

«Σχολή Θετικών Επιστημών και Τεχνολογίας»

«Διαχείριση Αποβλήτων (ΔΙΑ)»

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

**«Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων
καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της
Θεσσαλονίκης»**



ΚΡΑΒΒΑ Α. ΜΑΡΙΑ

ΑΜ : 147211

Επιβλέπων καθηγητής: Κελέσης Απόστολος

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ, 2025

© Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, 2025

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία της φοιτήτριας Κράββα Μαρίας, που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης, η συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο ΕΑΠ μη αποκλειστική άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, προσαρμογής, δημόσιου δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσής της διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος και για όλο τον χρόνο διάρκειας των δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο για μελέτη και ανάγνωση δε σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας της συγγραφέα/δημιουργού, ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, αποθήκευση, πώληση, εμπορική χρήση, μετάδοση, διανομή, έκδοση, εκτέλεση, «μεταφόρτωση» (downloading), «ανάρτηση» (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιλήπτικα της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση της συγγραφέα/δημιουργού. Η συγγραφέας/δημιουργός διατηρεί το σύνολο των ηθικών και περιουσιακών της δικαιωμάτων.

Κράββα Α. Μαρία. «Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης»

«Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης»

«Study of temperature variations and heatwaves under the effect of climate change in the city of Thessaloniki»

KRABBA A. MARIA

AM: 147211

E-mail: kravvamaria@hotmail.com

Επιτροπή Επίβλεψης Διπλωματικής Εργασίας

Επιβλέπων Καθηγητής:

Κελέσης Απόστολος

Δρ. Φυσικός/Περιβαλλοντολόγος,
ΣΕΠ-ΕΑΠ

Συν-Επιβλέπων Καθηγητής:

Καζαντζίδης Ανδρέας

Καθηγητής Πανεπιστημίου Πατρών,
ΣΕΠ-ΕΑΠ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ, 2025

Κράββα Α. Μαρία. «Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης»

Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών «Διαχείριση Αποβλήτων» της Σχολής Θετικών Επιστημών και Τεχνολογίας του Ελληνικού Ανοικτού Πανεπιστημίου.

Την εκτίμησή μου και ένα μεγάλο ευχαριστώ στον επιβλέποντα καθηγητή της μεταπτυχιακής μου διατριβής, κ. Κελέση Απόστολο, για την αμέριστη βοήθειά του, την άψογη συνεργασία και τη θετική του διάθεση.

Ευχαριστώ και τον συνεπιβλέποντα καθηγητή μου κ. Καζαντζίδη Ανδρέα για τις σημαντικές επισημάνσεις και παρατηρήσεις του.

Επίσης, θέλω να ευχαριστήσω την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία, ΕΜΥ, για την παροχή των δεδομένων.

*Τέλος, ένα ευχαριστώ από καρδιάς στους φίλους μου **Καίτη, Μαρία, Άνθο, Αλέξη, Κυριάκο και Μιχάλη** για την πολύτιμη βοήθεια και συμπαράστασή τους κατά τη διάρκεια των σπουδών μου και όχι μόνο.*

ΑΦΙΕΡΩΣΗ

Στις ανιψιές μου, Αθανασία και Αποστολίνα, και στη μικρή Δωροθέα με την ελπίδα ότι θα έχουν ένα όμορφο μέλλον.

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	11
Λέξεις Κλειδιά.....	12
Abstract.....	12
Key Words.....	14
Εισαγωγή.....	14
Κεφάλαιο 1 ^ο : Φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής.....	16
1.1 Χαρακτηριστικά και ιστορική αναδρομή της μελέτης του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής.....	16
1.1.1 Ιστορική εξέλιξη του κλίματος.....	16
1.1.2 Παράγοντες που επηρεάζουν το κλίμα της γης.....	18
1.1.3 Η ιστορία της επιστήμης της κλιματικής αλλαγής.....	20
1.2 Αίτια και παράγοντες που επηρεάζουν το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής.....	22
1.2.1 Οι κύριες ανησυχίες για την κλιματική αλλαγή.....	22
1.2.2 Ανθρωπογενής κλιματική αλλαγή.....	24
1.2.2.1 Συμβολή του διοξειδίου του Άνθρακα (CO ₂) στην κλιματική αλλαγή.....	29
1.2.2.2 Συμβολή του Μεθανίου (CH ₄) στην κλιματική αλλαγή.....	33
1.2.2.3 Συμβολή του υποξειδίου του Αζώτου (N ₂ O) στην κλιματική αλλαγή.....	34
1.2.3 Άνοδος παγκόσμιας θερμοκρασίας λόγω ρεκόρ πλανητικού Albedo.....	35
1.2.4 Τρύπα του Όζοντος.....	36
1.3 Επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής.....	37
1.3.1 Παρέκκλιση από τα κλιματικά μοντέλα.....	38
1.3.2 Σημαντικότερες επιδράσεις στον άνθρωπο και τα οικοσυστήματα από την κλιματική αλλαγή.....	39
1.3.3 Η πρώτη ημέρα χωρίς πάγο στον Αρκτικό Ωκεανό.....	40
1.3.4 Επιτάχυνση της Απώλειας Παγετώνων παγκοσμίως.....	41
1.3.5 Ο παγετώνας στην Ανταρκτική λιώνει ταχύτερα από το αναμενόμενο.....	41
1.3.6 Σταθερή αύξηση της βλάστησης στη Χερσόνησο της Ανταρκτικής.....	42
1.3.7 Η κλιματική αλλαγή ενισχύει τις δασικές πυρκαγιές.....	43
1.3.8 Άνοδος της στάθμης της θάλασσας και θέρμανση των ωκεανών.....	45
1.3.9 Επίπτωση της κλιματικής αλλαγής στην πολιτιστική κληρονομιά.....	48
1.3.10 Επίδραση της κλιματικής αλλαγής στον τουρισμό στην Ελλάδα.....	49
1.3.11 Οικονομικές συνέπειες από την κλιματική αλλαγή.....	50
1.3.11.1 Οικονομικές συνέπειες στην ΕΕ από την κλιματική αλλαγή.....	51
Κεφάλαιο 2 ^ο : Επεισόδια καύσωνα & θερμοκρασιακές μεταβολές σε παγκόσμιο και τοπικό επίπεδο. Μελέτη περίπτωσης στην πόλη της Θεσσαλονίκης.....	54
2.1.1 Ορισμοί καύσωνα.....	54
2.1.2 Εποχικότητα και Τάσεις των Καυσώνων.....	57
2.1.3 Μακροπρόθεσμες Τάσεις στον Χρονοπρογραμματισμό των Καυσώνων.....	57
2.2 Παγκόσμια κλιματική κατάσταση.....	58
2.2.1 Η παγκόσμια κλιματική κατάσταση του 2024.....	60
2.2.2 Αποκλίσεις συστημάτων.....	63
2.2.3 Κατάσταση στη Μεσόγειο.....	64

Κράββα Α. Μαρία. «Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης»

2.2.4 Η εμφάνιση του φαινομένου επεισοδίων καύσωνα στην Ελλάδα.....	65
2.2.4.1 Η κλιματική αποτίμηση του 2024 στην Ελλάδα.....	65
2.2.5 Το καλοκαίρι του 2024 ως το θερμότερο των τελευταίων 40 ετών για τις ελληνικές θάλασσες.....	68
2.3 Αίτια και παράγοντες που επηρεάζουν το φαινόμενο επεισοδίων καύσωνα.....	69
2.3.1. Εκπομπές CO ₂	70
2.3.2. Εκπομπές CH ₄	71
2.3.3. Εκπομπές N ₂ O.....	72
2.3.4 Το μέλλον για την απανθρακοποίηση της ελληνικής βιομηχανίας.....	74
2.3.5 Φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας.....	75
2.4 Μέτρα.....	78
2.4.1 Ενέργεια.....	79
2.4.2 Βιομηχανία και μεταφορές.....	80
2.4.3 Αστικά Συστήματα και Υποδομές.....	80
2.4.4 Γη, Ωκεανοί, Τρόφιμα και Νερό.....	80
2.4.5 Υγεία και Διατροφή.....	82
2.4.6 Κοινωνία, Μέσα Διαβίωσης και Οικονομία.....	82
2.4.7 Ισότητα και ένταξη.....	83
2.4.8 Διακυβέρνηση και Πολιτικές.....	83
2.4.9 Οικονομικοί Πόροι και Τεχνολογία.....	83
2.5 Προτάσεις για Θεσσαλονίκη.....	84
2.6 Κλιματικό Σύμφωνο Πόλης.....	85
2.7 Μελέτη-Περίπτωσης: Δεδομένα και μεθοδολογία μελέτης των επεισοδίων καύσωνα και της έντασης των θερμοκρασιακών μεταβολών στη Θεσσαλονίκη.....	86
2.7.1 Δεδομένα.....	86
2.7.2 Περίοδος Μελέτης - Διαθεσιμότητα Δεδομένων.....	88
2.7.3 Γενικά χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης	88
Κεφάλαιο 3 ^ο : Διερεύνηση των επεισοδίων καύσωνα και της έντασης των θερμοκρασιακών μεταβολών στην πόλη της Θεσσαλονίκης.....	91
3.1 Επεισόδια καύσωνα της περιόδου 1970-2000 και της περιόδου 2000-2023, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης	91
3.2 Εποχική και μηνιαία διακύμανση επεισοδίων καύσωνα την περίοδο μελέτης, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης.....	100
3.3 Διακύμανση μέσων ετήσιων, εποχικών, μηνιαίων θερμοκρασιακών μεταβολών για την περίοδο μελέτης.....	101
3.4 Διακύμανση μέσων μηνιαίων τιμών θερμοκρασιών για την περίοδο μελέτης, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης.....	102
3.5 Εποχικές κατανομές θερμοκρασιών για την περίοδο μελέτης, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης.	114
Συζήτηση - Προτάσεις.....	119
Συμπεράσματα.....	121
Βιβλιογραφία.....	124
Ελληνική Βιβλιογραφία.....	124

Κράββα Α. Μαρία. «Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης»

Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία.....	125
Ιστοσελίδες στο διαδίκτυο.....	131
Νομοθεσία.....	132

Περιεχόμενα εικόνων

Εικόνα 1. Ανακατασκευασμένη παγκόσμια μέση θερμοκρασία επιφάνειας τα τελευταία 485 εκατομμύρια χρόνια (JUDD et al., 2024).....	17
Εικόνα 2. Χρονολόγιο παλαιοθερμοκρασιών για την Παλαιοζωική εποχή (Scotese et al., 2021).....	18
Εικόνα 3. Εκτίμηση του ετήσιου και παγκόσμιου μέσου ενεργειακού ισοζυγίου της Γης (IPCC AR4, 2007).....	20
Εικόνα 4. Οι ανθρώπινες δραστηριότητες είναι υπεύθυνες για την υπερθέρμανση του πλανήτη (IPCC AR6, 2023)	26
Εικόνα 5. Παγκόσμια μέση συγκέντρωση αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα από το έτος 1860 κι έπειτα (ΕΟΠ, 2022).	27
Εικόνα 6. Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου στην ΕΕ από ρύπους (ΕΟΠ, 2022).....	27
Εικόνα 7. Συμβολή αερίων του Θερμοκηπίου (IPCC AR6, 2023).....	28
Εικόνα 8. Παγκόσμιες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου λόγω του συστήματος παραγωγής τροφίμων (Poore and Nemecek, 2018; Our World in Data, 2025).....	29
Εικόνα 9. Ιστορική εξέλιξη των παγκόσμιων εκπομπών CO ₂ από ορυκτά καύσιμα και αλλαγή χρήσεων γης (Our World in Data, 2024).....	30
Εικόνα 10. Κατανομή των παγκόσμιων εκπομπών CO ₂ ανά περιοχή (Our World in Data, 2024).....	30
Εικόνα 11. Κατανομή των παγκόσμιων σωρευτικών εκπομπών CO ₂ ανά χώρα (Our World in Data, 2024).....	31
Εικόνα 12. Σύγκριση των εκπομπών από ορυκτά καύσιμα και από αλλαγές στη χρήση γης για συγκεκριμένες χώρες (Our World in Data, 2023).....	32
Εικόνα 13. Προβλέψεις συγκεντρώσεων CO ₂ σε ppm στην ατμόσφαιρα έως το 2100 (CBO, 2024).....	33
Εικόνα 14. Εκπομπές Μεθανίου (CH ₄) (Our World in Data, 2024).....	34
Εικόνα 15. Εκπομπές υποξειδίου του Αζώτου (N ₂ O) (Our World in Data, 2024).....	35
Εικόνα 16. Χρονοσειρές ημερήσιας έκτασης της τρύπας του Όζοντος (CAMS/ECMWF, 2024).....	37
Εικόνα 17. Ανακολουθίες στις μέγιστες ημερήσιες θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια πρόσφατων ρεκόρ καύσωνα και το χρονικό τους πλαίσιο (Kornhuber et al., 2024)....	39
Εικόνα 18. Η Ανταρκτική γίνεται πιο «πράσινη» λόγω κλιματικής αλλαγής (Michala Garrison βασισμένος σε δεδομένα των Roland et al. 2024).....	43
Εικόνα 19. Σενάρια μελλοντικών εκπομπών (IPCC AR6, 2023).....	45
Εικόνα 20. Παγκόσμια μέση στάθμη της θάλασσας (WMO, 2024).....	46
Εικόνα 21. Η εκτίμηση για την εξέλιξη της στάθμης της θάλασσας (NASA, 2024, IPCC AR6, 2023).....	47
Εικόνα 22. Θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας του Βόρειου Ατλαντικού μεταξύ 1850-2024 (NOOA, 2024).....	47

Κράββα Α. Μαρία. «Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης»

Εικόνα 23. Τρωτότητα παράκτιων ζωνών Ελλάδας (ΕΤΕ, 2011).....	49
Εικόνα 24. Οικονομικές απώλειες σε ετήσια βάση που προκύπτουν από ακραία καιρικά και κλιματικά φαινόμενα στα κράτη-μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΟΠ, 2023).....	51
Εικόνα 25. Απώλειες και θάνατοι που προκλήθηκαν από ακραία καιρικά και κλιματικά φαινόμενα στα κράτη-μέλη της ΕΕ κατά την περίοδο 1980-2022, ταξινομημένοι ανά κατηγορία κινδύνου (ΕΟΠ, 2022).....	52
Εικόνα 26. Παγκόσμιες και ευρωπαϊκές ανωμαλίες της θερμοκρασίας κοντά στην επιφάνεια σχετικά με τον μέσο όρο του 1850-1900 (Copernicus, 2024).....	59
Εικόνα 27. Ανωμαλίες της παγκόσμιας θερμοκρασίας από τις συνθήκες Ελ Νίνιο και Λα Νίνια (Copernicus, 2025; NOAA, 2025; Our World in Data, 2025).....	60
Εικόνα 28. Παγκόσμια θερμοκρασία επιφάνειας: Αύξηση πάνω από τα προβιομηχανικά επίπεδα (Copernicus, 2024).....	62
Εικόνα 29: Καλοκαιρινές αποκλίσεις της παγκόσμιας θερμοκρασίας του GISTEMP για το 2023 και το 2024 (NASA, 2024).....	63
Εικόνα 30. Παρεκκλίσεις παγκόσμιων μηνιαίων θερμοκρασιών σε σχέση με 1991-2020 (Copernicus, 2024).....	64
Εικόνα 31. Μέση ημερήσια θερμοκρασία για το 2024 στην Ελλάδα (Climatebook, 2024).....	67
Εικόνα 32. Μέση ετήσια θερμοκρασία στην Ελλάδα από το 1970 έως το 2024 (Climatebook, 2024).....	67
Εικόνα 33. Μέση θερμοκρασία για την περίοδο του καλοκαιριού (Ιούνιος, Ιούλιος, Αύγουστος) στην Ελλάδα από το 1960 μέχρι και το 2024 (ΕΑΑ, 2024).....	68
Εικόνα 34. Εκπομπές CO ₂ στον αέρα (Mt) στην Ελλάδα (e-PRTR, 2021).....	70
Εικόνα 35. Συμμετοχή (ποσοστό %) του τομέα της Ενέργειας σε εκπομπές CO ₂ στον αέρα στην Ελλάδα (e-PRTR, 2021).....	71
Εικόνα 36. Συμμετοχή (ποσοστό %) του τομέα της βιομηχανίας ορυκτών σε εκπομπές CO ₂ στον αέρα στην Ελλάδα (e-PRTR, 2021).....	71
Εικόνα 37. Εκπομπές CH ₄ στον αέρα (kt) στην Ελλάδα (e-PRTR, 2021).....	71
Εικόνα 38. Συμμετοχή (ποσοστό %) του τομέα της διαχείρισης απορριμμάτων και λυμάτων σε εκπομπές CH ₄ στον αέρα στην Ελλάδα (e-PRTR, 2021).....	72
Εικόνα 39. Συμμετοχή (ποσοστό %) του τομέα της Ενέργειας σε εκπομπές CH ₄ στον αέρα στην Ελλάδα (e-PRTR, 2021).....	72
Εικόνα 40. Εκπομπές N ₂ O στον αέρα (kt) στην Ελλάδα (e-PRTR, 2021).....	72
Εικόνα 41. Συμμετοχή (ποσοστό %) του τομέα της Ενέργειας σε εκπομπές N ₂ O στον αέρα στην Ελλάδα (e-PRTR, 2021).....	73
Εικόνα 42. Συμμετοχή (ποσοστό %) του τομέα Παραγωγής Χημικών σε εκπομπές N ₂ O στον αέρα στην Ελλάδα (e-PRTR, 2021).....	73
Εικόνα 43. Δείκτης Ελληνικής βιομηχανικής παραγωγής, 2000-2022, (ΕΛΣΤΑΤ, 2022; ΚΕΠΕ, 2022).....	74
Εικόνα 44. Εκπομπές βιομηχανίας τσιμέντου στην Ελλάδα (Ενωσιακό Μητρώο, 2024).....	74
Εικόνα 45. Εκπομπές διυλιστηρίων στην Ελλάδα (Ενωσιακό Μητρώο, 2024).....	74

Κράββα Α. Μαρία. «Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης»

Εικόνα 46. Εκπομπές βιομηχανίας τσιμέντου και διυλιστηρίων στην Ελλάδα (Ενωσιακό Μητρώο; UNFCCC; Εκθέσεις βιωσιμότητας εταιρειών, ΕΣΕΚ, 2024)....	75
Εικόνα 47. Θερμοκρασιακές διαφορές στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης, (LIFEASTI, 2025).....	76
Εικόνα 48. Μέσες ετήσιες τιμές θερμοκρασιών για την περίοδο 2013-2019, στον σταθμό Εγνατία & στον σταθμό Μακεδονία στη Θεσσαλονίκη (Τσόγκας, 2021).....	77
Εικόνα 49. Μετεωρολογικός σταθμός της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας στο αεροδρόμιο "Μακεδονία" (Μίκρα) (Google Maps, 2024).....	87
Εικόνα 50. Η θέση της πόλης της Θεσσαλονίκης (Google Maps, 2024).....	89

Περιεχόμενα γραφημάτων

Γράφημα 1. Αριθμός επεισοδίων καύσωνα για την περίοδο μελέτης 2000-2023, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης.....	92
Γράφημα 2. Αριθμός επεισοδίων καύσωνα για την περίοδο αναφοράς 1970-1999, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης.....	93
Γράφημα 3. Αριθμός επεισοδίων καύσωνα για την περίοδο 1970-2023, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης.....	94
Γράφημα 4. Επεισόδια καύσωνα και T _{max} , T _{mean} , T _{min} αυτών για την περίοδο 2000-2023, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης.....	95
Γράφημα 5. Επεισόδια καύσωνα και T _{max} , T _{mean} , T _{min} αυτών για την περίοδο 1970-1999, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης.....	96
Γράφημα 6. Αριθμός επεισοδίων καύσωνα και T _{mean} , T _{max} αυτών για την περίοδο 2000-2023, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης.....	97
Γράφημα 7. Αριθμός επεισοδίων καύσωνα και T _{mean} , T _{max} αυτών για την περίοδο 1970-1999, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης.....	97
Γράφημα 8. Αριθμός επεισοδίων καύσωνα και T _{mean} , T _{max} αυτών για την περίοδο 1970-2023, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης.....	98
Γράφημα 9. Διάρκεια επεισοδίων καύσωνα για την περίοδο 1970-2023, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης.....	99
Γράφημα 10. Αριθμός επεισοδίων καύσωνα για την περίοδο 2000-2023, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης.....	100
Γράφημα 11. Μέσες ετήσιες τιμές θερμοκρασιών για την περίοδο 2000-2023, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης.....	101
Γράφημα 12. Μέσες ετήσιες τιμές θερμοκρασιών για την περίοδο 1970-2023, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης.....	102
Γράφημα 13. Μέσες τιμές θερμοκρασιών Ιανουαρίου για την περίοδο 2000-2023, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης.....	103
Γράφημα 14. Μέσες τιμές θερμοκρασιών Φεβρουαρίου για την περίοδο 2000-2023, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης.....	104
Γράφημα 15. Μέσες τιμές θερμοκρασιών Μαρτίου για την περίοδο 2000-2023, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης.....	105

