον διαμορφώνοντας έξι πιθανά σενάρια:

- Το Σενάριο A1 αναφέρεται στην μελλοντική ραγδαία ανάπτυξη της οικονομίας και της τεχνολογίας και στην αύξηση του πληθυσμού, που κορυφώνεται στα μέσα του 21^{ου} αιώνα και έπειτα μειώνεται. Χωρίζεται σε τρεις επιμέρους κατηγορίες, ανάλογα με τις τεχνολογίες παραγωγής ενέργειας. Η πρώτη στηρίζεται στην χρήση ορυκτών (A1FI), η δεύτερη χρησιμοποιεί μη ορυκτές πηγές ενέργειας (A1T) και η τρίτη βρίσκει ισορροπία ανάμεσα σε όλες της πηγές ενέργειας (A1B).
- Το Σενάριο A2 περιλαμβάνει την ανάπτυξη της οικονομίας τοπικά και την κατά κεφαλήν αύξησή της, την χαμηλή ανάπτυξη της τεχνολογίας, σε σύγκριση με τα υπόλοιπα σενάρια, και την αύξηση του πληθυσμού.

- Το Σενάριο B1 περιγράφει την ίδια κατάσταση πληθυσμού, όπως στο Σενάριο A1, και την ραγδαία ανάπτυξη της οικονομίας, που εστιάζει στις υπηρεσίες και στην πληροφορία και όχι στα υλικά αγαθά. Σε γενικές γραμμές, στρέφεται η προσοχή στην βιωσιμότητα της οικονομίας, της κοινωνίας και του περιβάλλοντος δημιουργώντας μια κατάσταση δικαιοσύνης και ισότητας, χωρίς, όμως, πρόσθετες ενέργειες για το κλίμα.
- Το Σενάριο B2 επικεντρώνεται στην τοπική βιωσιμότητα της οικονομίας, της κοινωνίας και του περιβάλλοντος και περιγράφεται από συνεχόμενη αύξηση του πληθυσμού, με χαμηλότερο ρυθμό αύξησης σε σχέση με εκείνο του Σεναρίου A2, και από λιγότερο ραγδαία, αλλά με περισσότερη ποικιλία, εξέλιξη της τεχνολογίας, συγκριτικά με τα Σενάρια B1 και A1.

Περίπτωση	Πιθανό εύρος της αύξησης της θερμοκρασίας (°C) στο διάστημα 2090 – 2099 σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές της περιόδου 1980 - 1999	Πιθανό εύρος της αύξησης της στάθμης της θάλασσας (m) στο διάστημα 2090 – 2099 σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές της περιόδου 1980 - 1999
Σενάριο A1FI	2,4 – 6,4	0,26 – 0,59
Σενάριο A1T	1,4 – 3,8	0,20 – 0,45
Σενάριο A1B	1,7 – 4,4	0,21 – 0,48
Σενάριο A2	2,0 – 5,4	0,23 – 0,51
Σενάριο B1	1,1 – 2,9	0,18 – 0,38
Σενάριο B2	1,4 – 3,8	0,20 – 0,43

Πίνακας 2.1. Προβλέψεις της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας και της μέσης στάθμης του παγκόσμιου ωκεανού για τα τέλη του 21^{ου} αιώνα (2090 – 2099). Οι τιμές υπολογίστηκαν σε σχέση με τις επικρατούσες τιμές στο διάστημα 1980 – 1999 και είναι βασισμένες στα διάφορα σενάρια

της Τέταρτης Έκθεσης Αξιολόγησης της IPCC. Η μεγαλύτερη αύξηση της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας και της μέσης στάθμης του παγκόσμιου ωκεανού αποτυπώνονται στο Σενάριο A1FI (τροποποιημένο από IPCC 2007).

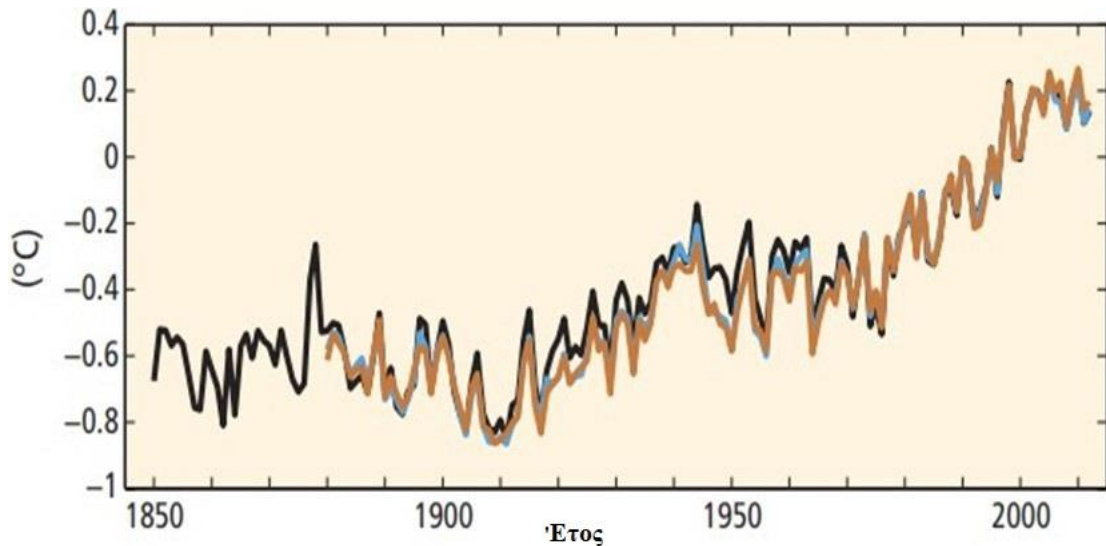
Τα πορίσματα των παραπάνω σεναρίων είναι εμφανή στον Πίνακα 2.1. Η μεγαλύτερη αύξηση της μέσης παγκόσμια θερμοκρασίας αποτυπώνεται στο Σενάριο A1FI με εύρος που κυμαίνεται μεταξύ 2,4 - 6,4 °C, ενώ η μικρότερη στο Σενάριο B1, όπου το εύρος τοποθετείται μεταξύ 1,1 -2,9 °C. Κατά τον ίδιο τρόπο, η μέση στάθμη του παγκόσμιου ωκεανού, φαίνεται να κατέχει μεγαλύτερες τιμές στο Σενάριο A1FI, με εύρος 0,26 - 0,59 m, και μικρότερες στο Σενάριο B1, με εύρος 0,18 - 0,38 m. Γενικότερα, αναμένεται να παρατηρηθεί αύξηση της θερμοκρασίας κατά κόρον στη ξηρά, ειδικότερα, στα βόρεια μεγάλα γεωγραφικά πλάτη και λιγότερο στο νότιο Ωκεανό και το βόρειο κομμάτι του Ατλαντικού ωκεανού.

2.2.5. Πέμπτη Έκθεση Αξιολόγησης του IPCC

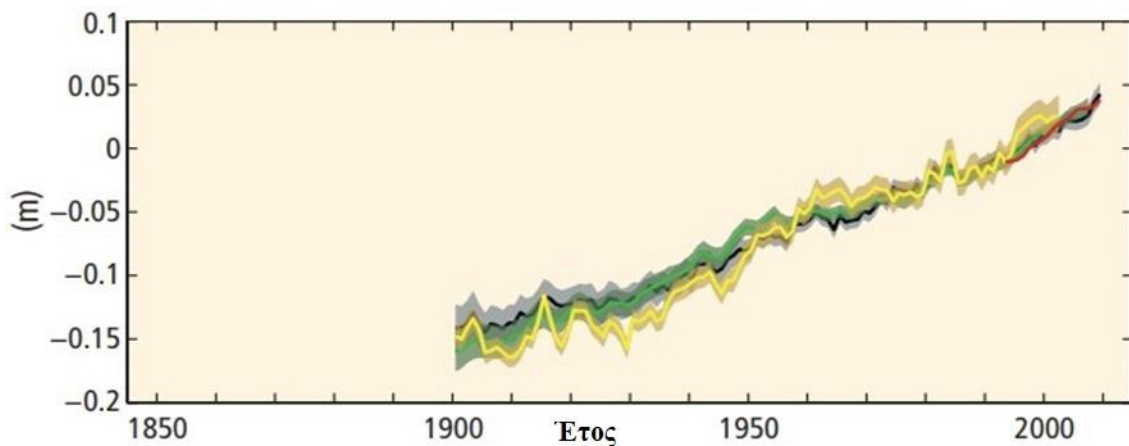
Το 2014 ακολούθησε η Πέμπτη Έκθεση Αξιολόγησης της IPCC, κατά την οποία αναλύθηκαν οι παρατηρούμενες αλλαγές στο κλίμα και οι αιτίες τους, προβλήθηκαν οι μελλοντικές κλιματικές αλλαγές, οι κίνδυνοι και οι συνέπειες που θα αποφέρουν, και προτάθηκαν μέτρα προσαρμογής και μετριασμού. Σύμφωνα με την νέα έκθεση, το διάστημα 1983 έως 2012, ενδείκνυται να είναι η θερμότερη περίοδος τα τελευταία 1400 χρόνια στο βόρειο ημισφαίριο, με την παγκόσμια μέση θερμοκρασία να εκτιμάται ότι αυξήθηκε περίπου κατά 0,84°C στο διάστημα 1980 – 2012 (Σχ. 2.12.).

Παρατηρώντας το Σχήμα 2.13., φαίνεται ότι και η μέση στάθμη του παγκόσμιου ωκεανού ακολουθεί μια ανοδική πορεία από το 1901 έως το 2010, με την τιμή της αύξησης να φτάνει περίπου τα 0,19 m. Η θέρμανση του ωκεανού συμβαίνει κατά κύριο λόγο στα ανώτερα στρώματά του. Μάλιστα, έχει εκτιμηθεί ότι τα ανώτερα στρώματα των 75 m

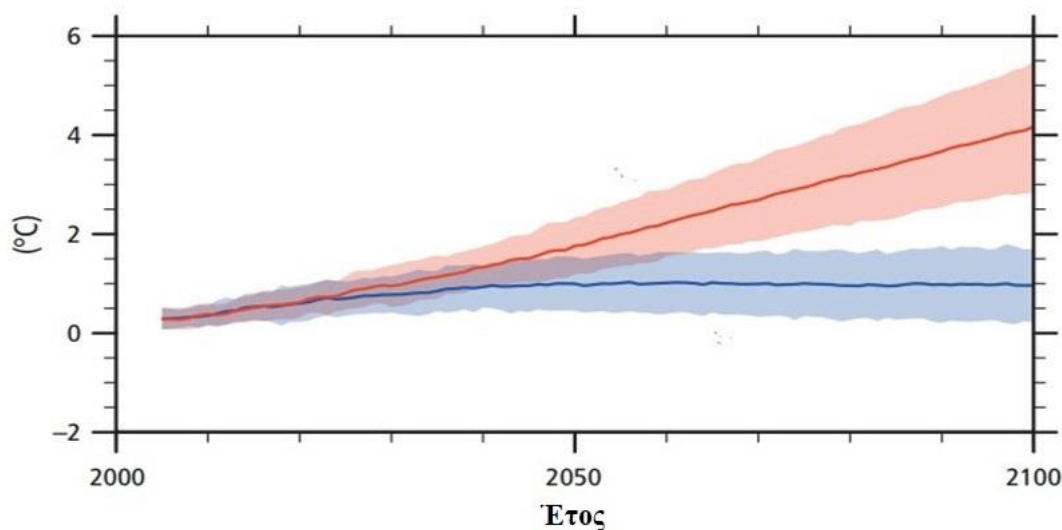
έχουν υποστεί θέρμανση περίπου κατά $0,11\text{ }^{\circ}\text{C}$ ανά δεκαετία την περίοδο 1971 - 2010 (IPCC 2014).



Σχήμα 2.12. Η θερμοκρασιακή ανωμαλία της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας σε $^{\circ}\text{C}$ ανά έτος, με βάση διαφορετικές πηγές. Το διάστημα 1983-2012 αποτελεί τη θερμότερη περίοδο από το 1850 και έπειτα (τροποποιημένο από IPCC 2014).



Σχήμα 2.13. Η απόκλιση της μέσης στάθμης του παγκόσμιου ωκεανού σε m ανά έτος, με βάση διαφορετικές πηγές. Από το 1901 μέχρι και το 2010 ενδείκνυται μια ανοδική πορεία της μέσης στάθμης του παγκόσμιου ωκεανού (τροποποιημένο από IPCC 2014).



Σχήμα 2.14. Η προβλεπόμενη θερμοκρασιακή ανωμαλία της παγκόσμιας μέσης επιφανειακής θερμοκρασίας ($^{\circ}\text{C}/\text{έτος}$) για το διάστημα 2006-2100, σε σχέση με την περίοδο αναφοράς 1986-2005. Το κόκκινο χρώμα αναφέρεται στο Σενάριο RCP8.5, ενώ το μπλε στο Σενάριο RCP2.6 (τροποποιημένο από IPCC 2014).

Στην Πέμπτη Έκθεση Αξιολόγησης της IPCC δημιουργήθηκαν τέσσερα πιθανά σενάρια, που στηρίζονται στην ρύθμιση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου και που θα συμβάλλουν στην καλύτερη κατανόηση της μελλοντικής κατάστασης του πλανήτη:

- Στο Σενάριο RCP2.6 λαμβάνονται μέτρα για τον μετριασμό του προβλήματος.
- Στα Σενάρια RCP4.5 και RCP6.0 αντικατοπτρίζεται μια μεσαία κατάσταση.
- Στο Σενάριο RCP8.5 εκπέμπονται τεράστιες ποσότητες αερίων του θερμοκηπίου.

Υποθέτοντας ότι δεν θα πραγματοποιηθεί έκρηξη ηφαιστείων, αλλαγές στις φυσικές πηγές των αερίων του θερμοκηπίου και αλλαγές στην ολική ηλιακή ακτινοβολία την περίοδο 2016 - 2035, η παγκόσμια μέση επιφανειακή θερμοκρασία θα αυξηθεί, και στα τέσσερα σενάρια, κατά $0,3 - 0,7^{\circ}\text{C}$, σε σχέση με τη περίοδο 1986 - 2005 (IPCC 2014). Συνεχίζοντας, στα τέλη του 21^{ου} αιώνα, στο διάστημα 1981 - 2100, η τιμή της θα φτάσει τους $0,3 - 1,7^{\circ}\text{C}$ στο Σενάριο RCP2.6 (Σχ. 2.14.), τους $1,1 - 2,6^{\circ}\text{C}$ στο Σενάριο RCP4.5,

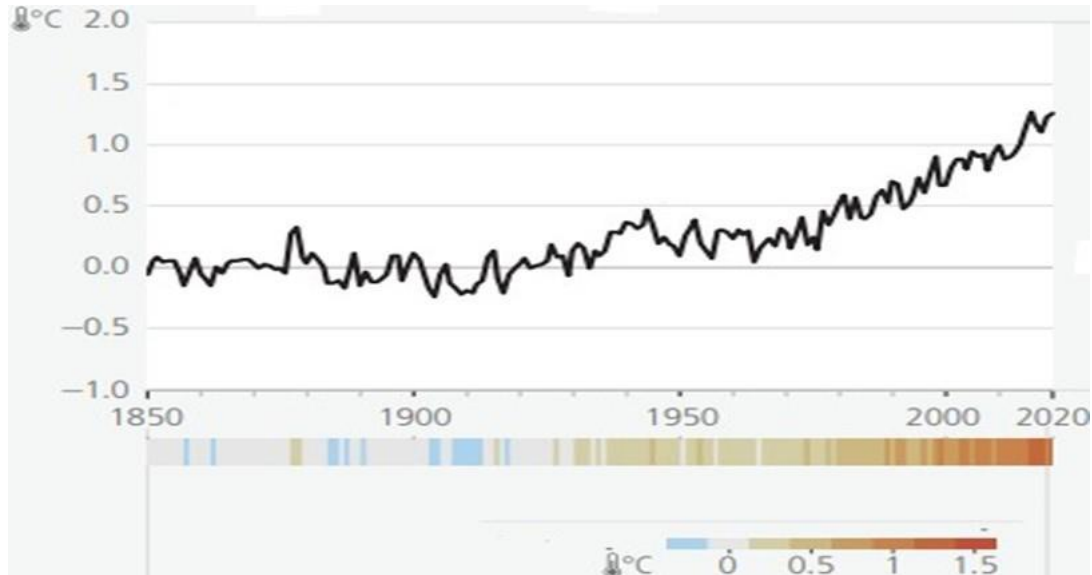
τους 1,4 - 3,1 °C στο Σενάριο RCP6.0 και τους 2,6 - 4,8 °C στο Σενάριο RCP8.5 (Σχ. 2.14.) Εφόσον η μέση παγκόσμια θερμοκρασία αναμένεται να αυξάνεται, είναι σχεδόν βέβαιο, ότι οι υψηλές θερμοκρασίες θα υπερσχύσουν των χαμηλών στην ξηρά σε καθημερινή, αλλά και εποχιακή βάση.

2.2.6. Έκτη Έκθεση Αξιολόγησης του IPCC

Η Έκτη Έκθεση Αξιολόγησης της IPCC δημοσιεύτηκε το 2023, με κύριους άξονες ανάπτυξης των θεματικών της, την βάση της φυσικής επιστήμης, τις επιπτώσεις, την προσαρμογή και την ευπάθεια στην κλιματική αλλαγή, και τον μετριασμό της. Σύμφωνα με εκτιμήσεις της, η παγκόσμια θερμοκρασία της επιφάνειας του πλανήτη, για την περίοδο 2011 - 2020, έφτανε τους 1,1 °C πάνω από την αντίστοιχη της περιόδου 1850 - 1990 (Σχ. 2.15.), λόγω των αυξημένων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, με την ξηρά να παρουσιάζει μεγαλύτερη αύξηση σε σχέση με τον παγκόσμιο ωκεανό (περίπου 1,59 °C και 0,88 °C αντίστοιχα). Μάλιστα, φαίνεται, πως το διάστημα 2001 - 2020, η θερμοκρασία αυξήθηκε κατά 0,99 °C (Σχ. 2.15.).

Τη χρονιά του 2019, η συγκέντρωση του CO₂ στη ατμόσφαιρα ήταν ίση με 410 ppm, δηλαδή μεγαλύτερη από κάθε άλλη χρονιά τα τελευταία τουλάχιστον 2 εκατομμύρια χρόνια. Η συγκέντρωση του CH₄ ισούταν με 1866 ppb, ενώ του N₂O με 332 ppb (Σχ. 2.16.), με τις τιμές να είναι μεγαλύτερες από κάθε άλλο έτος τα τελευταία 800.000 χρόνια. Την ίδια χρονιά, υπολογίστηκε ότι σχεδόν το 79% της συνολική εκπομπής αερίων του θερμοκηπίου προερχόταν από την παραγωγή ενέργειας, τις βιομηχανίες, τα κτήρια και τις μεταφορές, ενώ περίπου το 22% από την γεωργία, την δασοκομία και άλλες δραστηριότητες με εστίαση στη χρήση γης. Η στάθμη του παγκόσμιου ωκεανού είχε, επίσης, αυξηθεί κατά περίπου 0,20 cm τη περίοδο 1901 - 2018, με τον ρυθμό αύξησης

της να παρατηρεί ανοδική τάση με τα χρόνια. Ο ρυθμός αύξησης έφτασε τα 3,7 mm/yr το διάστημα 2006 - 2018.

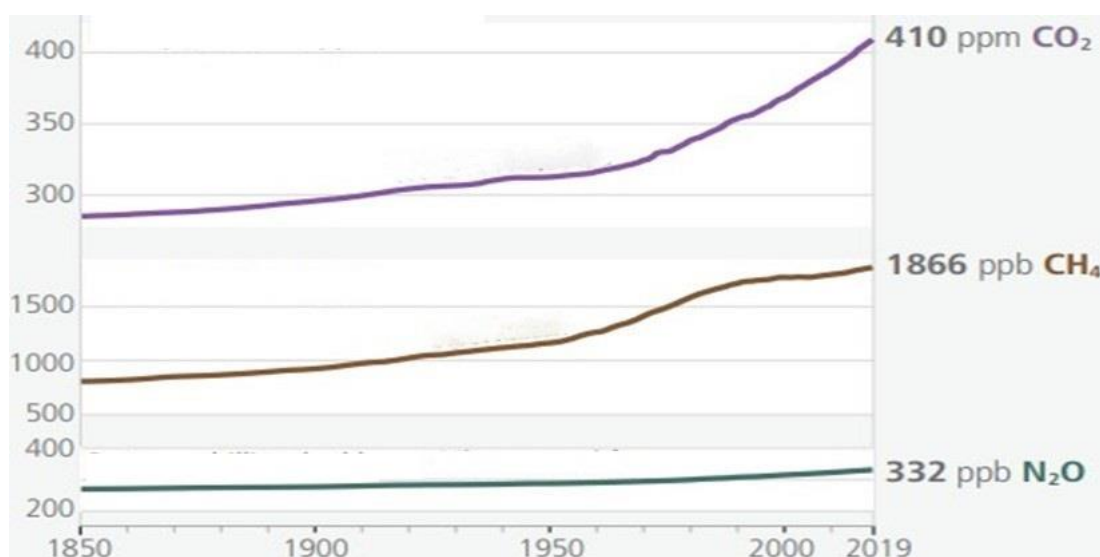


Σχήμα 2.15. Η εξέλιξη της παγκόσμιας θερμοκρασίας της επιφάνειας της γης την περίοδο 1850-2020. Κατά τη περίοδο 2011-2020 εμφανίζεται να είναι 1,1°C υψηλότερη σε σχέση με την περίοδο 1850-1990 (τροποποιημένο από IPCC 2020).

Η ανθρωπογενής κλιματική αλλαγή έχει επηρεάσει τις καιρικές συνθήκες όλων των περιοχών παγκοσμίως δημιουργώντας πολλαπλές επιπτώσεις και ζημιές στη φύση και στον άνθρωπο. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν τα ακραία κύματα καύσωνα, τα οποία καθιστούν τα τρόφιμα και το νερό, που είναι υπό αυτές τις συνθήκες επιρρεπή σε ασθένειες, φορείς θανατηφόρων νοσημάτων. Εκτός αυτού, τα ακραία φαινόμενα, μπορεί να έχουν αντίκτυπο και στην ψυχική υγεία των ανθρώπων, οι οποίοι κληρονομούν τραύματα, χάνουν τις περιουσίες τους και αναγκάζονται να μετακινηθούν σε άλλα μέρη.

Η μειωμένη ασφάλεια των τροφίμων σε συνάρτηση με την έλλειψη νερού σε ορισμένες περιοχές, έχει πιθανόν ελαττώσει την ρυθμό ανάπτυξης της γεωργίας τα τελευταία 50 έτη. Το γεγονός αυτό δημιούργησε αρνητικές συνέπειες, κυρίως, στις μικρού και μεσαίου

γεωγραφικού πλάτους περιοχές, ενώ οι αντίστοιχες των μεγάλων γεωγραφικών πλατών ευνοήθηκαν. Παρομοίως, η παραγωγή τροφίμων προερχόμενων από την αλιεία και τις υδατοκαλλιέργειες, έχει υποστεί δυσμενείς επιπτώσεις, λόγω της θέρμανσης και οξίνισης των ωκεανών. Αποτέλεσμα των προαναφερόμενων είναι να δυσχεραίνεται η παγκόσμια οικονομία, η οποία φυσικά επηρεάζεται και από τις υλικές ζημιές των ακραίων καιρικών φαινομένων, όπως είναι καταστροφές κτηρίων και αστικών υποδομών.



Σχήμα 2.16. Η εξέλιξη των συγκεντρώσεων του CO₂ σε ppm και των CH₄ και N₂O σε ppb την περίοδο 1850-2019. Καταδεικνύεται σημαντική αύξηση για όλα τα αέρια, με την μεγαλύτερη να παρατηρείται στο CO₂, ακολουθούμενο από το CH₄ και το N₂O (τροποποιημένο από IPCC 2020).

Η Έκτη Έκθεση Αξιολόγησης της IPCC διαμόρφωσε πέντε πιθανά σενάρια για να προβλέψει την μελλοντική αύξηση της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας, ανάλογα με τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου:

- Το σενάριο SSP5-8.5 αντιπροσωπεύει τις πολύ υψηλές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και, συγκεκριμένα, τον διπλασιασμό των εκπομπών CO₂, σε σχέση με τις τότε τιμές τους, έως το έτος 2050 και προβλέπει την αύξηση της παγκόσμιας μέσης θερμοκρασίας κατά παραπάνω από 4 °C.

- Το σενάριο SSP3-7.0 περιγράφει τις υψηλές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και, ειδικότερα, τον διπλασιασμό των εκπομπών CO₂, σε σύγκριση με τα τότε επίπεδά τους, μέχρι το έτος 2100 και προβλέπει την αύξηση της παγκόσμιας μέσης θερμοκρασίας κατά περίπου 4 °C.
- Στο SSP2-4.5, που αποτελεί το ενδιάμεσο σενάριο, οι εκπομπές CO₂ θα παραμείνουν στα τότε επίπεδά τους μέχρι τα μέσα του 21^{ου} αιώνα και προβλέπεται αύξηση της παγκόσμιας μέσης θερμοκρασίας κατά περίπου 3 °C.
- Στο σενάριο SSP1-2.6 συμπεριλαμβάνονται οι χαμηλές εκπομπές αερίων, με τις εκπομπές CO₂ να μειώνονται στο «καθαρό μηδέν» γύρω στο έτος 2070, ενώ, στη συνέχεια, θα ακολουθήσουν «αρνητικές εκπομπές». Εδώ προβλέπεται αύξηση της παγκόσμιας μέσης θερμοκρασίας κατά περίπου 2 °C.
- Στο σενάριο SSP1-1.9 παρατηρούνται πολύ χαμηλές εκπομπές αερίων, με τις εκπομπές CO₂ να μειώνονται στο «καθαρό μηδέν» γύρω στο έτος 2050, ενώ, στη συνέχεια, θα ακολουθήσουν «αρνητικές εκπομπές». Η αύξηση της παγκόσμιας μέσης θερμοκρασίας προβλέπεται να κυμαίνεται γύρω στους 1,5 °C.

2.3. Παγκόσμια ρεκόρ που σημειώθηκαν από το 2000 έως σήμερα.

Ο Παγκόσμιος Μετεωρολογικός Οργανισμός ή Π.Μ.Ο. (World Meteorological Organization – WHO) παρέχει ένα εύρος επιστημονικών και τεχνικών δεδομένων που αφορά το παγκόσμιο κλίμα. Έχει εντοπίσει μια σειρά από αλλαγές που υπέστη το κλιματικό σύστημα της γης, κάνει αναφορά στους παράγοντες του κλίματος, όπως είναι τα επίπεδα των αερίων του θερμοκηπίου, η θερμοκρασία της επιφάνειας της γης, η θέρμανση και οξίνιση του ωκεανού, η στάθμη της θάλασσας κ.ά., καθώς και εξετάζει τα αποτελέσματα των παραγόντων, που είναι η εμφάνιση ακραίων καιρικών φαινομένων, όπως περίοδοι ξηρασίας, έντονες βροχοπτώσεις και καύσωνες. Παράλληλα προωθεί

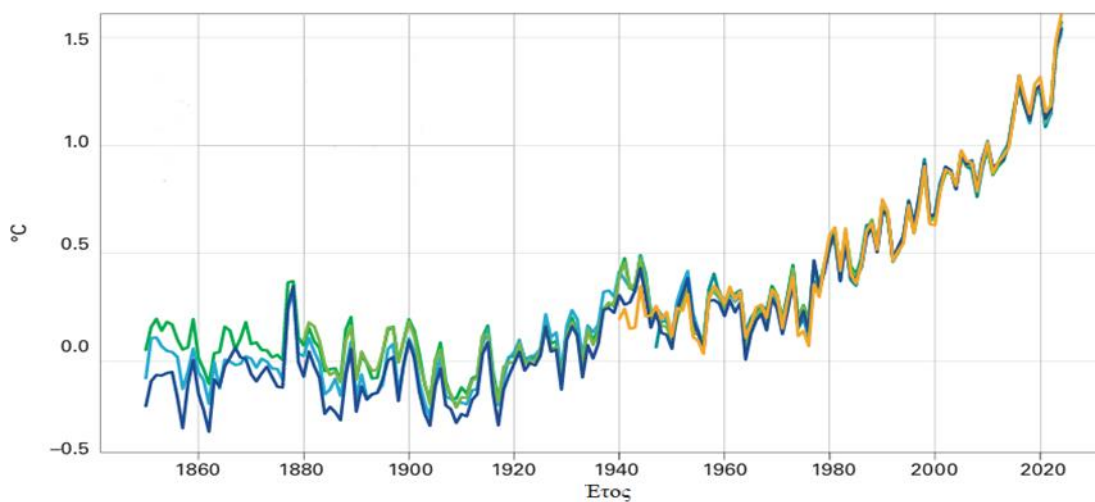
συστήματα πρόβλεψης και πρόληψης για την προστασία από τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής. Παρακάτω αναλύονται παγκόσμια ρεκόρ που παρατηρήθηκαν και καταγράφηκαν από τον Π.Μ.Ο., αναφορικά με την παγκόσμια θερμοκρασία, τις βροχοπτώσεις, τις πλημμύρες και τις πυρκαγιές.

2.3.1. Παγκόσμια ρεκόρ θερμοκρασιών

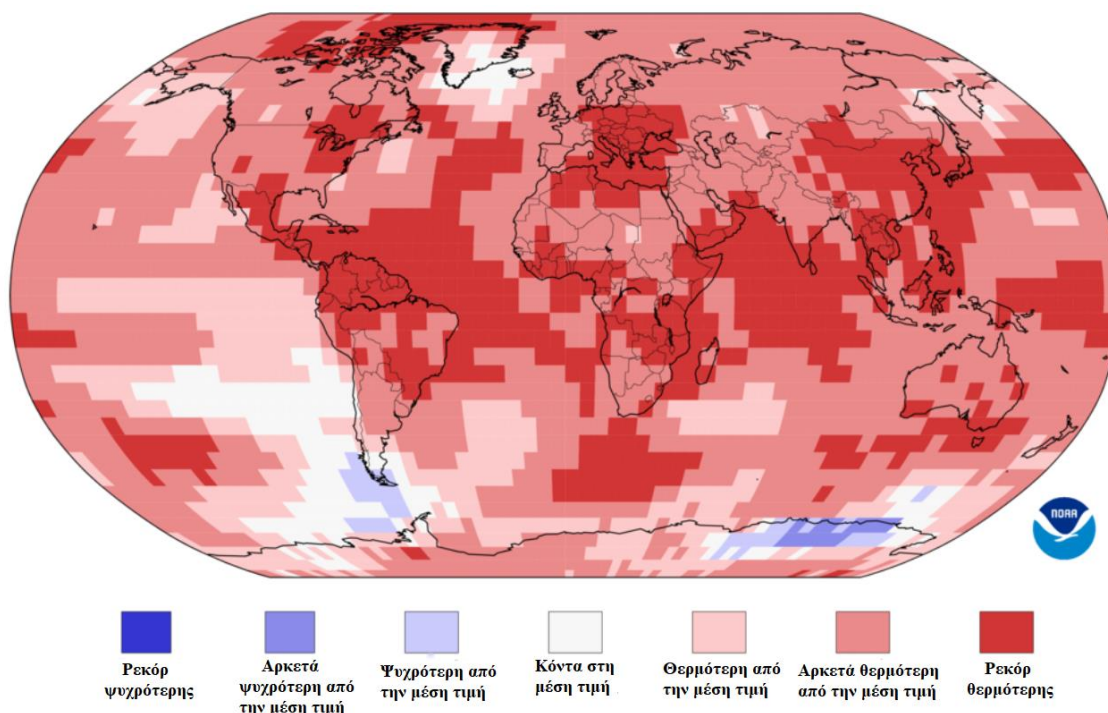
Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Μετεωρολογικό Οργανισμό (WMO 2025), το έτος 2024 καταγράφηκε ως το θερμότερο στην ιστορία των μετρήσεων, εδραιώνοντας μία ανησυχητική τάση: ολόκληρη η τελευταία δεκαετία (2015–2024) περιλαμβάνεται στα δέκα θερμότερα έτη που έχουν καταγραφεί παγκοσμίως. Ιδιαίτερη σημασία έχει ότι για πρώτη φορά η μέση παγκόσμια θερμοκρασία ενός πλήρους ημερολογιακού έτους υπερέβη το όριο των $+1,5^{\circ}\text{C}$ σε σχέση με την προβιομηχανική περίοδο (1850–1900). Το προηγούμενο θερμότερο έτος ήταν το 2023, με αύξηση $+1,45^{\circ}\text{C} \pm 0,12^{\circ}\text{C}$, γεγονός που κατατάσσει το 2024 και το 2023 στις δύο κορυφαίες θέσεις των θερμότερων ετών που έχουν ποτέ καταγραφεί. Η ανάλυση του WMO έδειξε ότι η μέση παγκόσμια επιφανειακή θερμοκρασία του 2024 ανήλθε σε $+1,55^{\circ}\text{C} (\pm 0,13^{\circ}\text{C})$ πάνω από τα προβιομηχανικά επίπεδα, καθιστώντας το έτος αυτό πιθανότατα το πρώτο που υπερέβη το κρίσιμο όριο του $+1,5^{\circ}\text{C}$.