Κράββα Α. Μαρία. «Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης»

Γράφημα 16. Μέσες τιμές θερμοκρασιών Απριλίου για την περίοδο 2000-2023, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης.....	106
Γράφημα 17. Μέσες τιμές θερμοκρασιών Μαΐου για την περίοδο 2000-2023, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης.....	107
Γράφημα 18. Μέσες τιμές θερμοκρασιών Ιουνίου για την περίοδο 2000-2023, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης.....	108
Γράφημα 19. Μέσες τιμές θερμοκρασιών Ιουλίου για την περίοδο 2000-2023, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης.....	109
Γράφημα 20. Μέσες τιμές θερμοκρασιών Αυγούστου για την περίοδο 2000-2023.....	110
Γράφημα 21. Μέσες τιμές θερμοκρασιών Σεπτεμβρίου για την περίοδο 2000-2023, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης.....	111
Γράφημα 22. Μέσες τιμές θερμοκρασιών Οκτωβρίου για την περίοδο 2000-2023, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης.....	112
Γράφημα 23. Μέσες τιμές θερμοκρασιών Νοεμβρίου για την περίοδο 2000-2023, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης.....	113
Γράφημα 24. Μέσες τιμές θερμοκρασιών Δεκεμβρίου για την περίοδο 2000-2023, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης.....	114
Γράφημα 25. Κατανομή μέγιστων ημερήσιων θερμοκρασιών, T_{max} , Ιουνίου για την περίοδο 2000-2023, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης.....	115
Γράφημα 26. Κατανομή μέγιστων ημερήσιων θερμοκρασιών, T_{max} , Ιουλίου για την περίοδο 2000-2023, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης.....	116
Γράφημα 27. Κατανομή μέγιστων ημερήσιων θερμοκρασιών, T_{max} , Αυγούστου για την περίοδο 2000-2023, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης.....	116
Γράφημα 28. Κατανομή μέσων ημερήσιων θερμοκρασιών, T_{mean} , Ιουνίου για την περίοδο 2000-2023, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης.....	117
Γράφημα 29. Κατανομή μέσων ημερήσιων θερμοκρασιών, T_{mean} , Ιουλίου για την περίοδο 2000-2023, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης.....	118
Γράφημα 30. Κατανομή μέσων ημερήσιων θερμοκρασιών, T_{mean} , Αυγούστου για την περίοδο 2000-2023, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης.....	119

Κράββα Α. Μαρία. «Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης»

Περίληψη

Το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση του περιβάλλοντος των αστικών περιοχών και προκαλεί σημαντικά προβλήματα σ' όλες τις πτυχές της ανθρώπινης δραστηριότητας. Η κλιματική αλλαγή ευθύνεται για την αυξημένη συχνότητα των επεισοδίων καύσωνα, καθώς και για θερμότερους, μεγαλύτερης διάρκειας και διευρυμένους σε γεωγραφική έκταση καύσωνες. Τα επεισόδια καύσωνα είναι ένα ακραίο κλιματικό φαινόμενο με σημαντικές επιπτώσεις, τόσο στην ανθρώπινη υγεία, όσο και στα οικοσυστήματα.

Σκοπός αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι η κατανόηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στο ατμοσφαιρικό περιβάλλον μιας από τις μεγαλύτερες ελληνικές πόλεις, αυτής της Θεσσαλονίκης. Έτσι, σ' αυτήν τη διπλωματική εργασία έγινε προσπάθεια διερεύνησης του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής και της συσχέτισής του με επεισόδια καύσωνα και, κατ' επέκταση, με θερμοκρασιακές μεταβολές, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης.

Για τον λόγο αυτό, πραγματοποιήθηκε στατιστική επεξεργασία και αξιολόγηση των διαθέσιμων ημερήσιων μετρήσεων της θερμοκρασίας του αέρα (T_{max} , T_{mean} και T_{min}), κατά την περίοδο 1970-2023, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης. Οι μετρήσεις που χρησιμοποιήθηκαν προέρχονται από τον περιστατικό Μετεωρολογικό Σταθμό Επιφανείας-Ανώτερης Ατμοσφαίρας της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας, ΕΜΥ, που βρίσκεται, περίπου 15 χιλιόμετρα από το κέντρο της πόλης, στον Κρατικό Αερολιμένα Θεσσαλονίκης "Μακεδονία". Έτσι, δημιουργήθηκε μια βάση δεδομένων για διάστημα 54 ετών (1970-2023), με ανώτατες, μέσες και κατώτατες ημερήσιες μετρήσεις θερμοκρασίας του αέρα, τόσο για την περίοδο αναφοράς, 1970-1999, όσο και για την περίοδο μελέτης, 2000-2023.

Για τον ορισμό ενός επεισοδίου καύσωνα χρησιμοποιήθηκε ο ορισμός του Παγκόσμιου Μετεωρολογικού Οργανισμού (WMO), σύμφωνα με τον οποίο ως επεισόδιο καύσωνα ορίστηκε η περίοδος διάρκειας άνω των πέντε συνεχόμενων ημερών, κατά την οποία η μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία υπερέβη κατά τουλάχιστον 5°C τον μέσο όρο της μέγιστης θερμοκρασίας, T_{max} των μετρήσεων του σταθμού "Μακεδονία" για την περίοδο Μαΐου-Σεπτεμβρίου, όπως έχει καταγραφεί κατά την περίοδο αναφοράς (1970-1999) της συγκεκριμένης μελέτης.

Τα κύρια συμπεράσματα της ανάλυσης έδειξαν σημαντική αύξηση του αριθμού των επεισοδίων καύσωνα κατά την περίοδο μελέτης (2000-2023) και συγκεκριμένα

Κράββα Α. Μαρία. «Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης»

υπερδιπλάσια σε σχέση με τα επεισόδια καύσωνα κατά την περίοδο αναφοράς (1970-1999). Τα περισσότερα επεισόδια καύσωνα την περίοδο μελέτης (2000-2023) παρουσιάστηκαν τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο. Η διακύμανση των επεισοδίων καύσωνα ανά έτος επίσης αυξήθηκε σημαντικά την περίοδο μελέτης (0-6 ανά έτος), σε σχέση με την περίοδο αναφοράς (0-3 ανά έτος). Επιπλέον, η διάρκεια των επεισοδίων καύσωνα κατά την περίοδο μελέτης έχει αυξηθεί σημαντικά, σε σχέση με την περίοδο αναφοράς. Μέχρι το 2000 η διάρκεια των επεισοδίων καύσωνα συνήθως δεν ξεπερνούσε τις 10 ημέρες, ενώ μετά το 2001 η διάρκεια των επεισοδίων καύσωνα, τις περισσότερες φορές, ήταν μεταξύ των 10-15 ημερών.

Επίσης, παρατηρήθηκε άνοδος των μέσων ετήσιων θερμοκρασιών του αέρα κατά την περίοδο μελέτης (2000-2023). Η μέση τιμή της ετήσιας θερμοκρασίας του αέρα την περίοδο μελέτης κυμάνθηκε μεταξύ 15,8-18,0°C, ενώ η μέση τιμή της υπολογίστηκε ίση με 16,9°C, έναντι 15,7°C της περιόδου αναφοράς (1970-1999).

Έτσι, από τα συμπεράσματα της ΜΔΕ προκύπτει ότι υπάρχει μια σαφής άνοδος της θερμοκρασίας του αέρα κατά την περίοδο μελέτης (2000-2023), αλλά και κατά την περίοδο αναφοράς (1970-1999), στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης. Επομένως, αυτά τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η επίδραση της κλιματικής αλλαγής είναι σημαντική στις θερμοκρασιακές μεταβολές του αέρα, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης.

Ωστόσο, απαιτείται περαιτέρω έρευνα για την καλύτερη κατανόηση των παρατηρούμενων μακροπρόθεσμων τάσεων των επεισοδίων των καυσώνων και των θερμοκρασιακών μεταβολών του αέρα, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης, προκειμένου να διαπιστωθεί η επίδραση του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής σε τοπικό επίπεδο.

Λέξεις Κλειδιά: κλιματική αλλαγή, επεισόδια καύσωνα, θερμοκρασιακές μεταβολές, κατανομές θερμοκρασίας, ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης

Abstract

The phenomenon of climate change plays a significant role in shaping the environment of urban areas and causes major problems across all aspects of human activity. Climate change is responsible for the increased frequency of heatwave events, as well as for hotter, longer-lasting, and geographically expanded heatwaves.

Κράββα Α. Μαρία. «Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης»

Heatwaves are an extreme climatic phenomenon with substantial impacts on both human health and ecosystems.

The aim of this thesis is to understand the effects of climate change on the atmospheric environment of one of the largest Greek cities, Thessaloniki. Therefore, this thesis attempts to investigate the phenomenon of climate change and its correlation with heatwave events and, by extension, with temperature variations in the greater area of Thessaloniki.

For this purpose, a statistical analysis and evaluation of the available daily air temperature measurements (Tmax, Tmean, and Tmin) was conducted for the period 1970-2023 in the wider area of Thessaloniki. The measurements used were obtained from the peri-urban Surface-Upper Air Meteorological Station of the Hellenic National Meteorological Service, HNMS, located approximately 15 kilometers from the city center, at the Thessaloniki "Macedonia" State Airport. A database was thus created, covering a 54-year period (1970-2023), containing maximum, mean, and minimum daily air temperature values, both for the reference period (1970-1999) and for the study period (2000-2023).

For the definition of a heatwave event, the definition of the World Meteorological Organization, WMO, was used, according to which a heatwave is defined as a period of more than five consecutive days during which the maximum daily temperature exceeds the average maximum temperature, Tmax, of the "Macedonia" station measurements for the May-September period by at least 5°C, as recorded during the reference period (1970-1999) of this study.

The main findings of the analysis indicated a significant increase in the number of heatwave events during the study period (2000-2023), specifically more than double compared to the heatwave events of the reference period (1970-1999). Most heatwave events during the study period (2000-2023) occurred in July and August. The annual variability of heatwave events also increased significantly during the study period (ranging from 0 to 6 per year) compared to the reference period (0 to 3 per year). Furthermore, the duration of heatwave events during the study period significantly increased compared to the reference period. Until 2000, the duration of heatwave events usually did not exceed 10 days, while after 2001, the duration was most often between 10 and 15 days.

An increase in average annual air temperatures during the study period (2000-2023) was also observed. The mean annual air temperature during the study period ranged between 15.8-18.0°C, with an average value of 16.9°C, compared to 15.7°C during the reference period (1970-1999).

Thus, the conclusions of this thesis indicate a clear rise in air temperature during the study period (2000-2023), as well as during the reference period (1970-1999), in the wider area of Thessaloniki. Therefore, these results suggest that the impact of climate change on air temperature variations in the broader Thessaloniki area is significant.

However, further research is required to better understand the observed long-term trends in heatwave events and air temperature variations in the greater Thessaloniki area, in order to determine the effect of the climate change phenomenon at the local level.

Key Words: climate change, heatwave events, temperature variations, temperature distributions, wider area of Thessaloniki

Εισαγωγή

Το κλίμα έχει αλλάξει κατά τη διάρκεια όλης της ιστορίας της Γης. Ορισμένες παράμετροι της τρέχουσας κλιματικής αλλαγής δεν είναι ασυνήθεις, ενώ παρατηρούνται και άλλες που είναι σπάνιες. Η συγκέντρωση του διοξειδίου του Άνθρακα, CO₂, στην ατμόσφαιρα έχει φτάσει σε υψηλό επίπεδο ρεκόρ τα τελευταία χρόνια, και αυτό έγινε με εξαιρετικά γρήγορο ρυθμό. Οι τρέχουσες παγκόσμιες θερμοκρασίες είναι υψηλότερες από ποτέ, κατά τους τελευταίους τουλάχιστον αιώνες, πιθανώς ακόμη και περισσότερο από μια χιλιετία. Εάν η υπερθέρμανση συνεχιστεί αμείωτη, η κλιματική αλλαγή που θα προκύψει μέσα σ' αυτόν τον αιώνα θα είναι εξαιρετικά ασυνήθιστη υπό γεωλογικούς όρους. Μια άλλη ασυνήθιστη πτυχή της πρόσφατης κλιματικής αλλαγής είναι ότι οι προηγούμενες κλιματικές αλλαγές ήταν φυσικής προέλευσης, ενώ το μεγαλύτερο μέρος της θέρμανσης των τελευταίων 50 ετών αποδίδεται σε ανθρώπινες δραστηριότητες (IPCC AR4, 2007).

Το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση του περιβάλλοντος των αστικών περιοχών και προκαλεί σημαντικά

Κράββα Α. Μαρία. «Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης»

προβλήματα σ' όλες τις πτυχές της ανθρώπινης δραστηριότητας. Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η κατανόηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στο ατμοσφαιρικό περιβάλλον μιας από τις μεγαλύτερες ελληνικές πόλεις, αυτής της Θεσσαλονίκης. Έτσι, αυτή η διπλωματική εργασία έχει ως στόχο τη διερεύνηση του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής και τη συσχέτισή του με επεισόδια καύσωνα και, κατ' επέκταση, με θερμοκρασιακές μεταβολές στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης, τόσο της περιόδου 1970-1999, όσο και της περιόδου 2000-2023. Η μελέτη περίπτωσης για την πόλη της Θεσσαλονίκης αναμένεται να δείξει τη σύνδεση της κλιματικής αλλαγής και των επεισοδίων καύσωνα και, ως εκ τούτου, να αποτελέσει ένα επιπλέον διαχειριστικό εργαλείο προς την κατεύθυνση ανάληψης μέτρων για την αντιμετώπιση των προκλήσεων που συνδέονται με τη συνεχή αύξηση του αριθμού των καυσώνων στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης.

Η καινοτομία αυτής της Μεταπτυχιακής Διπλωματικής Εργασίας, ΜΔΕ, έγκειται στο γεγονός ότι παρουσιάζεται μια ολοκληρωμένη μελέτη για τα ακόλουθα:

- Μελέτη του φαινομένου των επεισοδίων καύσωνα σε μια από τις μεγαλύτερες πόλεις της Ελλάδος, τη Θεσσαλονίκη
- Διερεύνηση της έντασης των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα στη Θεσσαλονίκη, τόσο της περιόδου 1970-1999, όσο και της περιόδου 2000-2023
- Εξέταση της συσχέτισης του φαινομένου των μεταβολών των επεισοδίων καύσωνα με το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής
- Υποβολή προτάσεων για τον μετριασμό των επιπτώσεων του φαινομένου της αύξησης των επεισοδίων καύσωνα στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης.

Το θεωρητικό τμήμα της παρούσας ΜΔΕ συντάχθηκε έπειτα από ανασκόπηση, μέσω του διαδικτύου, αξιόπιστων άρθρων της εγχώριας και διεθνούς βιβλιογραφίας. Αξιοποιήθηκαν, κυρίως άρθρα, που δημοσιεύτηκαν την τελευταία δεκαετία. Επιπλέον, αντλήθηκε χρήσιμο υλικό από τη Διεθνή Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) και από ιστοσελίδες επίσημων φορέων που αφορούν στο κλίμα. Παράλληλα, όσον αφορά στο πρακτικό τμήμα, πραγματοποιήθηκε ανάλυση και στατιστική επεξεργασία των διαθέσιμων ημερήσιων μετρήσεων της θερμοκρασίας του αέρα, στην περιοχή της Θεσσαλονίκης, από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία, ΕΜΥ, κατά την περίοδο 1970-2023.

Κράββα Α. Μαρία. «Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης»

Στο πρώτο κεφάλαιο αυτής της διπλωματικής εργασίας, περιγράφεται το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής. Γίνεται μια ιστορική αναδρομή του φαινομένου και παρουσιάζονται τα αίτια και οι παράγοντες που το επηρεάζουν, ενώ δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στις επιπτώσεις του.

Στο δεύτερο κεφάλαιο έγινε μελέτη των επεισοδίων καύσωνα και γενικότερα των θερμοκρασιακών μεταβολών σε παγκόσμιο και τοπικό επίπεδο. Έτσι, παρουσιάζεται η παγκόσμια κλιματική κατάσταση και γίνεται ιδιαίτερη αναφορά στις τρέχουσες συνθήκες στην Ελλάδα. Στη συνέχεια παρουσιάζεται μια σειρά μέτρων και προτάσεων αντιμετώπισης της κλιματικής κρίσης, με σκοπό τη βελτίωση του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος αστικών περιοχών και ιδιαίτερα της ευρύτερης περιοχής της Θεσσαλονίκης. Στο τέλος παρουσιάζονται τα δεδομένα και η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε στη μελέτη περίπτωσης, που εξετάσθηκε στην παρούσα ΜΔΕ, η οποία αφορούσε στην πόλη της Θεσσαλονίκης.

Στο τρίτο κεφάλαιο, γίνεται η διερεύνηση των επεισοδίων καύσωνα και γενικότερα της έντασης των θερμοκρασιακών μεταβολών στην πόλη της Θεσσαλονίκης. Τέλος, ακολουθούν τα συμπεράσματα που προέκυψαν από αυτήν τη διπλωματική εργασία και οι προτάσεις για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής.

Κεφάλαιο 1^ο: Φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής

1.1 Χαρακτηριστικά και ιστορική αναδρομή της μελέτης του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής

1.1.1 Ιστορική εξέλιξη του κλίματος

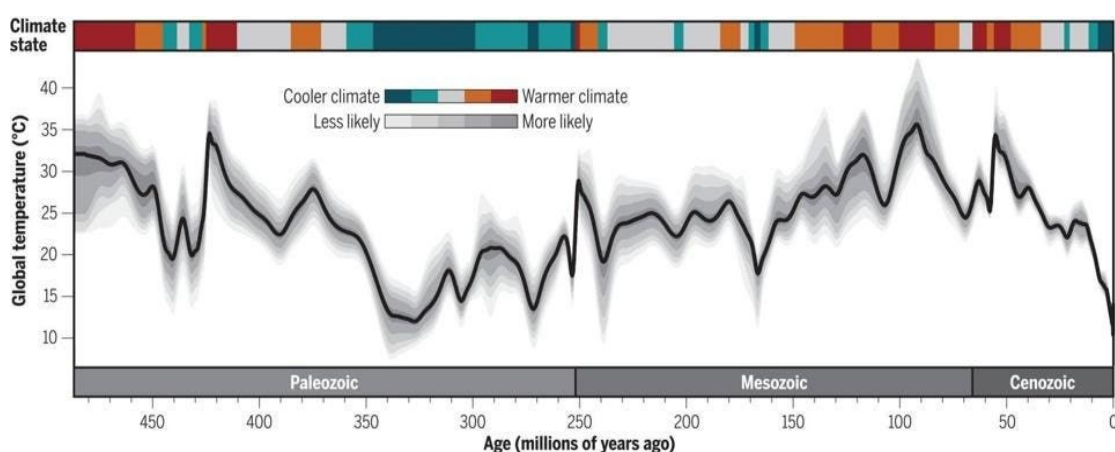
Το κλίμα έχει αλλάξει σε όλες τις χρονικές κλίμακες, σ' όλη την ιστορία της Γης. Μια νέα μελέτη των Judd et al. (2024) προσφέρει λεπτομερή ανάλυση της μεταβολής της θερμοκρασίας της Γης κατά τη διάρκεια του Φανεροζωικού μεγααιώνα, του τελευταίου από τους τέσσερις γεωλογικούς αιώνες στη γεωλογική χρονική κλίμακα της Γης, που αναφέρεται στο γεωλογικό διάστημα από 538,8 εκατομμύρια χρόνια πριν, μέχρι και σήμερα. Η νέα έρευνα δείχνει ότι η θερμοκρασία της Γης έχει αλλάξει περισσότερο από ό,τι μέχρι σήμερα πιστευόταν (Εικόνα 2), και ότι οι θερμές περιόδους ήταν πολύ πιο θερμές και με στενή σχέση με τα επίπεδα διοξειδίου του Άνθρακα, CO₂, στην ατμόσφαιρα. Οι ερευνητές αναλύουν την παγκόσμια μέση θερμοκρασία

Κράββα Α. Μαρία. «Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης»

επιφάνειας (GMST) για τα τελευταία 485 εκατομμύρια χρόνια, διαπιστώνοντας ότι κυμαίνεται από 11° έως 36°C, με σημαντική ευαισθησία της τάξεως περίπου των 8°C. Αυτή η μελέτη υπογραμμίζει τη σημασία του CO₂ ως κύριου παράγοντα στον κλιματικό σχηματισμό της Γης και παρέχει σημαντικές πληροφορίες για την κατανόηση της κλιματικής αλλαγής και της εξέλιξης της ζωής στη Γη.

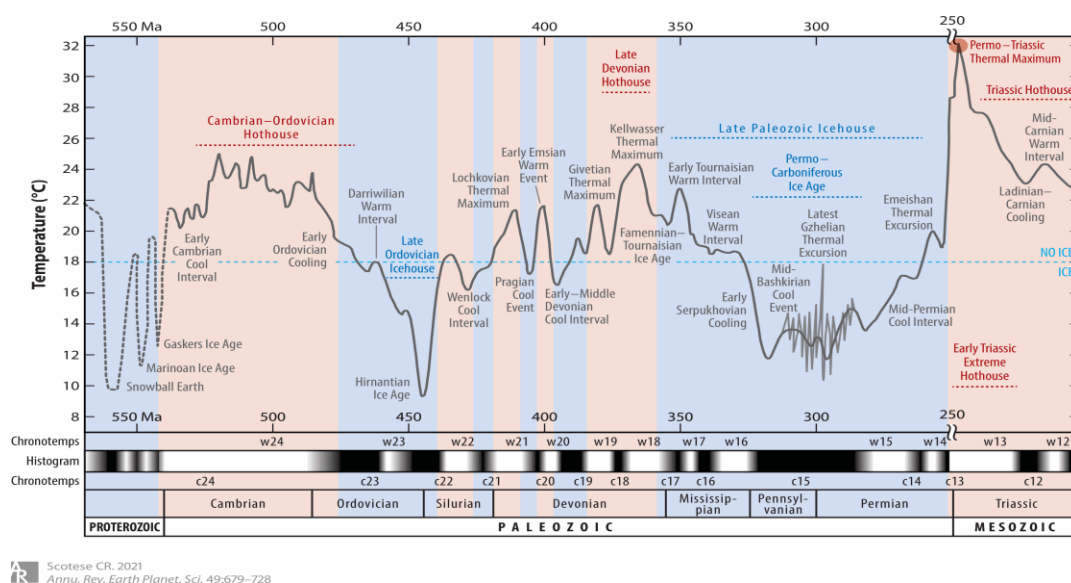
Η εικόνα 1, παρουσιάζει αναδιαμορφωμένη την παγκόσμια μέση θερμοκρασία επιφάνειας τα τελευταία 485 εκατομμύρια χρόνια. Η γκρι σκίαση αντιπροσωπεύει διαφορετικά επίπεδα εμπιστοσύνης, ενώ η μαύρη γραμμή υποδεικνύει τη μέση λύση. Οι χρωματιστές λωρίδες στην κορυφή απεικονίζουν τις κλιματικές καταστάσεις, με τα ψυχρότερα χρώματα να αντιπροσωπεύουν κλίματα ψυχρών περιόδων, τα θερμότερα χρώματα κλίματα θερμών περιόδων, και το γκρι να υποδεικνύει μια ενδιάμεση κατάσταση.

Η χρονική περίοδος που διανύουμε αφορά στο πιο πρόσφατο τμήμα της ολόκαινου εποχής, γνωστής και ως ολόκαινο ή αλλούβιος υποπερίοδος, που ξεκίνησε πριν από περίπου 10-12 χιλιάδες χρόνια, με το τέλος της πλειστοκαίνου, και συνεχίζεται μέχρι σήμερα. Αποτελεί μέρος της τεταρτογενούς περιόδου και το όνομά της σημαίνει «εντελώς πρόσφατη». Κατά τη διάρκεια αυτής της εποχής, το ανθρώπινο είδος εξαπλώθηκε παγκοσμίως, ενώ για πρώτη φορά οι επιδράσεις του στο περιβάλλον έγιναν μεγάλης κλίμακας. Η ολόκαινος ταυτίζεται επίσης με τη σύγχρονη θερμή περίοδο, γνωστή ως MIS 1, που μπορεί να θεωρηθεί ως μεσοπαγετώδης περίοδος (Raphael, 1999).



Εικόνα 1. Αναδιαμορφωμένη παγκόσμια μέση θερμοκρασία επιφάνειας τα τελευταία 485 εκατομμύρια χρόνια (JUDD et al., 2024).

Χάρη σύγκρισης, στην εικόνα 2 παρουσιάζεται η εξέλιξη της παγκόσμιας μέσης θερμοκρασίας επιφάνειας σύμφωνα με τα απερχόμενα τεχνολογικά δεδομένα. Οι θερμές περίοδοι απεικονίζονται με λευκό χρώμα, ενώ οι ψυχρές περίοδοι με μαύρο. Η συνεχής γκρι γραμμή αντιπροσωπεύει τη Μέση Παγκόσμια Θερμοκρασία. Όταν η θερμοκρασία πέφτει κάτω από 18°C, υπάρχουν εκτεταμένοι μόνιμοι παγετώνες. Οι διακεκομμένες γκρι γραμμές παρουσιάζουν σχηματικά περισσότερους από 50 παγετώδεις και μεσοπαγετώδεις κύκλους κατά τη διάρκεια της Περμο-Καρβονικής περιόδου.



Εικόνα 2. Χρονολόγιο παλαιοθερμοκρασιών για την Παλαιοζωική εποχή (Scotese et al., 2021).

1.1.2 Παράγοντες που επηρεάζουν το κλίμα της γης

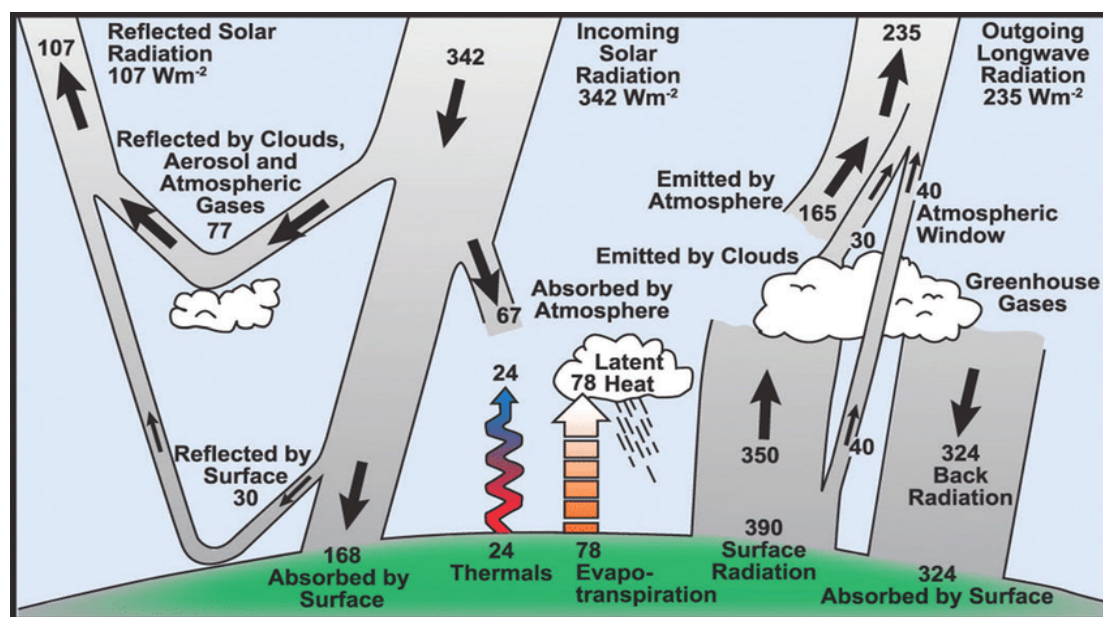
Το κλιματικό σύστημα αφορά σε ένα περίπλοκο και αλληλεπιδραστικό σύνολο, που περιλαμβάνει την ατμόσφαιρα, την επιφάνεια της γης, το χιόνι, τους πάγους, τους ωκεανούς και άλλα υδάτινα σώματα, καθώς και τους ζωντανούς οργανισμούς. Ορίζεται συχνά ως «μέσος καιρός» και περιγράφεται μέσω της μέσης τιμής και της διακύμανσης παραμέτρων όπως η θερμοκρασία, η βροχόπτωση και ο άνεμος σε χρονικά διαστήματα που κυμαίνονται από μήνες έως εκατομμύρια χρόνια (συνήθως 30 έτη). Η εξέλιξη του κλιματικού συστήματος οφείλεται τόσο στις εσωτερικές του διεργασίες, όσο και σε εξωτερικές επιδράσεις, όπως ηφαιστειακές εκρήξεις, μεταβολές στην ηλιακή ακτινοβολία και ανθρωπογενείς αλλαγές στη σύνθεση της ατμόσφαιρας. Η ηλιακή ακτινοβολία είναι η κύρια πηγή ενέργειας του κλιματικού συστήματος. Η ενεργειακή ισορροπία της Γης μπορεί να διαταραχθεί από αλλαγές στην εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία (π.χ λόγω αλλαγών στην τροχιά της Γης), από

Κράββα Α. Μαρία. «Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης»

μεταβολές στο ποσοστό ανακλαστικότητας λόγω σύννεφων (Albedo), σωματιδίων ή βλάστησης και από διαφοροποιήσεις στις εκπομπές θερμικής ακτινοβολίας, λόγω αερίων του θερμοκηπίου. Το κλίμα αντιδρά σε αυτές τις αλλαγές, ενώ οι μηχανισμοί ανάδρασης εντείνουν τις επιπτώσεις τους. Κατά τη διάρκεια της ημέρας, η κορυφή της ατμόσφαιρας της Γης λαμβάνει περίπου 1.370 Watt ενέργειας ανά τετραγωνικό μέτρο, ανά δευτερόλεπτο, ενώ, αντίστοιχα, ο μέσος όρος για όλο τον πλανήτη είναι το ένα τέταρτο αυτού. Περίπου το 30% της ηλιακής ακτινοβολίας αντανακλάται πίσω στο διάστημα, με τα δύο τρίτα αυτής της ανάκλασης να προέρχονται από σύννεφα και αερολύματα, ενώ το υπόλοιπο ένα τρίτο προέρχεται από ανοιχτόχρωμες επιφάνειες, όπως χιόνι και έρημοι. Μεγάλες ηφαιστειακές εκρήξεις μπορούν να αυξήσουν προσωρινά την ανακλαστικότητα, μειώνοντας τη μέση παγκόσμια θερμοκρασία για μήνες ή χρόνια. Η ενέργεια που δεν ανακλάται, απορροφάται από την επιφάνεια της Γης και την ατμόσφαιρα (περίπου 240 W/m²) και εκπέμπεται ως ακτινοβολία μακρών κυμάτων. Οι θερμοκρασίες στην επιφάνεια της Γης είναι υψηλότερες από ό,τι θα ήταν, λόγω των αερίων του θερμοκηπίου, που παγιδεύουν θερμότητα, δημιουργώντας το φυσικό φαινόμενο του θερμοκηπίου. Ωστόσο, οι ανθρώπινες δραστηριότητες έχουν αυξήσει σημαντικά τις συγκεντρώσεις διοξειδίου του Άνθρακα, κυρίως μέσω της καύσης ορυκτών καυσίμων και της αποψίλωσης. Καθώς η γη είναι σφαιρικού σχήματος, η ηλιακή ακτινοβολία είναι εντονότερη στις τροπικές περιοχές και μειώνεται προς τους πόλους. Η ενέργεια μεταφέρεται από τις τροπικές στις πολικές περιοχές μέσω κυκλοφοριών στην ατμόσφαιρα και τους ωκεανούς. Οι αλλαγές στο κλίμα, όπως η μείωση των πάγων και οι αλλαγές στη βλάστηση, επηρεάζουν την ατμοσφαιρική και ωκεάνια κυκλοφορία. Υπάρχουν μηχανισμοί ανάδρασης στο κλιματικό σύστημα που είτε ενισχύουν (θετική ανάδραση), είτε μειώνουν (αρνητική ανάδραση) τις κλιματικές αλλαγές. Ένα παράδειγμα θετικής ανάδρασης είναι η "ανάδραση του Albedo πάγου", όπου το λιώσιμο των πάγων αποκαλύπτει σκοτεινότερες επιφάνειες που απορροφούν περισσότερη θερμότητα, επιταχύνοντας τη θέρμανση. Η κατανόηση αυτών των μηχανισμών είναι κρίσιμη για την πρόβλεψη των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής. Παρακάτω, στην εικόνα 3 παρουσιάζεται η εκτίμηση του ετήσιου και παγκόσμιου μέσου ενεργειακού ισοζυγίου της Γης. Σε βάθος χρόνου, η ενέργεια της ηλιακής ακτινοβολίας, που απορροφάται από τη Γη και την ατμόσφαιρα, ισορροπείται από την ενέργεια που η Γη και η ατμόσφαιρα εκπέμπουν στο διάστημα με τη μορφή ακτινοβολίας μακρών κυμάτων. Περίπου το

Κράββα Α. Μαρία. «Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης»

μισό της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στη Γη απορροφάται από την επιφάνειά της. Αυτή η ενέργεια μεταφέρεται στην ατμόσφαιρα μέσω της θέρμανσης του αέρα κοντά στην επιφάνεια (θερμότητα), της εξατμισοδιαπνοής και της εκπομπής μακροκυματικής ακτινοβολίας, την οποία απορροφούν τα σύννεφα και τα αέρια του θερμοκηπίου. Στη συνέχεια, η ατμόσφαιρα εκπέμπει μακροκυματική ακτινοβολία τόσο προς τη Γη, όσο και προς το διάστημα (IPCC AR4, 2007).



Εικόνα 3. Εκτίμηση του ετήσιου και παγκόσμιου μέσου ενεργειακού ισοζυγίου της Γης (IPCC AR4, 2007).

1.1.3 Η ιστορία της επιστήμης της κλιματικής αλλαγής

Η ιστορία της επιστήμης της κλιματικής αλλαγής επικεντρώνεται στην ανακάλυψη και τη μελέτη των μεταβολών του κλίματος, όπως η υπερθέρμανση του πλανήτη, που ξεκίνησε κυρίως από τον 20^ο αιώνα.

Ο Γάλλος φυσικός και μαθηματικός Ζοζέφ Φουριέ ήταν ο πρώτος που πρότεινε ότι η ατμόσφαιρα συγκρατεί θερμότητα, η οποία θα διέφευγε στο διάστημα, και άρα δρα ως μονωτής που αυξάνει τη θερμοκρασία στην επιφάνεια της γης (γνωστό σήμερα ως φαινόμενο του θερμοκηπίου). Φέτος κλείνουν 200 χρόνια από τη δημοσίευση του εν λόγω έργου (Climatebook, 2024).

Ωστόσο, η θεωρία ότι οι ανθρώπινες δραστηριότητες επηρεάζουν το κλίμα μέσω των αερίων του θερμοκηπίου τεκμηριώθηκε ουσιαστικά μόλις τη δεκαετία του 1950, χάρη σε βελτιωμένες μεθόδους μέτρησης, παρόλο που οι πρώτες έρευνες που αφορούσαν σε φυσικές κλιματικές αλλαγές ξεκίνησαν τον 19^ο αιώνα με την

Κράββα Α. Μαρία. «Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης»

κατανόηση των Εποχών των Παγετώνων, και ενώ ήδη από τα τέλη του 19^{ου} αιώνα είχε διατυπωθεί η υπόθεση ότι οι ανθρώπινες δραστηριότητες επηρεάζουν το κλίμα μέσω των αερίων του θερμοκηπίου (IPCC AR4, 2007; Cooper and Alley, 2002).

Οι μετρήσεις του Charles David Keeling από το έτος 1958 στο Mauna Loa της Χαβάης, που κατέγραψαν τις αυξήσεις του CO₂ στην ατμόσφαιρα, αποτέλεσαν ορόσημο στην επιστήμη της κλιματικής αλλαγής, καθώς παρείχαν ακριβή εκτίμηση του παγκόσμιου κύκλου του Άνθρακα και μια σχεδόν συνεχή καταγραφή της καύσης ορυκτών καυσίμων, αποδεικνύοντας τη σύνδεση μεταξύ ανθρώπινων δραστηριοτήτων και της μεταβολής της χημικής σύνθεσης της ατμόσφαιρας. Οι υψηλής ακρίβειας και αξιοπιστίας αυτές μετρήσεις επιτρέπουν στους επιστήμονες να διαχωρίσουν τις εκπομπές από ορυκτά καύσιμα από τις φυσικές ετήσιες μεταβολές που προκαλεί η βιόσφαιρα, αποκαλύπτοντας μακροπρόθεσμες αλλαγές στην εποχιακή ανταλλαγή CO₂ μεταξύ ατμόσφαιρας, βιόσφαιρας και ωκεανού. Οι παρατηρήσεις σχετικά με τις ατμοσφαιρικές αφθονίες του ¹³CO₂ ισότοπου Άνθρακα ενίσχυσαν τη σύνδεση της αύξησης του CO₂ με την καύση ορυκτών καυσίμων.

Από τη δεκαετία του 1970, η έρευνα άρχισε να ευνοεί την άποψη ότι οι ανθρώπινες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου προκαλούν αύξηση της θερμοκρασίας. Τη δεκαετία του 1990 εξελιγμένα υπολογιστικά μοντέλα και καλύτερη κατανόηση της κλιματικής ιστορίας κατέληξαν στη γενική αποδοχή ότι τα αέρια του θερμοκηπίου διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στην υπερθέρμανση του πλανήτη, με τις ανθρωπογενείς εκπομπές να αποτελούν την κύρια αιτία (IPCC AR4, 2007).

Παράλληλα, επισημαίνεται ότι 47 χρόνια πριν, στις 23 Νοεμβρίου 1977, εκτοξεύθηκε ο πρώτος Ευρωπαϊκός γεωστατικός μετεωρολογικός δορυφόρος, ο Meteosat. Αυτή η εκτόξευση ολοκλήρωσε τη δορυφορική κάλυψη της Γης σε γεωστατική τροχιά και σηματοδότησε την αρχή μιας Ευρωπαϊκής και παγκόσμιας συνεργασίας στη δορυφορική μετεωρολογία και κλιματολογία. Ο Meteosat-1 ήταν ο πρώτος δορυφόρος που διέθετε κανάλι υδρατμών, επιτρέποντας την παρακολούθηση της υγρασίας στην ατμόσφαιρα. Ο σύγχρονος δορυφόρος Meteosat τρίτης γενιάς (MTG-II), που διαθέτει νέες δυνατότητες, όπως η ανίχνευση ηλεκτρικών εκκενώσεων και η βελτιωμένη ανάλυση, εξασφαλίζει τη συνεχιζόμενη παρακολούθηση της ατμόσφαιρας από το διάστημα μέχρι το 2030 (ESA, 2024). Τον Αύγουστο του 2025 είναι προγραμματισμένη η εκτόξευση του πρώτου δορυφόρου

Κράββα Α. Μαρία. «Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης»

πολικής τροχιάς δεύτερης γενιάς της Ευρώπης (Metop- SGA 1), που θα παρέχει κρίσιμα δεδομένα για την παρακολούθηση του κλίματος (Eumetsat, 2025).

Η συνειδητοποίηση και η μερική κατανόηση των περισσότερων διαδραστικών διεργασιών του γήινου συστήματος που επηρεάζουν το κλίμα και την κλιματική αλλαγή υπήρχε ήδη αρκετές δεκαετίες πριν από τη δημιουργία της IPCC. Ωστόσο, η βαθύτερη κατανόηση, η ποσοτικοποίηση αυτών των διεργασιών και η ενσωμάτωσή τους στα κλιματικά μοντέλα έχουν σημειώσει ταχεία πρόοδο από την Πρώτη Έκθεση Αξιολόγησης της IPCC το 1990 (IPCC AR4, 2007).