Οι ανωμαλίες του 2024 δεν περιορίστηκαν στη στεριά, αλλά ήταν έντονα εμφανείς και στους ωκεανούς. Καταγράφηκαν ιστορικά υψηλά επίπεδα θερμικής ενέργειας, τόσο στην επιφάνεια όσο και σε βάθος έως 2000 μέτρων, με αποτέλεσμα η επιφανειακή θερμοκρασία των ωκεανών να φτάσει σε επίπεδα ρεκόρ. Αυτό συνέβη παρά το γεγονός ότι στο τέλος του έτους επικράτησαν ήπιες ψυχρές συνθήκες στον τροπικό Ειρηνικό (WHO, 2025). Ανεξάρτητη έρευνα, δημοσιευμένη στο *Advances in Atmospheric Sciences* υπό την καθοδήγηση του καθηγητή Lijing Cheng (Κινεζική Ακαδημία

Επιστημών), ανέδειξε τον κρίσιμο ρόλο της ωκεάνιας υπερθέρμανσης στην εμφάνιση των ακραίων θερμοκρασιών του 2024. Στην έρευνα, στην οποία συμμετείχαν 54 επιστήμονες από επτά χώρες και 31 ερευνητικά ιδρύματα, εκτιμήθηκε ότι περίπου το 90% της πλεονάζουσας θερμότητας της παγκόσμιας υπερθέρμανσης αποθηκεύεται στους ωκεανούς. Μόνο κατά την περίοδο 2023–2024, η θερμότητα στα ανώτερα 2000 μέτρα των ωκεανών αυξήθηκε κατά 16 ζεττατζάουλ (10^{21} Joules), ποσότητα που ισοδυναμεί με περίπου 140 φορές τη συνολική παγκόσμια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας του 2023 (WHO 2025).

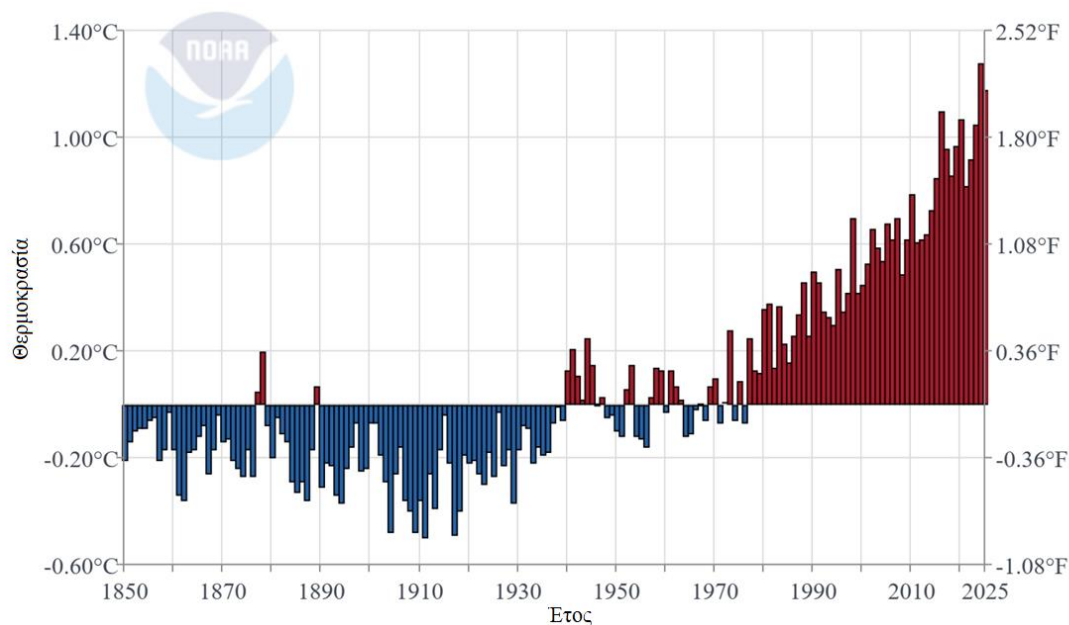


Σχήμα 2.17 Η εξέλιξη της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας την προβιομηχανική εποχή (1850-1900) έως το 2024. Χρησιμοποιήθηκαν έξι σύνολα δεδομένων: — Σκούρα μπλε γραμμή από Berkeley Earth (1850-2024), — Πορτοκαλί γραμμή από ERA5 (1940-2024), — Ανοιχτή πράσινη γραμμή από GISTEMP (1880-2024), — Ανοιχτή μπλε γραμμή από HadCRUT5 (1850-2024), — Μπλε γραμμή από JRA-3Q (1947-2024) και — Πράσινη γραμμή από NOAA GlobalTemp v6 (1850-2024) (τροποποιημένο από WMO 2025).



Σχήμα 2.18 Παγκόσμιος χάρτης με χρωματική απεικόνιση της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας το 2024, από τις ψυχρότερες (μπλε) έως τις θερμότερες (κόκκινες) περιοχές σε σχέση με τον μέσο όρο (τροποποιημένο από National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA 2025).

Η παρούσα τάση υπερθέρμανσης, σε σχέση με τους στόχους της Συμφωνίας των Παρισίων, εκτιμάται γύρω στο $+1,3^{\circ}\text{C}$ πάνω από την προβιομηχανική περίοδο, χωρίς να λαμβάνονται υπόψη οι βραχυπρόθεσμες ετήσιες διακυμάνσεις. Η αύξηση αυτή αποδίδεται κυρίως στη συσσώρευση αερίων του θερμοκηπίου λόγω ανθρωπογενών δραστηριοτήτων. Παράλληλα, μικρές διακυμάνσεις της τάξης των $0,1\text{--}0,2^{\circ}\text{C}$ προκύπτουν από φυσικούς παράγοντες, οι οποίοι ενδέχεται προσωρινά να εντείνουν ή να μετριάσουν την υποκείμενη τάση υπερθέρμανσης. Ενδεικτικά, τα επεισόδια El Niño των ετών 2023–2024 συνέβαλαν σε πρόσθετη αύξηση περίπου $+0,2^{\circ}\text{C}$, ενώ τα επεισόδια La Niña των ετών 2021–2022 είχαν το αντίθετο αποτέλεσμα, οδηγώντας σε ψύξη. Στο τέλος του 2024, η φάση ENSO είχε επανέλθει σε ουδέτερα επίπεδα, ωστόσο η επιφανειακή θερμοκρασία των ωκεανών παρέμεινε ιστορικά υψηλή.



Σχήμα 2.19 Εξέλιξη της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας για τη περίοδο Ιανουάριο-Ιούλιο κάθε έτους από τη προβιομηχανική εποχή (1850-1900) έως το 2025 (τροποποιημένο από NOAA 2025).

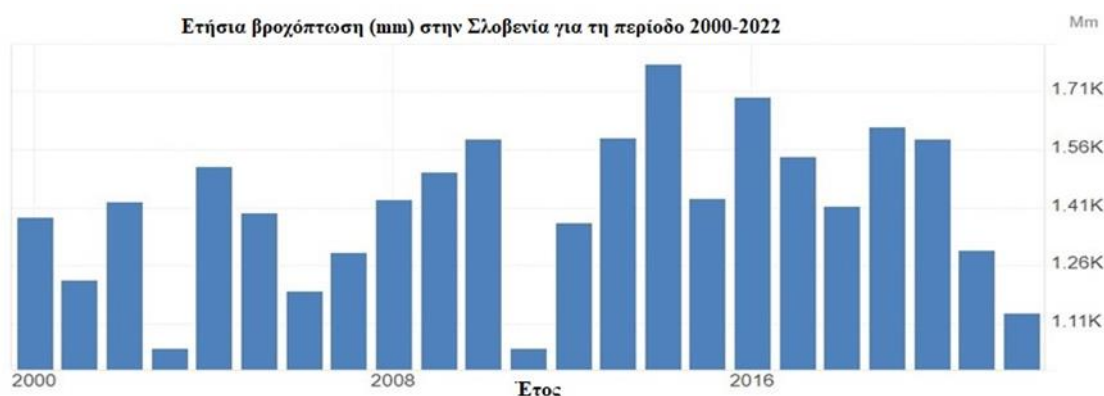
Η θερμή αυτή τάση συνεχίστηκε και το 2025. Κατά το διάστημα Ιανουαρίου–Ιουλίου, η μέση παγκόσμια επιφανειακή θερμοκρασία καταγράφηκε ως η δεύτερη υψηλότερη στην ιστορία των 176 ετών μετρήσεων της NOAA, φτάνοντας $+1,18^{\circ}\text{C}$ πάνω από τον μέσο όρο του 20ού αιώνα (Σχ. 2.19). Η διαφορά από το ρεκόρ του 2024 ήταν μόλις $0,10^{\circ}\text{C}$. Οι εκτιμήσεις του NCEI δείχνουν πιθανότητα άνω του 99% το 2025 να καταταγεί μεταξύ των πέντε θερμότερων ετών που έχουν ποτέ καταγραφεί, ενώ η πιθανότητα να κατακτήσει την πρώτη θέση είναι μικρότερη του 1%. Σε επιμέρους κατηγορίες, τόσο η θερμοκρασία ξηράς όσο και εκείνη των ωκεανών κατέλαβαν τη δεύτερη θέση όλων των εποχών για την περίοδο Ιανουαρίου–Ιουλίου, με θερμότερο μόνο το αντίστοιχο διάστημα του 2024.

Σε γεωγραφικό επίπεδο, θετικές θερμοκρασιακές αποκλίσεις καταγράφηκαν στο μεγαλύτερο μέρος του πλανήτη. Οι εντονότερες ανωμαλίες, άνω των $+1,5^{\circ}\text{C}$,

εντοπίστηκαν στην Αρκτική, στη βόρεια Βόρεια Αμερική, σε ευρύτατες εκτάσεις της Ασίας, καθώς και στη δυτική και ανατολική Ανταρκτική. Παρά τις διαφοροποιήσεις αυτές, καμία περιοχή της ξηράς ή των ωκεανών δεν κατέγραψε ακραία ψυχρά ρεκόρ κατά το εν λόγω διάστημα.

2.3.2. Παγκόσμια ρεκόρ βροχοπτώσεων

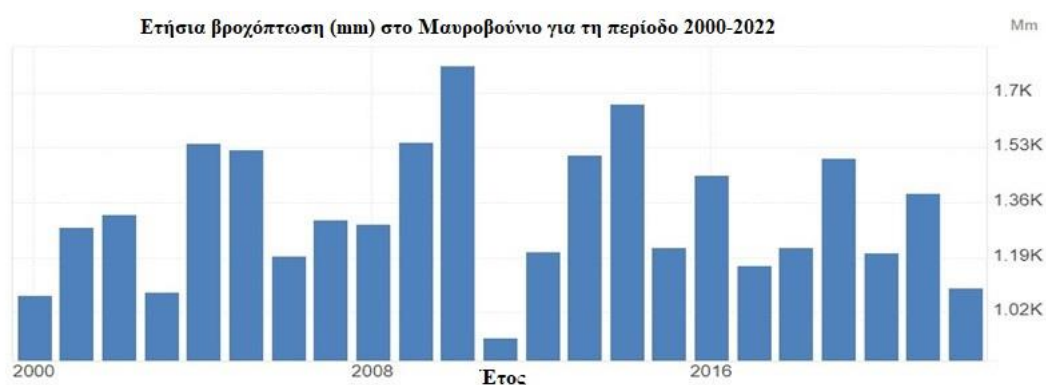
Η κλιματική αλλαγή επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την διάρκεια και την ένταση της βροχόπτωσης. Επιταχύνει τις διαδικασίες του υδρολογικού κύκλου, ενώ οι υψηλές θερμοκρασίες αυξάνουν το ρυθμό εξάτμισης, η οποία προκαλεί περισσότερη βροχόπτωση. Παρατηρούνται μεγάλου εύρους διακυμάνσεις από περιοχή σε περιοχή και από έτος σε έτος καθιστώντας την μελέτη των βροχοπτώσεων σημαντική σε παγκόσμια κλίμακα, αλλά και ανά ήπειρο, χώρα και τόπο.



Σχήμα 2.20. Ετήσια ύψη βροχόπτωσης (mm) στην Σλοβενία για την περίοδο 2000–2022. Το 2014 καταγράφηκε η μέγιστη ετήσια τιμή βροχόπτωσης του 21^{ου} αιώνα (≈ 1780 mm), ενώ το 2011 η ελάχιστη (≈ 1050 mm) (<https://tradingeconomics.com/slovenia/precipitation>).

Στην Ευρώπη το μεγαλύτερο ρεκόρ ύψους βροχής ανά έτος, για τον 21^ο αιώνα, καταγράφηκε στην Σλοβενία το 2014 με τιμή περίπου 1780 mm (Σχ. 2.20.). Ωστόσο, δεν αποτελεί την μεγαλύτερη ετήσια τιμή μετά τη προβιομηχανική περίοδο. Το 1937

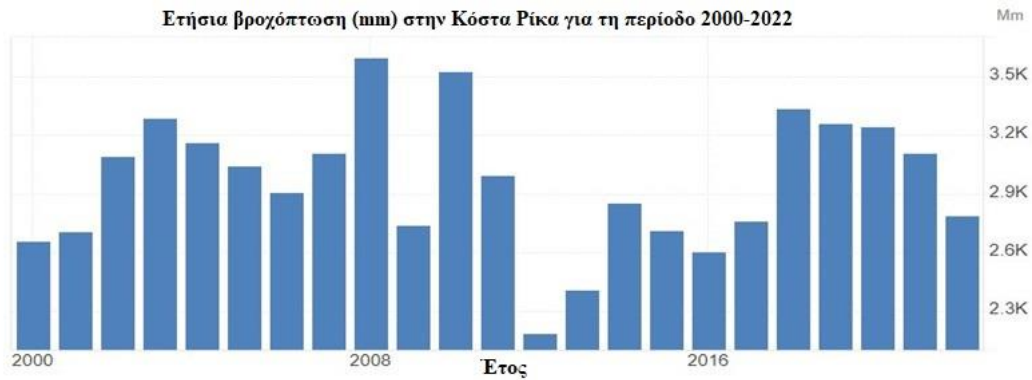
παρατηρήθηκε στη χώρα βροχόπτωση ύψους 2083,71 mm. Ακόμη μια χώρα που παρουσίασε ύψος βροχής περίπου 1820 mm το 2010 (Σχ. 2.21.), είναι το Μαυροβούνιο, με την μεγαλύτερη ετήσια τιμή βροχόπτωσης στη χώρα να φτάνει τα 1918,97 mm το 1915.



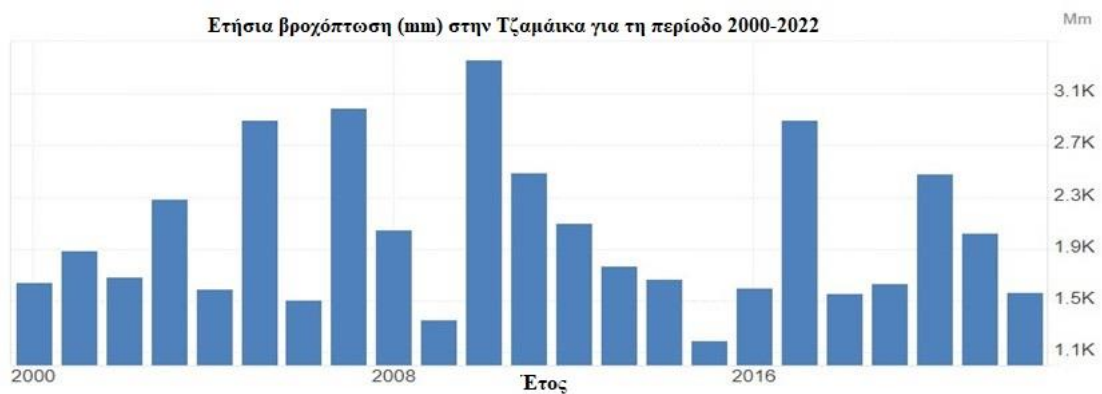
Σχήμα 2.21. Ετήσια ύψη βροχόπτωσης (mm) στο Μαυροβούνιο για την περίοδο 2000–2022. Το 2010 καταγράφηκε η μέγιστη ετήσια τιμή βροχόπτωσης του 21^{ου} αιώνα (≈ 1820 mm), ενώ το 2011 η ελάχιστη (901,34 mm) (<https://tradingeconomics.com/montenegro/precipitation>).

Στην ήπειρο της Αμερικής κατέχει την πρωτιά η Κόστα Ρίκα, η οποία κατέγραψε περίπου 3600 mm το 2008 (Σχ. 2.22.), ενώ το μεγαλύτερο ποσό βροχής, μετά τη προβιομηχανική περίοδο, σημειώθηκε το 1970 με 3921,34 mm. Στην δεύτερη θέση βρίσκεται η Τζαμάικα, της οποίας το ύψος βροχής ανήλθε στα 3360 mm περίπου το έτος 2010 (Σχ. 2.23.). Η μεγαλύτερη τιμή βροχόπτωσης που εμφάνισε είναι τα 3986,21 mm το 1915.

Στην Ισημερινή Γουινέα της Αφρικής εκτιμήθηκε, ότι το ποσό βροχής τη χρονιά του 2007 έφτασε περίπου τα 3540 mm (Σχ. 2.24.), που συνιστούν την μέγιστη ετήσια τιμή βροχής της χώρας μετά την προβιομηχανική εποχή. Ακολουθεί ο Μαυρίκιος με ύψος βροχής περίπου 2840 mm το 2018 (Σχ. 2.25.) και μέγιστο ετήσιο ποσό βροχής τα 3506,92 mm το 1982.

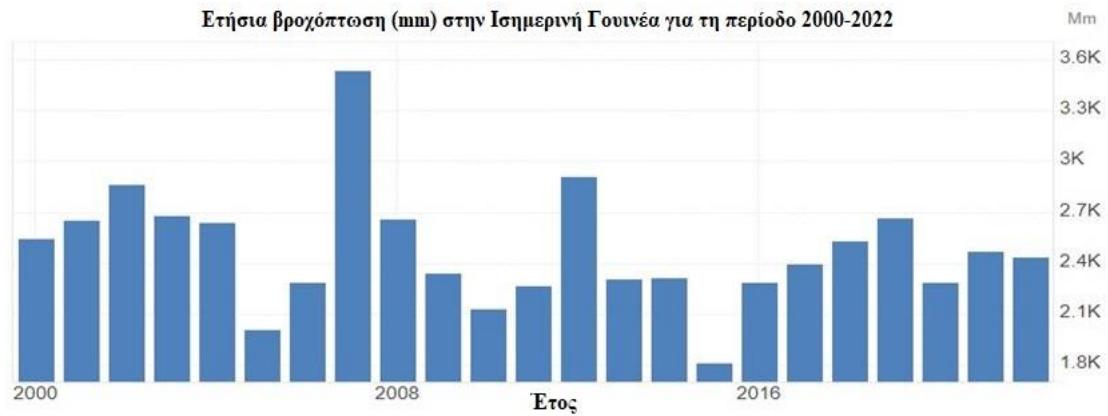


Σχήμα 2.22. Ετήσια ύψη βροχόπτωσης (mm) στην Κόστα Ρίκα για την περίοδο 2000–2022. Το 2008 καταγράφηκε η μέγιστη ετήσια τιμή βροχόπτωσης του 21^{ου} αιώνα (≈ 3590 mm), ενώ το 2012 η ελάχιστη (≈ 2190 mm) (<https://tradingeconomics.com/costa-rica/precipitation>).

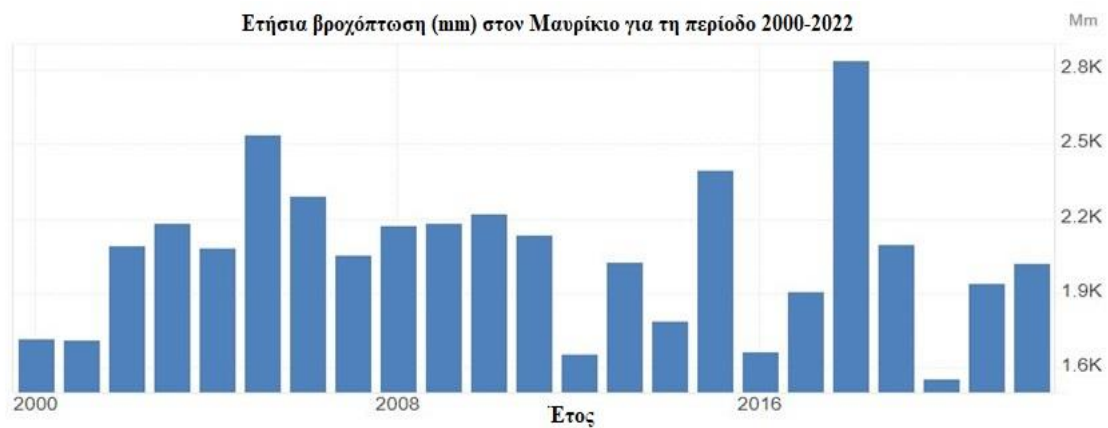


Σχήμα 2.23. Ετήσια ύψη βροχόπτωσης (mm) στην Τζαμάικα για την περίοδο 2000–2022. Το 2010 καταγράφηκε η μέγιστη ετήσια τιμή βροχόπτωσης του 21^{ου} αιώνα (≈ 3360 mm), ενώ το 2015 η ελάχιστη (≈ 1190 mm) (<https://tradingeconomics.com/jamaica/precipitation>).

Στην ήπειρο της Ασίας, ανέρχεται στην πρώτη θέση η Μαλαισία με ύψος βροχής 3568,67 mm το 2008 (Σχ. 2.26.), το οποίο καλύπτει και την μέγιστη ετήσια τιμή τον 20ο και τον 21ο αιώνα. Στη συνέχεια, απαντώνται οι Φιλιππίνες με ποσό βροχής που φτάνει περίπου τα 3350 mm το 2011 (Σχ. 2.27.). Η μεγαλύτερη τιμή της χώρας, μετά την προβιομηχανική περίοδο, βρέθηκε πως είναι 3489,27 mm το 1934.



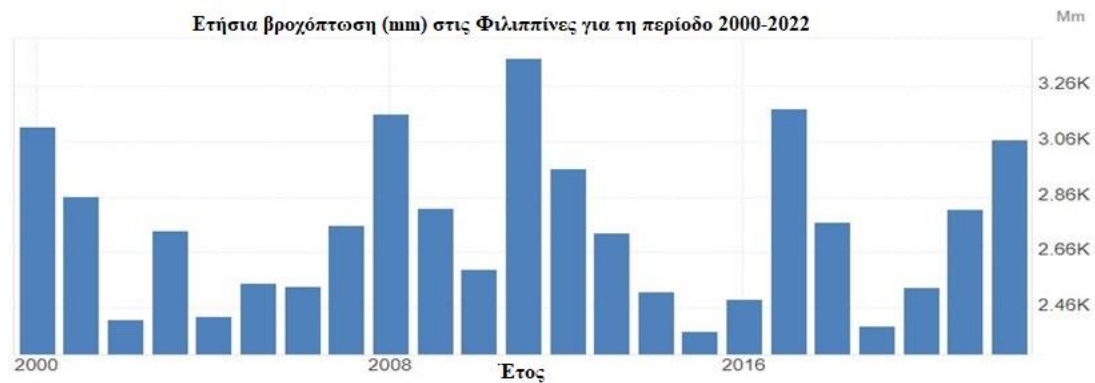
Σχήμα 2.24. Ετήσια ύψη βροχόπτωσης (mm) στην Ισημερινή Γουινέα για την περίοδο 2000–2022. Το 2007 καταγράφηκε η μέγιστη ετήσια τιμή βροχόπτωσης του 21^{ου} αιώνα (≈ 3540 mm), ενώ το 2015 η ελάχιστη (≈ 1820 mm) (<https://tradingeconomics.com/equatorial-guinea/precipitation>).



Σχήμα 2.25. Ετήσια ύψη βροχόπτωσης (mm) στον Μαυρίκιο για την περίοδο 2000–2022. Το 2018 καταγράφηκε η μέγιστη ετήσια τιμή βροχόπτωσης του 21^{ου} αιώνα (≈ 2840 mm), ενώ το 2020 η ελάχιστη (≈ 1560 mm) (<https://tradingeconomics.com/mauritius/precipitation>).



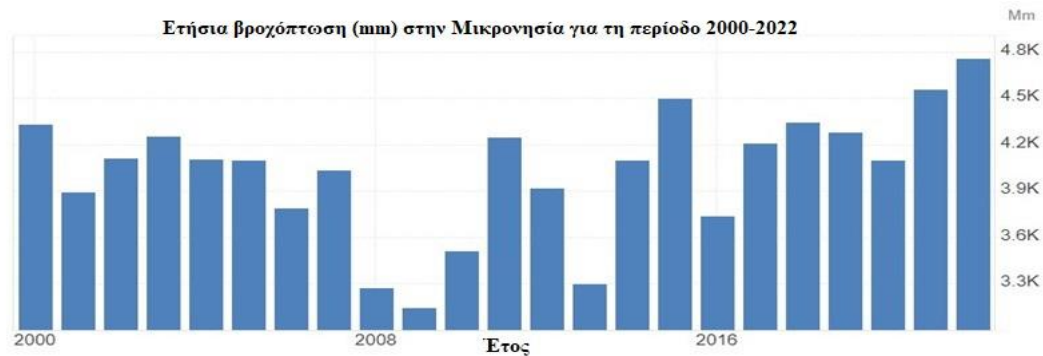
Σχήμα 2.26. Ετήσια ύψη βροχόπτωσης (mm) στη Μαλαισία για την περίοδο 2000–2022. Το 2008 καταγράφηκε η μέγιστη ετήσια τιμή βροχόπτωσης του 21^{ου} αιώνα (≈ 3570 mm), ενώ το 2019 η ελάχιστη (≈ 2590 mm) (<https://tradingeconomics.com/malaysia/precipitation>).



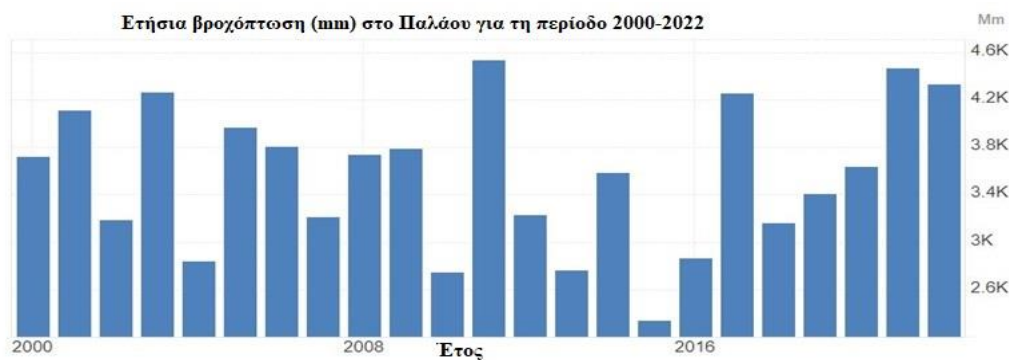
Σχήμα 2.27. Ετήσια ύψη βροχόπτωσης (mm) στις Φιλιππίνες για την περίοδο 2000–2022. Το 2011 καταγράφηκε η μέγιστη ετήσια τιμή βροχόπτωσης του 21^{ου} αιώνα (≈ 3350 mm), ενώ το 2019 η ελάχιστη (≈ 2370 mm) (<https://tradingeconomics.com/philippines/precipitation>).

Η Μικρονησία, η οποία ανήκει γεωγραφικά στην ήπειρο της Ωκεανίας, κατέγραψε το 2022 ετήσιο ύψος βροχόπτωσης περίπου 4760 mm (Σχ. 2.28). Την επόμενη χρονιά (2023) η τιμή αυτή αυξήθηκε περαιτέρω, φθάνοντας τα 4860 mm, που αποτελεί και τη μέγιστη καταγεγραμμένη τιμή τόσο για τον 20^ο όσο και για τον 21^ο αιώνα. Η αμέσως επόμενη χώρα, είναι το Παλάου με ποσό βροχής που ισούται με περίπου 4540 mm, το οποίο παρατηρήθηκε το 2011 (Σχ. 2.29.). Μετά την προβιομηχανική περίοδο, καταχωρήθηκε

το 1929 ως το έτος με την μέγιστη παρατηρούμενη τιμή ύψους βροχής της χώρας, με ποσό που φτάνει τα 4559,85 mm.



Σχήμα 2.28. Ετήσια ύψη βροχόπτωσης (mm) στην Μικρονησία για την περίοδο 2000–2022. Το 2022 καταγράφηκε η μέγιστη ετήσια τιμή βροχόπτωσης για το διάστημα (≈ 4760 mm), ενώ το 2009 η ελάχιστη (≈ 3150 mm) (<https://tradingeconomics.com/micronesia/precipitation>).



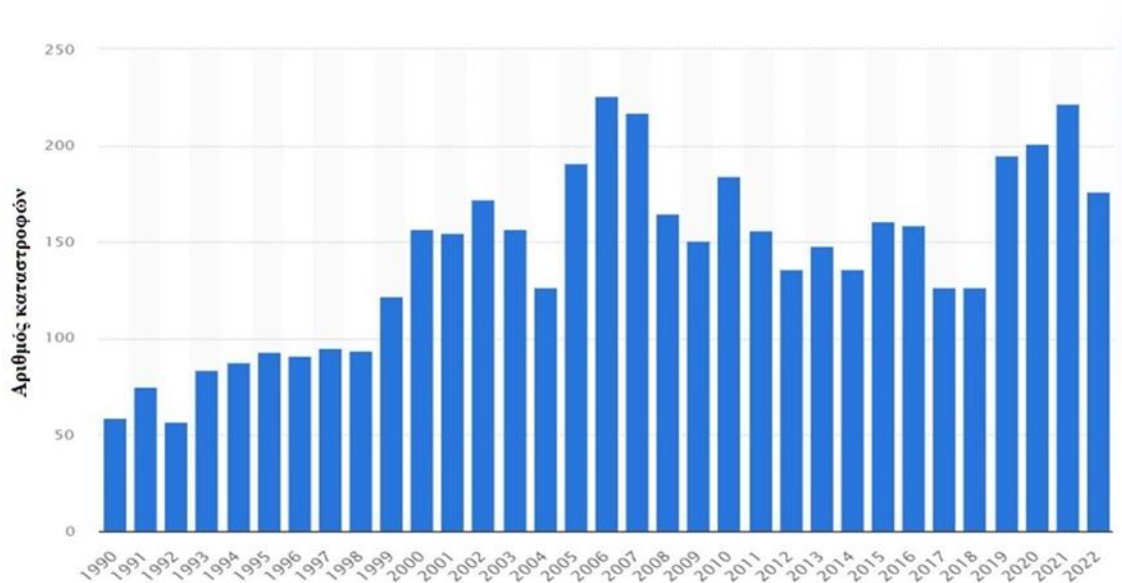
Σχήμα 2.29. Ετήσια ύψη βροχόπτωσης (mm) στο Παλάου για την περίοδο 2000–2022. Το 2011 καταγράφηκε η μέγιστη ετήσια τιμή βροχόπτωσης του 21^{ου} αιώνα (≈ 4540 mm), ενώ το 2015 η ελάχιστη (≈ 2340 mm) (<https://tradingeconomics.com/palau/precipitation>).

Πέρα από τα ετήσια, είναι σημαντικό να αναφερθεί και το παγκόσμιο ρεκόρ ύψους βροχής του 21^{ου} αιώνα, σε μόλις 72 ώρες και 96 ώρες στο νησί Ρεϋνιόν στον Ινδικό Ωκεανό. Το γεγονός σημειώθηκε στο διάστημα 24 - 26 Φεβρουαρίου 2007 και προκλήθηκε από το πέρασμα του κυκλώνα «Gamede». Σε 72 ώρες το ύψος βροχής

έφτασε τα 3930 mm και σε 96 ώρες τα 4869 mm (https://www.meteo.gr/article_view_scientific.cfm?entryID=42).