1.2 Αίτια και παράγοντες που επηρεάζουν το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής

1.2.1 Οι κύριες ανησυχίες για την κλιματική αλλαγή

Η κύρια ανησυχία για την κλιματική αλλαγή προκύπτει από την αύξηση των συγκεντρώσεων CO₂ και άλλων αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα, γεγονός που είναι εξαιρετικά ασυνήθιστο για την Τεταρτογενή περίοδο (τελευταία δυο εκατομμύρια χρόνια). Οι πυρήνες πάγου της Ανταρκτικής παρέχουν ακριβείς μετρήσεις της συγκέντρωσης CO₂ τα τελευταία 650.000 χρόνια. Κατά την περίοδο αυτή, τα επίπεδα CO₂ κυμάνθηκαν από 180 ppm στις παγετώδεις περιόδους έως 300 ppm στις μεσοπαγετώδεις περιόδους. Ωστόσο, τον τελευταίο αιώνα, οι συγκεντρώσεις αυξήθηκαν ραγδαία, και σήμερα (Δεκέμβριος 2024) αγγίζουν τα 424 ppm, τιμή που ξεπερνά σημαντικά τις φυσικές διακυμάνσεις του παρελθόντος. Για σύγκριση, η άνοδος κατά 80 ppm στο τέλος προηγούμενων εποχών των παγετώνων απαιτούσε περίπου 5.000 χρόνια. Συγκεντρώσεις υψηλότερες από τις σημερινές έχουν καταγραφεί μόνο εκατομμύρια χρόνια πριν. Τα αποτελέσματα της μελέτης των Willeit et al. (2019) επιβεβαιώνουν ότι η τρέχουσα συγκέντρωση CO₂ είναι άνευ προηγουμένου τα τελευταία τρία εκατομμύρια χρόνια και ότι η παγκόσμια θερμοκρασία δεν ξεπέρασε ποτέ την προβιομηχανική τιμή περισσότερο από 2°C κατά τη διάρκεια του Τεταρτογενούς.

Οι θερμοκρασιακές διακυμάνσεις σε τοπικό επίπεδο, ακόμη και σε χρονικό διάστημα μερικών δεκαετιών, μπορούν να φτάσουν αρκετούς βαθμούς Κελσίου, υπερβαίνοντας τη μέση αύξηση κατά 0,7°C του τελευταίου αιώνα. Αξιόπιστες μετρήσεις θερμοκρασίας με όργανα υπάρχουν μόνο για τα τελευταία 150 χρόνια. Δεδομένα από δακτυλίους δέντρων, πυρήνες πάγου κ.ά. καλύπτουν πάνω από μία

Κράββα Α. Μαρία. «Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης»

χιλιετία, αλλά η ακρίβεια μειώνεται για παλαιότερες περιόδους. Παρότι υπάρχουν διαφορές στις διάφορες ανακατασκευές, όλες συμφωνούν ότι η θερμοκρασία ήταν υψηλή κατά τον Μεσαίωνα, μειώθηκε μεταξύ 17^{ου}-19^{ου} αιώνα και αυξήθηκε απότομα στη συνέχεια. Τα θερμά επίπεδα του Μεσαίωνα ενδέχεται να επαναλήφθηκαν τον 20^ο αιώνα και πιθανότατα ξεπεράστηκαν. Αυτό υποστηρίζεται και από μοντέλα κλιματικής προσομοίωσης. Πριν από 2.000 χρόνια, οι θερμοκρασιακές διακυμάνσεις φαίνεται να ήταν λιγότερο έντονες και να μην ξεπερνούσαν τις σημερινές μέσες θερμοκρασίες από την έναρξη του Ολόκαινου (τελευταία 11.600 χρόνια). Υπάρχουν όμως στοιχεία ότι περίπου πριν από τρία εκατομμύρια χρόνια επικρατούσε θερμότερο κλίμα, με μειωμένα παγκόσμια στρώματα πάγου και υψηλότερη στάθμη της θάλασσας. Ως εκ τούτου, η τρέχουσα ζέστη είναι ασυνήθιστη σε σύγκριση με τις τελευταίες χιλιετίες, αλλά όχι αν εξετάσουμε μεγαλύτερες χρονικές κλίμακες, όπου τεκτονικές διεργασίες επηρέασαν τη συγκέντρωση των αερίων του θερμοκηπίου.

Όσον αφορά στον ρυθμό θέρμανσης, οι μεγαλύτερες κλιματικές μεταβολές των τελευταίων εκατομμυρίων ετών σχετίζονται με τους παγετώδεις κύκλους, όπου η μέση θερμοκρασία άλλαζε κατά 4°C-7°C σε διάστημα χιλιάδων ετών. Τα δεδομένα δείχνουν ότι η άνοδος της θερμοκρασίας στο τέλος μιας παγετώδους περιόδου ήταν αργή, διαρκώντας περίπου 5.000 χρόνια. Ο σημερινός ρυθμός αλλαγής είναι πολύ ταχύτερος και ασυνήθιστος. Ακόμη και απότομες κλιματικές αλλαγές κατά τη διάρκεια των παγετώνων φαίνεται να προκλήθηκαν από ωκεάνιες θερμικές διεργασίες που δεν επηρέασαν την παγκόσμια μέση θερμοκρασία. Για παλαιότερες εποχές πέραν των δεδομένων πυρήνων πάγου, οι χρονικές αναλύσεις ιζημάτων και άλλων αρχείων δεν ανιχνεύουν τόσο απότομες αλλαγές, όσο η σημερινή θέρμανση. Συνεπώς, ενώ έχουν συμβεί μεγάλες κλιματικές αλλαγές στο παρελθόν, δεν υπάρχουν στοιχεία για ταχύτερες μεταβολές από τις σημερινές. Αν η προβλεπόμενη αύξηση θερμοκρασίας κατά 5°C στον 21^ο αιώνα επαληθευτεί, η Γη θα έχει βιώσει αντίστοιχη υπερθέρμανση με το τέλος της τελευταίας εποχής των παγετώνων, αλλά με πολύ ταχύτερο ρυθμό. Δεν υπάρχουν ενδείξεις για συγκρίσιμη αύξηση θερμοκρασίας τα τελευταία 50 εκατομμύρια χρόνια.

Παρά τις αποκλίσεις που προκύπτουν λόγω σημαντικών αβεβαιοτήτων στις εκτιμήσεις παλαιοκλίματος πριν το 1600, λόγω έλλειψης δεδομένων, τα στοιχεία δείχνουν ότι η θερμότερη περίοδος πριν τον 20^ο αιώνα συνέβη μεταξύ 950-1.100 Μ.Χ, ωστόσο οι θερμοκρασίες ήταν χαμηλότερες από αυτές του τέλους του 20^{ου}

Κράββα Α. Μαρία. «Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης»

αιώνα. Επιπλέον, οι φυσικοί μηχανισμοί δε δικαιολογούν την απότομη αύξηση των συγκεντρώσεων αερίων του θερμοκηπίου, όπως το CO₂, που αναμενόταν να παραμείνει κάτω από 290 ppm χωρίς ανθρωπογενείς εκπομπές (IPCC AR4, 2007).

1.2.2 Ανθρωπογενής κλιματική αλλαγή

Από το 1970 η παγκόσμια θερμοκρασία αυξάνεται ταχύτερα από οποιαδήποτε άλλη περίοδο 50 ετών τα τελευταία τουλάχιστον 2000 χρόνια. Κατά τις δύο πρώτες δεκαετίες του 21^{ου} αιώνα (2001-2020) η τιμή της ήταν κατά 0,99°C υψηλότερη από την πενήνταετία 1850-1900, ενώ είναι αξιοσημείωτο ότι τη δεκαετία 2011-2020 η τιμή της ήταν κατά 1,09°C υψηλότερη σε σχέση με την πενήνταετία 1850-1900 (Εικόνα 4), με μεγαλύτερες αυξήσεις να σημειώνονται στην ξηρά (1,59°C), παρά στους ωκεανούς (0,88°C).

Σύμφωνα με την τελευταία αναφορά της Διεθνούς Επιτροπής για την Κλιματική Αλλαγή (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC AR6, 2023), η εκτιμώμενη συνολική αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας που οφείλεται στον άνθρωπο κυμαίνεται μεταξύ 0,8-1,3°C από το 1850-1900 έως το 2010-2019, με καλύτερη εκτίμηση τους 1,07°C. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου είναι πιθανό ότι αέρια θερμοκηπίου συνέβαλαν στην αύξηση της θερμοκρασίας μεταξύ 1-2°C. Άλλοι σημαντικοί παράγοντες που συνέβαλαν στην υπερθέρμανση είναι το τροποσφαιρικό Όζον (O₃) και τα αλογονούχα αέρια, ενώ άλλοι ανθρωπίνοι παράγοντες (κυρίως αεροζόλ) συνέβαλαν στη μείωση της θερμοκρασίας μεταξύ 0-0,8°C. Επιπλέον, φυσικοί συντελεστές (ήλιος, ηφαίστεια) μετέβαλαν τη θερμοκρασία της παγκόσμιας επιφάνειας της γης κατά -0,1°C ως +0,1°C, ενώ η εσωτερική μεταβλητότητα τη μετέβαλε κατά -0,2°C ως +0,2°C (Βερύκιος, 2003; Ζιώμας και Ρεμουντάκη, 2003; Καμπεζίδης και Ματράλης, 2004) (Εικόνα 4).

Οι παρατηρούμενες αυξήσεις στα κυριότερα αέρια του θερμοκηπίου ((διοξείδιο του Άνθρακα (CO₂), Μεθάνιο (CH₄) και υποξείδιο του Αζώτου (N₂O)) προκαλούνται αναμφίβολα από ανθρώπινες δραστηριότητες. Οι συγκεντρώσεις του CH₄ και του N₂O έχουν φτάσει επίσης σε επίπεδα πρωτοφανή για τουλάχιστον 800.000 χρόνια. Από το 1750, οι αυξήσεις στις συγκεντρώσεις CO₂ (>47%) και CH₄ (156%) ξεπερνούν κατά πολύ τις φυσικές μεταβολές χιλιετιών μεταξύ παγετωδών και μεσοπαγετωδών περιόδων, ενώ η αύξηση στο N₂O (23%) είναι παρόμοια με αυτές τις φυσικές αλλαγές. Το net cooling effect εξαιτίας ανθρωπογενών αερολυμάτων

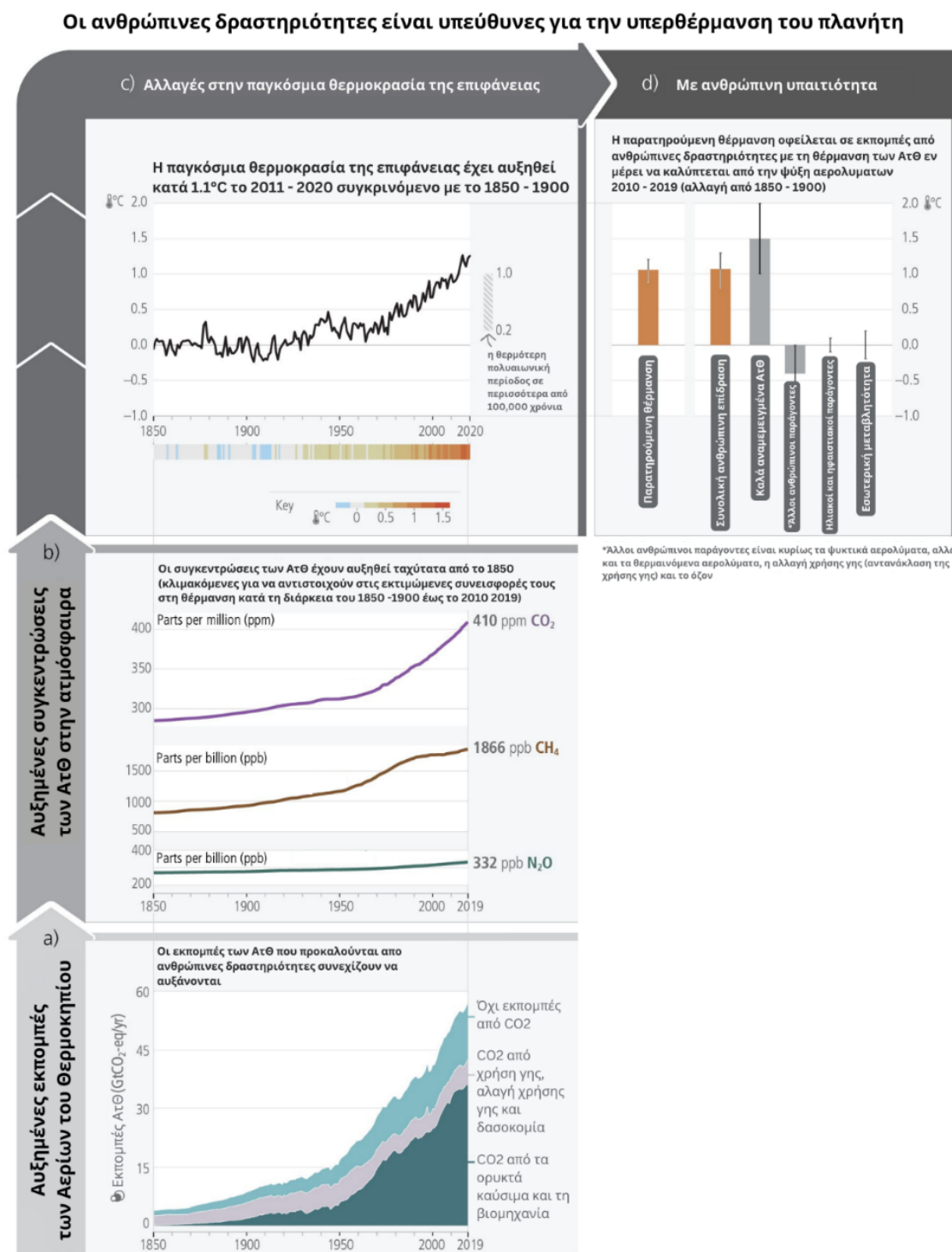
Κράββα Α. Μαρία. «Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης»

κορυφώθηκε στα τέλη του 20ού αιώνα. Επισημαίνεται ότι το έτος 2019, περίπου το 79% των παγκόσμιων εκπομπών αερίων θερμοκηπίου προήλθε από τους τομείς της ενέργειας, της βιομηχανίας, των μεταφορών και των κτιρίων και το 22% από τη γεωργία, τη δασοκομία και λοιπές χρήσεις γης. Τα χερσαία και θαλάσσια οικοσυστήματα έχουν απορροφήσει σταθερά περίπου το 56% των εκπομπών CO₂ από ανθρώπινες δραστηριότητες κάθε χρόνο κατά τις τελευταίες έξι δεκαετίες, αν και σημειώνονται τοπικές διαφορές. Η μείωση των εκπομπών CO₂ από την καύση ορυκτών καυσίμων και τις βιομηχανικές διεργασίες λόγω βελτιώσεων στην “ενεργειακή ένταση” του ΑΕΠ και στην “ένταση Άνθρακα ενέργειας” δεν κατάφερε να ισοσκελίσει τις αυξήσεις των εκπομπών από τα αυξανόμενα παγκόσμια επίπεδα δραστηριότητας στη βιομηχανία, στην παροχή ενέργειας, τις μεταφορές, τη γεωργία και τα κτίρια (IPCC AR6, 2023).

Ωστόσο, η ιστορική συμβολή των εκπομπών CO₂ ποικίλλει σημαντικά μεταξύ των διαφορετικών περιοχών. Το 2019, περίπου το 35% του παγκόσμιου πληθυσμού ζει σε χώρες που εκπέμπουν περισσότερο από 9t/κάτοικο CO₂, ενώ το 41% σε χώρες που εκπέμπουν λιγότερο από 3t/κάτοικο CO₂ και σημαντικό μερίδιο αυτών δεν έχει πρόσβαση σε σύγχρονες υπηρεσίες ενέργειας. Οι λιγότερο ανεπτυγμένες χώρες και τα Μικρά Νησιωτικά Αναπτυσσόμενα Κράτη εκπέμπουν πολύ χαμηλότερες εκπομπές ανά κάτοικο σε σχέση με τον παγκόσμιο μέσο όρο (6,9t CO₂). Το 10% των νοικοκυριών συμβάλλει στο 34-45% των συνολικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, ενώ το 50% μόλις στο 13-15% (IPCC AR6, 2023).

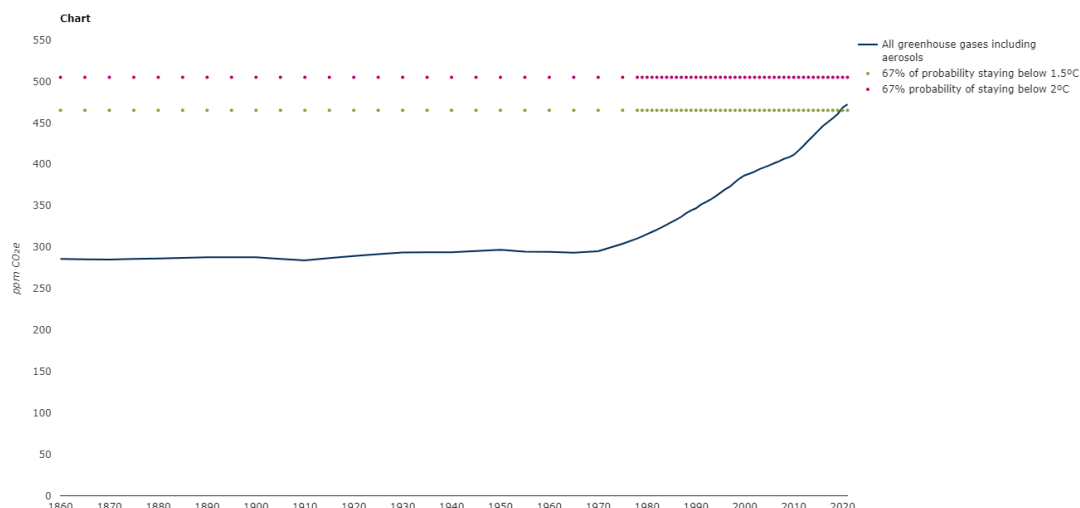
Η εικόνα 5 παρουσιάζει τη μέση παγκόσμια συγκέντρωση αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα από το 1860, καθώς και δύο μέγιστες συγκεντρώσεις που αντιστοιχούν σε πιθανότητα 67% για περιορισμό της αύξησης της παγκόσμιας θερμοκρασίας στους 1,5°C και 2,0°C αντίστοιχα. Τα δεδομένα εκφράζονται σε ppm CO_{2e} (μέρη ανά εκατομμύριο ισοδύναμου CO₂).

Η εικόνα 6 παρουσιάζει την κατανομή των συνολικών εκπομπών αερίων θερμοκηπίου στην ΕΕ από ρύπους, που εκτιμάται σε ισοδύναμο CO₂ (ΕΟΠ, 2022), στην οποία το CO₂, καταλαμβάνει τη σημαντικότερη μερίδα.



Εικόνα 4. Οι ανθρώπινες δραστηριότητες είναι υπεύθυνες για την υπερθέρμανση του πλανήτη (IPCC AR6, 2023)

Κράββα Α. Μαρία. «Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης»



Εικόνα 5. Παγκόσμια μέση συγκέντρωση αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα από το έτος 1860 κι έπειτα (ΕΟΠ, 2022).

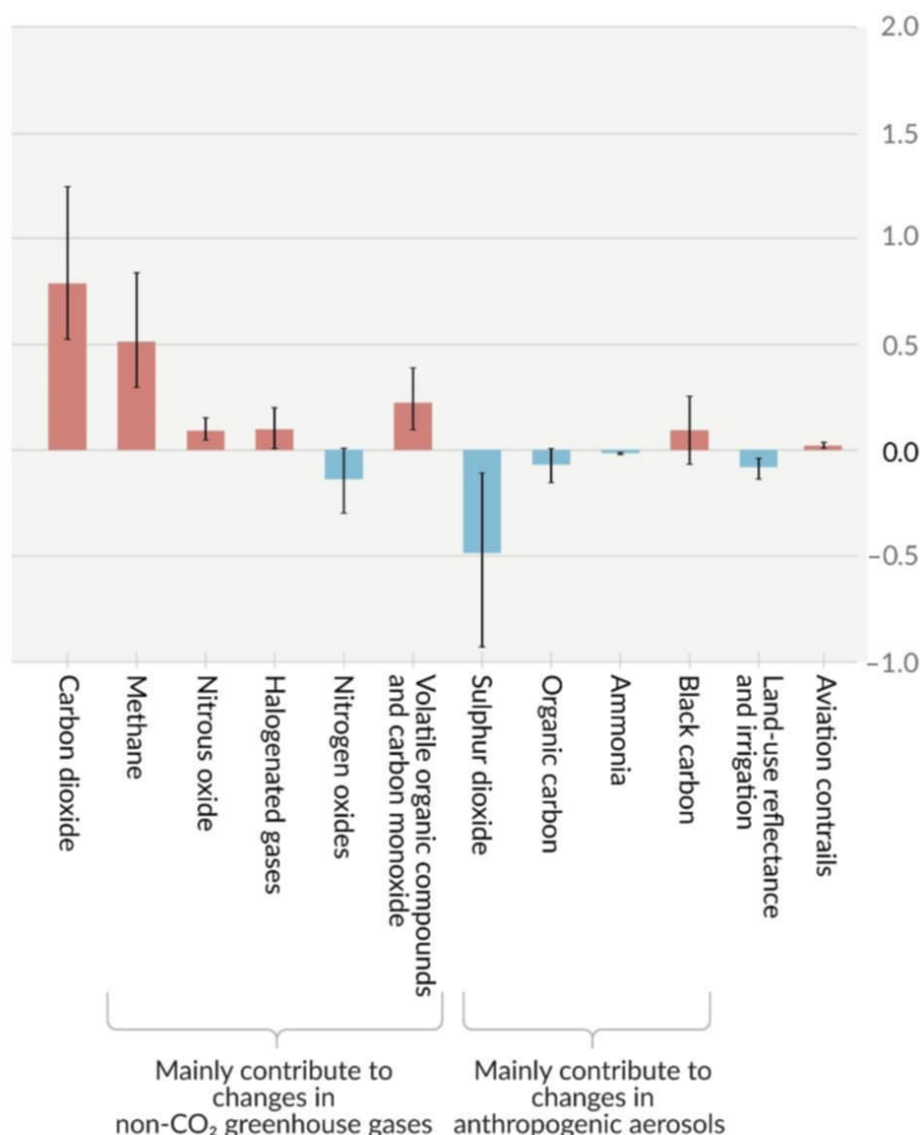


Εικόνα 6. Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου στην ΕΕ από ρύπους (ΕΟΠ, 2022).