2.3.3. Παγκόσμια ρεκόρ πλημμυρών

Οι ισχυρές βροχοπτώσεις μικρής διάρκειας, που συνδέονται ρητά με την κλιματική αλλαγή, οδηγούν συνήθως σε αιφνίδιες πλημμύρες. Εφόσον οι καταιγίδες αναμένεται να αυξήσουν την εμφάνισή τους, τα φαινόμενα πλημμυρών θα καταγράψουν ανοδική πορεία. Ακόμα και στο παρελθόν συναντήθηκαν ρεκόρ περιστατικών πλημμύρας, σε παγκόσμιο επίπεδο, τα οποία είχαν σαν αποτέλεσμα ανθρώπινες απώλειες και εκτεταμένες οικολογικές και οικονομικές ζημιές.



Σχήμα 2.30. Ο συνολικός αριθμός των περιστατικών πλημμύρας ανά έτος στο διάστημα 1990-2022 (τροποποιημένο από <https://www.statista.com/statistics/1339730/number-of-flood-disasters-worldwide/>).

Στο Σχήμα 2.30. εκτιμήθηκε το σύνολο των περιστατικών πλημμύρας ανά έτος στο διάστημα 1990 - 2022 και στο Σχήμα 2.31. είναι ορατά τα αντίστοιχα περιστατικά του έτους 2023. Όπως συμπεραίνεται από τα σχήματα, οι πέντε χρονιές του 21ου αιώνα που

σημείωσαν τα περισσότερα συμβάντα, είναι το 2006 με 226 περιστατικά πλημμύρας, το 2021 με 222, το 2007 με 217, το 2020 με 201 και το 2019 με 195 φαινόμενα πλημμύρας. Αντίθετα, τις χρονιές 2004, 2012, 2014, 2017 και 2018 παρατηρήθηκαν λιγότερα από 150 πλημμυρικά γεγονότα.

Μια από τις σημαντικότερες πλημμύρες του 2006, έλαβε χώρα στην Ευρώπη. Την άνοιξη της ίδιας χρονιάς, μια ισχυρή βροχόπτωση οδήγησε στην ταυτόχρονη υπερχείλιση των ποταμών Δούναβη, Σάβο και Τίσα. Κατά συνέπεια, ευνοήθηκε η δημιουργία μιας ισχυρής πλημμύρας, που κατέκλυσε την κεντρική και ανατολική Ευρώπη. Ένας επιπλέον παράγοντας εμφάνισης του φαινομένου, υπήρξε το λιώσιμο των πάγων στην περιοχή των Άλπεων, λόγω της έντονης βροχής και της απότομης αύξησης της θερμοκρασίας. Η θνησιμότητα του γεγονότος ήταν χαμηλού επιπέδου χάρη στα μέτρα προστασίας, πρόληψης και προσαρμογής, ενώ το κόστος της ζημιάς έφτασε το ποσό των 600 εκατομμυρίων ευρώ (ICPDR 2007).



Σχήμα 2.31. Ο συνολικός αριθμός των διάφορων φυσικών καταστροφών το έτος 2023 και ο αντίστοιχος μέσος αριθμός τους στο διάστημα 2022-2023 (τροποποιημένο από CRED 2024).

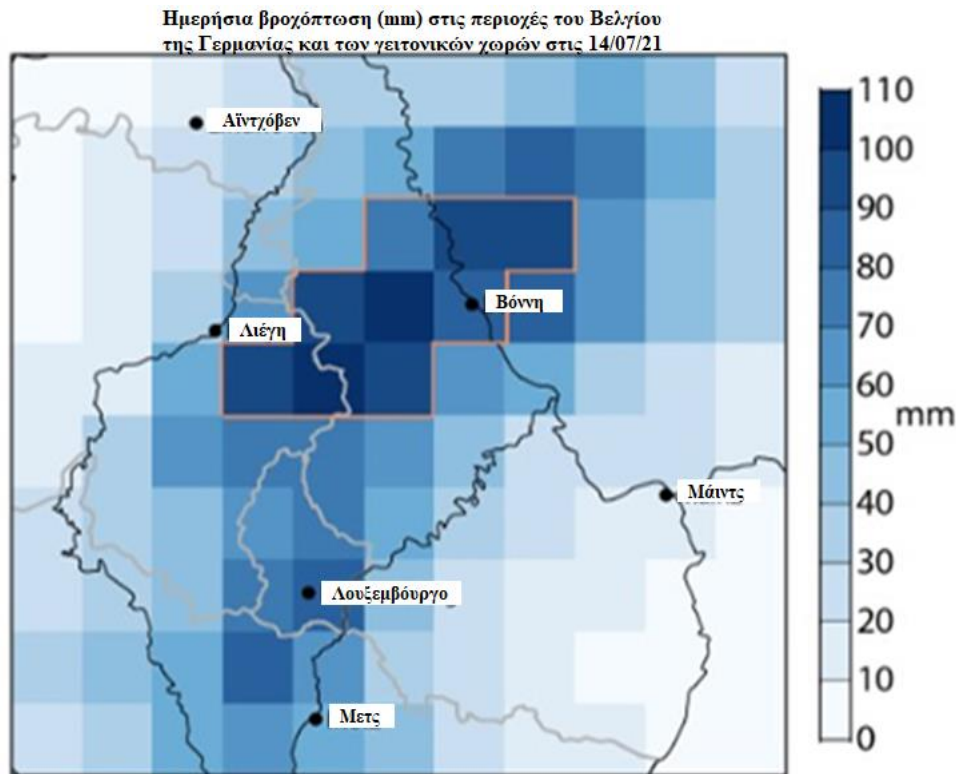
Το 2007 η Αγγλία βίωσε έντονες βροχοπτώσεις, που είχαν σαν αποτέλεσμα μια σειρά από φαινόμενα πλημμύρας. Μάλιστα, ο Ιούλιος εκείνης της χρονιάς χαρακτηρίστηκε από

πολλή υγρασία στην πόλη Γιόρκσαιρ φτάνοντας τα 256,3 mm βροχής. Το ρεκόρ αυτό αποτελεί το 489% της αντίστοιχης μέση ποσότητας βροχής της περιόδου 1961 – 1990 (Milojevic et al. 2014). Συνέπειες των πλημμυρών ήταν η καταστροφή περιουσιακών στοιχείων, υποδομών, ηλεκτρικών δικτύων, εκτάσεων γης, θνησιμότητα.

Αντίστοιχα, το 2019, που αποτελεί το πέμπτο στη σειρά έτος με τα περισσότερα συμβάντα πλημμύρας, καταγράφηκε μια σημαντική και εκτενής πλημμύρα στην Σομαλία και την Αιθιοπία. Δημιουργήθηκε λόγω ισχυρής βροχόπτωσης και επηρέασε περιοχές χαμηλού υψομέτρου γύρω από τους ποταμούς Shabelle και Juba. Το περιστατικό ανάγκασε την μετακίνηση 370000 ανθρώπων, προκάλεσε θανάτους και ζημιές σε περιουσιακά στοιχεία, υποδομές, καλλιέργειες και φάρμες ευνοώντας τις συνθήκες υποσιτισμού και την έξαρση ασθενειών (World Bank 2020).

Την επόμενη χρονιά, τον Οκτώβρη και Νοέμβρη του 2020, οκτώ τροπικοί κυκλώνες έκαναν την εμφάνισή τους, εντός πέντε εβδομάδων, στο Βιετνάμ. Η πόλη Χε της χώρας αποδέχτηκε 2615 mm βροχής τον Οκτώβρη και 1800 σε μόλις μία εβδομάδα, οδηγώντας σε αρκετές πλημμύρες (WMO 2023). Παραπάνω από 243 άνθρωποι δηλώθηκαν σαν αγνοούμενοι ή πεθαμένοι, ενώ η συνολική οικονομική ζημιά έφτασε τα 1,52 δισεκατομμύρια USD (https://en.wikipedia.org/wiki/2020_Central_Vietnam_floods).

Το 2021 έλαβαν χώρα συνολικά 222 πλημμύρες και μία από αυτές σημειώθηκε στην κεντρική Ευρώπη, επηρεάζοντας το Βέλγιο, την Γερμανία και άλλες γειτονικές χώρες. Το αξιοσημείωτο συμβάν οφειλόταν σε ένα βαρομετρικό χαμηλό, το οποίο εκκίνησε μια ακραία βροχόπτωση και απέφερε παραπάνω από 200 θανάτους και μεγάλων διαστάσεων κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις (<https://climate.copernicus.eu/esotc/2021/flooding-july>).

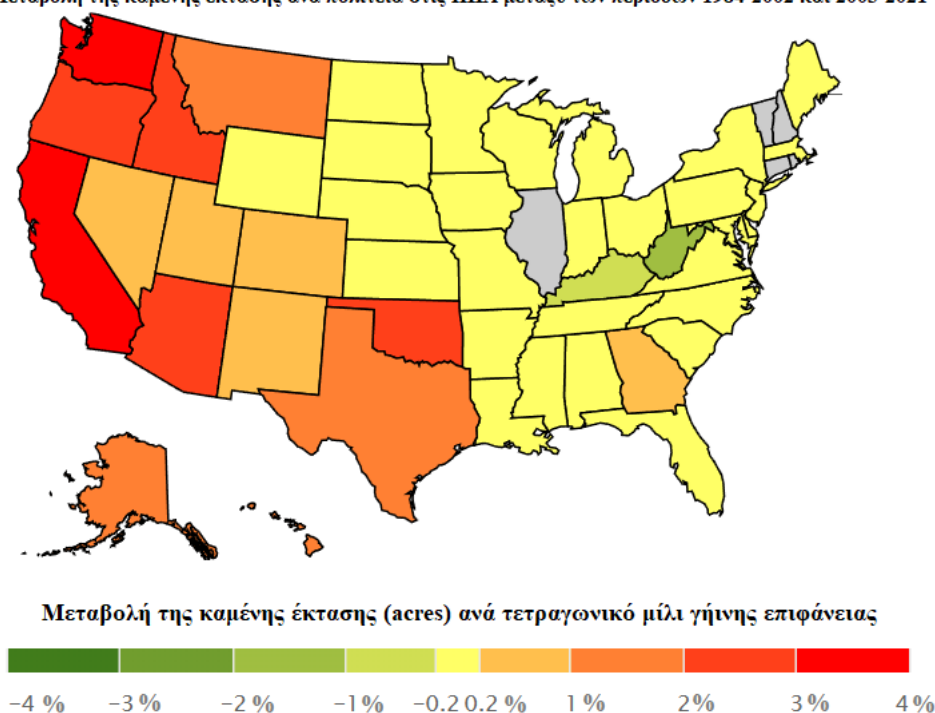


Σχήμα 2.32. Ημερήσια βροχόπτωση στις περιοχές του Βελγίου, της Γερμανίας και των γειτονικών χωρών στις 14 Ιουλίου 2021. Η μέγιστη καταγεγραμμένη τιμή ανήλθε σε 92,6 mm, αποτελώντας το υψηλότερο ύψος βροχόπτωσης που έχει παρατηρηθεί στην περιοχή για την περίοδο 1950–2021. Η περιοχή που επισημαίνεται με πορτοκαλί χρώμα αντιστοιχεί στις ζώνες με τις υψηλότερες τιμές βροχόπτωσης κατά την εν λόγω ημερομηνία (τροποποιημένο από <https://climate.copernicus.eu/esotc/2021/flooding-july>).

2.3.4. Παγκόσμια ρεκόρ πυρκαγιών

Ένα φαινόμενο που, επίσης, επηρεάζεται πολύ από τις ατμοσφαιρικές συνθήκες είναι οι πυρκαγιές. Η έναρξή τους ευνοείται, κατά κύριο λόγο, στα μεσαία γεωγραφικά πλάτη, όπου επικρατούν υψηλές θερμοκρασίες και μειωμένες βροχοπτώσεις, αλλά και στα μεγάλα γεωγραφικά πλάτη που εμφανίζουν αύξηση της βλάστησής τους σε θερμό κλίμα και, επομένως, αυξάνεται η διαθέσιμη καύσιμη ύλη.

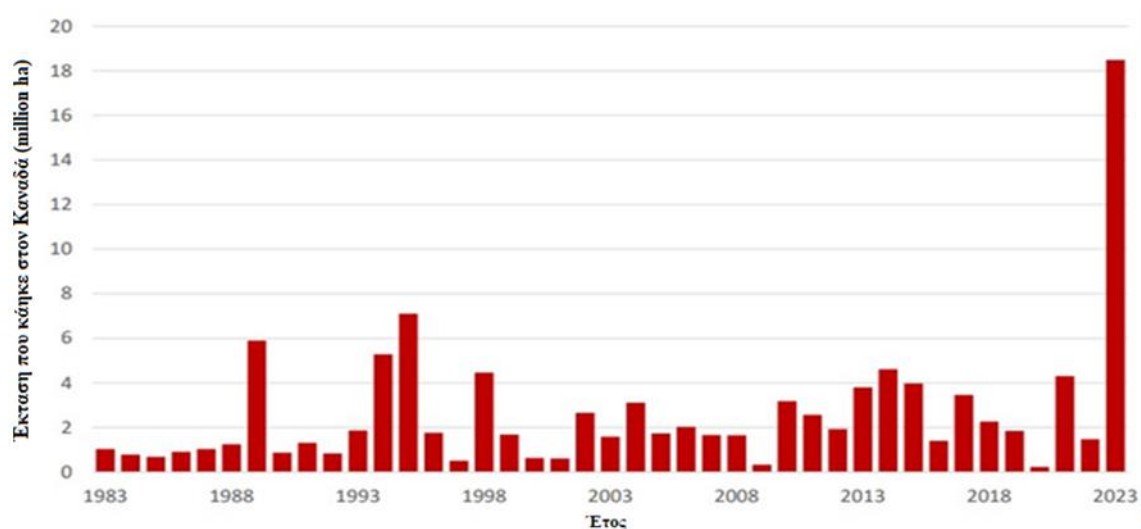
Μεταβολή της καμένης έκτασης ανά πολιτεία στις ΗΠΑ μεταξύ των περιόδων 1984-2002 και 2003-2021



Σχήμα 2.33 Μεταβολή της καμένης έκτασης (σε acres ανά τετραγωνικό μίλι γης) ανά πολιτεία στις ΗΠΑ, μεταξύ των περιόδων 1984–2002 και 2003–2021. Πολιτείες με ανεπαρκή δεδομένα εμφανίζονται με γκρι χρώμα. Ένα τετραγωνικό μίλι αντιστοιχεί σε 640 acres, συνεπώς, μεταβολή της τάξης των 6,4 acres/τετραγωνικό μίλι αντιστοιχεί σε αύξηση της καμένης έκτασης κατά 1% της συνολικής χερσαίας επιφάνειας μιας πολιτείας (τροποποιημένο από <https://www.epa.gov/climate-indicators/climate-change-indicators-wildfires>).

Στο δυτικό κομμάτι της Βόρειας Αμερικής, οι δυτικές περιοχές των Η.Π.Α. χαρακτηρίζονται από περισσότερα επεισόδια πυρκαγιάς συγκριτικά με την ανατολική τους πλευρά (Σχ. 2.33.). Η χώρα συνάντησε πολυάριθμα περιστατικά την τελευταία δεκαετία, με μια από τις πιο φονικές να είναι η «Camp Fire» στην Καλιφόρνια τον Νοέμβριο του 2018, κατά την οποία 85 άνθρωποι βρήκαν θάνατο (WHO 2023). Η χρονιά υπήρξε ιδιαίτερα επιζήμια για τις Η.Π.Α., με οικονομική ζημιά που καλύπτει 24 δισεκατομμύρια αμερικανικά δολάρια (USD). Ακόμα, το 2023, μια σειρά από

παράγοντες ευνόησαν την εμφάνιση μιας θανατηφόρας πυρκαγιάς στη Χαβάη, δυτικά του νησιού Μάουϊ. Ο συνδυασμός της χαμηλής υγρασίας, της κατάστασης ξηρασίας και των ισχυρών ριπαίων ανέμων ανέπτυξαν και διέσπειραν τις φωτιές, με αποτέλεσμα τον θάνατο τουλάχιστον 99 ανθρώπων. Η Lahaina ήταν η πόλη που υπέστη τις περισσότερες ζημιές και, συγκεκριμένα, καταστράφηκαν 2200 κτήρια (WHO 2023).



Σχήμα 2.34 Έκταση καμένων περιοχών στον Καναδά (εκατομμύρια εκτάρια ανά έτος) για την περίοδο 1983-2023. Το 2023 καταγράφηκε το μέγιστο ρεκόρ, με 18,5 εκατομμύρια εκτάρια καμένα (τροποποιημένο από WHO 2023).

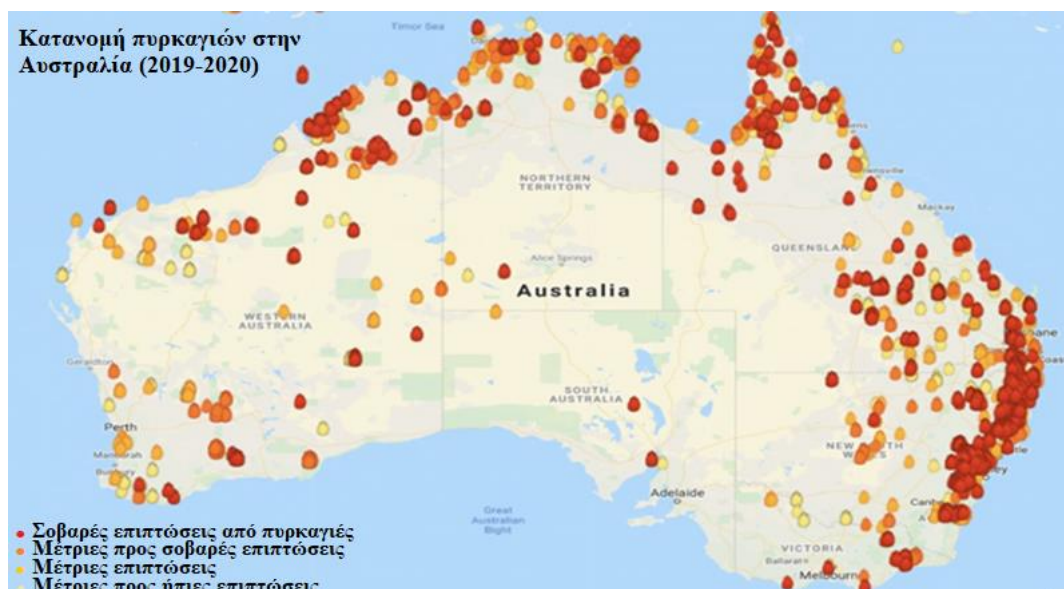
Στον Καναδά παρατηρήθηκαν τα περισσότερα ξεσπάσματα πυρκαγιών τα έτη 2017, 2018 και 2023. Το 2023, μια πυρκαγιά ξεκίνησε στα τέλη Απριλίου, συνέχισε την πορεία της τον Μάιο και επεκτάθηκε κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού φτάνοντας το φθινόπωρο. Η συνολική περιοχή που επηρεάστηκε, καλύπτει 18,5 εκατομμύρια εκτάρια και ξεπέρασε το προηγούμενο ρεκόρ της χρονιάς του 1995, όταν εκτάσεις 7,1 εκατομμυρίων εκταρίων κάηκαν (Σχ. 2.34.). Οι θάνατοι ανήλθαν στους 6, ενώ οι επιπτώσεις στην υγεία των ανθρώπων ακόμα ερευνώνται, μετά την ρύπανση από τον καπνό. Αρκετές πυρκαγιές σημειώθηκαν, επίσης, το 2020 και το 2016, όταν μεγάλες εκτάσεις της πόλης Φορτ Μακ

Μάρρει στην Αλμπέρτα κάηκαν και δημιούργησαν φθορές κόστους 8 USD, καθιστώντας το γεγονός την πιο δαπανηρή φυσική καταστροφή για τον Καναδά (WHO 2023).

Από την άλλη, η ανατολική πλευρά της Βόρειας Αμερικής βίωσε έντονη περίοδο ξηρασίας την άνοιξη του 2016. Η τελευταία οδήγησε σε πυρκαγιά στο Γκάτλινμπουργκ στο Τενεσί, με 14 θανάτους και καταστροφές πολλαπλών κτηρίων (WHO 2023).

Στην Νότια Αμερική, η Χιλή υπέστη τεράστιες καταστροφές και απώλειες από πυρκαγιές το 2014 στην πόλη Βαλπαράϊσο, όπως και τη περίοδο 2016 - 2017. Το 2015 ο Αμαζόνιος φιλοξένησε έναν μεγάλο αριθμό πυρκαγιών στην πλευρά της Βραζιλίας, η δραστηριότητα των οποίων, ωστόσο, ήταν χαμηλότερη σε σύγκριση με την αντίστοιχη της περιόδου 2001-2010. Πιο νότια επικράτησε ξηρασία το 2020, που συνέβαλλε στη δημιουργία πυρκαγιών στον υδροβιότοπο Παντανάλ.

Στην ανατολική Αυστραλία παρουσιάστηκε μια περίοδος πυρκαγιών στο διάστημα από αρχές Σεπτεμβρίου 2019 έως μέσα Φεβρουαρίου 2020, με μεμονωμένες πυρκαγιές να διατηρούνται μέχρι δυο μήνες ή και παραπάνω. Συγκεκριμένα, στα τέλη Δεκεμβρίου 2019 ξεκίνησε να επεκτείνεται μια πυρκαγιά από το Bundanoon της Νέας Νότιας Ουαλίας προς το Bairnsdale της Βικτώριας. Δασικές εκτάσεις 70000 km² κάηκαν, 34 άνθρωποι έχασαν τη ζωή τους απευθείας, 3500 κτήρια καταστράφηκαν και 400 θάνατοι απήλθαν λόγω του επίμονου καπνού που κατέκλεισε την Καμπέρα και το Σίδνεϋ. Επιπλέον, ξέσπασαν πυρκαγιές το 2015 στα νησιά Σουμάτρα και Βόρνεο, λόγω έντονης ξηρασίας που συσχετίστηκε με το φαινόμενο El Niño.



Εικόνα 2.1. Σχηματική απεικόνιση των πυρκαγιών στην Αυστραλία κατά την περίοδο 2019–2020. Το κόκκινο χρώμα υποδηλώνει τις πιο σοβαρές και μεγαλύτερης διάρκειας πυρκαγιές, ενώ το υπόλευκο αυτές με τις μικρότερες επιπτώσεις. Όπως φαίνεται, η πυρκαγιά ήταν εντονότερη στην ανατολική πλευρά της χώρας, όπου και ξεκίνησε (https://earth.org/data_visualization/climate-change-and-the-australian-bushfires-a-visual-guide/).

Το φαινόμενο El Niño του 2015 προκάλεσε περίοδο ξηρασίας και στην Ινδονησία πυροδοτώντας πυρκαγιές, οι οποίες κατέστρεψαν πλήθος χωραφιών και δάση υποβαθμίζοντας την ποιότητα της ατμόσφαιρας και οδηγώντας σε θανάτους. Εκτός από θνησιμότητα, η ρυπασμένη από τον καπνό ατμόσφαιρα δημιούργησε θέματα υγείας στους κατοίκους τόσο της Ινδονησίας όσο και της Σιγκαπούρης και της Μαλαισίας.

Όσον αφορά την ήπειρο της Ευρώπης, παρατηρήθηκαν καταστροφικές πυρκαγιές με δύο ξεσπάσματα στην Πορτογαλία και την βορειοδυτική Ισπανία, ένα τον Ιούνιο και ένα τον Οκτώβριο του έτους. Συνολικά κάηκε έκταση των 10000 km² και απεβίωσαν παραπάνω από 100 άνθρωποι. Οι πυρκαγιές του Οκτωβρίου λέγεται ότι συνδέονται με τον Τυφώνα Οφήλια. Ακολουθεί ένα επεισόδιο πυρκαγιάς στην περιοχή Μάτι, κοντά στην Αθήνα τον

Ιούλιο του 2018, που κατέληξε στην απώλεια παραπάνω από 103 ανθρώπινων ζωών, αριθμός που κατέκτησε την πρωτιά σε παγκόσμιο επίπεδο για την δεκαετία. Επίσης, το 2019 και, κυρίως, το 2020 σημειώθηκαν πυρκαγιές στην Σιβηρία, που οφείλονταν στις ασυνήθιστα υψηλές θερμοκρασίες στην πόλη Βερκχογιάνσκ, οι οποίες και κατέγραψαν ρεκόρ.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Ένας από τους κύριους και σοβαρότερους κινδύνους της κλιματικής αλλαγής είναι η αυξανόμενη εμφάνιση ισχυρών βροχοπτώσεων, με αναμενόμενο αποτέλεσμα τη δημιουργία φαινομένων πλημμυρών. Οι πλημμύρες αποτελούν το τρίτο στη σειρά, παγκόσμιο, καταστροφικό φαινόμενο, μετά τις καταιγίδες και τους σεισμούς (Wilby & Keenan 2012). Παρακάτω θα αναλυθούν οι αιτίες και οι παράγοντες που προκαλούν και εντείνουν το πρόβλημα, θα σημειωθούν οι επιπτώσεις του, καθώς και θα γίνει αναφορά στις πέντε πιο αξιοσημείωτες πλημμύρες στον ελλαδικό χώρο.

3.1. Κατηγοριοποίηση πλημμυρών και ευπαθών περιοχών

Οι πλημμύρες αποτελούν ένα διαχρονικό και παγκόσμιο φαινόμενο, το πιο θανάσιμο στην ιστορία της ανθρωπότητας, με σοβαρές υλικές και οικονομικές επιπτώσεις. Μπορούν να κατηγοριοποιηθούν με γνώμονα την προέλευση του νερού σε ποτάμιες, παράκτιες και πλημμύρες λιμνών, με άξονα τη χρονική διάρκειά τους σε αργές και αιφνίδιες και με βάση το περιβάλλον στο οποίο συμβαίνουν σε αστικές και πλημμύρες της υπαίθρου. Η Ελλάδα υποφέρει κατά κύριο λόγο από ξαφνικές, αστικές πλημμύρες (Angelakis et al. 2020).

Κατά τον ίδιο τρόπο μπορούν οι πληγείσες περιοχές να ταξινομηθούν σε τρεις κατηγορίες:

- 1) Η πρώτη περιλαμβάνει τις πεδινές εκτάσεις που χαρακτηρίζονται από μεγάλους ποταμούς με χαμηλή ικανότητα εκροής νερού και κλειστές υδρολογικές λεκάνες σε καρστικές περιοχές με χαμηλά επίπεδα αποστράγγισης.
- 2) Στη δεύτερη εμφανίζονται οι αστικές περιοχές, όπου η αστικοποίηση έχει απειλήσει την ανθρώπινη ζωή και οικονομία και τέλος,

- 3) Στην τρίτη ανήκουν τα κατάντη των τεχνητών λιμνών, οι οποίες εκμεταλλεύτηκαν από τον άνθρωπο προς όφελός του λόγω της λανθασμένης πεποίθησης ότι δεν κινδυνεύουν μετά τις τροποποιήσεις από πιθανές πλημμύρες (Koutsoyiannis et al. 2012).

3.2. Αιτίες εμφάνισης πλημμυρών

Είναι τεκμηριωμένο γεγονός ότι η ανθρωπογενής κλιματική αλλαγή είναι υπεύθυνη για την υπερθέρμανση του πλανήτη, με επιδράσεις στην ατμόσφαιρα, τους ωκεανούς, την κρυόσφαιρα και την βιόσφαιρα. Λόγω της ανθρωπίνης δραστηριότητας, η συγκέντρωση των αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα αυξάνεται, με αποτέλεσμα την άνοδο της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας. Η τελευταία έχει υποστεί αύξηση κατά $0,74^{\circ}\text{C}$ τον τελευταίο αιώνα, με το δεύτερο μισό του αιώνα να χαρακτηρίζεται από διπλάσιο ρυθμό αύξησης συγκριτικά με το πρώτο μισό (IPCC 2021).

Φυσικό επακόλουθο της υπερθέρμανσης του πλανήτη είναι η θέρμανση των ανώτερων στρωμάτων των ωκεανών από τη δεκαετία του 1970 και έπειτα και, κατά συνέπεια, η μείωση της πυκνότητας του ωκεάνιου νερού. Η μείωση της πυκνότητας δηλώνει την αύξηση του όγκου του νερού, η οποία αποτελεί έναν από τους παράγοντες που προκαλούν την άνοδο της παγκόσμιας μέσης στάθμης της θάλασσας, σε συνδυασμό με την περιοδική τήξη των παγετώνων, που εκτιμάται στα 0,20 m για την περίοδο 1901-2018 (IPCC 2021).

Η τροποποίηση της κρυόσφαιρας αφορά το λιώσιμο των πάγων και του χιονιού, το οποίο, επίσης, ευνοεί την άνοδο της παγκόσμιας μέσης στάθμης της θάλασσας. Ο πάγος στην περιοχή της Αρκτικής έχει μειωθεί κατά 10% σε έκταση και κατά 40% σε πάχος τις περιόδους 1979-1988 και 2010-2019 (Ψιλοβίκος 2020). Αντίθετα, στην περιοχή της

Ανταρκτικής δεν έχει σημειωθεί σημαντική συρρίκνωση από το 1979 έως το 2020 (IPCC 2021).

Η αύξηση της τιμής της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας έχει επιπτώσεις και στην κατακρήμνιση. Η κατακρήμνιση ή υετός αναφέρεται στις βροχές, το χιόνι και σε οποιαδήποτε άλλη στερεή ή υγρή μορφή ύδατος, η πτώση των οποίων προέρχεται από συμπύκνωση των υδρατμών της ατμόσφαιρας. Ο χαρακτήρας του υετού εξαρτάται από τη θερμοκρασία και την υγρασία που παρέχεται μέσω των ανέμων και μέσω της εξάτμισης από την επιφάνεια της Γης. Όταν η τιμή της θερμοκρασίας κυμαίνεται πάνω από το σημείο παγοποίησης, δηλαδή τους 0°C, ο υετός εμφανίζεται με τη μορφή βροχής, ενώ όταν βρίσκεται κάτω από αυτό εκδηλώνεται με τη μορφή χιονιού (Trenberth 2011). Συνεπώς, η αύξηση της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας, που συνεπάγεται την αύξηση των επιπέδων εξάτμισης και, επομένως, τα επίπεδα υγρασίας, μαρτυρά και την υπερίσχυση των βροχοπτώσεων στον πλανήτη (Stassen et al. 2020, Shiogama et al. 2010).

Η μέση παγκόσμια βροχόπτωση που παρατηρείται στην ξηρά έχει αυξηθεί από το 1950 παρουσιάζοντας ανισοκατανομή τόσο χρονικά όσο και χωρικά (IPCC 2021). Οι καταιγίδες των περιοχών μεσαίου γεωγραφικού πλάτους μετατοπίζονται με κατεύθυνση προς τους πόλους, όπου η διαθεσιμότητα νερού είναι ήδη επαρκής περιορίζοντας, κατά αυτό τον τρόπο, εκείνη των περιοχών που απαιτούν υψηλές ποσότητες νερού. Συνάμα, οι καταιγίδες λαμβάνουν χώρα σε εποχές που οι ανάγκες σε νερό είναι μειωμένες, όπως το χειμώνα, με αποτέλεσμα να ελλείπει σε εποχές, όπως το καλοκαίρι, όταν υπάρχει ζήτηση (Ψιλοβίκος 2020). Συνεπώς, ενισχύονται τα φαινόμενα ξηρασίας σε περιοχές και σε εποχές που παρουσιάζουν λειψυδρία και φαινόμενα πλημμυρών σε εκείνες που δεν συναντούν αυξημένες ανάγκες σε νερό.

Συμπερασματικά, η έντονη κλιμάκωση του φαινομένου του θερμοκηπίου σε συνάρτηση με την υπερθέρμανση του πλανήτη έχουν επηρεάσει σημαντικά τον υδρολογικό κύκλο του (Εικ. 3.1.). Η παρουσία ακραίων βροχοπτώσεων, σε συνδυασμό με την άνοδο της μέσης στάθμης της θάλασσας και των ωκεανών, ευνοούν την συχνότητα εμφάνισης έντονων φαινομένων πλημμύρας μεγάλης διάρκειας, θέτοντας σε κίνδυνο κυρίως την ανθρώπινη ζωή και αποδίδοντας οικονομικές και υλικές απώλειες, καθώς επίσης και καταστροφές στο φυσικό περιβάλλον (Wang et al. 2015, Lawrence et al. 2013).



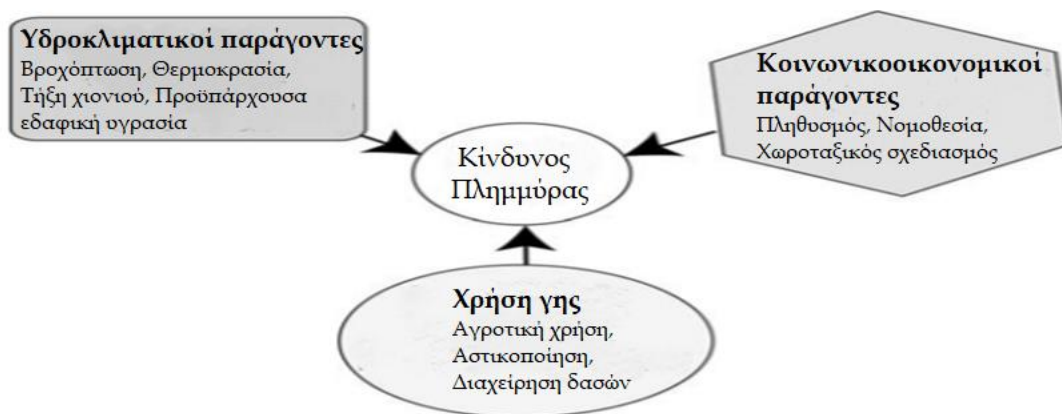
Εικόνα 3.1. Σχηματική απεικόνιση του υδρολογικού κύκλου (τροποποιημένο από gpm.nasa.gov).

3.3. Επιπλέον παράγοντες εμφάνισης πλημμυρών

Με εξαίρεση το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής και τα αποτελέσματά της στον υδρολογικό κύκλο, έχουν εντοπισθεί μια σειρά από επιπρόσθετους παράγοντες που εντείνουν το ζήτημα των πλημμυρών. Πιο συγκεκριμένα, η χρήση γης προς όφελος του ανθρώπου και οι κοινωνικοοικονομικοί παράμετροι είναι αυτοί που συμβάλλουν στην έξαρσή τους (Εικ. 4.2.1).

Η τροποποίηση του εδάφους για την χρήση του από τον άνθρωπο, περιλαμβάνει τις διαδικασίες της αστικοποίησης και της κατασκευής δρόμων, της αποψίλωσης και της αναδάσωσης και της εντατικοποίησης της γεωργίας και της αποστράγγισης υγροτόπων.

(De Roo et al. 2003). Οι προαναφερόμενες μπορούν να προκαλέσουν την μείωση της ικανότητας διείσδυσης του νερού στο έδαφος και να οδηγήσουν σε χαμηλότερο πορώδες εδάφους και χαμηλότερους ρυθμούς εξατμισοδιαπνοής αυξάνοντας, έτσι, την επιφανειακή απορροή και καταλήγοντας σε πλημμυρικά φαινόμενα. Επομένως, η σχέση βροχόπτωσης, επιφανειακής απορροής και διάβρωσης στις λεκάνες απορροής καθορίζονται από το έδαφος, τη τοπογραφία και, κατά κύριο λόγο, από την κάλυψη γης στην λεκάνη απορροής (Saghafian et al. 2008).



Εικόνα 3.2. Αιτίες που επηρεάζουν την εκδήλωση πλημμυρών (τροποποιημένο από Chang & Franczyk 2008).

Αρχικά, η ολοένα και αυξανόμενη αστικοποίηση των περιοχών γύρω από λεκάνες απορροής, η οποία συνοδεύεται από την αύξηση του πληθυσμού και πολλές φορές χαρακτηρίζεται από κακής φύσεως δόμηση και αλλαγές χρήσεων γης μη ενδεδειγμένες, θέτει σε κίνδυνο τους κατοίκους, διότι αποτελούν περιοχές επιρρεπείς σε πλημμύρες. Η διαχείριση των κινδύνων πλημμυρών στις συγκεκριμένες περιοχές περιλαμβάνει πλέον την εξοικείωση και την προσαρμογή των ανθρώπων σε φαινόμενα πλημμυρών και όχι την απομάκρυνσή τους από τα ποτάμια. Αν και έχουν κατασκευαστεί αντιπλημμυρικά έργα, όπως φράγματα, αναχώματα, ταμιευτήρες ανάσχεσης πλημμυρικών κινδύνων και

αποχετευτικά έργα, αυτό αποτελεί απλώς έναν τρόπο μετακίνησης της ζημιάς σε άλλο τόπο ή σε άλλη χρονική στιγμή (Liu & Shi 2017).

Χαρακτηριστικό των αστικών περιοχών είναι η μετατροπή φυσικών τοπίων σε κτήρια, υποδομές και ασφαλιστρωμένους δρόμους, δηλαδή απόλυτα δομημένο περιβάλλον με πλήρη στεγάνωση του εδάφους και αδυναμία του νερού να διηθηθεί στο έδαφος, όπου δεν μπορεί να περάσει νερό, με άμεσο αποτέλεσμα την αύξηση της ταχύτητας ροής και της επιφανειακής απορροής καθιστώντας, έτσι, ευάλωτους τους κατοίκους σε επεισόδια πλημμυρών (Avashia & Garg 2020, Lee & Brody 2018). Η τροποποίηση του περιβάλλοντος σε συνδυασμό με την συνεχή κατασκευή άστοχων, ακατάλληλων, ακόμη και παράνομων, έργων, που απαιτείται λόγω του αυξανόμενου πληθυσμού, επιδεινώνει την κατάσταση (Lawrence et al. 2013) επηρεάζοντας τον υδρολογικό κύκλο με αλλαγές στην επιφανειακή απορροή και την ποιότητα του νερού (Avashia & Garg 2020).

Ενώ η αστικοποίηση πραγματοποιεί δραματικές αλλαγές στο φυσικό περιβάλλον με σοβαρές επιπτώσεις, τα αποτελέσματα της αναδάσωσης φαίνεται να είναι ευεργετικά. Σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία, έχει αποδειχθεί ότι, μακροπρόθεσμα, η αναδάσωση που αναστέλλει τα υψηλά ποσοστά εξάτμισης επηρεάζει θετικά το ισοζύγιο του νερού, συμβάλλοντας στη διήθηση και αποθήκευση του υπόγειου νερού, στην αναστολή της ταχύτητας και της διαβρωτικής δράσης του επιφανειακού νερού και στη μείωση της καταστροφικής δράσης των πλημμυρικών φαινομένων (Wheater & Evans 2009).

Συνάμα, οι απαιτήσεις για αύξηση της παραγωγικότητας στην γεωργία επέφερε αλλαγές στο περιβάλλον. Στις αλλαγές αυτές συμπεριλαμβάνονται η επέκταση των γεωργικών εκτάσεων, οι απώλειες φυτών και η ρύπανση των εδαφών, που συμβάλλουν στην υποβάθμιση του εδάφους. Η εντατικοποίηση της αρόσιμης καλλιέργειας και των

βοσκοτόπων οδηγούν στην μείωση του ρυθμού διείσδυσης του νερού στο έδαφος και στην αύξηση της ικανότητας αποθήκευσης νερού, με άμεσο αποτέλεσμα την αύξηση της επιφανειακής απορροής.

3.4. Οι πλημμύρες στον ελλαδικό χώρο

Η Μεσόγειος υφίσταται με αυξανόμενη συχνότητα καιρικά φαινόμενα μεγάλης έντασης και επικινδυνότητας, μεταξύ των οποίων συγκαταλέγονται οι αποκαλούμενοι *Medicanes*, μετεωρολογικά συστήματα που παρουσιάζουν χαρακτηριστικά τόσο τροπικών όσο και εξωτροπικών κυκλώνων. Αν και είναι λιγότερο συχνοί σε σύγκριση με τους τροπικούς κυκλώνες, τα συστήματα αυτά ενδέχεται να προκαλέσουν σοβαρές επιπτώσεις, όπως αιφνίδιες πλημμύρες, ισχυροί άνεμοι, παλιρροϊκά κύματα, κατολισθήσεις και πολύπλοκα ακραία φαινόμενα.

Ένας από τους βασικούς παράγοντες που επηρεάζουν τη δημιουργία και την ενίσχυση αυτών των κυκλωνικών φαινομένων είναι η θερμοκρασία επιφανείας της θάλασσας (SST), η οποία παίζει καίριο ρόλο στις ενεργειακές και δυναμικές ανταλλαγές μεταξύ ωκεανού και ατμόσφαιρας (Karagiorgos et al. 2025).

Το πιο καταστροφικό φυσικό φαινόμενο που απαντάται στην ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου είναι οι πλημμύρες, σημειώνοντας αξιοσημείωτα επίπεδα θνησιμότητας και σημαντικές οικονομικές ζημιές (Diakakis & Deligiannakis 2015). Η αύξηση της θερμοκρασίας διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στην χρονική δυναμική της απόκριση των λεκανών απορροής στα κατακρημνίσματα. Κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου, οι ασυνήθιστα υψηλές θερμοκρασίες, συμβάλλουν στην μείωση της χιονοκάλυψης και, κατ'επέκταση στην αύξηση την ροής των υδάτων. Αντίθετα, την άνοιξη, η πτώση της θερμοκρασίας οδηγεί σε περιορισμένα υδατικά αποθέματα, λόγω

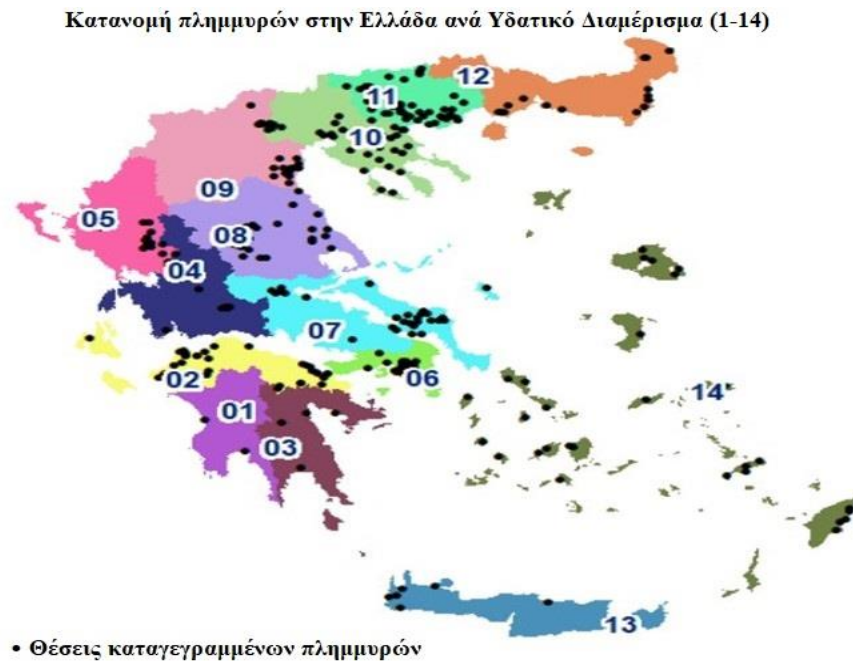
και της ανεπαρκούς χιονοσυσσώρευσης κατά τους προηγούμενους μήνες (Ψιλοβίκος 2022). Η Ελλάδα, λόγω της γεωμορφολογίας της, συμπεριλαμβάνεται στην τάση αυτή καταγράφοντας αρκετά κύματα πλημμύρας από παλαιότερα, προκαλούμενα από έντονες και μικρής διάρκειας καταιγίδες (Diakakis & Deligiannakis 2013). Το μέγεθος, η συχνότητα και η ένταση των ακραίων φυσικών φαινομένων, όπως είναι οι πλημμύρες, θα συναντήσουν μεγάλη αύξηση τα επόμενα χρόνια λόγω της κλιματικής αλλαγής.

Γενικότερα, η Ελλάδα παρουσιάζει κλιματικές, γεωτεκτονικές, πληθυσμιακές και υδρολογικές ιδιαιτερότητες, στις οποίες οφείλεται ο κίνδυνος για πλημμύρες:

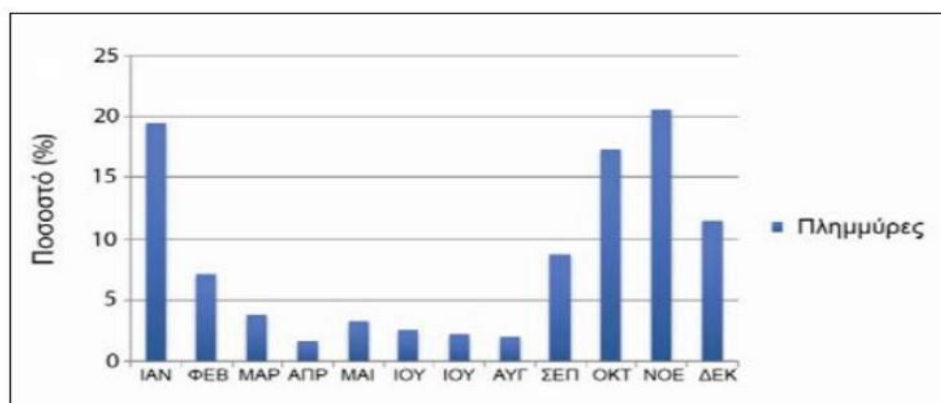
- 1) Η τεκτονική δράση της χώρας δημιουργεί σημαντικές τροποποιήσεις στην μορφολογία και στα πετρώματα του υδρογραφικού της δικτύου, που συμβάλλουν τόσο στην επιταχυνόμενη ροή των υδάτων (απόκρημνες κλίσεις) όσο και στην μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων ιζήματος που διακόπτουν την ροή τους.
- 2) Το ξηρό και υγρό κλίμα της ευνοεί τις ισχυρές βροχοπτώσεις μικρής διάρκειας.
- 3) Η εκμετάλλευση κυρίως των παράκτιων περιοχών με σκοπό την ανάπτυξη του τουρισμού, δυσκολεύει την φυσιολογική απορροή τμημάτων του υδρολογικού δικτύου.
- 4) Η έλλειψη υδρολογικών δεδομένων και η χρήση ακατάλληλου εξοπλισμού για την καταγραφή τους περιορίζουν την στατιστική ανάλυση.

Όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 3.3., τα περισσότερα πλημμυρικά φαινόμενα απαντώνται στην Βορειοανατολική Ελλάδα, στις πεδινές και τις παραθαλάσσιες περιοχές. Όσον αφορά τη χρονική περίοδο, το μεγαλύτερο ποσοστό πλημμυρών εκδηλώνεται το φθινόπωρο (46,6%), κατόπιν το χειμώνα (38%) και λιγότερο την άνοιξη (8,7%) και το καλοκαίρι (6,7%) (Σχ. 3.4.). Ωστόσο, παρουσιάζονται ορισμένες χρονικές διαφορές στις διάφορες γεωγραφικές τοποθεσίες της χώρας. Στα ανατολικά θα εντοπιστούν

περισσότερες πλημμύρες κατά τον Ιανουάριο, ενώ στα δυτικά και κεντρικά τον Νοέμβριο και, έπειτα, τον Οκτώβριο και τον Ιανουάριο (Σούρλας 2021).



Εικόνα 3.3. Χάρτης κατανομής πλημμυρικών συμβάντων στην Ελλάδα, όπου οι επισημάνσεις (κουκκίδες) υποδεικνύουν τις θέσεις των καταγεγραμμένων πλημμυρών. Ο χάρτης οργανώνεται σε 14 υδατικά διαμερίσματα, με υψηλότερη συγκέντρωση συμβάντων στη βόρεια και ανατολική χώρα, κυρίως σε πεδινές και παραθαλάσσιες περιοχές (Σούρλας 2021).



Σχήμα 3.1. Χρονική κατανομή των πλημμυρών στην Ελλάδα (Σούρλας 2021).

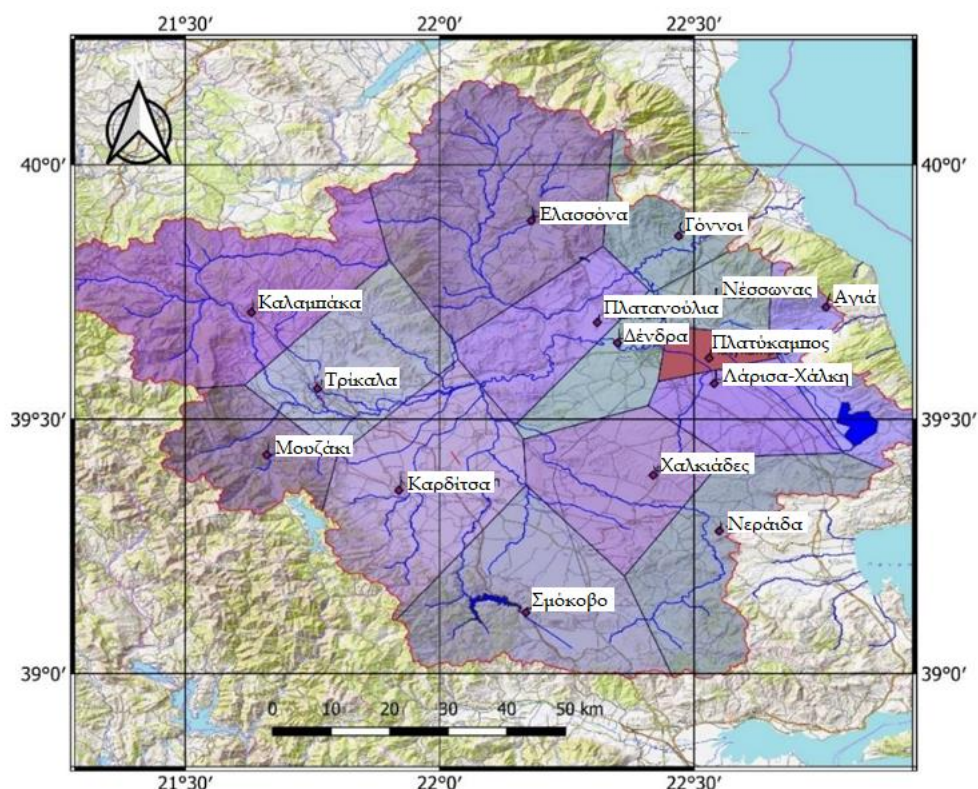
3.4.1. Η κακοκαιρία Ντάνιελ (9/2023) και οι πλημμύρες στη Θεσσαλία

Κατά το Σεπτέμβριο του 2023, η περιοχή της Μεσογείου επλήγη από ακραία καιρικά φαινόμενα, τα οποία περιλάμβαναν έντονα κύματα καύσωνα, ακολουθούμενα από ισχυρές βροχοπτώσεις, χαλαζοπτώσεις και εκτεταμένες πλημμύρες. Τον Ιούλιο του ίδιου έτους, η θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας (SST) κατέγραψε αύξηση της τάξεως των 5,5 °C σε σύγκριση με τον μακροχρόνιο μέσο όρο (Qui et al. 2023). Αυτή η ασυνήθιστη θερμική ανωμαλία συνέβαλε καθοριστικά στη γένεση ενός ακραίου μετεωρολογικού φαινομένου: της καταιγίδας Ντάνιελ, η οποία έπληξε την Ελλάδα στις 3 Σεπτεμβρίου 2023. Το φαινόμενο αυτό προέκυψε από την αλληλεπίδραση ακραίων ατμοσφαιρικών συνθηκών με τη υψηλή θερμοκρασία της θάλασσας (Dimitriou et al. 2024, Leivadiotis & Psilovikos 2025).

Η κακοκαιρία Ντάνιελ προκάλεσε παρατεταμένη και έντονη βροχόπτωση, η οποία έπληξε κυρίως την Περιφέρεια Θεσσαλίας και διήρκεσε για τέσσερις συνεχόμενες ημέρες. Σε πολλές περιοχές, ο καταγεγραμμένος όγκος βροχής ξεπέρασε ακόμη και τη μέση ετήσια κατακρήμνιση, γεγονός που υποδεικνύει την έκταση και τη σφοδρότητα του φαινομένου. Η βροχόπτωση ήταν γεωγραφικά εκτεταμένη, καλύπτοντας τόσο ορεινές όσο και πεδινές περιοχές, και είχε ως αποτέλεσμα τη συσσώρευση υδάτινου όγκου που υπερέβη ακόμη και τα πιο ακραία υδρολογικά σενάρια.

Η πλημμύρα που επακολούθησε ήταν χωρικά και υδρολογικά πρωτοφανής. Σύμφωνα με τα δεδομένα του Copernicus Emergency Management Service (2020), περισσότεροι από 660.000 στρέμματα (66.000 εκτάρια) κατακλύστηκαν από τα νερά, ενώ περίπου το ένα τρίτο της συνολικής περιοχής μελέτης παρουσίασε ενδείξεις πλημμυρικών επιδράσεων. Το μέγεθος και η ένταση του φαινομένου υπογραμμίζουν τον ριζικό μετασχηματισμό των

κινδύνων που σχετίζονται με την κλιματική κρίση και την ανάγκη αναθεώρησης των σχεδιαστικών εργαλείων και υποδομών αντιμετώπισης (Lagarias 2025).



Σχήμα 3.2 Χωρική απεικόνιση βροχομετρικών σταθμών (τροποποιημένο από HVA International 2023).

Οι πλημμύρες αύξησαν σημαντικά τον κίνδυνο εμφάνισης νοσημάτων που μεταδίδονται από τρωκτικά, όπως η λεπτοσπείρωση, λόγω της εκτόπισης τρωκτικών σε κατοικημένες περιοχές και της μόλυνσης επιφανειών και υδάτων. Η κακή υγιεινή, η έλλειψη καθαρού πόσιμου νερού και η καθυστέρηση στη διαχείριση απορριμμάτων ενίσχυσαν αυτή την απειλή. Τα στοιχεία από τον Εθνικό Οργανισμό Δημόσιας Υγείας κατέγραψαν στατιστικά σημαντική αύξηση κρουσμάτων λεπτοσπείρωσης, με δύο θανάτους να συνδέονται με τη νόσο (Diakakis et al. 2025). Επιπλέον, σημειώθηκαν αυξημένα κρούσματα γαστρεντερίτιδας και λοιμώξεων του αναπνευστικού στην πληγείσα περιοχή,

αν και απαιτείται περαιτέρω ανάλυση για την επιβεβαίωση της στατιστικής σημασίας (Diakakis et al. 2025).

Η ένταση και η διάρκεια του ακραίου φαινομένου της καταιγίδας Ντάνιελ αποτυπώνονται με ιδιαίτερη σαφήνεια στη φυσική επαναδημιουργία της λίμνης Κάρλα (Εικ. 3.4). Η λίμνη, η οποία είχε αποστραγγιστεί το 1962 στο πλαίσιο υδραυλικών έργων για αγροτική αξιοποίηση της περιοχής, επανασχηματίστηκε εξαιτίας της υπερβολικής συσσώρευσης υδάτων, επανακτώντας σχεδόν την αρχική της έκταση και μορφολογία.



Εικόνα 3.4 Ανατολική περιοχή του Μαυροβουνίου. Η λίμνη Κάρλα επανάκτησε την αρχική της έκταση. Η κατεύθυνση ροής των υδάτων αποδίδεται με μπλε βέλη (τροποποιημένο από Mavroulis et al. 2024).

Η ανταπόκριση του κρατικού μηχανισμού κρίθηκε ανεπαρκής και καθυστερημένη, γεγονός που επιβεβαιώνεται από τον τραγικό απολογισμό των 17 ανθρώπινων απωλειών, την απώλεια άνω των 100.000 παραγωγικών ζώων, καθώς και την ανάγκη για εκτεταμένες επιχειρήσεις διάσωσης άνω των 2.000 κατοίκων σε πλημμυρισμένους οικισμούς με τη συνδρομή στρατιωτικών δυνάμεων. Παράλληλα, χιλιάδες νοικοκυριά έμειναν χωρίς πρόσβαση σε ηλεκτρικό ρεύμα και πόσιμο νερό, εγκλωβισμένα για ημέρες στις πληγείσες περιοχές.

Το φαινόμενο δεν περιορίστηκε στον αγροτικό χώρο, αλλά έπληξε και σημαντικά αστικά κέντρα της Θεσσαλίας. Στις πόλεις των Τρικάλων και της Λάρισας καταγράφηκαν σοβαρά πλημμυρικά επεισόδια σε κατοικημένες περιοχές, ενώ στον Βόλο, ορμητικοί χείμαρροι από το Πήλιο διοχέτευσαν τεράστιους όγκους νερού προς τον αστικό ιστό, προκαλώντας εκτεταμένες ζημιές σε δίκτυα, υποδομές και κατοικίες (Εικ. 3.5).

Η καταστροφή ήταν πολυεπίπεδη. Πέραν της ανθρώπινης και ζωικής απώλειας, οι υλικές ζημιές ήταν μαζικές, περιλαμβάνοντας καταρρεύσεις γεφυρών, φθορές στο οδικό δίκτυο, καταστροφή αγροτικών και αστικών εγκαταστάσεων, και σοβαρές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Οι συνολικές οικονομικές ζημιές στη Θεσσαλία εκτιμώνται σε πολλαπλά δισεκατομμύρια ευρώ, επηρεάζοντας τόσο το περιφερειακό ΑΕΠ όσο και την κοινωνική συνοχή των τοπικών κοινοτήτων (Lagarias 2025).



Εικόνα 3.5 Ενδεικτικές εικόνες από κτήρια μετά τη πλημμύρα στην Θεσσαλία. (α-δ) κατοικίες, (ε) σχολεία και (ζ) αποθήκες. Η διακεκομμένη κίτρινη γραμμή επισημαίνει το ανώτερο ύψος των πλημμυρικών υδάτων σε κάθε περίπτωση (τροποποιημένο από Mavroulis et al. 2024).

Την ήδη βαριά πληγείσα περιοχή έπληξε νέα καταιγίδα λίγες εβδομάδες αργότερα, ενισχύοντας την επιστημονική και πολιτική ανησυχία για την αυξανόμενη συχνότητα και ένταση των ακραίων φαινομένων, στο πλαίσιο της κλιματικής κρίσης. Η περίπτωση της Θεσσαλίας αναδεικνύει με ενάργεια την ανάγκη για ριζική αναθεώρηση των υποδομών, του σχεδιασμού κινδύνου και των μηχανισμών πολιτικής προστασίας, τόσο σε εθνικό όσο και σε περιφερειακό επίπεδο.

Οι καταστροφικές πλημμύρες και κατολισθήσεις προκάλεσαν σοβαρές ζημιές στις συγκοινωνιακές υποδομές, επηρεάζοντας συνολικά 159 χιλιόμετρα οδικού δικτύου και 110 γέφυρες σε πολλές περιοχές (Εικ. 3.6). Για την αποκατάσταση των υποδομών έχει διατεθεί περίπου 900 εκατομμύρια ευρώ σε έκτακτα έργα οδοποιίας, με την κατανομή των πόρων να δίνει προτεραιότητα στη Μαγνησία (33%), τα Τρίκαλα (25%), την Καρδίτσα (21%), τη Λάρισα (9,5%), την Εύβοια (9,5%) και τη Φθιώτιδα (2%). Τα καταστροφικά φαινόμενα διατάραξαν βασικές οδικές και σιδηροδρομικές αρτηρίες, όπως την Αθηνών-Θεσσαλονίκης, με αποτέλεσμα την απομόνωση κοινοτήτων και τη διακοπή των μεταφορών. Στην ορεινή περιοχή του Πηλίου, η αποκατάσταση του οδικού δικτύου και των γεφυρών κόστισε 278,2 εκατομμύρια ευρώ, ενώ τα έργα αποκατάστασης του σιδηροδρομικού δικτύου εκτιμήθηκαν στα 460 εκατομμύρια ευρώ (Diakakis et al. 2025).

Επιπρόσθετα, έχουν καταγραφεί αρκετά περιστατικά έκτακτης ανάγκης, όπως η εκκένωση και μεταφορά ατόμων με διάφορα νοσήματα προς νοσοκομείο της πόλης του Βόλου για επείγουσα ιατρική περίθαλψη. Σε άλλες περιπτώσεις, πολλοί ασθενείς, μεταξύ των οποίων και μία έγκυος γυναίκα, μεταφέρθηκαν σε νοσοκομείο με τη βοήθεια βαρέων μηχανημάτων. Λόγω της έλλειψης προσβασιμότητας σε υπηρεσίες υγείας, σύμφωνα με αναφορές, ασθενείς με δάγκωμα φιδιού, αλλεργικό σοκ από τσίμπημα εντόμου, καθώς και πολλοί ασθενείς που χρειάζονταν οξυγονοθεραπεία (όπως όσοι έχουν χρόνιες

αναπνευστικές παθήσεις) αντιμετώπισαν κρίσιμες δυσκολίες στην έγκαιρη παροχή ιατρικής φροντίδας. Επιπλέον, ασθενείς με χρόνια νοσήματα δεν είχαν πρόσβαση στα απαραίτητα φάρμακα τους, επιδεινώνοντας περαιτέρω τους κινδύνους για την υγεία τους σε αυτή την κρίση.



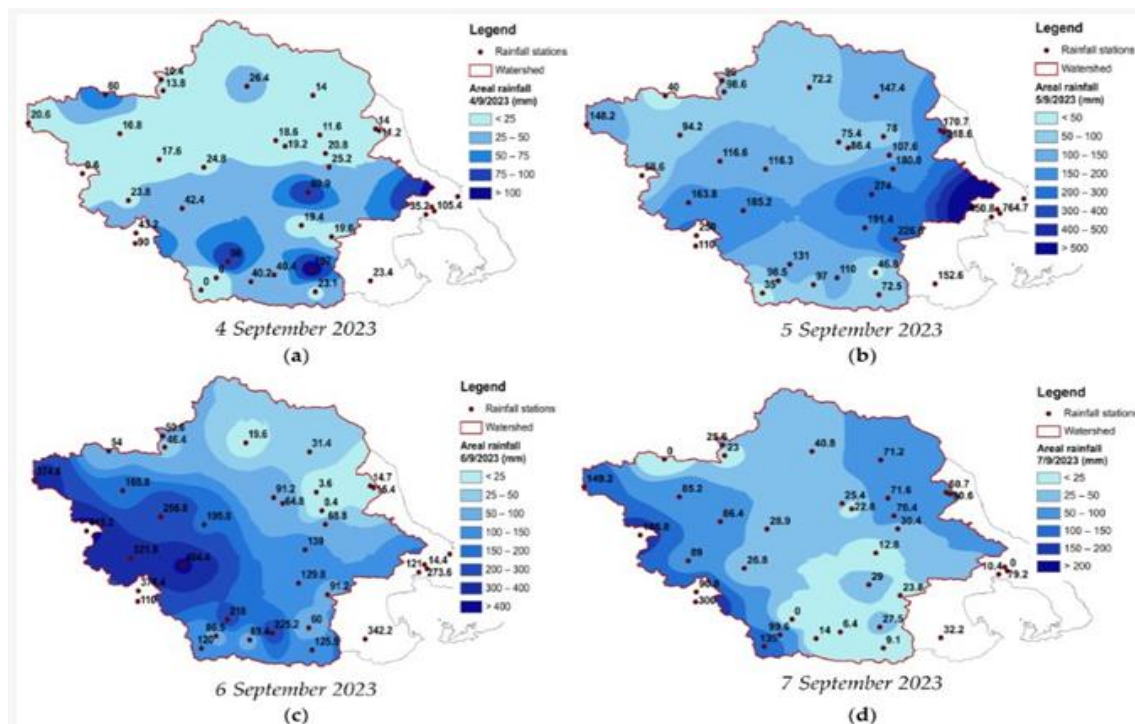
Εικόνα 3.6 Οι επιπτώσεις της κακοκαιρίας Ντάνιελ στις συγκοινωνιακές υποδομές. (α) πλήρης κάλυψη του οδοστρώματος από τα πλημμυρικά ύδατα, (β) αποκόλληση τμημάτων του οδοστρώματος λόγω υποσκαφής από τη ροή του νερού, (γ) φθορές στο οδόστρωμα εξαιτίας της έντονης ροής υδάτων σε συνδυασμό με φερτά υλικά, (δ) η γέφυρα του Πηνειού στον Παλαιόπυργο, (ε) η γέφυρα του Ενιπέα στην Καρδίτσα, καθώς και (ζ) η ιστορική γέφυρα Γερακίνας στα Τρίκαλα υπέστησαν ζημιές, (η) απόθεση φερτών υλών που σκέπασε τμήματα γραμμών, (θ) διάβρωση του εδάφους κάτω από τις σιδηροτροχιές και η παραμόρφωσή τους, (ι)

μετακίνηση στοιχείων της υποδομής, όπως ράγες, σηματοδότες και καλωδιώσεις (τροποποιημένο από Mavroulia et al. 2024).