Η εικόνα 7 δείχνει τη συμβολή των εκπομπών ανθρώπινων δραστηριοτήτων στην κλιματική υπερθέρμανση. Είναι αδιαμφισβήτητη η μεγάλη συμβολή του διοξειδίου του Άνθρακα (CO₂). Ακολουθεί το Μεθάνιο (CH₄) και σε μικρότερο βαθμό το υποξείδιο του Αζώτου (N₂O), τα αλογονωμένα αέρια, οξείδια του Αζώτου (NO_x), πτητικές οργανικές ενώσεις & μονοξείδιο του Άνθρακα (CO), το Διοξείδιο του Θείου (SO₂), ο Οργανικός Άνθρακας, η Αμμωνία (NH₃), ο μαύρος Άνθρακας, η

Κράββα Α. Μαρία. «Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης»

ανακλαστικότητα των χρήσεων γης και η άρδευση, καθώς και οι ουρές συμπύκνωσης των αεροσκαφών. Παρατηρείται ότι οι εκπομπές αερολυμάτων (αεροζόλ) ψύχουν το κλίμα και καλύπτουν, εν μέρει, τη δράση των αερίων του θερμοκηπίου.

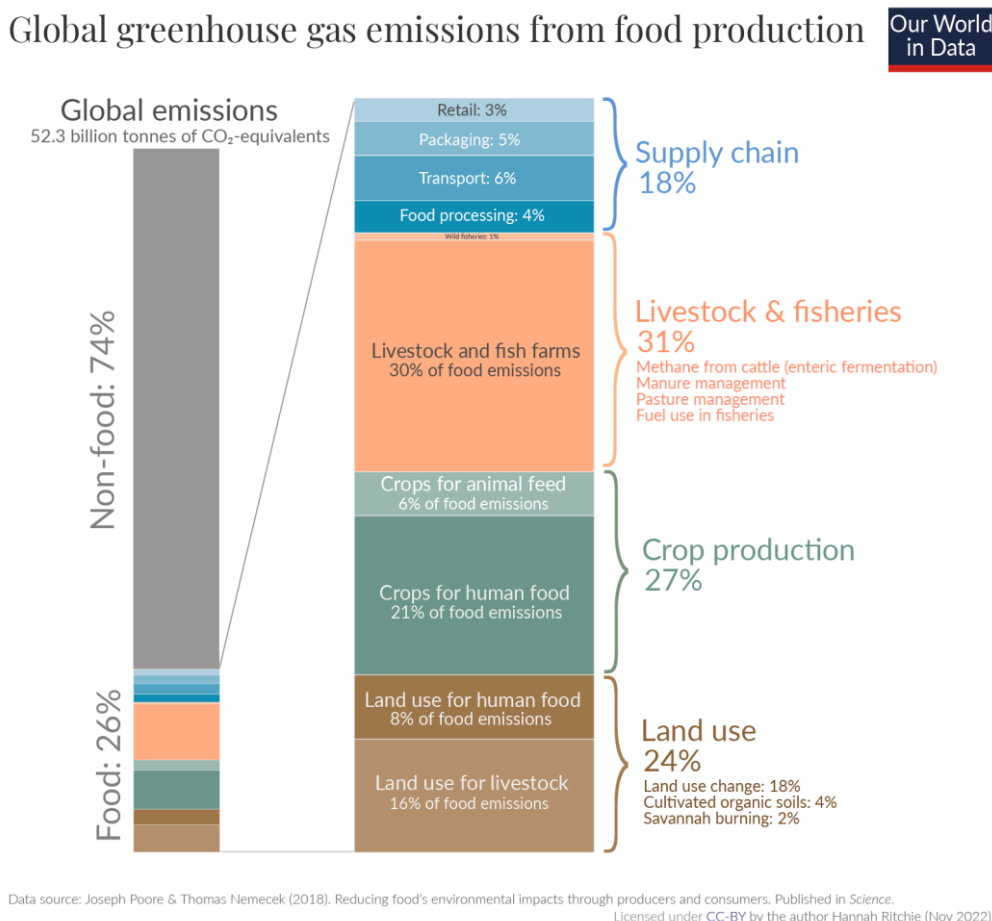


Εικόνα 7. Συμβολή αερίων του Θερμοκηπίου (IPCC AR6, 2023).

Ο ενεργειακός τομέας, είτε αφορά στην ηλεκτρική ενέργεια, τη θέρμανση, τις μεταφορές ή τις βιομηχανικές διεργασίες, ευθύνεται για το μεγαλύτερο ποσοστό των παγκόσμιων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου - περίπου 76%. Ωστόσο, η παραγωγή τροφίμων ευθύνεται για περίπου το 26% των παγκόσμιων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και αφορά σε ένα πρόβλημα για το οποίο δεν υφίστανται ακόμη βιώσιμες τεχνολογικές λύσεις. Ειδικότερα, όπως προκύπτει από την εικόνα 8, η κτηνοτροφία και αλιεία αντιπροσωπεύουν το 31% των εκπομπών του συστήματος

Κράββα Α. Μαρία. «Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης»

παραγωγής τροφίμων, η φυτική παραγωγή το 27%, η χρήση γης το 24% και οι εφοδιαστικές αλυσίδες το 18% (Poore and Nemecek, 2018; Our World in Data, 2025).



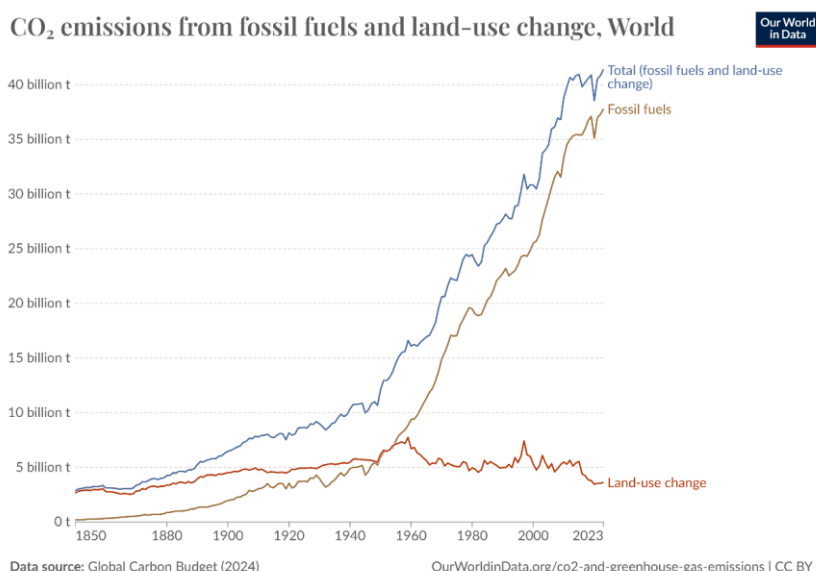
Εικόνα 8. Παγκόσμιες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου λόγω του συστήματος παραγωγής τροφίμων (Poore and Nemecek, 2018; Our World in Data, 2025).

1.2.2.1 Συμβολή του διοξειδίου του Άνθρακα (CO₂) στην κλιματική αλλαγή

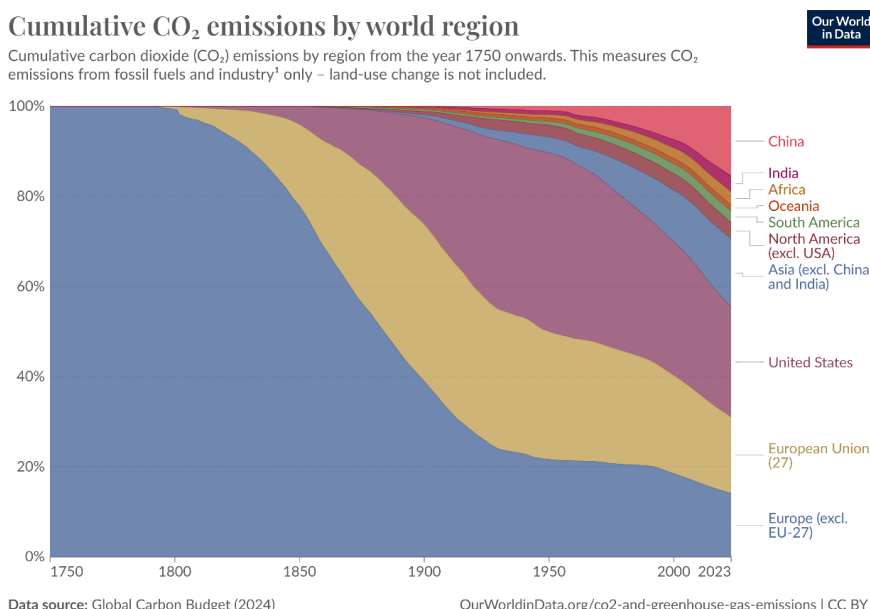
Στην εικόνα 9 παρουσιάζεται η ιστορική εξέλιξη των παγκόσμιων εκπομπών CO₂ από ορυκτά καύσιμα και αλλαγή χρήσεων γης, ενώ τα γραφήματα (εικόνες 10, 11) παρουσιάζουν την κατανομή των παγκόσμιων εκπομπών CO₂ ανά περιοχή. Μέχρι και τον 20^ο αιώνα, οι κυρίαρχες εκπομπές ήταν αυτές της Ευρώπης και των Ηνωμένων Πολιτειών. Το 1900, περισσότερο από το 90% των εκπομπών προερχόταν από αυτές τις περιοχές (το 1950 αντιστοιχούσαν σε πάνω από το 85% των ετήσιων εκπομπών). Ωστόσο, τις τελευταίες δεκαετίες, αυτό έχει αλλάξει δραματικά. Στο δεύτερο μισό του 20^{ου} αιώνα, οι εκπομπές αυξήθηκαν σημαντικά στον υπόλοιπο κόσμο, ειδικά στην Ασία, με την Κίνα να ξεχωρίζει. Σήμερα, οι ΗΠΑ και η Ευρώπη αντιπροσωπεύουν λιγότερο από το ένα τρίτο των εκπομπών.

Κράββα Α. Μαρία. «Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης»

Η εικόνα 11 δείχνει τις σωρευτικές εκπομπές CO₂ ανά χώρα από το 1751, επιτρέποντας την παρακολούθηση της συμβολής κάθε χώρας με την πάροδο του χρόνου. Ο χάρτης αποκαλύπτει μεγάλες ανισότητες. Οι ΗΠΑ έχουν εκλύσει μέχρι σήμερα περίπου το ένα τέταρτο του συνολικού ιστορικού CO₂, διπλάσιο ποσοστό από την Κίνα, που είναι η δεύτερη μεγαλύτερη πηγή. Αντίθετα, οι περισσότερες χώρες της Αφρικής ευθύνονται για λιγότερο από το 0,02% των εκπομπών από το 1750.



Εικόνα 9. Ιστορική εξέλιξη των παγκόσμιων εκπομπών CO₂ από ορυκτά καύσιμα και αλλαγή χρήσεων γης (Our World in Data, 2024).

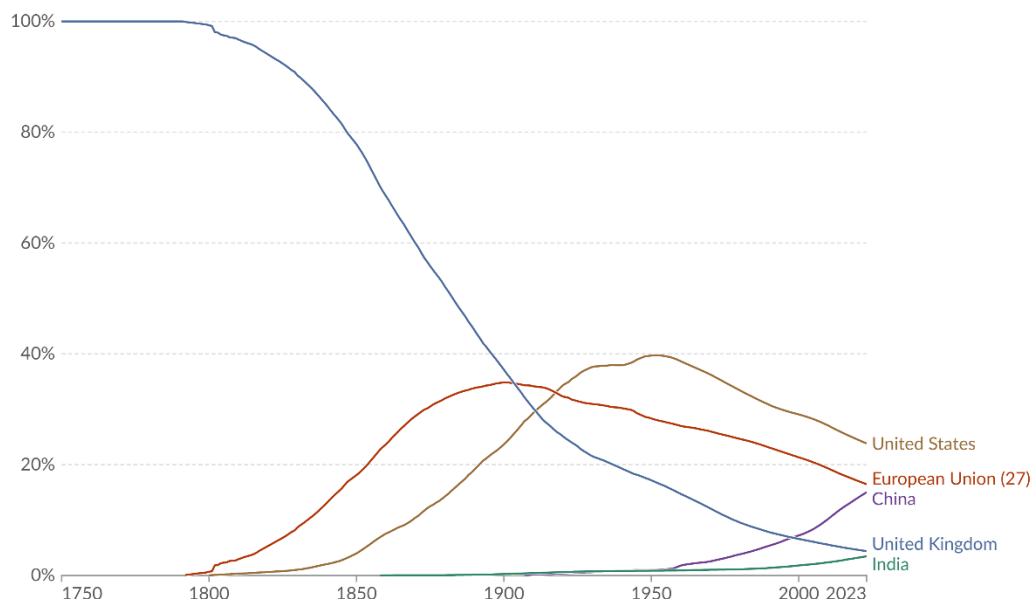


1. Fossil emissions: Fossil emissions measure the quantity of carbon dioxide (CO₂) emitted from the burning of fossil fuels, and directly from industrial processes such as cement and steel production. Fossil CO₂ includes emissions from coal, oil, gas, flaring, cement, steel, and other industrial processes. Fossil emissions do not include land use change, deforestation, soils, or vegetation.

Εικόνα 10. Κατανομή των παγκόσμιων εκπομπών CO₂ ανά περιοχή (Our World in Data, 2024).

Share of global cumulative CO₂ emissions

Cumulative emissions are the running sum of annual emissions since 1750. This measures fossil fuel and industry emissions¹. Land-use change is not included.



Data source: Global Carbon Budget (2024)

OurWorldinData.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions | CC BY

1. Fossil emissions: Fossil emissions measure the quantity of carbon dioxide (CO₂) emitted from the burning of fossil fuels, and directly from industrial processes such as cement and steel production. Fossil CO₂ includes emissions from coal, oil, gas, flaring, cement, steel, and other industrial processes. Fossil emissions do not include land use change, deforestation, soils, or vegetation.

Εικόνα 11. Κατανομή των παγκόσμιων σωρευτικών εκπομπών CO₂ ανά χώρα (Our World in Data, 2024).

Η ανάλυση δείχνει ότι οι χώρες με τις μεγαλύτερες ιστορικές εκπομπές δεν είναι απαραίτητα οι μεγαλύτεροι ρυπαντές σήμερα. Για παράδειγμα, το Ηνωμένο Βασίλειο ευθύνεται πλέον για λιγότερο από το 1% των παγκόσμιων εκπομπών. Παρόλο που οι μειώσεις εκπομπών σε αυτές τις χώρες έχουν μικρό αντίκτυπο σε παγκόσμιο επίπεδο, η ιστορική τους ευθύνη δημιουργεί εντάσεις σχετικά με το ποιος πρέπει να αναλάβει δράση. Αυτό συμβαίνει επειδή μεγάλο μέρος του CO₂ παραμένει στην ατμόσφαιρα για εκατοντάδες χρόνια. Η ανισότητα αυτή αποτελεί έναν από τους βασικούς λόγους που δυσχεραίνουν τη διεθνή συμφωνία για την ανάληψη δράσης (Our World in Data, 2024).

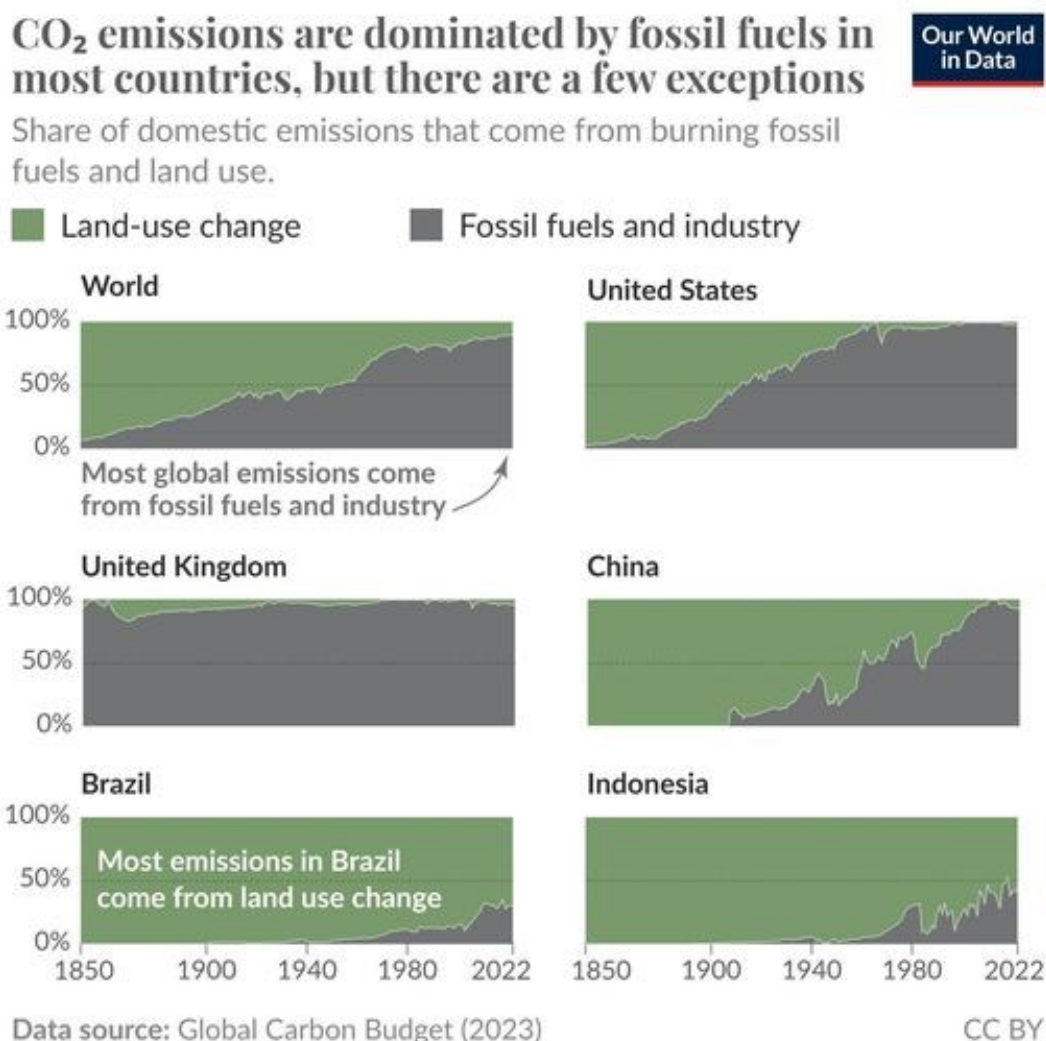
Εξαιρέσεις

Παρόλο που τα ορυκτά καύσιμα αποτελούν τη μεγαλύτερη πηγή εκπομπών CO₂ στις περισσότερες χώρες, υπάρχουν εξαιρέσεις. Περίπου το 90% των παγκόσμιων εκπομπών CO₂ προέρχεται από τη χρήση ορυκτών καυσίμων και βιομηχανικές διαδικασίες, όπως η παραγωγή τσιμέντου, ενώ το υπόλοιπο 10% αποδίδεται στις

Κράββα Α. Μαρία. «Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης»

αλλαγές στις χρήσεις γης, κυρίως λόγω της αποψίλωσης δασών, που απελευθερώνει Άνθρακα από τα δέντρα και τη βλάστηση.

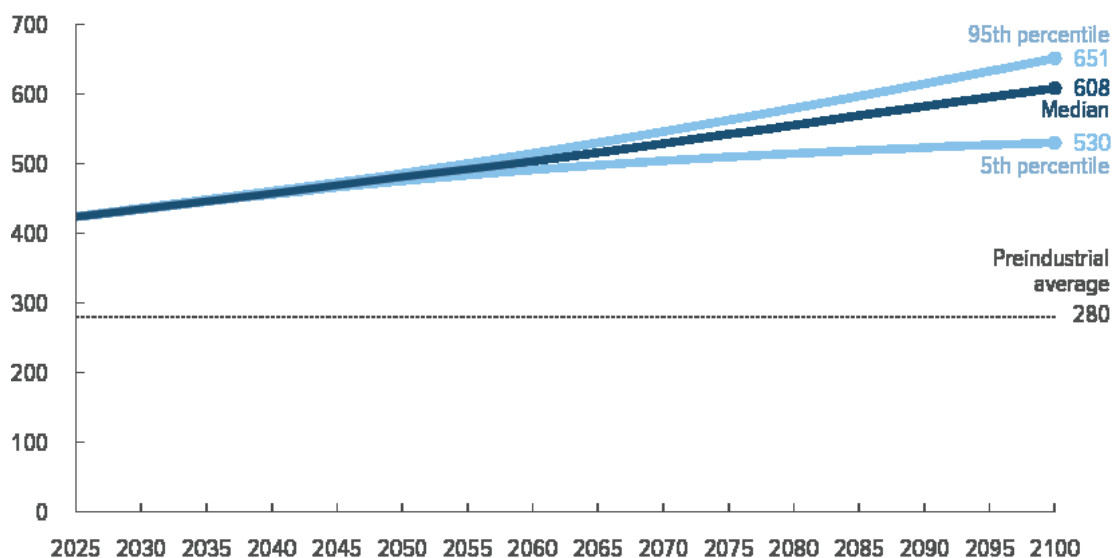
Στην εικόνα 12 φαίνεται η σύγκριση των εκπομπών από ορυκτά καύσιμα και από αλλαγές στη χρήση γης για συγκεκριμένες χώρες. Στις Ηνωμένες Πολιτείες, το Ηνωμένο Βασίλειο και την Κίνα, τα ορυκτά καύσιμα είναι η κυριότερη πηγή εκπομπών. Αντίθετα, στη Βραζιλία, οι αλλαγές στη χρήση γης παίζουν πολύ μεγαλύτερο ρόλο. Αυτό οφείλεται σε δύο λόγους. Πρώτον, τα ποσοστά αποψίλωσης είναι υψηλότερα σε σύγκριση με τις περισσότερες άλλες χώρες και δεύτερον, η ενεργειακή παραγωγή της Βραζιλίας είναι ιδιαίτερα καθαρή, καθώς βασίζεται κυρίως στην υδροηλεκτρική ενέργεια, με τη χρήση ηλιακής και αιολικής ενέργειας να αυξάνεται επίσης ραγδαία. Η χώρα καταναλώνει ελάχιστες ποσότητες Άνθρακα και φυσικού αερίου.



Εικόνα 12. Σύγκριση των εκπομπών από ορυκτά καύσιμα και από αλλαγές στη χρήση γης για συγκεκριμένες χώρες (Our World in Data, 2023).

Κράββα Α. Μαρία. «Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης»

Από την εικόνα 13 προκύπτει ότι σε όλα τα σενάρια που βασίζονται στις εφαρμοσμένες πολιτικές, οι συγκεντρώσεις CO₂ στην ατμόσφαιρα συνεχίζουν να αυξάνονται μέχρι το τέλος του αιώνα, ακόμη κι αν οι εκπομπές αρχίσουν να μειώνονται τις επόμενες δεκαετίες (CBO, 2024).



Εικόνα 13. Προβλέψεις συγκεντρώσεων CO₂ σε ppm στην ατμόσφαιρα έως το 2100 (CBO, 2024).

1.2.2.2 Συμβολή του Μεθανίου (CH₄) στην κλιματική αλλαγή

Το CH₄ είναι ο δεύτερος σημαντικότερος παράγοντας συνεισφοράς στην κλιματική αλλαγή μετά το CO₂, με ακόμη ισχυρότερη ικανότητα παγίδευσης θερμότητας στην ατμόσφαιρα. Σε χρονικό ορίζοντα 20 ετών, ένα τόνος CH₄ έχει δυναμικό θέρμανσης 84 έως 87 φορές μεγαλύτερο από το CO₂, ενώ σε διάστημα 100 ετών, το δυναμικό αυτό παραμένει 28 έως 36 φορές υψηλότερο. Αυτή η διαφορά οφείλεται στο γεγονός ότι το CH₄ απομακρύνεται από την ατμόσφαιρα μέσα σε περίπου 10 χρόνια, λόγω χημικών αντιδράσεων, ενώ το CO₂ παραμένει πολύ περισσότερο από έναν αιώνα. Ως εκ τούτου, οι κλιματικές επιπτώσεις του CH₄ είναι πιο άμεσες. Η μείωση των εκπομπών CH₄ μπορεί να επιβραδύνει την αύξηση της θερμοκρασίας τις επόμενες δεκαετίες. Ωστόσο, αυτό δεν αναιρεί την ανάγκη μείωσης του CO₂, της οποίας τα οφέλη θα φανούν σε μεγαλύτερο χρονικό ορίζοντα. Σύμφωνα με τον Διεθνή Οργανισμό Ενέργειας, η ετήσια αύξηση της συγκέντρωσης CH₄ από το 2020 έως το 2021 είναι η υψηλότερη που έχει καταγραφεί. Κατά τη χρήση φυσικού αερίου για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, οι συνολικές εκπομπές CH₄ δεν πρέπει να ξεπερνούν το 3% του παραγόμενου όγκου, διότι τότε η χρήση Άνθρακα θα ήταν

Κράββα Α. Μαρία. «Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης»

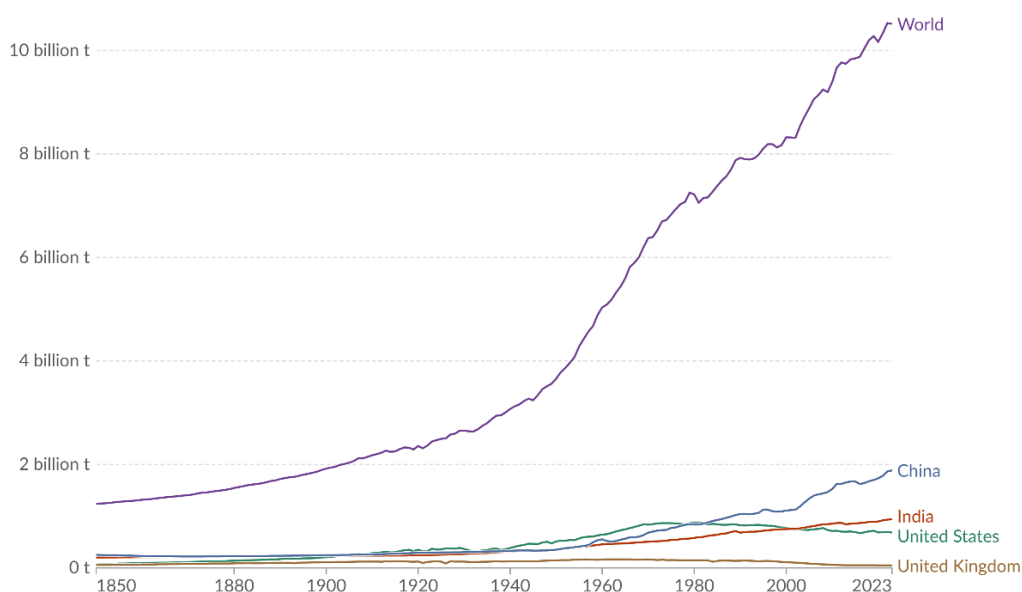
προτιμότερη από κλιματική άποψη. Επιπλέον, το CH₄ αποτελεί ισχυρό τοπικό ρύπο και συμβάλλει στον σχηματισμό O₃, που συνδέεται με σοβαρά προβλήματα υγείας. Η μείωση των εκπομπών Μεθανίου είναι κρίσιμη για την επίτευξη των κλιματικών στόχων του 2050 (NASA, 2024; European Commission, 2024).

Οι παρακάτω εικόνες 14, 15 παρουσιάζουν την ιστορική εξέλιξη των παγκόσμιων εκπομπών CH₄ και N₂O αντίστοιχα.

Methane emissions

Methane (CH₄) emissions are measured in tonnes of carbon dioxide-equivalents¹. Emissions from fossil fuels, industry² and agricultural sources are included.

Our World in Data



Data source: Jones et al. (2024)

OurWorldinData.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions | CC BY

1. **Carbon dioxide equivalents (CO₂eq):** Carbon dioxide is the most important greenhouse gas, but not the only one. To capture all greenhouse gas emissions, researchers express them in "carbon dioxide equivalents" (CO₂eq). This takes all greenhouse gases into account, not just CO₂. To express all greenhouse gases in carbon dioxide equivalents (CO₂eq), each one is weighted by its global warming potential (GWP) value. GWP measures the amount of warming a gas creates compared to CO₂. CO₂ is given a GWP value of one. If a gas had a GWP of 10 then one kilogram of that gas would generate ten times the warming effect as one kilogram of CO₂. Carbon dioxide equivalents are calculated for each gas by multiplying the mass of emissions of a specific greenhouse gas by its GWP factor. This warming can be stated over different timescales. To calculate CO₂eq over 100 years, we'd multiply each gas by its GWP over a 100-year timescale (GWP100). Total greenhouse gas emissions – measured in CO₂eq – are then calculated by summing each gas' CO₂eq value.

2. **Fossil emissions:** Fossil emissions measure the quantity of carbon dioxide (CO₂) emitted from the burning of fossil fuels, and directly from industrial processes such as cement and steel production. Fossil CO₂ includes emissions from coal, oil, gas, flaring, cement, steel, and other industrial processes. Fossil emissions do not include land use change, deforestation, soils, or vegetation.

Εικόνα 14. Εκπομπές Μεθανίου (CH₄) (Our World in Data, 2024).

1.2.2.3 Συμβολή του υποξειδίου του Αζώτου (N₂O) στην κλιματική αλλαγή

Οι περισσότερες εκπομπές υποξειδίου του Αζώτου, N₂O, προέρχονται από τη γεωργία, καθώς παράγεται όταν εφαρμόζονται αζωτούχα λιπάσματα στο έδαφος. Οι μικροοργανισμοί του εδάφους παράγουν φυσικά N₂O, αλλά η χρήση λιπασμάτων αυξάνει σημαντικά τη διαθέσιμη ποσότητα Αζώτου, οδηγώντας σε μεγαλύτερες εκπομπές. Το ίδιο συμβαίνει και με τα οργανικά λιπάσματα, όπως η κοπριά. Σε

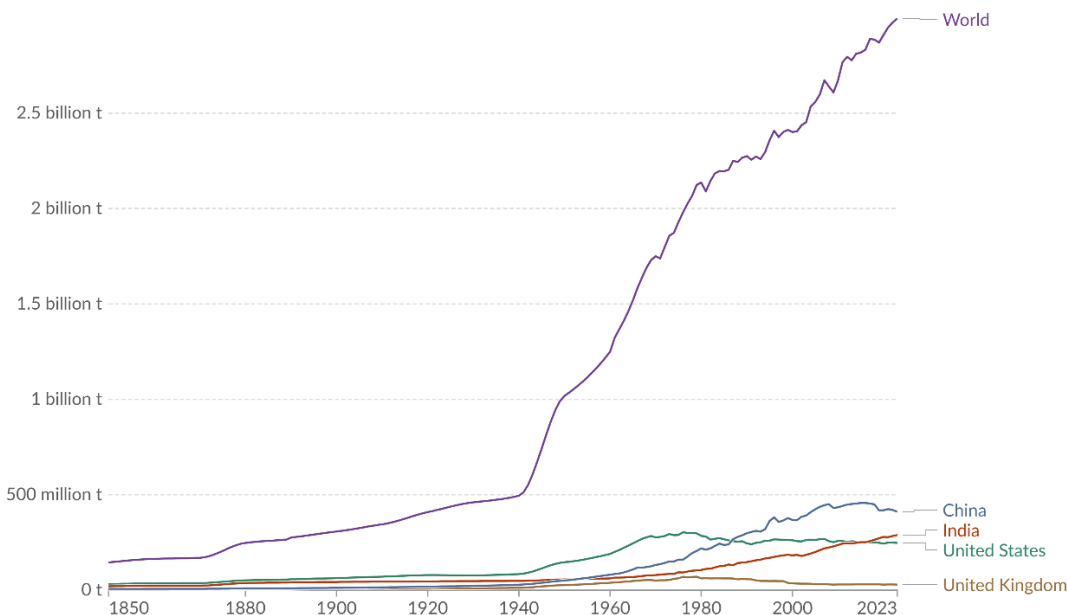
Κράββα Α. Μαρία. «Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης»

σύγκριση με το CO₂, το N₂O είναι πολύ ισχυρότερο αέριο του θερμοκηπίου: σε βάθος 100 ετών, ένα τόνο N₂O προκαλεί 265 φορές περισσότερη θέρμανση από έναν τόνο CO₂. Η διάρκεια ζωής του στην ατμόσφαιρα είναι περίπου 121 χρόνια, μικρότερη από το CO₂ και μεγαλύτερη από το CH₄ (Our World in Data, 2024).

Nitrous oxide emissions

Nitrous oxide (N₂O) emissions are measured in tonnes of carbon dioxide-equivalents¹.

Our World
in Data



Data source: Jones et al. (2024)

OurWorldinData.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions | CC BY

1. Carbon dioxide equivalents (CO₂eq): Carbon dioxide is the most important greenhouse gas, but not the only one. To capture all greenhouse gas emissions, researchers express them in "carbon dioxide equivalents" (CO₂eq). This takes all greenhouse gases into account, not just CO₂. To express all greenhouse gases in carbon dioxide equivalents (CO₂eq), each one is weighted by its global warming potential (GWP) value. GWP measures the amount of warming a gas creates compared to CO₂. CO₂ is given a GWP value of one. If a gas had a GWP of 10 then one kilogram of that gas would generate ten times the warming effect as one kilogram of CO₂. Carbon dioxide equivalents are calculated for each gas by multiplying the mass of emissions of a specific greenhouse gas by its GWP factor. This warming can be stated over different timescales. To calculate CO₂eq over 100 years, we'd multiply each gas by its GWP over a 100-year timescale (GWP100). Total greenhouse gas emissions – measured in CO₂eq – are then calculated by summing each gas' CO₂eq value.

Εικόνα 15. Εκπομπές υποξειδίου του Αζώτου (N₂O) (Our World in Data, 2024).

1.2.3 Άνοδος παγκόσμιας θερμοκρασίας λόγω ρεκόρ πλανητικού Albedo

Σύμφωνα με νέα μελέτη των Goessling et al. (2024), που δημοσιεύθηκε στο περιοδικό Science, η δραματική και ασυνήθιστα γρήγορη άνοδος της θερμοκρασίας δε δικαιολογείται από τους συνήθεις παράγοντες, όπως η ρύπανση από την καύση ορυκτών καυσίμων και το φαινόμενο του Ελ Νίνιο. Οι ερευνητές κατέληξαν ότι η έλλειψη χαμηλών σύννεφων πάνω από τους ωκεανούς έχει οδηγήσει στην απορρόφηση περισσότερης ηλιακής ακτινοβολίας από τον πλανήτη, συμβάλλοντας σημαντικά στην ενίσχυση της θερμοκρασιακής αύξησης, εγείροντας ανησυχίες για το μέλλον. Αυτό αποδίδεται στη μείωση της ανακλαστικής ικανότητας του πλανήτη,

Κράββα Α. Μαρία. «Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης»

γνωστής ως "Albedo". Από τη δεκαετία του 1970, το Albedo της Γης μειώνεται, εν μέρει λόγω της τήξης των θαλάσσιων πάγων και του χιονιού, που αφήνουν ακάλυπτες σκοτεινές επιφάνειες γης και νερού, οι οποίες απορροφούν περισσότερη ηλιακή ενέργεια. Τα χαμηλά σύννεφα, τα οποία λειτουργούν ως φυσικός «καθρέφτης» της ηλιακής ακτινοβολίας, φαίνεται να έχουν μειωθεί, όπως έδειξαν δορυφορικές εικόνες και κλιματικά δεδομένα. Το 2023, αυτή η μείωση κατέγραψε ρεκόρ, ιδίως σε περιοχές του Βόρειου Ατλαντικού.

Οι επιστήμονες εκτιμούν ότι αυτή η αλλαγή οφείλεται σε συνδυασμό παραγόντων. Ένας από αυτούς είναι η μείωση της ρύπανσης από τη ναυτιλία, η οποία, αν και ευνοεί την ανθρώπινη υγεία, συνέβαλε στη μείωση της φωτεινότητας των σύννεφων. Άλλοι πιθανοί παράγοντες περιλαμβάνουν φυσικές κλιματικές διακυμάνσεις και αλλαγές στα ωκεάνια ρεύματα. Επιπλέον, η ίδια η υπερθέρμανση του πλανήτη μπορεί να επιδρά, καθώς τα χαμηλά σύννεφα τείνουν να δημιουργούνται σε ψυχρότερες και πιο υγρές συνθήκες. Η αύξηση της θερμοκρασίας πιθανώς τα καθιστά πιο αραιά ή τα διαλύει, δημιουργώντας έναν φαύλο κύκλο, όπου η μείωση των σύννεφων ενισχύει την υπερθέρμανση και αντίστροφα.

Τα σύννεφα λειτουργούν ουσιαστικά ως «φυσικό αντηλιακό» για τον πλανήτη, και ακόμη και μικρές αλλαγές στη νεφοκάλυψη μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά το Albedo της Γης. Αν η υπερθέρμανση είναι η κύρια αιτία της μείωσης των σύννεφων, ενδέχεται πολύ μεγαλύτερη αύξηση της θερμοκρασίας από ό,τι είχε αρχικά προβλεφθεί. Παρά την πρόοδο στις έρευνες, η κατανόηση της συμπεριφοράς των σύννεφων παραμένει μία από τις μεγαλύτερες προκλήσεις στην επιστήμη του κλίματος (Goessling et al, 2024).

1.2.4 Τρύπα του Όζοντος

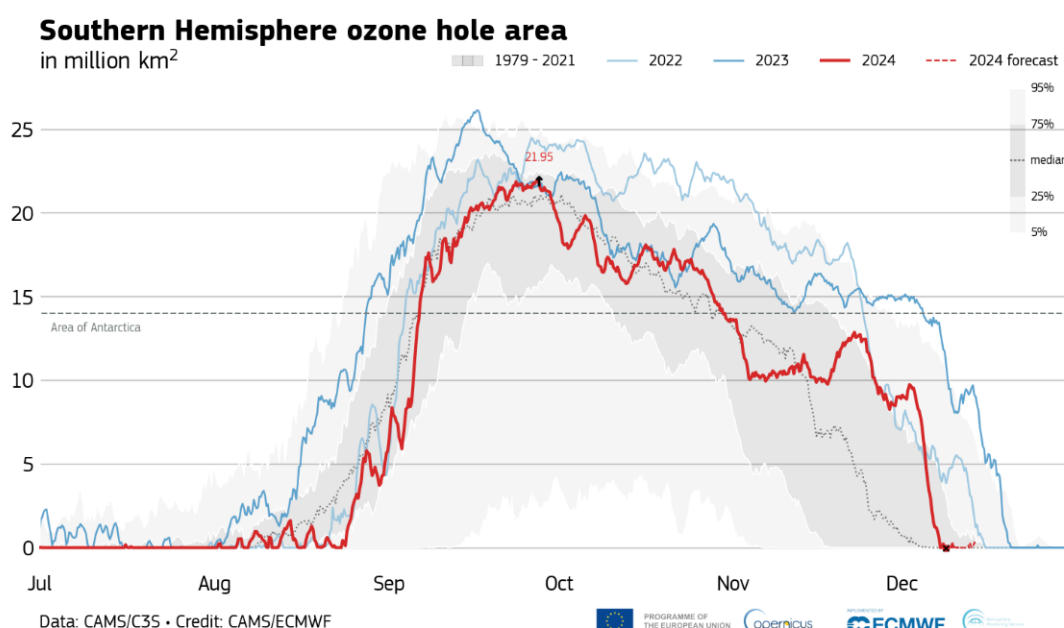
Το 1985, μια επιστημονική μελέτη, επιβεβαιωμένη αργότερα από δορυφορικά δεδομένα, προειδοποιούσε για σοβαρή εξάντληση του στρατοσφαιρικού Όζοντος στην Ανταρκτική λόγω χλωροφθορανθράκων (CFCs). Η τρύπα του Όζοντος θα είχε σοβαρές συνέπειες στο περιβάλλον και στην υγεία, χωρίς τη συντονισμένη δράση του Πρωτοκόλλου του Μόντρεαλ, που περιόρισε αποτελεσματικά τις επιβλαβείς εκπομπές.