Πέραν των προβλημάτων προσβασιμότητας, οι επιπτώσεις στο δίκτυο ύδρευσης ήταν εξίσου καταλυτικές. Οι πλημμύρες προκάλεσαν σοβαρές ζημιές σε σωληνώσεις, δεξαμενές και εγκαταστάσεις επεξεργασίας νερού, ενώ η ρύπανση των υδάτινων πόρων από φερτά υλικά και λύματα καθιστούσε αδύνατη τη λειτουργία αρκετών μονάδων. Σε ορεινές περιοχές, όπως το Πήλιο, κατολισθήσεις οδήγησαν σε καταστροφές κρίσιμων υποδομών ύδρευσης, με αποτέλεσμα μακροχρόνιες διακοπές υδροδότησης. Οι συνέπειες επεκτάθηκαν και σε κρίσιμους τομείς όπως η δημόσια υγεία, καθώς καταγράφηκαν προσωρινές διακοπές λειτουργίας σε νοσοκομεία, ενώ επηρεάστηκαν αρνητικά και επιχειρήσεις όπως ξενοδοχεία και καταστήματα υγειονομικού ενδιαφέροντος λόγω έλλειψης καθαρού νερού.

Καταγράφηκε ότι το συνολικό ύψος βροχόπτωσης στη λεκάνη απορροής του ποταμού Πηνειού κατά το χρονικό διάστημα 4-7 Σεπτεμβρίου έφτασε τα 363,9 mm, που αντιστοιχεί στο 47% της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης των 780 mm (Dimitriou 2024), με ένταση που αντιστοιχεί σε περίοδο επαναφοράς έως 150 έτη για τη λεκάνη του Πηνειού. Αυτός ο όγκος βροχόπτωσης αντιστοιχεί σε περίπου 3,7 δισεκατομμύρια m³ νερού, εκ των οποίων σχεδόν 3 δισ. m³ σημειώθηκαν μέσα σε 48 ώρες (5-6 Σεπτεμβρίου), υπογραμμίζοντας την ένταση του φαινομένου (Antoniadis & Loupasakis 2025). Ορισμένοι σταθμοί κατέγραψαν πάνω από 500 mm βροχής σε λιγότερο από 24 ώρες, ενώ πολλές περιοχές της λεκάνης του Πηνειού εμφάνισαν 400-600 mm μέσα σε 24 ώρες. Χωρικά, στις 4 Σεπτεμβρίου η βροχή επηρέασε κυρίως τη νοτιοανατολική λεκάνη, στις 5 Σεπτεμβρίου μετατοπίστηκε προς τα ανατολικά, ενώ στις 6-7 Σεπτεμβρίου επικεντρώθηκε στη δυτική πλευρά, με τα βόρεια και ανατολικά τμήματα να δέχονται

σχετικά μικρότερη ποσότητα βροχόπτωσης, όπως είναι ορατό στο Σχήμα 3.3. Επιπλέον, για ολόκληρο το διάστημα 4-12 Σεπτεμβρίου, το συνολικό ύψος βροχής κυμάνθηκε από 305 mm έως 1096 mm, υπογραμμίζοντας περαιτέρω την ένταση και την εκτεταμένη γεωγραφική κάλυψη του φαινομένου (Leivadiotis et al. 2024).



Σχήμα 3.3. Χωροχρονική κατανομή της βροχόπτωσης κατά τη διάρκεια της καταιγίδας Ντάνιελ (Dimitriou et al. 2024).

Οι υδρολογικές συνέπειες της καταιγίδας εκτάθηκαν χρονικά πέραν της διάρκειας των βροχοπτώσεων, επηρεάζοντας καίρια υδατικά συστήματα, καθώς και εκτεταμένες αγροτικές και αστικές ζώνες. Εξαιρετικά έντονη ήταν η επίδραση στη λίμνη Κάρλα, εντός των Περιφερειακών Ενοτήτων (Π.Ε.) Λάρισας και Μαγνησίας, της οποίας η επιφάνεια τετραπλασιάστηκε μετά το φαινόμενο, οδηγώντας σε μακροχρόνια αδυναμία πρόσβασης και χρήσης των γύρω γεωργικών εκτάσεων (Mourelatos et al. 2025).

Προκάλεσε σοβαρή καταστροφή στις υδατικές υποδομές της Θεσσαλίας, πλήττοντας φράγματα, ταμιευτήρες και θυροφράγματα, με ενδεικτικές περιπτώσεις αυτά της Γυρτώνης, του Βλοχού και της Μαραθέας. Οι ζημιές περιλάμβαναν δομικές αστοχίες, βλάβες στο ηλεκτρολογικό δίκτυο και εναπόθεση μεγάλων ποσοτήτων φερτών υλών, με συνέπεια τον περιορισμό της αποθηκευτικής ικανότητας των ταμιευτήρων. Οι επιπτώσεις ήταν άμεσες στην άρδευση, ενώ αναμένονται και μακροπρόθεσμες δυσχέρειες για την αγροτική παραγωγή λόγω πιθανής έλλειψης αρδευτικού νερού στις επόμενες καλλιεργητικές περιόδους.

Επίσης, επέφερε σοβαρές οικολογικές επιπτώσεις στη Θεσσαλία. Οι πλημμύρες προκάλεσαν διάβρωση, μεταφορά ρύπων και αλλοίωση των οικοσυστημάτων, λόγω κατολισθήσεων σε ορεινά ρέματα. Στη λίμνη Κάρλα οι συνθήκες αρχικά ευνόησαν την αναπαραγωγή ψαριών, ωστόσο η έλλειψη οξυγόνου από τον υπερπληθυσμό και τη ρύπανση οδήγησε σε μαζικούς θανάτους, με τα νεκρά ψάρια να καταλήγουν στον Παγασητικό κόλπο, προκαλώντας έντονη περιβαλλοντική και κοινωνική όχληση.

Η κακοκαιρία Ντάνιελ προκάλεσε σοβαρές διαταραχές στα θαλάσσια και χερσαία οικοσυστήματα της Θεσσαλίας. Καταγράφηκαν εκτεταμένες αλλαγές στη βιογεωχημική ισορροπία, με αυξημένα αιωρούμενα σωματίδια, ρύπανση από φυτοφάρμακα, φαρμακευτικά και PFAS, καθώς και μεταβολές στη βαθυμετρία και τη σύσταση ιζημάτων. Η μείωση οξυγόνου και οι ανισορροπίες θρεπτικών στον Παγασητικό κόλπο επιβάρυναν την οικολογική λειτουργία, ενώ οι αποθέσεις στις γεωργικές εκτάσεις επηρέασαν τα εδαφικά χαρακτηριστικά με πιθανή μείωση αποδόσεων. Το παράδειγμα αυτό αναδεικνύει τη σύνθετη και μακροχρόνια επίδραση ακραίων καιρικών φαινομένων στα περιβάλλοντα συστήματα.

Στη Θεσσαλία παρατηρείται μια σαφής αλλαγή χωρικού και παραγωγικού παραδείγματος. Το αρχικό μοντέλο ανάπτυξης, το οποίο βασιζόταν σε μια πιο συμβιωτική σχέση με το φυσικό περιβάλλον και χαρακτήριζε τις πλημμυρικές ζώνες από πολυλειτουργικές και σύνθετες χρήσεις γης, αντικαταστάθηκε σταδιακά από εκτεταμένες τεχνητές παρεμβάσεις, με στόχο την υποστήριξη της εκβιομηχάνισης της γεωργίας. Η μετάβαση αυτή συνοδεύτηκε από υπερεκμετάλλευση των φυσικών πόρων, ενισχύοντας τη χωρική και περιβαλλοντική ομογενοποίηση.

Σήμερα, το κυρίαρχο αυτό πρότυπο τίθεται υπό αμφισβήτηση, καθώς η καταστροφική πλημμύρα της καταιγίδας Ντάνιελ συνέβη σε μια περίοδο μακροχρόνιας οικονομικής κρίσης και συρρίκνωσης του αγροτικού πληθυσμού, δημιουργώντας ένα τοπίο έντονης αβεβαιότητας ως προς την επόμενη φάση του χωρικού μετασχηματισμού της περιοχής.

Η ανεπάρκεια των υφιστάμενων αντιπλημμυρικών έργων, καθώς και η εμμονή σε μοντέλα "γκρίζας υποδομής", αναδεικνύονται ως βασικοί παράγοντες που αύξησαν την τρωτότητα και την έκθεση της Θεσσαλίας σε κλιματικούς κινδύνους.

Μετά τις καταστροφικές πλημμύρες από την καταιγίδα Ντάνιελ το 2023, η ελληνική κυβέρνηση ανέθεσε στην ολλανδική εταιρεία HVA την εκπόνηση ενός Ολοκληρωμένου Σχεδίου Διαχείρισης Υδάτων για τη Θεσσαλία. Το Σχέδιο εστιάζει κυρίως στην προστασία του αγροτικού τομέα, αντιμετωπίζοντας ταυτόχρονα τους κινδύνους πλημμύρας και λειψυδρίας. Επισημαίνεται η υπερεκμετάλλευση των υπόγειων υδάτων, που έχει οδηγήσει σε υφαλμύριση, απειλώντας τη γεωργική παραγωγή. Το σχέδιο προτείνει νέα έργα υποδομής (μικρά και μεγάλα φράγματα, αναχώματα), θεσμοθέτηση νέου φορέα διαχείρισης, αλλαγή καλλιεργητικών πρακτικών και μετεγκατάσταση οικισμών υψηλής τρωτότητας.

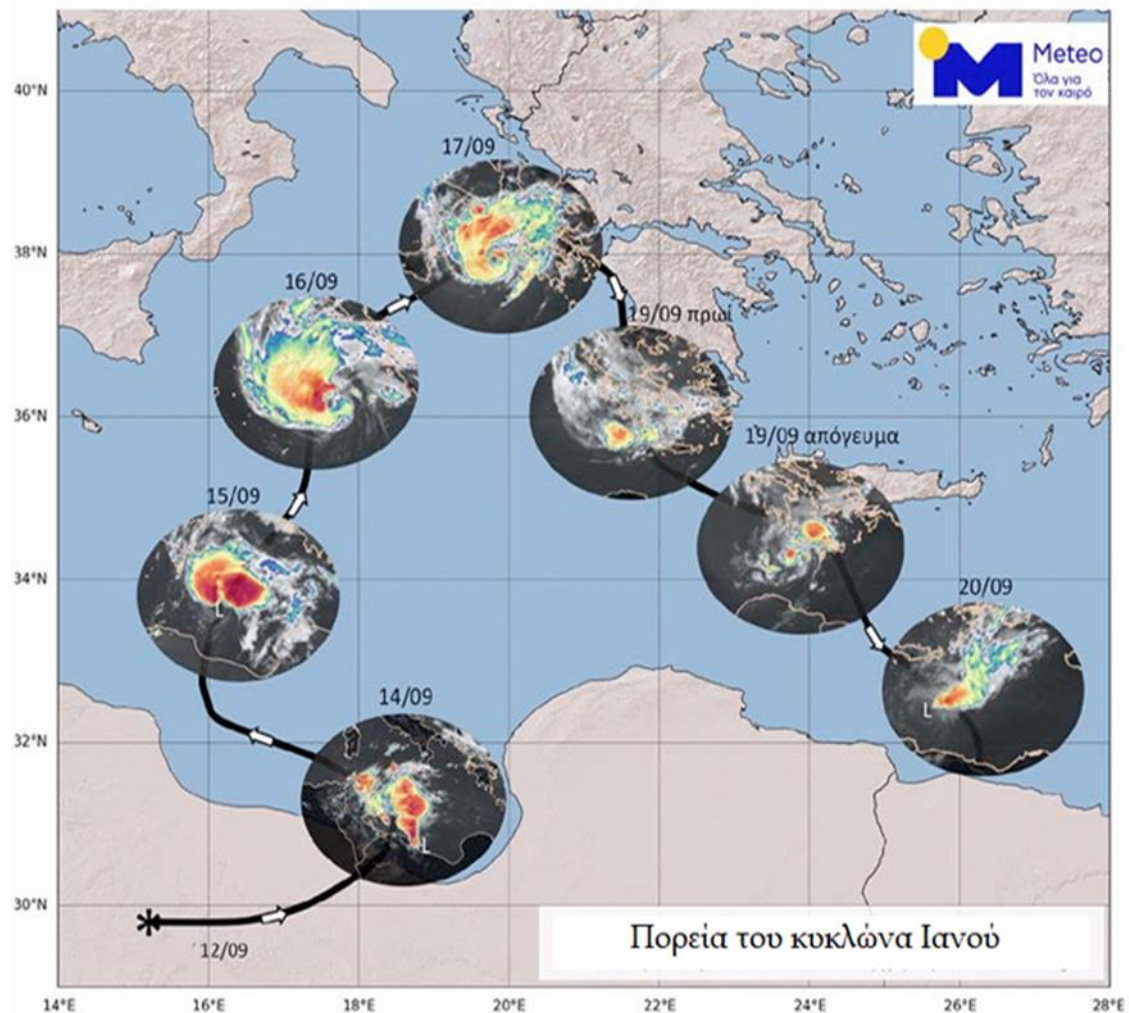
Τέλος, συστάθηκε ο Οργανισμός Διαχείρισης Υδάτων Θεσσαλίας (ΟΔΥΘ), μετά τον Ντάνιελ, ως ενιαίος Φορέας για την Προστασία και Ολοκληρωμένη Διαχείριση των Υδατικών Πόρων του Υποδατικού Διαμερίσματος Θεσσαλίας, με αρμοδιότητες: α) το συντονισμό και την εποπτεία έργων για τη διαχείριση των υδάτων και την αντιπλημμυρική προστασία, β) τη χορήγηση αδειών χρήσης ύδατος στην περιοχή, γ) το συντονισμό και τη συνεχή επίβλεψη της εφαρμογής των μέτρων προστασίας και διαχείρισης των υδάτων, δ) την εφαρμογή των δυνατών στρατηγικών για τη διαχείριση και προστασία των υδάτων αλλά και την εποπτεία τους, όπως το Σχέδιο Διαχείρισης Λεκανών Απορροής, το Σχέδιο Διαχείρισης Κινδύνων Πλυμμύρας και το Στρατηγικό Σχέδιο Έργων Αντιπλημμυρικής Προστασίας. Είναι ο μοναδικός στην Ελλάδα και πρωτοπόρος και θεσμοθετήθηκε με το Ν. 5106/2024 (ΦΕΚ Α' 63/1-5-2024).

3.4.2. Ο μεσογειακός κυκλώνας Ιανός (9/2020) και οι πλημμύρες στη Θεσσαλία και σε άλλες περιοχές

Όπως αναφέρθηκε, οι μεσογειακοί κυκλώνες (Medicanes) είναι μεσαίου μεγέθους κυκλώνες, που διαθέτουν κοινά δυναμικά γνωρίσματα με τους τροπικούς και έχουν συχνότητα εμφάνισης 1,5 περιπτώσεις το χρόνο. Χαρακτηρίζονται από ισχυρές βροχοπτώσεις, πλημμύρες, δυνατό άνεμο, υψηλά κύματα και φαινόμενα καταιγίδων (D'Adderio et al. 2022). Η δημιουργία του φυσικού αυτού φαινομένου εξαρτάται άμεσα από την σχέση μεταξύ της επιφάνειας της θάλασσας και της ατμόσφαιρας και, συγκεκριμένα, ενοείται όταν η θερμοκρασία της πρώτης είναι υψηλή, ενώ της δεύτερης σχετικά χαμηλή.

Ένας από τους πιο ιστορικούς και έντονους μεσογειακούς κυκλώνες που εκδηλώθηκε στην πατρίδα μας, ήταν ο κυκλώνας Ιανός. Δημιουργήθηκε στις 15 Σεπτεμβρίου 2020, λόγω της υψηλής θερμοκρασίας της θάλασσας, στην νότια περιοχή της Μεσογείου, στις

ακτές της Λιβύης. Στη συνέχεια, μετακινήθηκε και στις 17 Σεπτεμβρίου κατέφτασε στην βόρεια πλευρά επηρεάζοντας την νότια Ιταλία, την κεντρική Ελλάδα και, ιδιαίτερα τα ελληνικά νησιά του Ιονίου Πελάγους.



Σχήμα 3.4 Η πορεία του κυκλώνα Ιανού από 12 έως 20 Σεπτεμβρίου 2020 (τροποποιημένο από Lekkas et al. 2020).

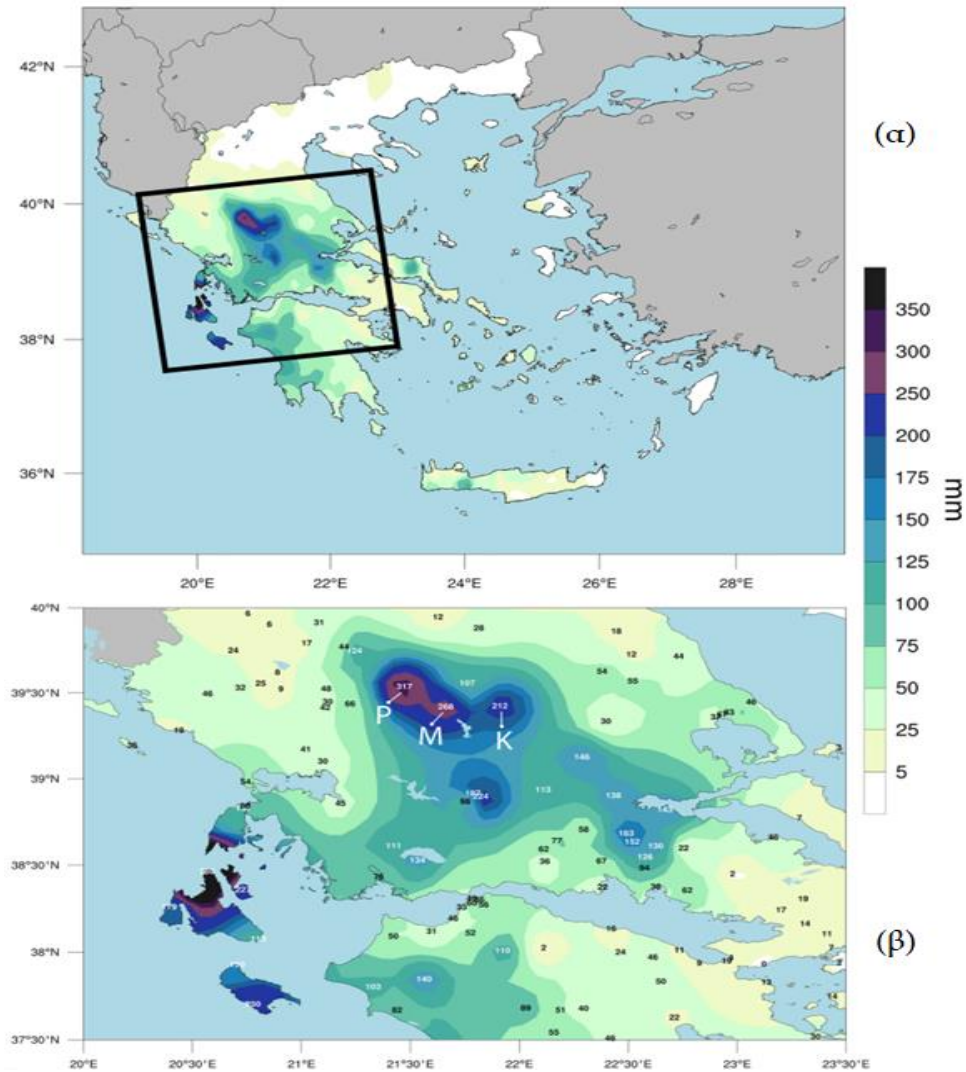
Κατά το διάστημα μεταξύ 17-18 Σεπτεμβρίου (48 ώρες), η συνολική ποσότητα βροχής στα Ιόνια νησιά, και συγκεκριμένα στην Κεφαλονιά και στη Ζάκυνθο, αναδείχθηκε σε 769 mm και 250 mm, αντίστοιχα. Από την άλλη, στην κεντρική Ελλάδα έφτασε τα 317 mm στο Περτούλι, τα 268 mm στο Μουζάκι και τα 212 mm στην Καρδίτσα (Σχ. 3.5) (Lagouvardos 2022), ενώ οι μετρήσεις βροχόπτωσης 15 ωρών έδειξαν τιμές από 220 mm

στην πόλη της Καρδίτσας έως 530 mm στον υδρομετρικό σταθμό του φράγματος Πλαστήρα (Tegos et al. 2022, Vasileiadis et al., 2022). Οι υψηλότερες βροχοπτώσεις εντοπίστηκαν στην περιοχή μεταξύ βόρειας Κεφαλονιάς και Ιθάκης, καθώς και στη νότια Λευκάδα, ενώ η Ζάκυνθος, η βόρεια Λευκάδα και η νότια Κεφαλονιά δέχθηκαν μικρότερες ποσότητες.

Στις 20 Σεπτεμβρίου 2020, η πλημμυρισμένη έκταση στην πεδιάδα της Θεσσαλίας εκτιμήθηκε σε 221,46 km². Την επόμενη ημέρα (21 Σεπτεμβρίου) το μέγεθος αυτό περιορίστηκε στα 53,38 km², δηλαδή περίπου 75% μικρότερο από την αρχική εκτίμηση, γεγονός που αποτυπώνει την ταχύτατη αποστράγγιση της περιοχής. Η μεγαλύτερη μείωση καταγράφηκε γύρω από την πόλη της Καρδίτσας και στο ανατολικό τμήμα της Θεσσαλικής πεδιάδας. Στις 22 Σεπτεμβρίου, δύο ημέρες μετά την αρχική εκτίμηση, η πλημμυρισμένη έκταση είχε περιοριστεί περαιτέρω, φτάνοντας τα 34,55 km².

Μεσογειακός Κυκλώνας	Έτος	Περίοδος	Διάρκεια (h)	Περιοχή	Ατμοσφαιρική Πίεση στο Κέντρο (hPa)
Ιανός	2020	15-21/09	117	Ν. Μεσόγειος	1000

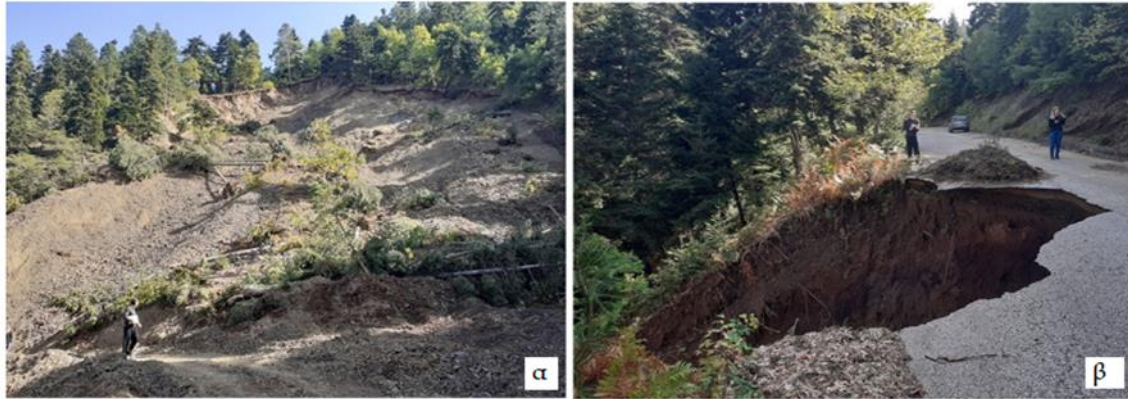
Πίνακας 3.1 Συνοπτική παρουσίαση του κυκλώνα Ιανού και βασικών χαρακτηριστικών του, περιλαμβάνοντας το έτος, τη χρονική περίοδο, τη διάρκεια, την περιοχή εμφάνισης και την ατμοσφαιρική πίεση στο κέντρο του.



Σχήμα 3.5 Συνολικό ύψος βροχόπτωσης για την περίοδο 17-19 Σεπτεμβρίου 2020 (α) στην Ελλάδα και (β) στην κεντρική Ελλάδα. Κατά τη διάρκεια των 48 ωρών, τα υψηλότερα ύψη βροχόπτωσης καταγράφηκαν στα Ιόνια Νησιά και στην κεντρική Ελλάδα, με τις μέγιστες τιμές να εντοπίζονται στο Περούλι (Π), το Μουζάκι (Μ) και την Καρδίτσα (Κ) (τροποποιημένο από Lagouvardos et al. 2022).

Οι τιμές αυτές ξεπέρασαν τα ιστορικά μέγιστα 24ωρα βροχόπτωσης στην Κεφαλονιά (192,6 mm σε διάστημα 63 ετών) και στη Ζάκυνθο (184,8 mm σε 43 χρόνια), με την ποσότητα στην Κεφαλονιά να προσεγγίζει τη μέση ετήσια βροχόπτωση του νησιού (812,3 mm). Παράλληλα, ο Ιανός συνοδεύτηκε από ανέμους επιπέδου τυφώνα, με ριπές

έως 54,2 m/s στην Κεφαλονιά και 42,0 m/s στη Ζάκυνθο, ξεπερνώντας τα προηγούμενα ιστορικά ρεκόρ (47 m/s).



Εικόνα 3.7 Περιτροφικές κατολισθήσεις στην ευρύτερη περιοχή του Αμαραντού Καρδίτσας. (α) κατολίσθηση φλύσχη δυτικά του χωριού Ίταμου, (β) κατολίσθηση αποσαθρωμένου φλύσχη που δημιουργεί ζημιά στο οδικό δίκτυο (τροποποιημένο από Valkaniotis et al. 2022).

Ο μεσογειακός κυκλώνας Ιανός προκάλεσε εκτεταμένες καταστροφές και σοβαρές κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις. Η έντονη βροχόπτωση σε συνδυασμό με τις κατολισθήσεις οδήγησαν σε εκτεταμένες πλημμύρες, οι οποίες είχαν ως αποτέλεσμα σημαντικές υλικές ζημιές (Εικ. 3.8) και ανθρώπινες απώλειες, μεταξύ των οποίων τέσσερις θάνατοι (Vasiliades et al. 2022) και πολλοί τραυματισμοί, κυρίως στην ηπειρωτική Ελλάδα. Στη Ζάκυνθο καταγράφηκαν σοβαρές ζημιές στο λιμάνι, ενώ στο Μουζάκι Θεσσαλίας δύο γέφυρες καταστράφηκαν ολοσχερώς. Το βασικό σιδηροδρομικό δίκτυο που συνδέει την Αθήνα με τη Θεσσαλονίκη διεκόπη στη Στερεά Ελλάδα, ενώ σε ορισμένες περιοχές η βροχόπτωση ξεπέρασε τα 140 mm/h (Arapostathis 2021).



Εικόνα 3.8 Αντιπροσωπευτικές εικόνες των επιπτώσεων στις υποδομές. Περιλαμβάνουν (α-β) γέφυρες που κατέρρευσαν στην Κεφαλονιά, (γ-δ) υποσκαφές οδοστρωμάτων στην Ιθάκη, (ε-στ) κατάρρευση οδοστρωμάτων στην Κεφαλονιά, (η) καθίζηση οδοστρώματος και (θ) ζημιές σε κτίρια (τροποποιημένο από Diakakis et al. 2023).

Στην Κεφαλονιά, οι καταστροφές περιλάμβαναν ζημιές στις παράκτιες υποδομές, όπως τα λιμάνια του Άσου και της Αγίας Ευφημίας, εκτεταμένη διάβρωση ακτών, κατολισθήσεις και πλημμύρες στην περιοχή Περατάτα της χερσονήσου Αργοστολίου, μετακινήσεις σκαφών, ζημιές σε κτίρια, δεκάδες πεσμένα δέντρα και εκτεταμένες διακοπές ρεύματος. Στην Ιθάκη και τη Ζάκυνθο, μεγάλα κύματα προκάλεσαν πλημμύρες στις παράκτιες οδούς και σε παραθαλάσσια χωριά, ενώ στην Ιθάκη μετακινήθηκαν μεγάλες ποσότητες αποσυντιθέμενης οργανικής ύλης, σχηματίζοντας αφρό που οι ισχυροί άνεμοι μετέφεραν μέχρι τις κατοικημένες περιοχές. Στη Ζάκυνθο, τα πεσμένα δέντρα προκάλεσαν ζημιές στο κοιμητήριο της Μπόχαλης. Στη Λευκάδα, πλημμύρισαν

τμήματα της πόλης, καταστράφηκαν σκάφη στα λιμάνια της Βασιλικής και του Νυδριού και το οδικό δίκτυο υπέστη σοβαρές ζημιές λόγω κατολισθήσεων.



Εικόνα 3.9 Αποθέσεις φερτών υλικών (α) στο χωριό Λιβαδιά και (β) σε ρέματα μεταξύ Πευκόφυτου και Βλάσι Καρδίτσας (τροποποιημένο από Valkaniotis et al. 2022).

Στις ηπειρωτικές περιοχές οι επιπτώσεις υπήρξαν ακόμη πιο έντονες, ιδιαίτερα στη Θεσσαλία. Στο Μουζάκι, εκτός από την κατάρρευση δύο γεφυρών, σημειώθηκε υπερχειλίση του ποταμού Πάμισου και μερική κατάρρευση του Κέντρου Υγείας λόγω εκτεταμένης διάβρωσης των θεμελίων. Στην Καρδίτσα, το 80% περίπου της πόλης πλημμύρισε εξαιτίας της υπερχειλίσης του ποταμού Καλέντζη και της κατάρρευσης αναχώματος στον ποταμό Καράμπαλη. Είκοσι γέφυρες κατέρρευσαν ή υπέστησαν σοβαρές ζημιές, ενώ το οδικό δίκτυο και μεγάλος αριθμός κατοικιών και επιχειρήσεων υπέστησαν εκτεταμένες καταστροφές. Η στάθμη του νερού ξεπέρασε το 1 μέτρο σε αρκετά σημεία, οδηγώντας σε απεγκλωβισμούς κατοίκων, ενώ παρασύρθηκαν οχήματα και μεγάλα αντικείμενα. Επιπλέον, διακόπηκε η ηλεκτροδότηση, η υδροδότηση και η τηλεφωνία, ενώ ο οικισμός Ρομά στη Μαύρικα και μέρος του χωριού Πρόδρομος εκκενώθηκαν, με 300 άτομα να απομακρύνονται με πλωτά μέσα (Lekkas et al. 2020). Στην περιοχή της Λίμνης Πλαστήρα, μεταβλήθηκε η κοίτη του ποταμού Πεζουλιώτη, καταστράφηκε η γέφυρα Κερασιάς, σημειώθηκαν εκτεταμένες κατολισθήσεις και

εμφανίστηκαν σημαντικά προβλήματα στο οδικό δίκτυο, με αποτέλεσμα δύο ανθρώπινες απώλειες.

Στα Τρίκαλα, η υπερχείλιση του ποταμού Πάμισου προκάλεσε πλημμύρες σε οδικό δίκτυο, κατοικίες και καταστήματα, εκτεταμένες ζημιές σε δρόμους (Νεοχωράκι-Νεράιδα, Ανάβρα) και αποκλεισμό χωριών, με μία ακόμη ανθρώπινη απώλεια. Στη Λάρισα και τα Φάρσαλα, μεγάλες εκτάσεις και κατοικίες πλημμύρισαν, το οδικό δίκτυο υπέστη σοβαρές βλάβες με κατολισθήσεις και καταγράφηκαν ζημιές σε αγροτικές εκτάσεις, καθώς και εκτεταμένες διακοπές ρεύματος και υδροδότησης. Στη Μαγνησία-Αλμυρό, καταστράφηκε εργοτάξιο δεξαμενής στον Ξηριά, τρεις εργαζόμενοι εγκλωβίστηκαν στο ποτάμι, ενώ κατέρρευσαν γέφυρες (Χολόρεμα) και σημειώθηκαν σοβαρά προβλήματα μετακινήσεων στο επαρχιακό δίκτυο.