Στην Εικόνα 16 παρουσιάζονται οι χρονοσειρές ημερήσιας έκτασης της τρύπας του Όζοντος μεταξύ 1 Ιουλίου και 8 Δεκεμβρίου 2024. Η κόκκινη γραμμή

Κράββα Α. Μαρία. «Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης»

απεικονίζει τα δεδομένα για το 2024. Η παχύτερη, σκούρα μπλε γραμμή δείχνει την εξέλιξη της τρύπας του Όζοντος το 2023, ενώ η πιο ανοιχτή μπλε γραμμή αναφέρεται στο 2022. Οι γκρι περιοχές αντιστοιχούν στις εκατοστιαίες τιμές και τη διάμεσο της περιόδου 1979-2021 (CAMS/ECMWF, 2024).

Παρά τις φυσικές διακυμάνσεις, η μακροχρόνια τάση δείχνει αργή ανάκαμψη του Όζοντος. Το 2024, η τρύπα του Όζοντος έφτασε μέγιστη έκταση 22 εκατομμυρίων χλμ², μικρότερη από προηγούμενα έτη, και άρχισε να κλείνει τον Δεκέμβριο του 2024, επιστρέφοντας σε πιο φυσιολογικά επίπεδα μετά από τέσσερα χρόνια ανωμαλιών (Climatebook, 2024).



Εικόνα 16. Χρονοσειρές ημερήσιας έκτασης της τρύπας του Όζοντος (CAMS/ECMWF, 2024).

1.3 Επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής

Συνολικά, η κλιματική αλλαγή έχει επιφέρει εκτεταμένες αρνητικές επιπτώσεις και σοβαρές απώλειες στη φύση και στους ανθρώπους. Τα τελευταία χρόνια, ο μέσος ρυθμός ανόδου της στάθμης της θάλασσας αυξάνεται πέραν των προβλεπόμενων τιμών. Ακραία κλιματικά φαινόμενα, όπως καύσωνες, έντονες βροχοπτώσεις, ξηρασίες και τροπικοί κυκλώνες εμφανίζονται ολοένα και περισσότερο, με τον ανθρώπινο παράγοντα να θεωρείται ένας από τους κύριους υπαίτιους αυτής της αύξησης (IPCC AR6, 2023).

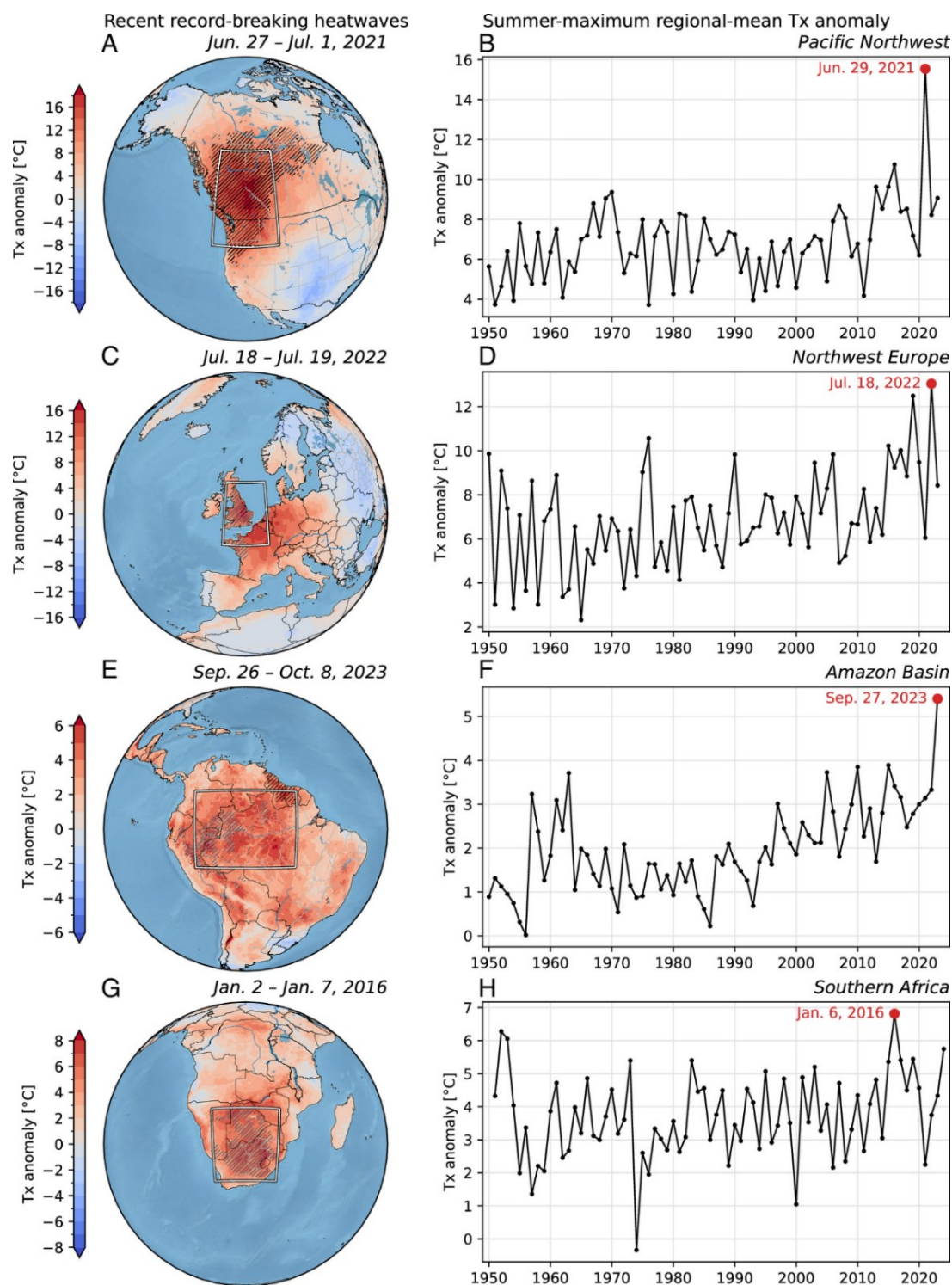
Κράββα Α. Μαρία. «Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης»

1.3.1 Παρέκκλιση από τα κλιματικά μοντέλα

Η ακριβής προσομοίωση της αντίδρασης των κοινωνικών και φυσικών συστημάτων στη θέρμανση είναι σημαντική για την προσαρμογή στις ενδεχόμενες κλιματικές συνθήκες, καθώς οι καύσωνες ενέχουν σοβαρές επιπτώσεις σε αυτά. Σύμφωνα με την πρόσφατη μελέτη των Kornhuber et al. (2024), η παγκόσμια εμφάνιση περιοχών με έντονους καύσωνες εξελίσσεται πιο γρήγορα από τις προβλέψεις των κλιματικών μοντέλων. Στις περιοχές αυτές, οι τάσεις υποεκτιμώνται στα κλιματικά μοντέλα. Συνολικά, παρατηρείται ότι τα μοντέλα δυσκολεύονται να προβλέψουν τις ακραίες θερμοκρασίες, υποεκτιμώντας τις θετικές τάσεις, ενώ οι μέτριες τάσεις αναπαράγονται καλύτερα. Τα αποτελέσματα τονίζουν την ανάγκη για καλύτερη κατανόηση και μοντελοποίηση των ακραίων επεισοδίων καύσωνα και την άμεση μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου για την αποφυγή περαιτέρω αρνητικών επιπτώσεων (Kornhuber et al., 2024; Jacob et al., 2014).

Στην εικόνα 17 παρουσιάζονται οι ασυνέπειες στις μέγιστες ημερήσιες θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια πρόσφατων ρεκόρ καύσωνα και το χρονικό τους πλαίσιο. Συγκεκριμένα, στο σχήμα (Α) παρουσιάζονται ανωμαλίες της μέγιστης ημερήσιας θερμοκρασίας (T_x) σε ύψος 2 μέτρων κατά τη διάρκεια του καύσωνα του 2021 στη Βόρεια Αμερική. Περιοχές με τιμές που κατέρριψαν τα ρεκόρ (από το 1950) κατά την εν λόγω χρονική περίοδο επισημαίνονται με διαγώνια σκίαση. Στο σχήμα (Β) παρουσιάζονται οι χρονοσειρές από το 1950 έως το 2023 για την πιο θερμή ετήσια μέση ανωμαλία T_x στην περιοχή που δείχνεται στο πλαίσιο Α (σε σχέση με την περίοδο Ιούνιος-Αύγουστος 1981-2010). Οι τιμές που κατέρριψαν τα ρεκόρ για την περιοχή και οι ημερομηνίες τους επισημαίνονται με κόκκινο σημείο σε κάθε χρονοσειρά. Όσον αφορά στα σχήματα (C) και (D), ισχύουν τα ίδια με το (Α) και (Β), αλλά για τον καύσωνα στη Δυτική Ευρώπη τον Ιούλιο του 2022. Τα σχήματα (Ε) και (F) αφορούν στον καύσωνα στην περιοχή του Αμαζονίου τον Νοέμβριο του 2023 (θερινή περίοδος Σεπτέμβριος-Νοέμβριος) και τα σχήματα (G) και (H) στον καύσωνα στη Νότια Αφρική (θερινή περίοδος Δεκέμβριος-Φεβρουάριος) τον Ιανουάριο του 2016.

Κράββα Α. Μαρία. «Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης»



Εικόνα 17. Ασυνέπειες στις μέγιστες ημερήσιες θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια πρόσφατων ρεκόρ καύσωνα και το χρονικό τους πλαίσιο (Kornhuber et al., 2024).

1.3.2 Σημαντικότερες επιδράσεις στον άνθρωπο και τα οικοσυστήματα από την κλιματική αλλαγή

Περίπου 3,3 έως 3,6 δισεκατομμύρια άνθρωποι ζουν σε περιοχές που είναι ιδιαίτερα ευάλωτες στις αλλαγές του κλίματος. Τα αυξανόμενα κλιματικά φαινόμενα έχουν

Κράββα Α. Μαρία. «Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης»

επιφέρει σοβαρή επισιτιστική ανασφάλεια και μειωμένη πρόσβαση σε νερό, με τις μεγαλύτερες επιπτώσεις να εμφανίζονται σε περιοχές

- της Αφρικής,
- της Ασίας,
- της Κεντρικής και Νότιας Αμερικής,
- σε λιγότερο αναπτυγμένες χώρες,
- σε μικρά νησιά
- στην Αρκτική.

Οι ευάλωτες κοινότητες, οι οποίες ιστορικά έχουν συνεισφέρει ελάχιστα στην πρόκληση της κλιματικής αλλαγής, πλήττονται δυσανάλογα από τις συνέπειές της. Σε παγκόσμια κλίμακα, πιο ευάλωτοι είναι οι αυτόχθονες πληθυσμοί, οι μικροπαραγωγοί τροφίμων και τα νοικοκυριά χαμηλού εισοδήματος. Από το 2010 έως το 2020, ο αριθμός των θανάτων λόγω πλημμυρών, ξηρασιών και καταιγίδων ήταν 15 φορές υψηλότερος σε ευάλωτες περιοχές σε σύγκριση με περιοχές με χαμηλή ευπάθεια.

Η κλιματική αλλαγή έχει προκαλέσει σοβαρές ζημιές και ανεπανόρθωτες απώλειες σε χερσαία, γλυκά νερά, κρυσταλλικά, παράκτια και ανοιχτά ωκεάνια οικοσυστήματα. Εκατοντάδες απώλειες ειδών οφείλονται στις αυξημένες θερμοκρασίες, με μαζικές θνησιμότητες να σημειώνονται στην ξηρά και σε ωκεάνιες περιοχές. Οι επιπτώσεις σε ορισμένα οικοσυστήματα είναι πλέον μη αναστρέψιμες, όπως οι αλλαγές στα ορεινά οικοσυστήματα και στην Αρκτική, λόγω της απόψυξης του μόνιμου πάγου (IPCC AR6, 2023).

1.3.3 Η πρώτη ημέρα χωρίς πάγο στον Αρκτικό Ωκεανό ενδέχεται να συμβεί πριν το 2030

Τις τελευταίες δεκαετίες η Αρκτική θερμαίνεται περισσότερο σε σχέση με τον υπόλοιπο κόσμο, ένα φαινόμενο γνωστό ως "Arctic amplification". Από το 1979, η Αρκτική έχει σημειώσει ρυθμό θέρμανσης σχεδόν τετραπλάσιο σε σύγκριση με τον παγκόσμιο μέσο όρο (Rantanen et al., 2022). Στην πρόσφατη μελέτη των Heuzé and Jahn (2024), τα περισσότερα σενάρια προβλέπουν ότι η κρίσιμη στιγμή της πρώτης ημέρας χωρίς πάγο στον Αρκτικό Ωκεανό θα έρθει μέσα στα επόμενα 7 έως 20 χρόνια. Ωστόσο, 9 από τις προσομοιώσεις έδειξαν ότι η πρώτη ημέρα χωρίς πάγο θα μπορούσε να εμφανιστεί σε 3-6 χρόνια. Είναι αξιοσημείωτο ότι το σενάριο εκπομπών δεν έχει σημαντική επίδραση, καθώς οι προσομοιώσεις που φτάνουν σε συνθήκες

Κράββα Α. Μαρία. «Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης»

χωρίς πάγο εντός 10 ετών από τα επίπεδα του 2023 παρατηρούνται σε όλα τα σενάρια, εκτός από το σενάριο χαμηλών εκπομπών. Μάλιστα, οι τρεις ταχύτερες μεταβάσεις (σε 3-4 χρόνια) σημειώθηκαν στο σενάριο, που είναι το δεύτερο χαμηλότερο από όλα τα σενάρια. Αυτό καταδεικνύει ότι οι γρήγορες μεταβάσεις σε συνθήκες χωρίς πάγο οφείλονται κυρίως στην εσωτερική μεταβλητότητα και όχι στην ένταση της εξωτερικής πίεσης από τις εκπομπές, η σημαντική επίδραση της οποίας στην εμφάνιση της πρώτης ημέρας χωρίς πάγο συνάδει με τα σχετικά ευρήματα για τον πρώτο μήνα χωρίς πάγο. Η μελέτη δείχνει ότι οι ημέρες χωρίς πάγο σε όλες τις περιπτώσεις γρήγορης μετάβασης σημειώθηκαν σε χρόνια όπου η παγκόσμια θερμοκρασία ξεπέρασε τους 1,5°C σε σύγκριση με τα προ-βιομηχανικά επίπεδα και καταλήγει ότι η διατήρηση της αύξησης της παγκόσμιας θερμοκρασίας κάτω από τους 1,5°C, όπως προβλέπεται από τη Συμφωνία του Παρισιού, θα μπορούσε να καθυστερήσει ή ακόμα και να αποτρέψει τη σημαντική μείωση της παγοκάλυψης στην Αρκτική (Heuzé and Jahn, 2024).

1.3.4 Επιτάχυνση της Απώλειας Παγετώνων παγκοσμίως

- Οι παγετώνες χάνουν πάγο με 36% ταχύτερο ρυθμό την τελευταία δεκαετία, οδηγώντας σε μεγαλύτερη άνοδο της στάθμης της θάλασσας.
- Κατά μέσο όρο, χάνονται 273 δισεκατομμύρια τόνοι πάγου ετησίως, ποσότητα αντίστοιχη με την παγκόσμια κατανάλωση νερού για 30 χρόνια.
- Οι παγετώνες έχουν χάσει περίπου 5% του όγκου τους από το 2000, με μεγάλες διαφοροποιήσεις ανά περιοχή - από 2% στην Ανταρκτική έως 40% στις Άλπεις.
- Οι μικρότεροι παγετώνες λιώνουν γρηγορότερα και πολλοί δε θα επιβιώσουν μέχρι το τέλος του αιώνα.
- Οι επιστήμονες προειδοποιούν ότι το λιώσιμο των παγετώνων θα είναι ταχύτερο από ό,τι προέβλεπαν οι εκτιμήσεις του ΟΗΕ (IPCC).
- Οι παγετώνες είναι η δεύτερη μεγαλύτερη αιτία ανόδου της στάθμης της θάλασσας μετά τη θερμική διαστολή του ωκεανού, επηρεάζοντας εκατομμύρια ανθρώπους στις παράκτιες περιοχές.
- Οι πάγοι της Ανταρκτικής και της Γροιλανδίας χάνουν μάζα έξι φορές ταχύτερα σε σχέση με πριν από 30 χρόνια, γεγονός που θα μπορούσε να οδηγήσει σε άνοδο της στάθμης της θάλασσας κατά μέτρα και όχι εκατοστά.

Κράββα Α. Μαρία. «Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης»

- Τα δορυφορικά δεδομένα επιτρέπουν πλέον ακριβέστερη παρακολούθηση των 275.000 παγετώνων παγκοσμίως.
- Ο ΟΗΕ έχει χαρακτηρίσει τη διάσωση των παγετώνων "στρατηγική επιβίωσης" και η λύση είναι η μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (TheGlaMBIETeam, 2025).

1.3.5 Ο παγετώνας στην Ανταρκτική λιώνει ταχύτερα από το αναμενόμενο

Παράλληλα, η μελέτη των Rignot et al. (2024) αποδεικνύει ότι ο παγετώνας Thwaites, ο αποκαλούμενος "παγετώνας της Ημέρας της Κρίσεως" στην Ανταρκτική λιώνει ταχύτερα από το αναμενόμενο, ενισχύοντας τις ανησυχίες για την ανάγκη γεωμηχανικών παρεμβάσεων (geoengineering). Η ευρεία επαφή του ωκεάνιου νερού με τον παγετώνα, φαινόμενο που παρατηρείται και σε άλλες περιοχές της Ανταρκτικής και της Γροιλανδίας, προκαλεί έντονη τήξη, γεγονός που ενδεχομένως απαιτήσει επανεκτίμηση των προβλέψεων για την άνοδο της στάθμης της θάλασσας. Υπάρχουν ενδείξεις ότι θαλασσινό νερό εισχωρεί περιοδικά, με συχνότητα παλίρροιας, σε απόσταση πολλών χιλιομέτρων κάτω από τον παγετώνα Thwaites, ο οποίος συμβάλλει σημαντικά στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας. Τα ευρήματα αυτά αμφισβητούν την παραδοσιακή προσέγγιση της μοντελοποίησης που υποθέτει μια σταθερή και απότομη μετάβαση από πάγο προσκολλημένο στο έδαφος σε πάγο που επιπλέει στον ωκεανό, χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η τήξη στη μεταβατική ζώνη.

1.3.6 Σταθερή αύξηση της βλάστησης στη Χερσόνησο της Ανταρκτικής από δορυφορικές παρατηρήσεις

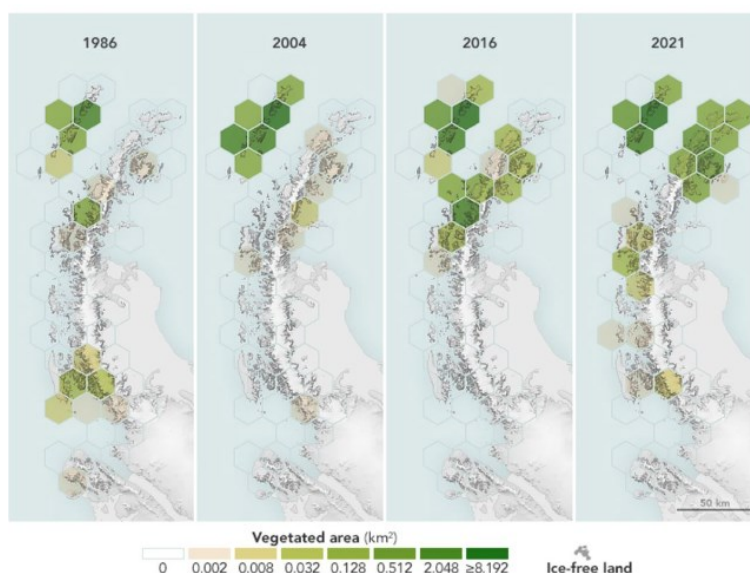
Πρόσφατη έρευνα που δημοσιεύθηκε στο Nature Geoscience χρησιμοποίησε δεδομένα Landsat των τελευταίων 35 ετών, αποκαλύπτοντας ότι η Ανταρκτική γίνεται σταδιακά πιο «πράσινη». Συγκεκριμένα, η έκταση της γης που καλύπτεται από βλάστηση στη Χερσόνησο της Ανταρκτικής έχει αυξηθεί περισσότερο από 10 φορές από το 1986. Η καλυμμένη με βλάστηση επιφάνεια αυξήθηκε από 0,86 τετραγωνικά χιλιόμετρα το 1986 σε 11,95 τετραγωνικά χιλιόμετρα το 2021.