Συνολικά, η Πυροσβεστική Υπηρεσία δέχθηκε περισσότερες από 1.000 κλήσεις για βοήθεια, πραγματοποιώντας 772 διασώσεις πολιτών, 870 αντλήσεις υδάτων και 40 κοπές δέντρων. Εκατοντάδες άνθρωποι εγκλωβίστηκαν σε λάσπες ή στα οχήματά τους, χιλιάδες κατοικίες πλημμύρισαν και εκατοντάδες κάτοικοι έμειναν άστεγοι, ενώ περίπου 3.000 επιχειρήσεις υπέβαλαν αιτήσεις για οικονομική ενίσχυση. Οι συνολικές οικονομικές απώλειες ανήλθαν σε περίπου 700 εκατομμύρια ευρώ, ενώ καταγράφηκαν και ασφαλισμένες ζημιές ύψους 31 εκατομμυρίων ευρώ, που αφορούσαν 2.453 οχήματα, σκάφη και κτίρια (Diakakis et al. 2023).

Η απειλή της κλιματικής αλλαγής, σε συνδυασμό με τον υψηλό κίνδυνο που διατρέχουν οι παράκτιες περιοχές της Μεσογείου - κομβικό σημείο εμπορίου, τουρισμού και μεταφορών - αναδεικνύουν την ανάγκη για εντατικότερη μελέτη των μεσογειακών κυκλώνων και των επιπτώσεών τους, όπως οι πλημμύρες. Η κατανόηση αυτών των φαινομένων είναι κρίσιμη για τη βελτίωση της πρόγνωσης, της διαχείρισης έκτακτων

περιστατικών και την ανάπτυξη στρατηγικών ανάκαμψης, επιτρέποντας στις αρμόδιες αρχές να αναθεωρούν πολιτικές, στρατηγικές και πολεοδομικά σχέδια.



Εικόνα 3.10 Ενδεικτικές εικόνες των επιπτώσεων του μεσογειακού κυκλώνα Ιανού: (α) στο ζωικό κεφάλαιο, (β) στο περιβάλλον, (γ) στα κτίρια, (δ) στο οδικό δίκτυο και σε οχήματα, (ε) σε αγροτικές εκτάσεις και (στ) στην πόλη της Καρδίτσας (τροποποιημένο από Lekkas et al. 2020).

3.4.3. Η κακοκαιρία Θάλεια (8/2020) και οι πλημμύρες σε Λαγκαδά και Εύβοια

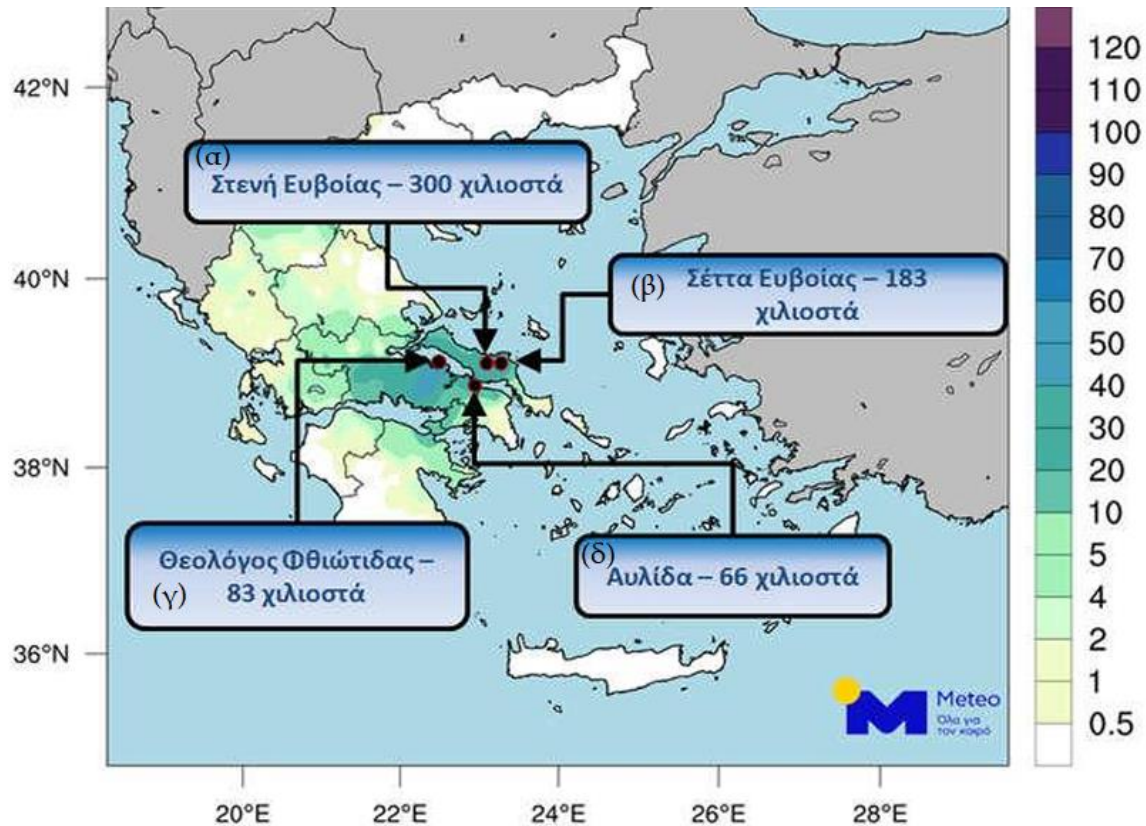
Ισχυρές βροχοπτώσεις και καταιγίδες εκδηλώθηκαν στην Ελλάδα στις αρχές Αυγούστου 2020, στο πλαίσιο του ακραίου μετεωρολογικού φαινομένου «Θάλεια». Τα φαινόμενα κορυφώθηκαν κατά τη διάρκεια της νύχτας της 7ης προς 8η Αυγούστου, όταν η περιοχή του Λαγκαδά Θεσσαλονίκης επλήγη από εξαιρετικά έντονη βροχόπτωση. Ο

μετεωρολογικός σταθμός του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών κατέγραψε 78 mm σε διάστημα περίπου 3,5 ωρών και συνολικά 90-91 mm έως το πρωί της 7ης Αυγούστου, με την έντονη δραστηριότητα να εκτείνεται από 00:50 έως 04:20 (ώρα Ελλάδας). Οι συνθήκες αυτές προκάλεσαν εκτεταμένα προβλήματα στην περιοχή, οδηγώντας στην κήρυξη του Δήμου Λαγκαδά σε κατάσταση έκτακτης ανάγκης. Παράλληλα, σε άλλες περιοχές, όπως η Κύμη Ευβοίας και η Σίνδος, καταγράφηκαν 43 mm και 42 mm αντίστοιχα (https://www.meteo.gr/article_view.cfm?entryID=1443).

Τη νύχτα της 8ης Αυγούστου 2020, το ίδιο σύστημα συνέχισε να επηρεάζει τη χώρα και είχε καταστροφικές συνέπειες στην Εύβοια. Η βροχόπτωση, η οποία συνδέεται με βαρομετρικό χαμηλό που κινήθηκε ανατολικά από τη βορειοανατολική Αδριατική Θάλασσα και το Ιόνιο Πέλαγος, διήρκεσε περίπου οκτώ ώρες, έως τις πρωινές ώρες της 9ης Αυγούστου. Ο μετεωρολογικός σταθμός της Στενής κατέγραψε 75 mm από τις 23:20 έως τις 02:40, 24 mm από τις 02:40 έως τις 03:30 και 200 mm από τις 03:30 έως τις 07:30, με συνολικό ύψος βροχόπτωσης περίπου 300 mm σε μόλις οκτώ ώρες, ενώ γειτονικοί σταθμοί κατέγραψαν σημαντικά μικρότερες ποσότητες (Σχ. 3.6) (Lakidi et al. 2025, Spyroy et al. 2025, Karkani et al. 2021).

Η ξαφνική και έντονη βροχόπτωση προκάλεσε υπερχείλιση των κυριότερων ποταμών της κεντρικής Εύβοιας, του Λήλαντα, του Μεσσάπιου και του ρέματος των Πολιτικών, με αποτέλεσμα την εκτεταμένη κατάκλυση περιοχών της κεντρικής Εύβοιας. Οι ανθρώπινες παρεμβάσεις, όπως αυθαίρετες κατασκευές κατά μήκος των ποταμών, περιόρισαν τη φυσική ροή των υδάτων, ενώ τα υφιστάμενα αντιπλημμυρικά έργα δεν επαρκούσαν για την αντιμετώπιση των αυξημένων υδραυλικών φορτίων. Επιπλέον, οι εναποθέσεις ιζήματος από προηγούμενα πλημμυρικά επεισόδια μετακινήθηκαν,

μειώνοντας την ικανότητα των ποταμών να διαχειριστούν τον όγκο των υδάτων και ενισχύοντας την ένταση των πλημμυρικών φαινομένων.



Σχήμα 3.6 Συνολικό ύψος βροχής στους μετεωρολογικούς σταθμούς (α) Στενής Εύβοιας (300 mm), (β) Σέττας Εύβοιας (183 mm), (γ) Θεολόγου Φθιώτιδας (83 mm) και (δ) Αυλίδας (66 mm) (τροποποιημένο από meteo.gr/articleview.cfm?id=1445).

Οι συνέπειες του γεγονότος υπήρξαν σοβαρές, τόσο σε ανθρώπινο όσο και σε οικονομικό επίπεδο. Καταγράφηκαν οκτώ θάνατοι, ενώ περισσότερες από 2500 κατοικίες και πολυάριθμες επιχειρήσεις υπέστησαν εκτεταμένες ζημιές (Mazarakis et al. 2025). Μεγάλες εκτάσεις γεωργικής γης καταστράφηκαν ολοκληρωτικά, γεγονός που επέτεινε τις κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις στην τοπική κοινότητα. Οι υποδομές της περιοχής επλήγησαν σημαντικά, με χαρακτηριστικές επιπτώσεις την κατάρρευση γεφυρών, τη βλάβη τμημάτων του οδικού δικτύου, εκτεταμένες ζημιές στο ηλεκτρικό δίκτυο και δυσλειτουργία μεγάλου μέρους του συστήματος ύδρευσης.



Εικόνα 3.11 Επιπτώσεις από την κακοκαιρία Θάλεια στην Εύβοια: εκτεταμένες καταστροφές σε οικισμούς, κατεστραμμένα περιουσιακά στοιχεία (Σπυριδάκης 2020).



Εικόνα 3.12 Εκτεταμένες ζημιές στην γέφυρα Αφρατίου από τα ορμητικά νερά του Λήλαντα (Σπυριδάκης 2020).



Εικόνα 3.13 Καταστροφικές συνέπειες της κακοκαιρίας Θάλεια στην Εύβοια: πλημμυρικά φαινόμενα με εκτεταμένες ζημιές σε κατοικίες και οχήματα (Σπυριδάκης 2020).

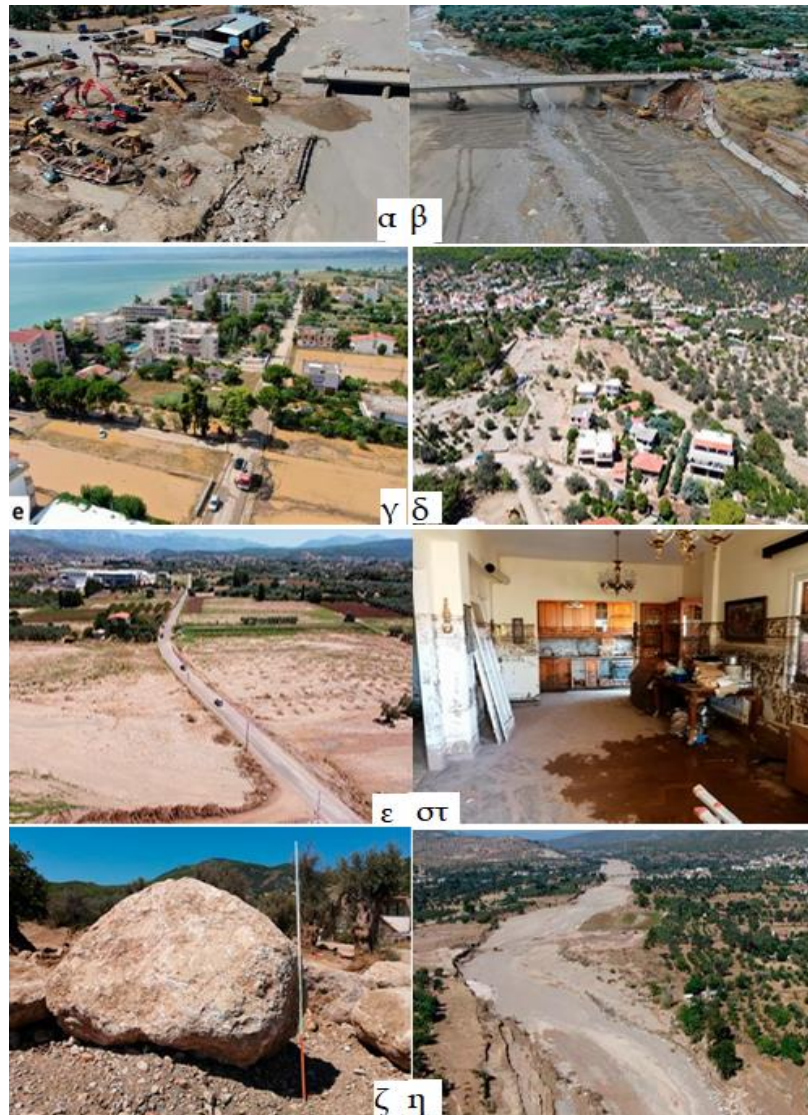
Το πλημμυρικό επεισόδιο είχε επίσης σημαντικό αντίκτυπο στη γεωμορφολογία της περιοχής. Παρατηρήθηκε έντονη διάβρωση κατά μήκος της κοίτης του ποταμού Λήλαντα, με τοπική μετατόπιση της φυσικής πορείας, μείωση της ικανότητας χειρισμού μελλοντικών ροών και σοβαρή βλάβη στις γέφυρες. Η ακτογραμμή υπέστη εκτεταμένη διάβρωση, τροποποιώντας το φυσικό τοπίο και απειλώντας τα παράκτια οικοσυστήματα. Οι αγροτικές εκτάσεις υπέστησαν σημαντικές απώλειες, ενώ μεγάλα δέντρα ξεριζώθηκαν, επηρεάζοντας την οικολογική ισορροπία και αυξάνοντας τον κίνδυνο μελλοντικής διάβρωσης.

Το φαινόμενο επηρέασε έντονα τους οικισμούς των Ψαχνών και της Καστέλλας, όπου η ροή του Μεσσάπιου ποταμού περιορίστηκε από ανθρώπινες κατασκευές. Οι μέγιστες

στάθμες νερού (γραμμή λάσπης και φερτών υλικών) κυμάνθηκαν από 1 έως 2 μέτρα, ενώ η περιοχή των εκβολών διευρύνθηκε λόγω του σχηματισμού του δέλτα του ποταμού. Στο ρέμα των Πολιτικών, παρότι το δίκτυο αποστράγγισης είναι περιορισμένο, η πλημμύρα προκάλεσε εξίσου σημαντικές ζημιές. Ο συνδυασμός έντονης βροχόπτωσης, υψηλών κλίσεων ανάντη, των πυρκαγιών του 2019 και της περιορισμένης κοίτης κατά μήκος του οικισμού προκάλεσαν κατολισθήσεις και ύψος νερού άνω των 2 μέτρων, καταστροφή δρόμων, γεφυρών και καλλιεργειών κοντά στις εκβολές.

Η πλημμύρα μετέφερε κινητά αντικείμενα κάθε μεγέθους – από προσωπικά αντικείμενα έως βαρέα μηχανήματα – επιδεινώνοντας τις οικονομικές ζημιές και περιορίζοντας την αποκατάσταση των υποδομών. Οι επιπτώσεις ανέδειξαν την αλληλεξάρτηση των ζημιών, όπου η κατάρρευση των υποδομών πολλαπλασίασε τις απώλειες σε άλλους τομείς, όπως η γεωργία και οι μεταφορές, υπογραμμίζοντας την ανάγκη για ολοκληρωμένη και διεπιστημονική διαχείριση του πλημμυρικού κινδύνου.

Επιπλέον, το γεγονός συνέβη κατά την έναρξη του δεύτερου κύματος της πανδημίας COVID-19, αναδεικνύοντας τις προκλήσεις στον συντονισμό των έκτακτων μέτρων και τη διαχείριση ταυτόχρονων υδρομετεωρολογικών και βιολογικών κινδύνων, χωρίς ωστόσο να παρατηρηθεί αύξηση των κρουσμάτων κατά την περίοδο μετά την καταστροφή.



Εικόνα 3.14 Επιπτώσεις του ακραίου μετεωρολογικού φαινομένου «Θάλεια». (α) Ζημιές σε οχήματα και βαρέα μηχανήματα, τα οποία παρασύρθηκαν από τα νερά στην περιοχή Αφράτη της Εύβοιας, (β) διάβρωση της κοίτης του ποταμού και καταστροφή έργων προστασίας στον οικισμό Βασιλικό, (γ) πλημμύρα οδικών δικτύων και αγροτεμαχίων στον οικισμό Λευκάντι, (δ) εκτεταμένες ζημιές στον οικισμό Πολιτικών, (ε) σημαντικές απώλειες σε γεωργικές εκτάσεις στα Ψαχνά, (στ) ζημιές σε περιουσιακά στοιχεία, (ζ) μεταφορά ογκόλιθου διαμέτρου άνω των 2 m στην περιοχή των Πολιτικών, και (η) εκτεταμένες επιπτώσεις κατά μήκος της κοίτης του ποταμού Λήλαντα (τροποποιημένο από Spyrou et al. 2025, Karkani et al. 2021).

3.4.4. Η πλημμύρα (11/2019) στην Χαλκιδική

Η Χαλκιδική αποτελεί την πιο ευάλωτη περιοχή σε πλημμυρικά φαινόμενα και για αυτό εμφανίζει την μεγαλύτερη συχνότητα αυτών. Στη διάρκεια της περιόδου 21-22 Νοεμβρίου 2019 η περιοχή της Ολυμπιάδας στην ανατολική Χαλκιδική υπέστη εκ νέου αιφνίδια πλημμύρα, η οποία επέφερε σημαντική κοινωνικοοικονομική επιβάρυνση. Οι καταγραφές κάνουν λόγο για εκτεταμένες ζημιές σε 103 κτίρια και 12 οχήματα, απώλειες σε καλλιεργήσιμες εκτάσεις, καταστροφές σε τμήματα του οδικού δικτύου (Εικ. 3.15, Εικ. 3.16) και άλλων υποδομών, καθώς και για σοβαρές βλάβες στα τηλεπικοινωνιακά και ηλεκτρικά δίκτυα της περιοχής (Kastridis et al. 2020).



Εικόνα 3.15 Επιπτώσεις της πλημμύρας στο οδικό δίκτυο της Ολυμπιάδας Χαλκιδικής (<https://www.ekathimerini.com/multimedia/images/246799/flooding-damages-roads-in-halkidiki/>).

Ο οικισμός της Ολυμπιάδας είναι εγκατεστημένος σε ζώνη που επηρεάζεται από τα πλημμυρικά φαινόμενα των χειμάρρων Μπασδέκη και Πετρόλακκου, οι οποίοι εκβάλλουν στον Στρυμονικό κόλπο, στην ανατολική χερσόνησο της Χαλκιδικής. Ο χείμαρρος Μπασδέκης καλύπτει λεκάνη απορροής έκτασης 29,81 km², ενώ ο

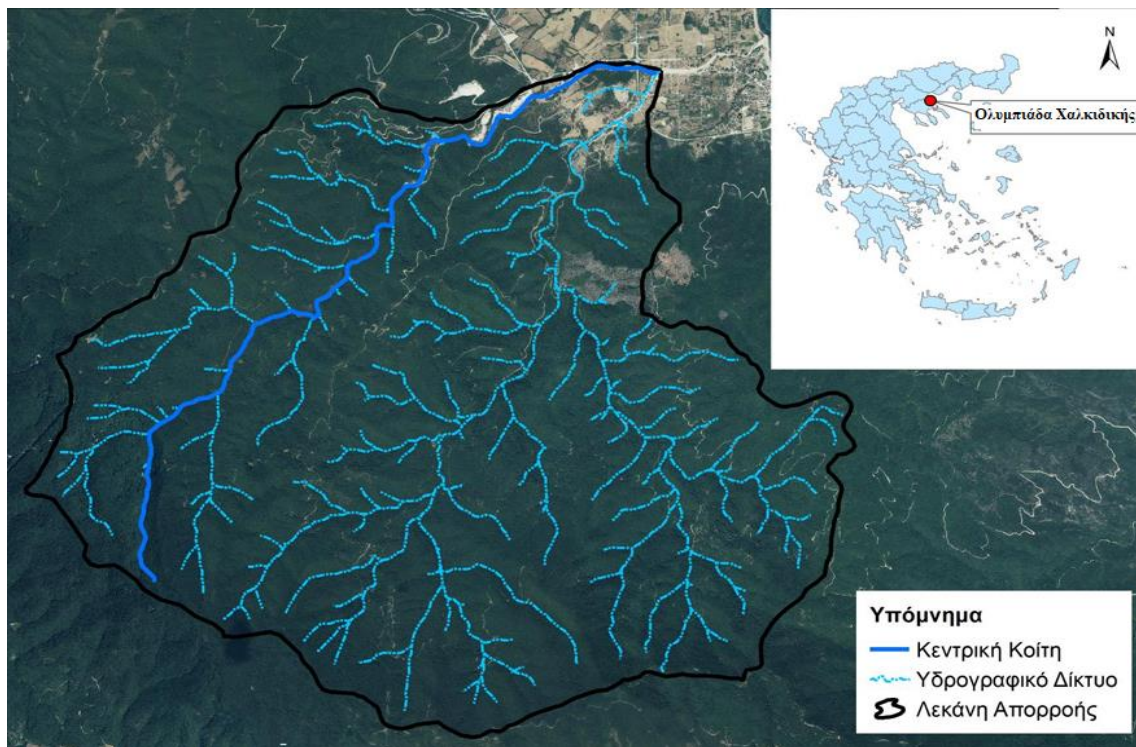
Πετρόλακκος είναι μικρότερης κλίμακας, με επιφάνεια 1,64 km². Τα τελευταία χρόνια στην περιοχή έχουν ανεγερθεί νέα κτίσματα και έχουν διαμορφωθεί καλλιεργήσιμες εκτάσεις στο πλαίσιο της ενίσχυσης της τουριστικής δραστηριότητας, γεγονός που αλλοίωσε σε σημαντικό βαθμό τη φυσική μορφολογία και τα χαρακτηριστικά της. Η εντατική αστικοποίηση προκάλεσε μεταβολές στη φυσική απορροή των υδάτων, αυξάνοντας την τρωτότητα της περιοχής έναντι πλημμυρικών επεισοδίων. Σημειώνεται ότι τα δύο ρέματα έχουν παρουσιάσει πλημμυρικά φαινόμενα και στο παρελθόν (Οκτώβριος 2006, Φεβρουάριος 2010, Σεπτέμβριος 2011, Οκτώβριος και Δεκέμβριος 2014). Η μέση ετήσια βροχόπτωση ανέρχεται σε 691,2 mm, με τιμές που κυμαίνονται από 442,8 mm έως 1038,6 mm, ενώ ο Οκτώβριος εμφανίζει τη μεγαλύτερη συγκέντρωση υετού, φθάνοντας τα 108,8 mm (Kastridis et al. 2020).



Εικόνα 3.16 Καταστροφή τμήματος του οδικού δικτύου Ολυμπιάδας Χαλκιδικής (<https://halkidikivoice.gr/halkidiki/item/6074-provlhmata-apo-plhmmmyrika-fainomena-olympiada>).

Το ακραίο φαινόμενο βροχόπτωσης που προκάλεσε την πλημμύρα διήρκησε 17 ώρες, από τις 23:00 της 21ης Νοεμβρίου έως τις 15:00 της 22ας Νοεμβρίου 2019. Το συνολικό

ύψος βροχής έφτασε τα 174,4 mm (περίοδος επαναφοράς 40 ετών), εκ των οποίων τα 122,4 mm σημειώθηκαν σε μόλις 7 ώρες (07:00–13:00). Η μέγιστη ωριαία ένταση καταγράφηκε μεταξύ 11:20 και 12:20 με 47,9 mm/ώρα. Το καταιγιδοφόρο μέτωπο κινήθηκε από τις πηγές των χειμάρρων προς την ακτογραμμή (από τα δυτικά προς τα ανατολικά), σχεδόν παράλληλα με τη ροή του Μπασδέκη, γεγονός που επιτάχυνε τη συγκέντρωση των υδάτων. Τρία κύρια κύματα βροχόπτωσης καταγράφηκαν: το πρώτο μεταξύ 23:00 και 00:00 (μέγιστη ένταση 20,5 mm/ώρα), το δεύτερο μεταξύ 06:00 και 07:00 (21,4 mm/ώρα) και το τρίτο μεταξύ 11:20 και 12:20 (47,9 mm/ώρα), με τη μεγαλύτερη συνολική βροχόπτωση σε διάστημα δύο ωρών να φτάνει τα 69,7 mm (10:20–12:20) (Kastridis et al. 2020).



Σχήμα 3.7 Λεκάνη απορροής (μαύρη γραμμή), υδρογραφικό δίκτυο (γαλάζια γραμμή) και κεντρική κοίτη (έντονο μπλε) του χειμάρρου Μπασδέκη (τροποποιημένο από Στεφανίδης και συν. 2020).

Η τοπογραφία της πλημμυρικής πεδιάδας στην περιφέρεια του οικισμού ενισχύει την ένταση του φαινομένου. Συγκεκριμένα, η απότομη μείωση της κλίσης της κύριας κοίτης προκαλεί μείωση της ταχύτητας του νερού, ευνοώντας την ταχεία απόθεση φερτών υλικών και περιορίζοντας την αποστραγγιστική ικανότητα του ρέματος. Αυτό έχει ως συνέπεια την επιδείνωση του πλημμυρικού κινδύνου στην περιοχή μελέτης. Σημαντικό πρόβλημα αποτελεί επίσης η διέλευση του Πετρόλακκου περίπου 200 μέτρα πριν από την ακτογραμμή μέσα από κλειστό οχετό, ο οποίος διέρχεται κάτω από τον οικισμό της Ολυμπιάδας. Οι διαστάσεις του συγκεκριμένου τεχνικού έργου είναι ανεπαρκείς, γεγονός που ενισχύει τον κίνδυνο εκδήλωσης πλημμυρών και καθιστά τον οικισμό ιδιαίτερα ευάλωτο.

Οι μετεωρολογικές αναλύσεις της περιόδου κατέδειξαν τη διαμόρφωση ενός βαρομετρικού χαμηλού στην κεντρική Μεσόγειο, το οποίο προκάλεσε εκτεταμένες ατμοσφαιρικές διαταραχές με επίδραση στον ελλαδικό χώρο. Στο πλαίσιο αυτό, αναπτύχθηκε θερμό μέτωπο πάνω από το Ιόνιο Πέλαγος, το οποίο αρχικά κινήθηκε προς τον βορρά, προκαλώντας έντονες βροχοπτώσεις, και στη συνέχεια, συνοδευόμενο από ψυχρό μέτωπο, μετατοπίστηκε ανατολικά. Ο συνδυασμός των ατμοσφαιρικών αυτών συνθηκών με τη μορφολογία της περιοχής της Ολυμπιάδας ευνόησε την εκδήλωση ισχυρών και παρατεταμένων βροχοπτώσεων (Giannaros et al. 2022).

3.4.5. Το χαμηλό βαρομετρικό “Ευρυδίκη” και οι πλημμύρες στη Δυτική Αττική (11/2017)

Η πλημμύρα στη Δυτική Αττική εκδηλώθηκε τις πρωινές ώρες της 15^{ης} Νοεμβρίου 2017, επηρεάζοντας κυρίως τις πόλεις της Μάνδρας, Μαγούλας, της Νέας Περάμου και της Ελευσίνας, με τη Μάνδρα να υφίσταται τις μεγαλύτερες ανθρώπινες και οικονομικές

απώλειες. Το φαινόμενο συνδέθηκε με το βαρομετρικό χαμηλό «Ευρυδίκη». Την 14η Νοεμβρίου, περίπου στις 20:00, ξεκίνησε έντονη βροχόπτωση στην ορεινή περιοχή δυτικά της Μάνδρας, η οποία συνεχίστηκε καθ' όλη τη διάρκεια της νύκτας.

Σύμφωνα με τους Soulios et al. (2018), η συνολική διάρκεια της βροχόπτωσης ήταν περίπου 7 ώρες, με μέγιστη τιμή 47 mm/h. Το συνολικό ύψος κυμάνθηκε από 154,6-166 mm στο βόρειο κομμάτι του ρέματος Σουρές, ενώ στη νότια πλευρά του και σε σχεδόν όλη την έκταση του ρέματος της Αγίας Αικατερίνης, βρέθηκε μεταξύ 138,4 – 154,7 mm. Το συνολικό ύψος βροχόπτωσης υπολογίζεται στα 300 mm, έναντι της μέσης ετήσιας τιμής 373 mm και μέσης βροχόπτωσης Νοεμβρίου 59 mm.

Τις πρωινές ώρες της 15^{ης} Νοεμβρίου, περίπου στις 07:00, ένα ταχέως εξελισσόμενο πλημμυρικό κύμα προσέκρουσε στην πόλη της Μάνδρας, προκαλώντας σημαντικές ζημιές στις υποδομές και ανθρώπινες απώλειες. Η καταιγίδα που προκάλεσε την αιφνίδια αυτή πλημμύρα χαρακτηριζόταν από περιορισμένη χρονική διάρκεια και έντονη, τοπικά διαφοροποιημένη βροχόπτωση, χαρακτηριστικά που αποτελούν τυπικά γνωρίσματα των καταιγίδων που ευθύνονται για την εκδήλωση πλημμυρικών φαινομένων αιφνίδιας μορφής (flash floods) στη Μεσογειακή λεκάνη. Η αιφνίδια εκδήλωση της πλημμύρας είχε ως συνέπεια τον θάνατο 24 ατόμων και τον τραυματισμό άλλων 24 (Diakakis et al. 2020), ενώ επηρέασε περίπου το 80% της Μάνδρας (Mitsopoulos et al. 2022). Παρά το γεγονός ότι οι περισσότερες ανθρώπινες απώλειες καταγράφηκαν στην πόλη της Μάνδρας, τέσσερις θάνατοι σημειώθηκαν σε περιοχές κοντά στη βόρεια ακτή του Κόλπου της Ελευσίνας. Συγκεκριμένα, δύο άνδρες ηλικίας 28 και 58 ετών εντοπίστηκαν στο στόμιο του Σαρανταπόταμου, ένας άνδρας 50 ετών στη θαλάσσια περιοχή κοντά στο λιμάνι της Ελευσίνας, και ένας άνδρας 80 ετών βρέθηκε νεκρός μπροστά από τις

εγκαταστάσεις της Ελληνικής Πετρελαϊκής Εταιρείας (HELPE) στον Ασπρόπυργο, υπό αδιευκρίνιστες συνθήκες (Kanellorou et al. 2020).

Επιπλέον, καταγράφηκαν εκτεταμένες ζημιές σε υποδομές, κατοικίες, επαγγελματικούς χώρους, αποθηκευτικούς χώρους, δημόσια κτίρια και οχήματα, καθώς και σημαντικές επιπτώσεις στο παράκτιο και θαλάσσιο περιβάλλον. Ενδεικτικά, μόνο στην πόλη της Μάνδρας καταστράφηκαν ολοσχερώς 94 κατοικίες, 126 επαγγελματικοί χώροι, 8 δημόσια κτίρια και 136 αποθήκες και υπόγεια (Varela et al. 2025).



α



Ε β 3.17 (α) Βιομηχανική περιοχή της Μάνδρας και (β) εθνική οδός Νέας Περάμου στις 15 Νοεμβρίου 2017 (Lekkas et al 2017).

Η περιοχή της Μάνδρας, η οποία βρίσκεται στους πρόποδες του Όρους Πατέρα, διασχίζεται από τα ρέματα της Αγίας Αικατερίνης και του Σούρες, τα οποία εκβάλλουν στον Σαρανταπόταμο ποταμό. Η έντονη βροχόπτωση προκάλεσε κορεσμό του εδάφους και σημαντική διάβρωση, με συσσώρευση ιζημάτων στα ρέματα, γεγονός που ενίσχυσε τη μεταφορά μεγάλου όγκου υλικών και αντικειμένων προς τις αστικές και βιομηχανικές περιοχές. Το πρώτο κύμα πλημμύρας εμφανίστηκε δυτικά της Μάνδρας περίπου στις 07:00 και, μέσω της συμβολής των δύο ρεμάτων και των αποστραγγιστικών υποδομών της Εθνικής Οδού Ε94 (Αττική Οδός), προκάλεσε υπερχειλίση των αντιπλημμυρικών έργων και εκτεταμένη μεταφορά υδάτων προς τα κατάντη (Ntigkakis 2018). Η ταχεία και έντονη εναπόθεση ιζήματος στις παραλιακές ζώνες, ιδίως στον Κόλπο της Ελευσίνας, φαίνεται ότι επηρέασε σημαντικά το θαλάσσιο οικοσύστημα, περιορίζοντας τη φωτοσύνθεση και θάβοντας τις βενθικές κοινότητες. Η ήδη επιβαρυνόμενη περιβαλλοντική κατάσταση του Κόλπου, ο οποίος παρουσιάζει παρατεταμένες υποξικές και ανοξικές συνθήκες και υπόκειται σε έντονη βιομηχανική ρύπανση, επιδεινώθηκε περαιτέρω από το αιφνίδιο πλημμυρικό επεισόδιο του Νοεμβρίου 2017 (Kanellopoulos et al. 2020).

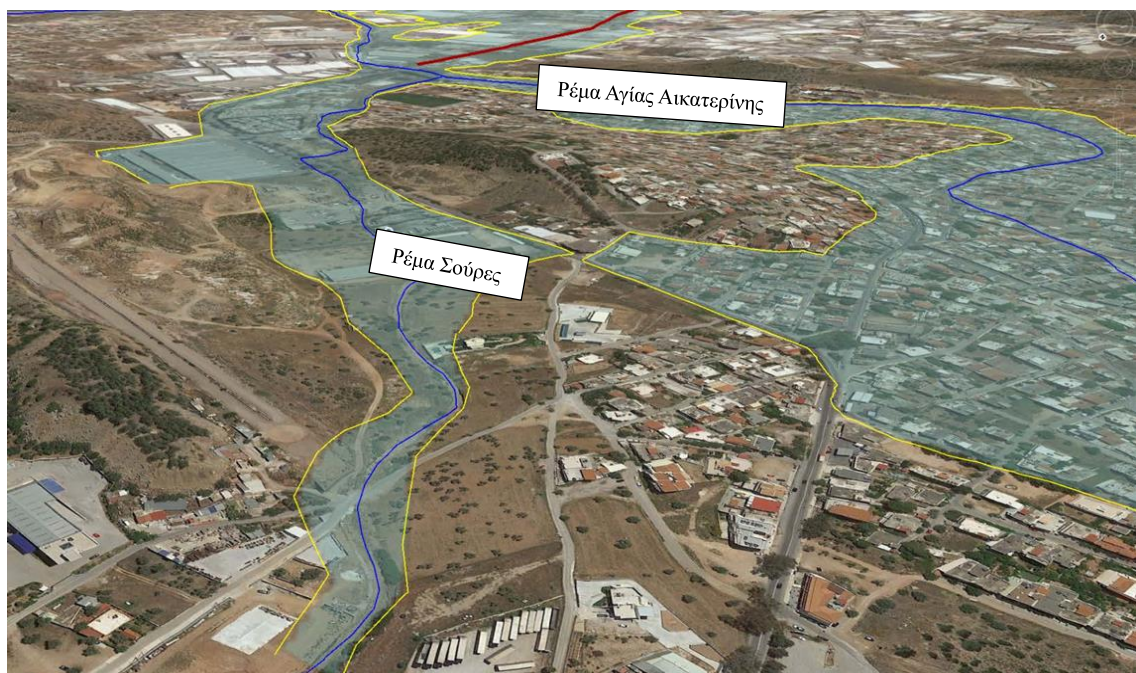
Επιπρόσθετα, οι ανθρωπογενείς τροποποιήσεις στη μορφολογία των ρεμάτων, όπως η άναρχη δόμηση, οι οδικές κατασκευές χωρίς πρόβλεψη αντιπλημμυρικής προστασίας και η στένωση της κοίτης, περιόρισαν τη φυσική ροή των υδάτων, αυξάνοντας την τρωτότητα της περιοχής ακόμη και σε σχετικά χαμηλές παροχές. Σε απόκριση στο καταστροφικό αυτό επεισόδιο, οι αρμόδιες κρατικές αρχές σχεδίασαν και υλοποίησαν αντιπλημμυρικά έργα, η κατασκευή των οποίων ξεκίνησε το 2018 και ολοκληρώθηκε το 2021.



Εικόνα 3.18 Οδικό δίκτυο Μάνδρας-Ελευσίνας στις 15 Νοεμβρίου 2017 (Lekkas et al. 2017).

Οι συνέπειες της πλημμύρας δεν περιορίστηκαν μόνο στο φυσικό και υλικό περιβάλλον, αλλά επηρέασαν σημαντικά και την ψυχική υγεία των επιζώντων. Σύμφωνα με τους Varela et al. (2025), τέσσερα χρόνια μετά το περιστατικό, παρατηρήθηκε αύξηση σε συμπτώματα μετατραυματικού στρες και κατάθλιψης, καθώς και υψηλότερα ποσοστά αυτοαναφερόμενης σωματοποίησης, άγχους, καταναγκαστικών συμπεριφορών, εχθρότητας, παρανοϊκών ιδεών και ψυχωτισμού. Αντίθετα, τα συμπτώματα απεξανομίκευσης ήταν σπάνια. Το ποσοστό εμφάνισης μετατραυματικού στρες έφτασε το 41%. Επιπλέον, η ανάλυση των χαρακτηριστικών προσωπικότητας μέσω Ανάλυσης Κανονικής Συσχέτισης (Canonical Correlation Analysis, CCA) έδειξε ότι η

νευρωτικότητα συνδέεται με υψηλότερα επίπεδα ψυχολογικής δυσφορίας, υποδεικνύοντας ότι αποτελεί σημαντικό παράγοντα κινδύνου, ενώ η εξωστρέφεια φαίνεται να λειτουργεί προστατευτικά απέναντι σε συμπτώματα τραύματος. Ο ψυχωτισμός παρουσίασε πιο σύνθετα μοτίβα, πιθανόν σχετιζόμενα με την εξωτερίκευση των αντιδράσεων στο τραύμα ή με συναισθηματική αποστασιοποίηση, γεγονός που μπορεί να μειώνει την ανίχνευση παραδοσιακών δεικτών δυσφορίας.



Εικόνα 3.19 Πλημμυρικές ζώνες ρέματος Σούρες και Αγίας Αικατερίνης (τροποποιημένο Lekkas et al. 2017).



Εικόνα 3.20 Επιπτώσεις της πλημμύρας στη Δυτική Αττική (2017). (α,δ) Ζημιές σε κατοικίες στη Νέα Πέραμο στις 15/11/2017 (β) ρύπανση στην παράκτια ζώνη της Ελευσίνας (γ) ρεύμα από λάσπη στις 16/11/2017 (Lekkas et al. 2017).

4. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ

Οι ξαφνικές πλημμύρες αποτελούν ένα φυσικό φαινόμενο που συνιστούν αναπόσπαστο κομμάτι του υδρολογικού κύκλου και οφείλονται σε μια σειρά από φυσικούς και ανθρωπογενείς παράγοντες. Στις φυσικές αιτίες συμπεριλαμβάνονται οι έντονες βροχοπτώσεις, η γεωμορφολογία της λεκάνης απορροής, καθώς και τα υδρογραφικά δίκτυα. Οι προαναφερόμενες σε συνδυασμό με την ανθρώπινη επίδραση, δηλαδή τις παρεμβάσεις, την χρήση της γης και την ανθρωπογενή κλιματική αλλαγή, επηρεάζουν την επιφανειακή απορροή. Στον ελλαδικό χώρο, κύρια αφορμή εμφάνισης πλημμυρών αποτελεί η αστικοποίηση, λόγω των αλλαγών που σημείωσε στις πλημμυρικές περιοχές (Kastridis et al. 2020).

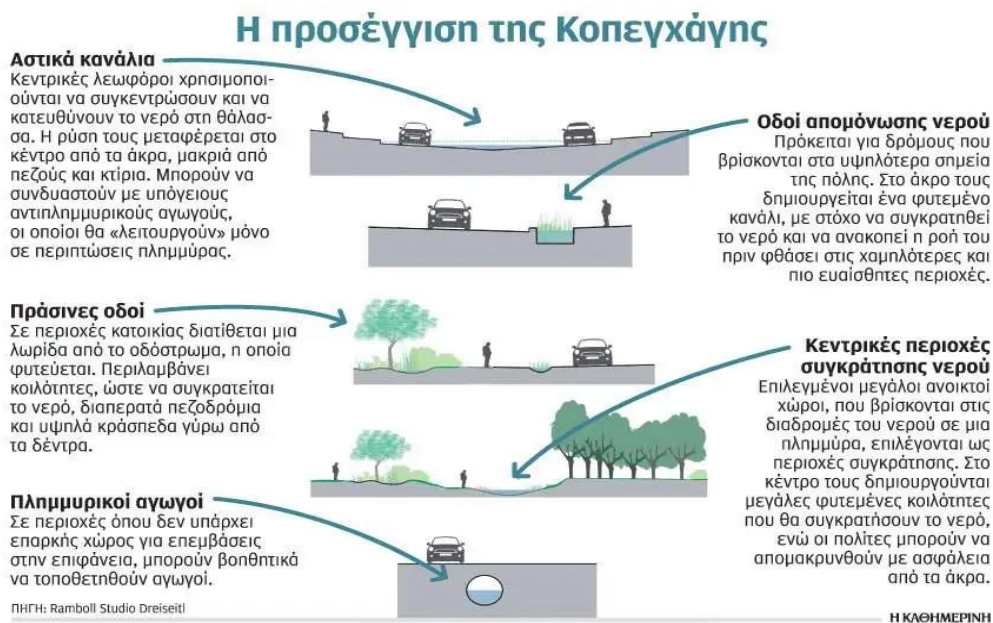
Η κατανόηση των προαναφερόμενων παραγόντων, που προκαλούν και ενισχύουν τη δημιουργία των φυσικών αυτών καταστροφών, θα πρέπει να συνδυαστεί με μια σειρά από μέτρα με σκοπό τον μετριασμό τους και από μεθόδους πρόγνωσής τους. Στα ακολουθούμενα υποκεφάλαια απαριθμούνται κάποιες προτάσεις για την αντιμετώπιση του προβλήματος.

4.1. Μέτρα μετριασμού πλημμυρών

Το σημαντικότερο μέτρο διαχείρισης των πλημμυρικών φαινομένων, είναι η επένδυση στη συνεργασία μεταξύ των χωρών της Μεσογείου, ακόμη και πέρα από τα σύνορα της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Η ανάπτυξη ενός πρωτοκόλλου με κοινές οδηγίες διαχείρισης πλημμυρικών επεισοδίων, θα ενισχύσει πρώτα τις σχέσεις μεταξύ Ευρώπης και Βόρειας Αφρικής, έπειτα, θα μειώσει την επικινδυνότητα και, τελικά, θα αποτρέψει τις μαζικές μεταναστεύσεις. Ο περιοδικός προγραμματισμός συναντήσεων και συνεδρίων

προκειμένου να συζητηθεί το ζήτημα και να προταθούν νομοθετικά μέτρα άμβλυνσής του, θα συμβάλλουν στην κοινή αντιμετώπιση του προβλήματος.

Όσον αφορά την κατασκευή και την συντήρηση έργων, κρίνεται, επίσης, αναγκαία η ανάπτυξη ενός πρωτοκόλλου, εφόσον οι αστοχίες σε κατασκευές και η έλλειψη συντήρησης αυτών αποτελούν το σημαντικότερο εκ των παραγόντων εμφάνισης των καταστροφικών πλημμυρών στις περισσότερες περιπτώσεις. Σε αυτό θα πρέπει να αναγράφονται αναλυτικές οδηγίες και να απαριθμούνται κρίσιμα χαρακτηριστικά, που αφορούν την κατασκευή και την συντήρηση έργων. Μια συνοδευτική απογραφή όλων των κατασκευών, θα συμβάλλει στην βέλτιστη απόδοση του μέτρου.



Εικόνα 4.1. Σχηματική απεικόνιση νέων σχεδίων για αντιπλημμυρικά έργα στην Κοπεγχάγη και οι περιγραφές τους (<https://dasarxeio.com/2018/03/11/53953/>).

Μια επιπλέον αποτελεσματική στρατηγική, είναι ο σχεδιασμός και η δημιουργία αντιπλημμυρικών έργων σε κατάλληλες τοποθεσίες. Για παράδειγμα, οι ταμειευτήρες έχουν διπλή δράση, αφού μπορούν να αποθηκεύσουν μεγάλη ποσότητα του νερού των

βροχοπτώσεων, το οποίο, έπειτα, θα μπορεί να ανακυκλωθεί και να χρησιμοποιηθεί σε περιόδους ξηρασίας ή στην γεωργία. Εναλλακτικά, τα ορεινά υδρονομικά έργα μπορούν να συγκρατούν τα φερτά υλικά και να μετριάζουν την παροχή νερού, αλλά και να αποτρέψουν τις υλικές ζημιές.

4.2. Συστήματα παρακολούθησης και έγκαιρης πρόγνωσης πλημμυρών

Η συνεχής βελτίωση της διαχείρισης των πλημμυρικών κινδύνων και των επιπτώσεών τους, η ανάλυσή τους, καθώς και η μοντελοποίησή τους, συμβάλλουν στην πρόγνωση, στην πρόληψη και στην αντιμετώπιση του προβλήματος. Η παρακολούθηση και προστασία των υδάτων του Ευρωπαϊκού χώρου έχουν εξασφαλιστεί με την Οδηγία/Πλαίσιο 2000/60/ΕΕ και ειδικά για τις πλημμύρες από την Οδηγία/Πλαίσιο 2007/60, μαζί με την εναρμόνιση της στην ελληνική Νομοθεσία και τις αντίστοιχες μελέτες για την αντιπλημμυρική προστασία των 14 Υδατικών Διαμερισμάτων της χώρας μας (1η αναθεώρηση το 2018 και 2η αναθεώρηση το 2024). Το θεσμικό αυτό εργαλείο αποσκοπεί τόσο στην επίλυση των προβλημάτων της έλλειψης νερού όσο και της υποβάθμισης των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων.

Για την ανάπτυξη υδρολογικών και υδραυλικών μοντέλων απαιτούνται έγκυρα στοιχεία που αφορούν ποσοτικές παραμέτρους της βροχόπτωσης και των απορροών, που μπορούν να συλλεχθούν με τη βοήθεια κατάλληλων διατάξεων αυτοματοποιημένης παρακολούθησης και καταγραφής στις λεκάνες απορροής των πληγέντων περιοχών, πριν και μετά από το συμβάν της πραγματικής πλημμύρας. Τα δίκτυα αυτά, δύναται να είναι ενεργειακά αυτόνομα και αποστέλλουν τις μετρήσεις σε συγκεκριμένα σημεία – κέντρα λήψης αποφάσεων – ή τα αποθηκεύουν σε cloud όπου πιστοποιημένοι χρήστες, τα αναλύουν και αποφαινόνται για τα απαιτούμενα μέτρα παρέμβασης ή πρόληψης. Με την

συλλογή πραγματικών τιμών, επικυρώνονται τα μοντέλα, τα οποία θα μπορούν, ακολούθως, να χρησιμοποιηθούν για την προσομοίωση πλημμυρών. Η προσομοίωση με τη σειρά της θα βοηθήσει στην χαρτογράφηση, στην πρόγνωση και στην καλύτερη διαχείριση τέτοιου είδους φαινομένων.

Η καθιέρωση αξιόπιστων συστημάτων προειδοποίησης, ικανών να διατηρούν τις αρχές και την κοινωνία σε κατάσταση εγρήγορσης, δύναται να αποτρέψει ή να περιορίσει τις αρνητικές επιπτώσεις των πλημμυρικών φαινομένων. Για την αποτελεσματική ανάπτυξη αυτών των συστημάτων, αξιοποιείται ο συνδυασμός επίγειων και δορυφορικών τεχνολογιών παρακολούθησης μετεωρολογικών μεταβολών, του ύψους και της έντασης της βροχόπτωσης, της διάρκειάς της, της εδαφικής υγρασίας, καθώς και υδρομετρικών μεταβλητών, όπως η στάθμη και η παροχή σε διατομές ελέγχου της ροής. Παράλληλα, σημαντικό ρόλο διαδραματίζει η συμμετοχή υδρολογικών μοντέλων, τα οποία αξιοποιούνται για την ανάλυση και πρόβλεψη των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής και των υδρολογικών ανωμαλιών. Η εφαρμογή των μοντέλων αυτών μπορεί να πραγματοποιείται σε ωριαίες, ημερήσιες, μηνιαίες, αλλά και ετήσιες κλίμακες χρόνου, παρέχοντας πολύτιμα δεδομένα για την έγκαιρη διάγνωση υδρολογικών προβλημάτων και την πρόβλεψη μακροχρόνιων ποσοτικών παραμέτρων, όπως η απορροή.

Η πρόγνωση και η έγκαιρη προειδοποίηση για έκτακτα συμβάντα διασφαλίζουν την ύπαρξη ενός εύλογου χρονικού διαστήματος, το οποίο μπορεί να αξιοποιηθεί για την υλοποίηση κατάλληλων δράσεων, όπως η εκκένωση των απειλούμενων περιοχών, η ασφάλιση των περιουσιακών στοιχείων, ο εφοδιασμός με αναγκαίους πόρους και η εφαρμογή σχεδίων αντιμετώπισης έκτακτων περιστατικών. Στόχος των ενεργειών είναι:

α) η έγκαιρη ειδοποίηση (ενδεικτικά 15 λεπτά, 30 λεπτά ή 1 ώρα πριν από το συμβάν)

β) η έγκαιρη λήψη απόφασης για εκκένωση των περιοχών και μετάβαση σε ασφαλή σημεία, με πρωταρχικό μέλημα την προστασία της ανθρώπινης ζωής και, στη συνέχεια, τη διαφύλαξη των περιουσιών. Στην τελευταία κατηγορία περιλαμβάνονται οι γεωργικές εκμεταλλεύσεις, το ζωικό κεφάλαιο, οι βιομηχανικές εγκαταστάσεις και οι τουριστικές υποδομές.

Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η αποτελεσματικότερη προστασία των κατοίκων, των ακινήτων, των υποδομών και της τοπικής οικονομίας στο σύνολό της.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το κλιματικό σύστημα του πλανήτη αποτελεί ένα πολύπλοκο σύστημα αλληλεπίδρασης της επιφάνειας της γης με την ατμόσφαιρα. Εξελίσσεται και μεταβάλλεται με την πάροδο του χρόνου υπό την επίδραση ενδογενών και εξωγενών παραγόντων. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν, για παράδειγμα, η ηφαιστειογενής δραστηριότητα και οι διακυμάνσεις της ηλιακής ακτινοβολίας, ενώ στην δεύτερη οι μετεωρολογικές και ατμοσφαιρικές διεργασίες, τα υδρολογικά κατακρημνίσματα (βροχή, χιόνι, χαλάζι, πάχνη), οι πυρκαγιές, οι πλημμύρες, οι διαβρώσεις, οι ξηρασίες κ.ά. φαινόμενα που λαμβάνουν χώρα τόσο εξαιτίας φυσικών όσο και ανθρωπογενών διεργασιών. Η κλιματική αλλαγή οφείλεται στο συνδυασμό των φυσικών με τις ανθρωπογενείς διεργασίες.

Τα τελευταία χρόνια, έχει αποδειχθεί ότι η κλιματική αλλαγή συνδέεται περισσότερο με τις ανθρώπινες παρεμβάσεις. Με την καύση ορυκτών καυσίμων, την αποψίλωση των δασών και τη γεωργία εκλύονται τα αέρια του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα, με σημαντικότερο το CO₂, όπου η συγκέντρωσή τους έχει αυξηθεί συγκριτικά με τα προβιομηχανικά επίπεδα. Εκεί παγιδεύουν θερμότητα, με συνέπεια, να θερμαίνεται ο πλανήτης.

Σύμφωνα με την Έκτη Έκθεση Αξιολόγησης της IPCC (2023), που αποτελεί και την πιο πρόσφατη, η θερμοκρασία του πλανήτη κατέγραψε, την περίοδο 2011 - 2020, αύξηση κατά 1,1 °C από την προβιομηχανική περίοδο και αναμένεται να υποστεί περεταίρω αύξηση, μέχρι το τέλος του 21^{ου} αιώνα, η οποία κυμαίνεται μεταξύ 1,4 - 4,4 °C. Η αυξητική αυτή τάση απέφερε, και θα αποφέρει ακόμη περισσότερες, άμεσες και έμμεσες επιπτώσεις. Ακραία καιρικά φαινόμενα, όπως ισχυρές βροχοπτώσεις, πλημμύρες, πυρκαγιές, περίοδοι ξηρασίας (άμεσα αποτελέσματα) οδηγούν στην απώλεια

ανθρώπων ζώων, την εξάπλωση ασθενειών, τις οικονομικές και υλικές ζημιές, την υποβάθμιση της ποιότητας του νερού, την μετανάστευση και την εξαφάνιση ειδών κ.ά. (έμμεσα αποτελέσματα).

Σήμερα, η έννοια της κλιματικής αλλαγής βρίσκεται στο επίκεντρο των περισσότερων συζητήσεων στην πολιτική, στην εκπαίδευση, αλλά και στην καθημερινότητα των ανθρώπων και αποτελεί ένα από τα πιο κρίσιμα ζητήματα της κοινωνίας. Τα αίτια και οι επιπτώσεις της είναι ευρέως γνωστά, ενώ η ατομική και η συλλογική προσπάθεια για τον μετριασμό του προβλήματος γνωρίζει ολοένα και ταχύτερη απήχηση. Η διεθνής συνεργασία των διάφορων κρατών έχει επιτρέψει στις αντίστοιχες κυβερνήσεις τους να προτείνουν και να ορίζουν νομοθετικά μέτρα και πλαίσια για τις βιομηχανίες, τις επιχειρήσεις και τους πολίτες σε εθνικό και παγκόσμιο επίπεδο, προκειμένου να μειωθεί το οικολογικό αποτύπωμα του ανθρώπου στο περιβάλλον.

Η ανάγκη για συλλογική δράση της διεθνούς κοινότητας με στόχο τον περιορισμό της εκπομπής των αερίων του θερμοκηπίου και την προστασία του ανθρώπου και του περιβάλλοντος αναγνωρίστηκε, για πρώτη φορά, το 1992, όταν εγκρίθηκε η Σύμβαση-Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή (Κοτζαμανίδου 2022). Η Σύμβαση προέβλεπε, ότι τα συμβαλλόμενα κράτη-μέλη, ανάλογα με την οικονομική τους δυνατότητα και το μερίδιο ευθύνης που κατείχαν στο πρόβλημα, θα έπρεπε, σε συνεργασία, να:

- Αναπτύξουν προγράμματα μείωσης και ελέγχου των εκπομπών σε περιφερειακό και εθνικό επίπεδο.
- Αναζητήσουν τρόπους προσαρμογής στις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής.
- Συμπεριλάβουν την κλιματική αλλαγή στον σχεδιασμό και την εφαρμογή πολιτικής.

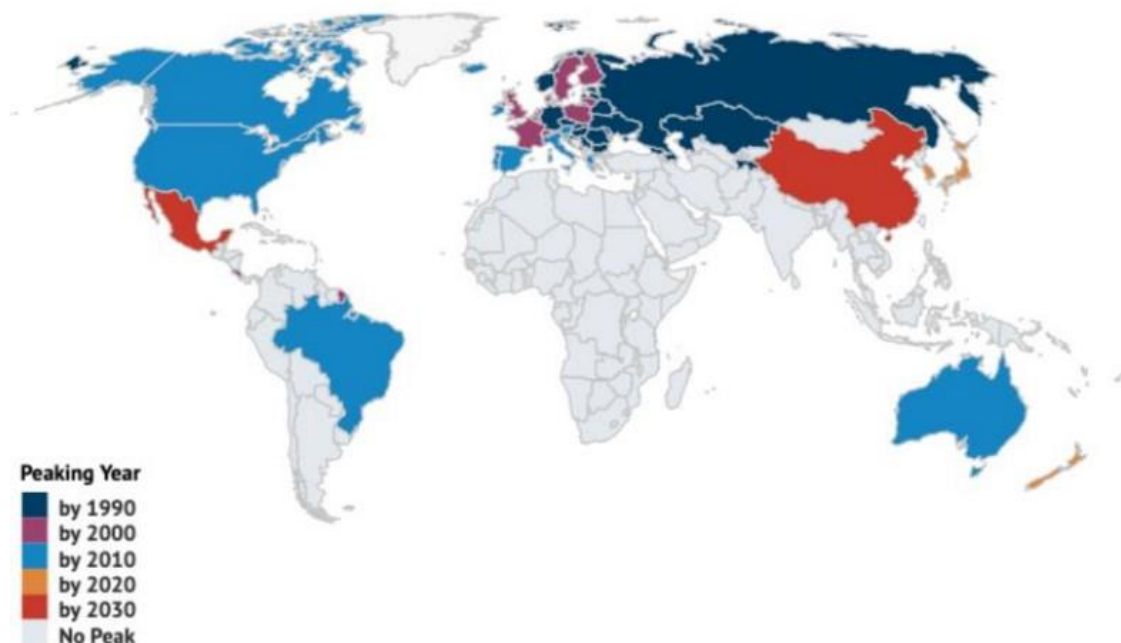
- Επενδύσουν στην επιστημονική έρευνα των αξόνων της κλιματικής αλλαγής και να μοιράζονται τα αποτελέσματα μεταξύ τους.
- Ενισχύσουν την ενημέρωση και την ευαισθητοποίηση των πολιτών περί του θέματος.
- Αναφέρουν τα σχετικά αποτελέσματα των μέτρων στις διασκέψεις τους.

Η παραπάνω Σύμβαση τέθηκε σε ισχύ το 1994, ενώ αποφασίστηκε, ότι η συνδιάσκεψη των συμβαλλόμενων κρατών-μελών θα πραγματοποιείται μια φορά ετησίως αξιολογώντας της εξέλιξη του φαινομένου και γνωστοποιώντας και καταγράφοντας τα δεδομένα. Η πρώτη συνδιάσκεψη των συμβαλλόμενων κρατών (COP1) έλαβε χώρα το 1995 στο Βερολίνο, όπου συμφώνησαν ότι οι δεσμεύσεις της Σύμβαση-Πλαισίου δεν επαρκούν και αποφάσισαν να ενισχύσουν τις δεσμεύσεις των ανεπτυγμένων χωρών μέσω της ανάπτυξης ενός πρωτοκόλλου (Κοτζαμανίδου 2022).

Βασικό ορόσημο στην ιστορία των διαπραγματεύσεων για την κλιματική αλλαγή, υπήρξε η τρίτη Σύνοδος των συμβαλλόμενων κρατών (COP3), που διεξήχθη το 1997 στην Ιαπωνία. Κατά την Σύνοδο, εγκρίθηκε το Πρωτόκολλο του Κιότο, μια διεθνής συμφωνία για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής σε παγκόσμιο επίπεδο, η οποία τέθηκε σε αρχή από το 2005 κι έπειτα. Ορίζει και δεσμεύει τις αναπτυσσόμενες χώρες να τηρούν τις οριακές τιμές εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, που προβλέπονται για κάθε χώρα, με σκοπό την μείωσή τους στο περιβάλλον.

Ένα ακόμα γεγονός, άξιο αναφοράς, είναι η Συμφωνία του Παρισιού, που πραγματοποιήθηκε το 2015 στο Παρίσι. Η συμφωνία είναι η πρώτη οικουμενική και νομικά δεσμευτική συνθήκη για το κλίμα, η οποία τέθηκε σε ισχύ το 2016. Στοχεύει στην διατήρηση της μέσης θερμοκρασία κάτω από τους 2 °C σε σχέση με την αντίστοιχη της προβιομηχανικής περιόδου και την μείωση της τιμής της στους 1,5 °C. Επίσης, επιδιώκει

την σύντομη χρονικά επίτευξη των ανώτερων ορίων εκπομπής αερίων του θερμοκηπίου (παγκόσμια κορύφωση) και την εξισορρόπηση μεταξύ εκπομπής-απορρόφησης αυτών στο δεύτερο μισό του 21ου αιώνα. Παράλληλα, εξετάζει και αναλύει την προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή, τις απώλειες και ζημιές της, την ανάπτυξη και μεταφορά τεχνογνωσίας και την χρηματοδότηση των ανεπτυγμένων χωρών (<https://www.europarl.europa.eu/topics/el/article/20180404STO00910/to-chronodiagramma-ton-diapragmateuseon-gia-tin-klimatiki-allagi-grafima#event-2012>).



Σχήμα 5.1. Τα έτη κορύφωσης της εκπομπής των αερίων του θερμοκηπίου κάθε χώρας (Κοτσαμανίδου 2022).

Επομένως, η αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής ξεκινάει με την μείωση των εκπομπών των αερίων και συνεχίζει με τρόπους προσαρμογής σε αυτήν και τις επιπτώσεις της.

Ένας τομέας που καταλαμβάνει υψηλή θέση στην αντιμετώπιση του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής, είναι εκείνος των αποβλήτων. Η διαχείρισή τους ακολουθεί το

μοντέλο της κυκλικής οικονομίας, η κεντρική ιδέα της οποίας αποτυπώνεται με την χρήση ενός προϊόντος για όσο το δυνατόν περισσότερο και την επαναχρησιμοποίηση ή την ανακύκλωσή του μετά το πέρας του κύκλου ζωής του. Η σημασία του επικείμενου τομέα προκύπτει από το γεγονός ότι η παραγωγή προϊόντος καλύπτει περίπου το 62% των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου, ενώ η χρήση του περίπου το 38% (Καλανταρίδου 2022).



Εικόνα 6.1 Το μοντέλο της κυκλικής οικονομίας
(<https://www.europarl.europa.eu/topics/el/article/20151201STO05603/kukliki-oikonomia-chrisimopoiise-to-xana>).

Μια επιπρόσθετη τακτική με σκοπό την άμβλυνση του προβλήματος, είναι η αξιοποίηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Τέτοιου είδους είναι τα φωτοβολταϊκά συστήματα, η αιολική, η γεωθερμική, η υδροηλεκτρική ενέργεια, οι οποίες παρέχουν ενεργειακές υπηρεσίες κατά βιώσιμο τρόπο μειώνοντας το περιβαλλοντικό κόστος.

Σε επίπεδο ατομικής ευθύνης, κρίνεται απαραίτητη η υιοθέτηση νέου τρόπου ζωής των ανθρώπων που ζουν σε μια εποχή με καταναλωτικά πρότυπα. Οι αναγκαίες αλλαγές αφορούν, κυρίως, α) την διατροφή με στόχο την προτίμηση βιολογικών και εποχικών προϊόντων, β) την μείωση της άσκοπης κατανάλωσης και σπατάλης των καταναλωτικών αγαθών (τροφή, ενδυμασία, νερό, ενέργεια) για την εξοικονόμηση των φυσικών πόρων, γ) τη βελτίωση της οικιακής ενεργειακής απόδοσης, δ) τη χρήση των μέσων μεταφοράς, στοχεύοντας στην χρήση μεταφορικών μέσων λιγότερου ρυπογόνων και ε) την ανακύκλωση.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

6.1. Ξένη Βιβλιογραφία

Abbot C. G., Fowle F.E. (1908) Income and Outgo of Heat from the Earth, and the Dependence of Its Temperature Thereon. *Annals of the Astrophysical Observatory*, 2:159-176.

Agrawala S. (1998) Context and Early Origins of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *Climatic Change*, 39:605-620.

Agrawala S. (1998) Structural and process history of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *Climatic change*, 39(4):621-642.

Antoniadis N., Loupasakis C. A Historical Review of the Land Subsidence Phenomena Interaction with Flooding, Land Use Changes, and Storms at the East Thessaly Basin- Insights from InSAR Data (2025). *Land*, 14(827).

Angelakis A.N., Antoniou G., Voudouris K. (2020) History of floods in Greece: causes and measures for protection. *Nat Hazards*, 101:833-852.

Ångström K. (1900) Über die Bedeutung des Wasserdampfes und der Kohlensäures bei der Absorption der Erdatmosphäre. *Annalen der Physik*, 4(3):720-32.

Arapostathis S.G. (2020) The Ianos Cyclone (September 2020, Greece) from Perspective of Utilizing Social Networks for DM. 5th IFIP Conference on Information Technology in Disaster Risk Reduction, Sofia, pp. 160-169.

Arrhenius S. (1896) XXXI. On the influence of carbonic acid in the air upon the temperature of the ground. *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, 41(251):237-276.

Berger A. (1988) Milankovitch theory and climate. *Reviews of geophysics*, 26(4):624-657.

Boykoff M.T., Boykoff J.M. (2004) *Bias as Balance: Global Warming and the U.S.* Prestige Press. *Global Environmental Change*, 14(2):125-136.

Brooks H., McDonald A. (2000) The International Institute for Applied Systems Analysis, the TAP Project, and the RAINS Model. In: Hughes T.P., Hughes A.C. (eds) *Systems, Experts, and Computers: The Systems Approach in Management and Engineering*. MIT Press, Cambridge, p 413-431.

Callendar G.S. (1938) The Artificial Production of Carbon Dioxide and Its Influence on Climate. *Quarterly J. Royal Meteorological Society*, 64:223-40.

Cassino D. (2016) Fairleigh Dickinson University's Public Mind Poll finds Trump supporters more conspiracy-minded than other republicans. Fairleigh Dickinson University's Public Mind Poll, pp 7.

Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED) (2024) 2023: Disasters in Numbers. CRED, Brussels, pp 8.

Court A., Gerston R.D. (1966) Fog frequency in the United States. *Geographical Review*, 543-550.

Croll J. (1875) Climate and time in their geological relations: A theory of secular changes of the Earth's climate. *Nature*, 12:141–144.

D'Adderio L.P., Casella D., Dietrich S., Sanò P., Panegrossi G. (2022) GPM-CO observations of Medicane Ianos: Comparative analysis of precipitation structure between development and mature phase. *Atmospheric Research*, 273.

Dansgaard W., Clausen H.B., Gundestrup N., Hammer C.U., Johnsen S.F., Kristinsdottir P.M., Reeh N. (1982) A New Greenland Deep Ice Core. *Science*, 218(4579):1273-1277.

Diakakis M., Deligiannakis G. (2013) Vehicle-related flood fatalities in Greece. *Environmental Hazards*, 12:278–290.

Diakakis M., Deligiannakis G. (2015) Flood fatalities in Greece: 1970–2010. *Journal of Flood Risk Management*, 10:115-123.

Diakakis M., Deligiannakis G., Andreadakis E., Katsetsiadou K.N., Spyrou N.I., Gogou M.E. (2020) How different surrounding environments influence the characteristics of flash flood-mortality: The case of the 2017 extreme flood in Mandra, Greece. *Journal of Flood Risk Management*, 13.

Diakakis M., Mavroulis S., Filis C., Lozios S., Vassilakis E., Naoum G., Soukis K., Konsolaki A., Kotsi E., Theodorakatou D. (2023) Impacts of Medicanes on Geomorphology and Infrastructure in the Eastern Mediterranean, the Case of Medicane Ianos and the Ionian Islands in Western Greece. *Water*, 15(6):1026.

Diakakis M., Sarantopoulou A., Gogou M., Filis C., Nastos P., Kapris I., Vassilakis E., Konsolaki A., Lekkas E. (2025) Cascade Effects Induced by Extreme Storms and Floods: The Case of Storm Daniel (2023) in Greece. *Water*, 17(912).

Dimitriou E., Efstratiadis A., Zotou I., Papadopoulos A., Iliopoulou T., Sakki G-K., Mazi K., Rozos E., Koukouvinos A., Koussis AD. (2024) Post-Analysis of Daniel Extreme

Flood Event in Thessaly, Central Greece: Practical Lessons and the Value of State-of-the-Art Water-Monitoring Networks. *Water*, 16(7):980.

Douglas K.M., Sutton R.M. (2015) Climate change: Why the conspiracy theories are dangerous. *Bulletin of the Atomic Scientists*, 71:98-106.

Douglas K.M., Sutton R.M. (2015) Climate change: Why the conspiracy theories are dangerous. *Bulletin of the Atomic Scientists*, 71(2):98-106.

Edwards P. N. (2011) History of climate modeling. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 2(1):128-139.

Epstein G., Pérez I., Schoon M., Meek C. (2014) Governing the invisible commons: Ozone regulation and the Montreal Protocol. *International Journal of the Commons*, 8(2):337-360.

Evans E.P. (2018) The Authorship of the Glacial Theory. *The North American Review*, 145(368):94-97.

Fleming J.R. (1990) *Meteorology in America, 1800–1870*. Johns Hopkins University Press, Baltimore, pp 264.

Giannaros C., Dafis S., Stefanidis S., Giannaros T.M., Koletsis I., Oikonomou C. (2022) Hydrometeorological analysis of a flash flood event in an ungauged Mediterranean watershed under an operational forecasting and monitoring context. *Meteorological Applications*, 29(4):e2079.

Glacken J. (1976) *Traces on the Rhodian shore: nature and culture in Western thought from ancient times to the end of the eighteenth century*. University of California Press, Berkeley, pp 800.

Gwynne P. (1975) The Cooling World, Newsweek, pp 64.

Hansen J., Johnson D., Lacis A., Lebedeff S., Lee P., Rind D., Russell G. (1981). Climate impact of increasing atmospheric carbon dioxide. Science, 231(4511):957-966.

Hulme M., Mahony M. (2010) Climate change: What do we know about the IPCC?. Progress in Physical Geography: Earth and Environment, 34(5):705-718.

HVA International (2023) First Report Regarding Post-Disaster Remediation of 2023 Thessaly Flooding. pp 33.

Intergovernmental Panel on Climate (1995) Climate Change 1995: IPCC Second Assessment Report. WHO & UNEP, pp 63.

Intergovernmental Panel on Climate Change (1990) Policymaker Summary of the IPCC Special Committee on the Participation of Developing Countries. IPCC, Geneva, pp 18.

Intergovernmental Panel on Climate Change (1991) Report of the Fourth Session of the IPCC Bureau. IPCC, Geneva, pp 18.

Intergovernmental Panel on Climate Change (1992) Climate Change: The IPCC 1990 and 1992 Assessments. UNEP, Canada, pp 168.

Intergovernmental Panel on Climate Change (1992) Report of the Eighth Session of the IPCC. IPCC, Zimbabwe, pp 97.

Intergovernmental Panel on Climate Change (1993) Report of the Ninth Session of the IPCC. IPCC, Geneva, pp 151.

Intergovernmental Panel on Climate Change (2001) Climate Change 2001: Synthesis Report. A Contribution of Working Groups I, II, and III to the Third Assessment Report

of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, pp 398.

Intergovernmental Panel on Climate Change (2007) Climate Change 2007: The Physical Science Basis. A Contribution of Working Groups I, II, and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, pp 996.

Intergovernmental Panel on Climate Change (2014) Climate Change 2014: Synthesis Report. A Contribution of Working Groups I, II, and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC & WHO, Geneva, pp 151.

Intergovernmental Panel on Climate Change (2023) Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Geneva, pp 184.

International Commission for the Protection of the Danube River (ICPDR) (2007) The Analysis of the Danube Floods 2006. ICPDR, Vienna, pp 54.

Jaeger J. (1988) Developing Policies for Responding to Climatic Change. WMO, Geneva, pp 53.

Kanellopoulos T.D., Karageorgis A.P., Kikaki A. (2020) The impact of flash-floods on the adjacent marine environment: the case of Mandra and Nea Peramos (November 2017), Greece. Journal of Coastal Conservation, 24:56.

Karagiorgos J., Patlakas P., Vervatis V., Sofianos S. (2025) The Role of Ocean Penetrative Solar Radiation in the Evolution of Mediterranean Storm Daniel. Remote Sensing, 17(15):2684.

Karkani A., Evelpidou N., Tzouxanioti M., Petropoulos A., Santangelo N., Maroukian H., Spyrou E., Lakidi L. (2021) Flash Flood Susceptibility Evaluation in Human-Affected Areas Using Geomorphological Methods - The Case of 9 August 2020, Euboea, Greece. A GIS-Based Approach. *GeoHazards*, 2(4):366-382.

Kanellopoulos T.D., Karageorgis A.P., Kikaki A., Chourdaki S., Hatzianestis I., Vakalas I., Hatiris G.A. (2020) The impact of flash-floods on the adjacent marine environment: the case of Mandra and Nea Peramos (November 2017), Greece. *Journal of Coastal Conservation*, 24(56):1-17.

Karkani A., Evelpidou N., Tzouxanioti M., Petropoulos A., Santangelo N., Maroukian H., Spyrou E., Lakidi L. (2021) Flash Flood Susceptibility Evaluation in Human-Affected Areas Using Geomorphological Methods - The Case of 9 August 2020, Euboea, Greece. A GIS-Based Approach. *GeoHazards*, 2(4):366-382.

Kastridis A., Kirkenidis C., Sapountzis M. (2020) An integrated approach of flash flood analysis in ungauged Mediterranean watersheds using post-flood surveys and unmanned aerial vehicles. *Hydrological Processes*, 34:4920-4939.

Kotsi E., Vassilakis E., Diakakis M., Mavroulis S., Konsolaki A., Filis C., Lozios S., Lekkas E. (2023) Using UAS-Aided Photogrammetry to Monitor and Quantify the Geomorphic Effects of Extreme Weather Events in Tectonically Active Mass Waste-Prone Areas: The Case of Medicane Ianos. *Applied Sciences*, 13(2):812.

Koutsoyiannis D., Mamassis N., Efstratiadis A., Zarkadoulas N., Markonis Y. (2012) Floods in Greece. *Changes of flood risk in Europe*, 12:238-256.

Lagarias A. (2025) Climate change as spatial change: repercussions of the disastrous Daniel flood in Thessaly Region on its territorial future. *GeoJournal*, 90(154).

Lagouvardos K., Karagiannidis A., Dafis S., Kalimeris A., Kotroni V. (2022) Ianos - A Hurricane in the Mediterranean. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 103:E1621–E1636.

Lakidi L., Spyrou N.I., Diakakis M., Filis C., Kotsi E., Mavroulis S., Skourtsos E., Kranis H., Lekkas E. (2025) Flood Dredge Spoils Mapping with the Use of UAS and GIS: The Case of 2020 Evia Flood. 17th International Congress of the Geological Society of Greece. Mytilene, pp 6.

Leivadiotis E., Kohnová S., Psilovikos A. (2024) Evaluating flood events caused by Medicane “Daniel” in the Thessaly District (Central Greece) using remote sensing data and techniques. *Acta Hydrologica Slovaca*, 25(1):115-126.

Leivadiotis E., Psilovikos A. (2025) A Performance Evaluation and Statistical Analysis of IMERG Precipitation Products During Medicane Daniel (September 2023) in the Thessaly Plain, Greece. *Water*, 17(16):2401.

Lekkas E., Diakakis M., Andreadakis E., Spyrou N.I., Gogou M., Katsetsiadou K.N., Speis P., Georgakopoulos A., Nikolopoulos E., Deligiannakis G. (2017). Flash Flood in West Attica (Mandra, Nea Peramos) November 15, 2017. *Newsletter of Environmental, Disaster, and Crises Management Strategies*, 5:1-71.

Lekkas E., Nastos P., Cartalis C., Diakakis M., Gogou M., Mavroulis S., Spyrou N.I., Kotsi E., Vassilakis E., Katsetsiadou K.N. (2020) Impact of Medicane “IANOS” (September 2020). *Newsletter of Environmental, Disaster, and Crisis Management Strategies*, 20:1-140.

Lewandowsky S., Gignac G.E., Oberauer K. (2013) The role of conspiracist ideation and worldviews in predicting rejection of science. *PLOS ONE* 8(10):e75637.

Logan W. P. D., Glasg M.D., Ph.D. Lond (1953) Mortality in the London Fog Incident, 1952. *The Lancet*, 261(6755):336-338.

Lorius C., Jouzel J., Ritz C., Merlivat L., Barkov N.I., Korotkevich Y.S., Kotlyakov V.M. (1985) A 150.000-Year Climatic Record from Antarctic Ice. *Nature*, 316(6029):591-596.

Mahowald, N., Lindsay, K., Rothenberg, D., Doney, S. C., Moore, J. K., Thornton, P., Randerson J. T., Jones C. D. (2011) Desert dust and anthropogenic aerosol interactions in the Community Climate System Model coupled-carbon-climate model. *Biogeosciences*, 8:387-414.

Malone E.L., Rayner S. (2001) Role of the research stand- point in integrating global-scale and local-scale research. *Climate Research*, 19:173-178.

Manabe S., Wetherald R.T. (1975) The Effects of Doubling the CO₂ Concentration on the Climate of a General Circulation Model. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 32(3):3-15.

Maslin M.A. (2016) In Retrospect: Forty years of linking orbits to ice ages. *Nature*, 540:208-210.

Mavroulis S., Mavrouli M., Lekkas E., Tsakris A. (2024) Impact of the September 2023 Storm Daniel and Subsequent Flooding in Thessaly (Greece) on the Natural and Built Environment and on Infectious Disease Emergence. *Environments*, 11(163):1-29.

Mazarakis V., Tsanakas K., Greenbaum N., Batzakis D.V., Sorrentino A., Tsodoulos I., Valkanou K., Karymbalis E. (2025) Flood-Hazard Assessment in the Messapios River Catchment (Central Evia Island, Greece) by Integrating GIS-Based Multi-Criteria Decision Analysis and Analytic Hierarchy Process. *Land*, 14(658):1-24.

Miller C.A. (2004) Climate science and the making of a global political order. In: Jasanoff S. (ed) *States of Knowledge: The Co-production of Science and the Social Order*. Routledge, London, p 46-66.

Mills K., Nye J., Pershing A. (2015) Climate Science Milestones Leading To 1965 PCAST Report. *Science*, 350(6264):1046.

Milojevic A., Kovats S., Leonardi G., Murray V., Nye M., Wilkinson P. (2014) Population displacement after the 2007 floods in Kingston upon Hull, England. *Journal of Food Risk Management*, 9(2):99-104.

Mitsopoulos G., Diakakis M., Panagiotatou E., Sant V., Bloutsos A., Lekkas E., Stamou A.I. (2022). 'How would an extreme flood have behaved if flood protection works were built?' the case of the disastrous flash flood of November 2017 in Mandra, Attica, Greece. *Urban Water Journal*, 19(9):911-921.

Møller A.P., Mousseau T. A. (2011) Conservation consequences of Chernobyl and other nuclear accidents. *Biological Conservation*, 144(12):2787-2798.

Mourelatos S., Charizani E., Kalaitzopoulou S., Tseni X., Lazos N., Tsioka K., Papa A., Dafka S., Rocklöv J., Gewehr S. (2025) Extreme flood and WNV transmission in Thessaly, Greece, 2023. *Scientific Reports*, 15(22433).

Mousseau T. A., Møller A.P. (2017) Nuclear energy and its ecological byproducts: Lessons from Chernobyl and Fukushima. In: Van Ness P., Gurtov M. (eds) *Learning from Fukushima: Nuclear power in East Asia*, Australian National University Press, Acton, p 261-284.

Muellner N., Arnold N., Gufler K., Kromp W., Renneberg W., Liebert W. (2021) Nuclear energy - The solution to climate change?. *Energy Policy*, 155:112363.

Murray M.J. (1972) The Natural Breakdown of the Present Interglacial and its Possible Intervention by Human Activities. *Quaternary Research*, 2(3):436-445.

National Oceanic and Atmospheric Administration (2025) 2024 was the world's warmest year on record. Antarctic sea ice coverage second lowest on record, behind 2023. NOAA, USA, pp 10.

National Oceanic and Atmospheric Administration (2025) Global Climate Report: Selected Significant Climate Anomalies and Events: July 2025. NOAA, USA, pp 20.

Neumann J. (1985) Climatic change as a topic in the classical Greek and Roman literature. *Climatic Change*, 7(4):441-454.

Ntigkakis C. (2018) Reverse analysis and uncertainty assessment of major flood events under limited data availability: The case of western Attica, November 2017. Diploma Thesis, National Technical University of Athens, pp 111.

Painter J., Gavin N.T. (2015) Climate skepticism in British newspapers, 2007-2011. *Environmental Communication*, 10(4):432-452.

Peterson T.C., Connolley W.M., Fleck J. (2008) The myth of the 1970s global cooling scientific consensus. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 89(9):1325-1338.

Popper K.R. (2002) *Conjectures and refutations: The Growth of Scientific Knowledge*. Routledge, London, pp 22.

Posthumus H., Morris J., Hess T.M., Neville D., Phillips E., Baylis A. (2009) Impacts of the summer 2007 floods on agriculture in England. *Journal of Food Risk Management*, 2(3):182-189.

Psilovikos A. (1999) Optimization models in groundwater management, based on linear and mixed integer programming. An application to a greek hydrogeological basin. *Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere*, 24(1-2):139-144.

Public Policy Polling (2013) Democrats and republicans differ on conspiracy theory beliefs. *Public Policy Polling*, Raleigh, pp 34.

Qiu J., Zhao W., Brocca L., Tarolli P. (2023) . Storm Daniel revealed the fragility of the Mediterranean region. *The Innovation Geoscience*, 1(3).

Ramanathan V. (1975) Greenhouse effect due to chlorofluorocarbons: Climatic implications. *Science*, 190(4209):50-52.

Redfield A.C. (1958) The Biological Control of Chemical Factors in the Environment. *American Scientist*, 46:205-221.

Revelle R., Suess H.E. (1957) Carbon Dioxide Exchange between Atmosphere and Ocean and the Question of an Increase of Atmospheric CO₂ During the Past Decades. *Tellus*, 9:18-27.

Riebeek H. (2005) Paleoclimatology: Introduction. NASA Earth Observatory, https://earthobservatory.nasa.gov/features/Paleoclimatology/paleoclimatology_intro.php

Rodhe H., Charlson R., Crawford E. (1997) Svante Arrhenius and the Greenhouse Effect. *Ambio*, 26(1)2-5.

- Ruzmaikin A. (2001). Origin of sunspots. *Space Science Reviews*, 95(1-2)43-53.
- Sherwood S. (2011) Science controversies past and present. *Physics Today*, 64(10):39-44.
- Soulis G., Stournaras G., Nikas K., Mattas C. (2018) The floods in Greece: the case of Mandra in Attica. *Bulletin Geological Society of Greece*, 52:131-144.
- Spyrou C., Varlas G., Pappa A., Mentzafou A., Katsafados P., Papadopoulos A., Anagnostou M.N., Kalogiros J. (2020) Implementation of a Nowcasting Hydrometeorological System for Studying Flash Flood Events: The Case of Mandra, Greece. *Remote Sensing*, 12(17):2784.
- Spyrou N.I., Diakakis M., Mavroulis S., Deligiannakis G., Andreadakis E., Filis C., Kotsi E., Antoniadis Z., Melaki M., Gogou M., Katsetsiadou K.N., Stanota E.S., Skourtsos E., Vassilakis E., Lekkas E. (2025) Integrating Ground and UAV Mapping for GIS-Based Application of the Flash Flood Impact Severity Scale (FFISS) for the 2009 and 2020 Evia (Greece) Flash Floods. *Applied Sciences*, 15(1100):1-31.
- Tegos A., Ziogas A., Bellos V., Tzimas A. (2022) Forensic Hydrology: A Complete Reconstruction of an Extreme Flood Event in Data-Scarce Area. *Hydrology*, 9(93):1-19.
- Tranter B., Booth K. (2015) Scepticism in a changing climate: A cross-national study. *Global Environmental Change*, 33:154-164.
- Tyagi A., Carley K.M. (2021) Climate Change Conspiracy Theories on Social Media. *Computer Science & Social and Information Networks*, Cornell University, pp 10.

Tyndall J. (1872) Contributions to Molecular Physics in the Domain of Radiant Heat: A Series of Memoirs Published in the 'Philosophical Transactions' and 'Philosophical Magazine'. Longmans, Green, and Company, London, pp 446.

Uscinski J.E., Klostad C., Atkinson M. (2016) Why do people believe in conspiracy theories? The role of informational cues and predispositions. *Political Research Quarterly*, 69:57-71.

Valkaniotis S., Papathanassiou G., Marinos V., Saroglou C., Zekkos D., Kallimogiannis V., Karantanellis E., Farmakis I., Zalachoris G., Manousakis J., Ktenidou O.J. (2022) Landslides Triggered by Medicane Ianos in Greece, September 2020: Rapid Satellite Mapping and Field Survey. *Applied Sciences*, 12(23):12443.

Valkaniotis S., Papathanassiou G., Marinos V., Saroglou C., Zekkos D., Kallimogiannis V., Karantanellis E., Farmakis I., Zalachoris G., Manousakis J., Ktenidou O.J. (2022) Landslides Triggered by Medicane Ianos in Greece, September 2020: Rapid Satellite Mapping and Field Survey. *Applied Sciences*, 12(12443):1-20.

Vardakas L., Koutsikos N., Dimitriou E., Vavalidis T., Kouraklis P., Kalogianni E. (2024) Short-term effects of Storm Daniel on *Salmo farioides* (Karaman, 1938) in a high-gradient stream. *River Research and Applications*, 1-8.

Varela V., Kontoangelos K., Papageorgiou C.C. (2025) Long-term psychological sequelae in flood survivors of the 2017 Eurydice flood: PTSD, dissociation, depression and the role of personality. *European Journal of Trauma & Dissociation*, 9(1):1-10.

Vasiliades L., Farsirotou E., Psilovikos A. (2022) An Integrated Hydrologic/Hydraulic Analysis of the Medicane "Ianos" Flood Event in Kalentzis River Basin, Greece. 7th

IAHR Europe Congress: Innovative Water Management in a Changing Climate. Athens, pp 235-236.

Wear S.R. (1988) Nuclear Fear: A History of Images. Harvard University Press, Cambridge, pp 535.

Wear S.R. (2003) The Discovery of Rapid Climate Change. *Physics Today*, 56(8):30-36.

Wear S.R. (2003) The Discovery of Global Warming, Harvard University Press, Cambridge, pp 228.

Wear S.R. (2008) The Discovery of Global Warming: Revised and Expanded Edition. Harvard University Press, Cambridge, pp 240.

Wear S.R., American Institute of Physics (2011) Past Climate Cycles: Ice Age Speculations. The Discovery of Global Warming.

Wear S.R., American Institute of Physics (2022) The public and climate change. In: Wear S.R., American Institute of Physics (eds) The Discovery of Global Warming. Harvard University Press, Cambridge, pp 87.

Wilby R. L., Keenan R. (2012) Adapting to flood risk under climate change. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 36(3):348-378.

Witiw M.R., La Dochy S. (2008) Trends in fog frequencies in the Los Angeles Basin. *Atmospheric Research*, 87(3-4):293-300.

World Bank (2020) Somalia 2019 floods impact and needs assessment. World Bank, pp 118.

World Meteorological Organization (1988) Report of the First Session of the WMO/UNEP Intergovernmental Panel on Climate Change, WCP Publication Series, Geneva, pp 34.

World Meteorological Organization (1989) WMO/UNEP Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC): Report of the First Session of the IPCC Bureau, WCP Publication Series, Geneva, pp 35.

World Meteorological Organization (2023) Provisional State of the Global Climate 2023. WHO, Geneva pp 35.

World Meteorological Organization (2023) State of the Global Climate 2022. WHO, Geneva pp 49.

World Meteorological Organization (2023) The Global Climate 2011-2020: A decade of accelerating climate change. WHO, Geneva pp 60.

World Meteorological Organization (2024) State of the Global Climate 2023. WHO, Geneva pp 53.

World Meteorological Organization (2025) State of the Global Climate 2024. WHO, Geneva pp 42.

World Meteorological Organization, United Nations Environment Programme (1990) Summary, Main conclusions and recommendations (Part I), Specific issues, Organizational and policy issues for international activities. Second World Climate Conference, Geneva, pp 1-10.

Zeng N. (2003) Drought in Sahel. Science, 302:999-1000.

Zhang J., Furtado K., Turnock S.T., Mulcahy J.P., Wilcox L.J., Booth B.B., Liu Q. (2021) The role of anthropogenic aerosols in the anomalous cooling from 1960 to 1990 in the CMIP6 Earth system models. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 21(24):18609-18627.

Zimbo F., Ingemi D., Guidi G. (2022) The Tropical-like Cyclone “Ianos” in September 2020. *Meteorology*, 1(1):29-44.

6.2. Ελληνική Βιβλιογραφία

Ακύλας Ε., Λυκούδης Σ., Λάλας Δ. (2005) Κλιματική αλλαγή στον ελλαδικό χώρο. Ανάλυση παρατηρήσεων: τάσεις των τελευταίων 100 ετών. Εργασία, Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, σελ.99.

Δασακλής Θ. (2008) Κλιματική Αλλαγή και Εφοδιαστική Αλυσίδα. Διπλωματική Εργασία, Πανεπιστήμιο Πειραιά & Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, σελ. 199.

Καλανταρίδου Α.Φ. (2022) Επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στη χλωρίδα και στη πανίδα. Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής, σελ. 87.

Κατσαφάδος Π., Μαυροματίδης Η. (2015) Εισαγωγή στη φυσική της ατμόσφαιρας και την κλιματική αλλαγή. Κλιματική μεταβλητότητα και κλιματικά φαινόμενα. Εκδόσεις Κάλλιπος, Αθήνα, σελ. 191-213.

Κοτζαμανίδου Ε. (2022) Η πρόκληση της κλιματικής αλλαγής υπό το πρίσμα του Διεθνούς Δικαίου και των διεθνών οργανισμών. Διπλωματική Εργασία, Πανεπιστήμιο Μακεδονίας, σελ. 121.

Σούρλας Μ. (2021) Εκτίμηση της πλημμυρικής επιδεκτικότητας με τη χρήση τεχνικών της Τηλεπισκόπησης και των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών. Η περίπτωση

της ΒΑ περιοχής του νομού Κορινθίας. Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, σελ. 164.

Σπανός Γ. (2021) Αστικές Πυρκαγιές: Η Διαχείριση της Περίπτωσης "Μάτι", Ελλάδα 23.7.2018. Ατομική Διάσωση και Επείγουσα Απομάκρυνση Πληθυσμού, Μέσα Από Προσωπικές Μαρτυρίες Επιζώντων. Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, σελ. 86.

Σπυριδάκης Σ. (2020) Ακραία Καιρικά Φαινόμενα: "Κатаιγίδα Θάλεια στην Εύβοια 2020". Πτυχιακή Εργασία, Εθνικός και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, σελ. 37.

Στεφανίδης Σ., Ντάφης Σ., Γιάνναρος Χ. (2020) Υδρολογική απόκριση της λεκάνης απορροής του χειμάρρου «Μπασδέκη» Ολυμπιάδας στην καταιγίδα της 25^{ης} Νοεμβρίου. Υδροτεχνικά, 29:13-26.

Ψιλοβίκος Α. (2005) Η συμβολή της παρακολούθησης (Monitoring) στην ορθολογική διαχείριση και την πρόληψη περιβαλλοντικών κινδύνων στο διασυνοριακό ποταμό Νέστο. Η προοπτικές για την εφαρμογή της Οδηγίας 2000/60. Υδροτεχνικά, 15:87-102.

Ψιλοβίκος Α., Ζαρκάδας Π. (2006) Μοντέλο προσομοίωσης υδατικού ισοζυγίου της λεκάνης απορροής της λίμνης Καστοριάς. Πρακτικά του 10^{ου} Πανελλήνιου Συνεδρίου ΕΥΕ με τίτλο: «Διαχείριση υδατικών πόρων και προστασία περιβάλλοντος - Σύγχρονες θεωρήσεις, προβλήματα και προοπτικές». Τόμος Ι, Ξάνθη, σελ. 63-70.

Ψιλοβίκος Α. (2008) Συγκριτική αξιολόγηση των δεδομένων παρακολούθησης (Monitoring) του ποταμού Νέστου από δύο τηλεμετρικούς σταθμούς «REMOS» για το έτος 2004. Η βάση για μια ορθολογική υδατική διαχείριση. Πρακτικά του 2^{ου} Διεθνούς

Συνεδρίου με τίτλο: «Εγκαταστάσεις επεξεργασίας νερού και αποβλήτων μικρής κλίμακας–SWAT’08». Σκιάθος, σελ. 435-440.

Ψιλοβίκος Α. (2020) Υδατικοί Πόροι. Παγκόσμια υδατική γεωγραφία-Διασυνοριακοί υδατικοί πόροι-Κλιματική αλλαγή. Εκδόσεις Τζιόλα, Αθήνα, σελ. 701.

Ψιλοβίκος Α. (2022) Οικοϋδραυλική. 2^η Έκδοση. Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, σελ. 800.

6.3. Ηλεκτρονική Βιβλιογραφία

gpm.nasa.gov (Πρόσβαση: 04-12-2023)

https://climate.ec.europa.eu/climate-change/causes-climate-change_en (Πρόσβαση: 12-04-2024)

gpm.nasa.gov (Πρόσβαση: 04-12-2023)

https://climate.ec.europa.eu/climate-change/causes-climate-change_en (Πρόσβαση: 12-04-2024)

https://climate.ec.europa.eu/climate-change/causes-climate-change_el (Πρόσβαση: 25-05-2024)

<https://tradingeconomics.com/country-list/precipitation> (Πρόσβαση: 25-05-2024)

<https://www.statista.com/statistics/1339730/number-of-flood-disasters-worldwide/>
(Πρόσβαση: 28-05-2024)

https://en.wikipedia.org/wiki/2020_Central_Vietnam_floods (Πρόσβαση: 31-05-2024)

<https://www.epa.gov/climate-indicators/climate-change-indicators-wildfires>
(Πρόσβαση: 29-05-2024)

https://www.meteo.gr/article_view_scientific.cfm?entryID=42 (Πρόσβαση: 30-05-2024)

<https://dasarxeio.com/2018/03/11/53953/> (Πρόσβαση: 31-05-2024)

<https://www.europarl.europa.eu/topics/el/article/20180404STO00910/i-istoria-ton-diapragmateuseon-gia-tin-klimatiki-allagi-grafima#event-2012> (Πρόσβαση: 03-06-2024)

<https://www.europarl.europa.eu/topics/el/article/20151201STO05603/kukliki-oikonomia-chrisimopoiise-to-xana> (Πρόσβαση: 03-06-2024)

<https://www.channel4.com/news/factcheck/climate-change-in-ten-graphs> (Πρόσβαση: 14-09-2025)

<https://www.meteo.gr/articleview.cfm?id=1445> (Πρόσβαση: 19-09-2025)

<https://halkidikivoice.gr/halkidiki/item/6074-provvlhmata-apo-plhmmmyrika-fainomena-olympiada> (Πρόσβαση: 20-09-2025)

<https://www.ekathimerini.com/multimedia/images/246799/flooding-damages-roads-in-halkidiki/> (Πρόσβαση: 20-09-2025)

ABSTRACT

A current issue humanity is facing is the change of earth's climate. It is confirmed that the climate is by nature changeable, since it depends on internal and external factors, which in themselves are not constant, for example, volcanic eruptions. Nevertheless, the human's work played an important part in its change. The climate system of the planet is linked to the greenhouse effect, which is affected by human activity. Industries, agriculture, transport lead to the release of greenhouse gases into the atmosphere, and as a result its composition is modified and, by extension, the average global temperature increases. The following chapters refer to the historical background of climate change, namely, how people at first associated it with a supernatural entity and then began to study the climate and its processes, reaching to the point of the discovery of the greenhouse effect, the validity of which was disputed. While the view that the planet was warming was accepted in the 1930s, in the 1970s public opinion was divided, with some arguing that the global temperature is decreasing and others believing that it is increasing. Subsequently, scientific studies conformed to the belief that the earth was cooling, attributing this trend to the increased in the stratosphere levels of concentration of sulfate aerosols, used primarily in agriculture, and of gases with similar composition, originating from volcanic activity. This point of view was later disproved, since the cooling effect was affecting only areas of the Northern Hemisphere, favoring the creation of conspiracy theories. However, during this period of time, the first three-dimensional climate model was developed to better understand and study it. Its projections, which was verified by comparing the results with those of other models, showed that a possible doubling of the concentration of carbon dioxide in the atmosphere would increase the average global temperature by 2°C. This fact, and the case of chlorofluorocarbons, drove to the need for

cooperation among the various states for the research and the exchange of data, as well as the enactment of legislative measures. Finally, in 1988, the Intergovernmental Panel on Climate Change was established to assess and enhance information related to climate change. It periodically publishes reports, whose main subject is the recording of scientific research, the effects of climate change and the ways of mitigating and adapting to them, as well as the projection of the future situation. After the analysis of the six Assessment Reports of the Intergovernmental Panel on Climate Change below, some world records of annual temperature, rainfall, floods and wildfires are presented, which are followed by the description of the five most important flood phenomena in Greece, including the recent one that hit Thessaly and was associated with storm Daniel. In the final capture, mitigation solutions and development of early warning systems for monitoring and projecting floods are proposed.

Keywords: climate change, global average temperature, greenhouse gases, floods