Η αύξηση της βλάστησης περιορίζεται στις θερμότερες περιοχές της χερσονήσου, ωστόσο καταδεικνύει μια οικολογική αλλαγή στην περιοχή, που αποδίδεται στις ανθρωπογενείς εκπομπές CO₂. Η βλάστηση ξεκινά να αναπτύσσεται με βρύα και λειχήνες. Τα βρύα, που είναι ανθεκτικά φυτά χωρίς αγγεία,

Κράββα Α. Μαρία. «Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης»

εγκαθίστανται σε περιβάλλοντα με λίγα θρεπτικά συστατικά, συχνά σε γυμνούς βράχους. Αυτά δημιουργούν το υπόβαθρο για την ανάπτυξη άλλων φυτών, εκκρίνοντας οξέα που διαβρώνουν τον βράχο και παρέχοντας οργανική ύλη όταν αποσυντίθενται (Rolland et al., 2024).

Κάθε ένα από τα τέσσερα τμήματα της εικόνας 18 δείχνει την έκταση της πράσινης βλάστησης στις απαλλαγμένες από πάγο περιοχές της Χερσονήσου της Ανταρκτικής, σε υψόμετρα κάτω των 300 μέτρων. Τα εξάγωνα στον χάρτη χρωματίζονται ανάλογα με την έκταση (σε τετραγωνικά χιλιόμετρα) που καλύπτεται από βλάστηση. Η αξιολόγηση αυτή βασίζεται στον Δείκτη Κανονικοποιημένης Διαφοράς Βλάστησης (NDVI), ο οποίος υπολογίζεται από φασματομετρικά δεδομένα που συλλέγονται από τους δορυφόρους Landsat κατά τη διάρκεια ημερών χωρίς νέφη, κάθε Μάρτιο, στο τέλος της καλλιεργητικής περιόδου στην Ανταρκτική.



Εικόνα 18. Η Ανταρκτική γίνεται πιο «πράσινη» λόγω κλιματικής αλλαγής (Michala Garrison βασισμένος σε δεδομένα των Roland et al. 2024).

1.3.7 Η κλιματική αλλαγή ενισχύει τις δασικές πυρκαγιές

Έρευνα των Turco et al. (2023) επιβεβαιώνει ότι οι ανθρώπινες δραστηριότητες έχουν αυξήσει τον κίνδυνο και την ένταση των πυρκαγιών στην Καλιφόρνια τις τελευταίες δεκαετίες. Η κλιματική αλλαγή ενισχύει τις δασικές πυρκαγιές στην Καλιφόρνια, αυξάνοντας τη θερμοκρασία, μειώνοντας τις βροχοπτώσεις και παρατείνοντας την ξηρασία. Οι ημέρες με επικίνδυνες πυρκαγιές έχουν διπλασιαστεί από τη δεκαετία του 1970, ενώ οι πυρκαγιές επεκτείνονται γρηγορότερα και δυσκολεύουν τις προληπτικές δράσεις. Παράλληλα, η αυξανόμενη ξηρότητα και οι έντονοι άνεμοι

Κράββα Α. Μαρία. «Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης»

ευνοούν τη συχνότερη και μεγαλύτερη καύση εκτάσεων. Τα παραπάνω ενισχύει η έρευνα των Driscoll et al. (2024) σχετικά με τις επιπτώσεις των σφοδρών πυρκαγιών στην Αυστραλία του 2019-2020 στη βιοποικιλότητα. Αυτές οι πυρκαγιές δεν ήταν ένα μεμονωμένο περιστατικό. Συσχετίστηκαν με παρατεταμένες περιόδους ξηρασίας και έντονες καιρικές συνθήκες, οι οποίες ενισχύονται από την κλιματική αλλαγή, εντείνοντας έναν φαύλο κύκλο που επιβαρύνει τα οικοσυστήματα.

Η κλιματική αλλαγή έχει επίσης αρνητικές επιπτώσεις στην επισιτιστική ασφάλεια και στην παραγωγή τροφίμων, εμποδίζοντας την επίτευξη των στόχων βιώσιμης ανάπτυξης. Αν και η συνολική γεωργική παραγωγή έχει αυξηθεί, η κλιματική αλλαγή έχει επιβραδύνει αυτή την ανάπτυξη κυρίως σε περιοχές μεσαίου και χαμηλού γεωγραφικού πλάτους. Η θέρμανση και η οξίνιση των ωκεανών έχουν αρνητική επίδραση στην παραγωγή τροφίμων από την αλιεία και την υδατοκαλλιέργεια οστρακοειδών σε ορισμένες ωκεάνιες περιοχές. Περίπου ο μισός παγκόσμιος πληθυσμός αντιμετωπίζει σοβαρή έλλειψη νερού για τουλάχιστον ένα μέρος του έτους λόγω συνδυασμού κλιματικών/μη κλιματικών παραγόντων.

Οι αυξημένες θερμοκρασίες έχουν οδηγήσει σε θανάτους και νοσηρότητα, ενώ αυξάνονται οι νόσοι που σχετίζονται με το κλίμα. Επιπλέον, η αύξηση της θερμοκρασίας έχει συνδεθεί με προβλήματα ψυχικής υγείας, ψυχικά τραύματα από ακραία γεγονότα και απώλεια πόρων διαβίωσης και πολιτισμού (IPCC AR6, 2023). Επιπρόσθετα, η απότομη απόψυξη του permafrost συνδέεται με επιπλέον απελευθέρωση αερίων του θερμοκηπίου και παράλληλα προκαλεί απρόβλεπτες φυσικοχημικές αλλαγές που επηρεάζουν τις μικροβιακές κοινότητες, με ό,τι αυτό συνεπάγεται στην υγεία των ένβιων όντων (Ernakovich, 2022).

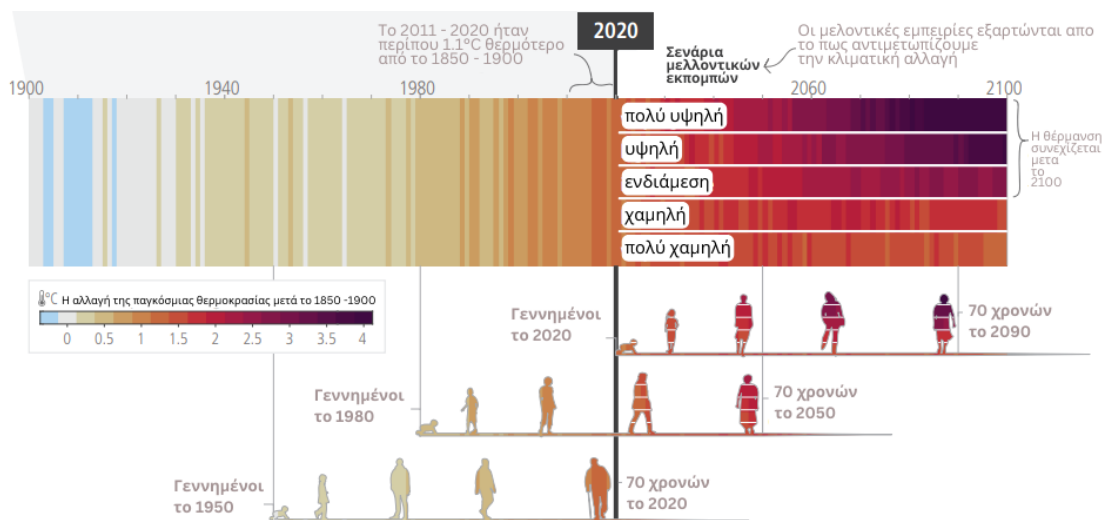
Οι ακραίες κλιματικές συνθήκες έχουν προκαλέσει εκτοπισμό κυρίως σε περιοχές της Αφρικής, της Ασίας και της Βόρειας Αμερικής, επηρεάζοντας αναλογικά περισσότερο τα μικρά νησιωτικά κράτη.

Οικονομικές ζημιές και απώλειες έχουν καταγραφεί σε διάφορους τομείς, όπως η γεωργία, η δασοκομία, η αλιεία, η ενέργεια και ο τουρισμός. Οι αστικές περιοχές έχουν πληγεί από δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία, τις υποδομές και στον τρόπο ζωής τους, με αυξημένα φαινόμενα ακραίων θερμοκρασιών και κινδύνους για τις υποδομές, με τις πιο ευάλωτες κοινωνικές ομάδες να έχουν επηρεαστεί περισσότερο (IPCC AR6, 2023). Επισημαίνεται ότι το 2023 οι πρωτοφανείς καύσωνες, η ξηρασία

Κράββα Α. Μαρία. «Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης»

και οι δασικές πυρκαγιές προκάλεσαν απώλεια παγκόσμιου ακαθάριστου εγχώριου προϊόντος της τάξης του 0,6% (CBO, 2024).

Σύμφωνα με τα σενάρια μελλοντικών εκπομπών, αν δεν παρθούν έγκαιρα αποτελεσματικά μέτρα αντιμετώπισης της κλιματικής κρίσης, το μέλλον για την ανθρωπότητα προβλέπεται δυσοίωνα (Εικόνα 19).



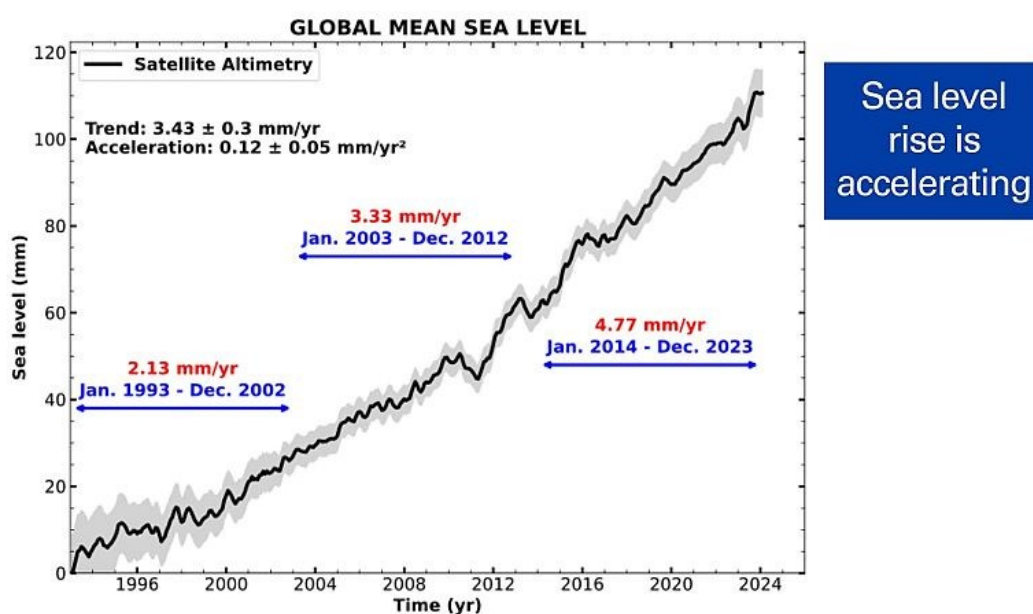
Εικόνα 19. Σενάρια μελλοντικών εκπομπών (IPCC AR6, 2023).

1.3.8 Άνοδος της στάθμης της θάλασσας και θέρμανση των ωκεανών

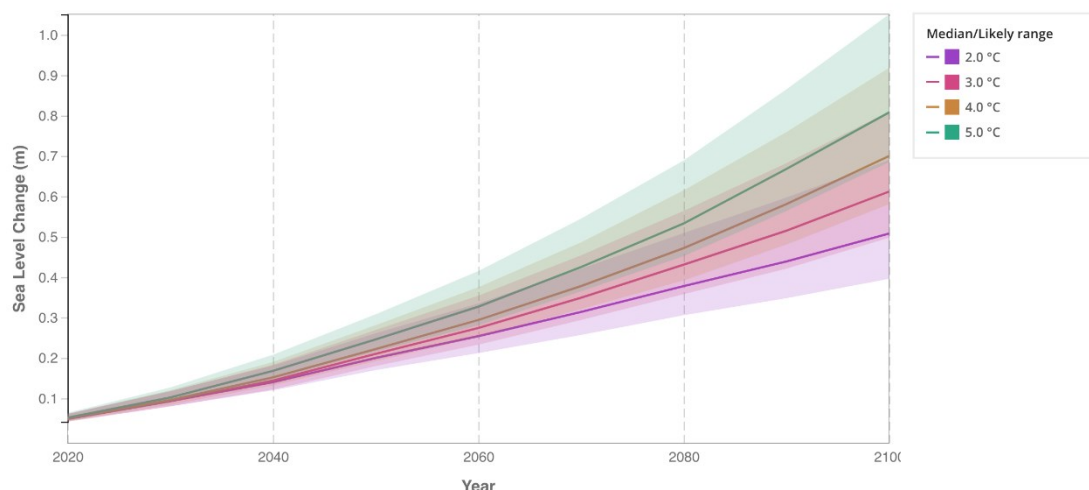
Το 2023, η παγκόσμια μέση στάθμη της θάλασσας έφτασε σε νέο ιστορικό υψηλό από τότε που ξεκίνησαν οι δορυφορικές μετρήσεις, το 1993. Η στάθμη της θάλασσας έχει αυξηθεί κατά μέσο όρο 3,34 mm ετησίως τα τελευταία 30 χρόνια. Όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα 20, ο ρυθμός αύξησης επιταχύνεται (WMO, 2024). Ο μέσος ρυθμός ανόδου της στάθμης της θάλασσας από το 1901 έως το 1971 ήταν 1,3 χιλιοστά ανά έτος (IPCC AR6, 2023). Από 2,13 mm/έτος την περίοδο 1993-2002, αυξήθηκε σε 4,77 mm/έτος την περίοδο 2014-2023 (WMO, 2024). Το 2024, σύμφωνα με τη NASA, η αύξηση της παγκόσμιας στάθμης της θάλασσας ανήλθε σε 5,9 mm, αύξηση μεγαλύτερη του αναμενόμενου 4,3 mm. Αυτή η επιτάχυνση οφείλεται στη συνεχιζόμενη θέρμανση των ωκεανών - η οποία προκαλεί διαστολή του νερού - καθώς και στο λιώσιμο των παγετώνων και των πάγων (WMO, 2024). Μάλιστα, από το 2000 και έπειτα, η τήξη των πάγων στην Ανταρκτική και τη Γροιλανδία φαίνεται να συμβάλλει περισσότερο στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας σε σύγκριση με τη θερμική διαστολή του νερού (Fox-Kemper et al., 2021). Η παγκόσμια άνοδος της στάθμης της θάλασσας έχει ξεπεράσει κατά πολύ τη

Κράββα Α. Μαρία. «Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης»

φυσιολογική αύξηση που παρατηρείται λόγω κλιματικής μεταβλητότητας. Κατά τη διάρκεια της τρέχουσας μεσοπαγετώδους περιόδου, η φυσιολογική αυτή μεταβολή δεν υπερβαίνει το 1 mm/έτος (WMO, 2024). Στην αναφορά της IPCC του 2021 παρουσιάζεται μια εκτίμηση για την εξέλιξη της στάθμης της θάλασσας έως το 2100, συγκριτικά με την περίοδο 1995-2014, η οποία βασίζεται σε τέσσερα διαφορετικά σενάρια υπερθέρμανσης. Οι γραμμές παρουσιάζουν τη μέση τιμή για κάθε σενάριο, ενώ οι σκιασμένες περιοχές αντιπροσωπεύουν το εύρος των πιθανών αποτελεσμάτων (Εικόνα 21). Ωστόσο, σύμφωνα με ένα νέο μοντέλο, που λαμβάνει υπόψη διάφορες μεθόδους προβολής της ανόδου της στάθμης της θάλασσας, σε ένα σενάριο υψηλών εκπομπών προβλέπεται ότι η παγκόσμια στάθμη της θάλασσας είναι πολύ πιθανό να αυξηθεί μεταξύ 0,5 και 1,9 μέτρα (Grandey et al., 2024). Παρόλα αυτά, τα μοντέλα που συνυπολογίζουν τη (χαμηλή) πιθανότητα ταχείας μείωσης της πολικής παγοκάλυψης, προβλέπουν άνοδο της στάθμης της θάλασσας έως και 5 μέτρα μέχρι το 2150, υπό το σενάριο πολύ υψηλών εκπομπών (SSP5-8.5) (Fox-Kemper et al., 2021). Η ανάλυση αυτών των ακραίων σεναρίων είναι κρίσιμη για τον μακροπρόθεσμο σχεδιασμό διαχείρισης παράκτιων κινδύνων, ιδιαίτερα σε περιοχές με υψηλή συγκέντρωση πληθυσμού. Σύμφωνα με το Περιφερειακό Σχέδιο για την Προσαρμογή στην Κλιματική Αλλαγή (ΠεΣΠΚΑ) Περιφέρειας Κεντρικής Μακεδονίας του έτους 2023, η μέση τιμή της ανόδου της στάθμης της θάλασσας στην ΠΚΜ θα κυμανθεί από 4cm (την περίοδο 2011-2030, στο ενδιάμεσο σενάριο) έως 57cm (σε μακροπρόθεσμο ορίζοντα, στο δυσμενές σενάριο).

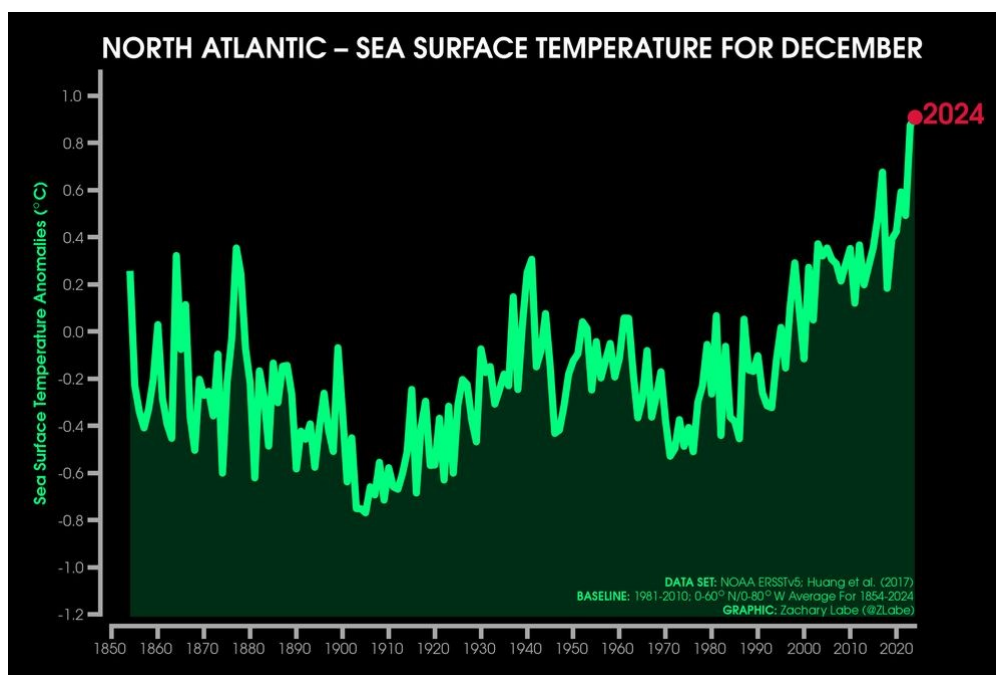


Εικόνα 20. Παγκόσμια μέση στάθμη της θάλασσας (WMO, 2024).



Εικόνα 21. Η εκτίμηση για την εξέλιξη της στάθμης της θάλασσας (NASA, 2024, IPCC AR6, 2023).

Οι μελέτες των Cheng et al. (2025) και των Merchant et al. (2025) υπογραμμίζουν τον καθοριστικό ρόλο της θέρμανσης των ωκεανών στη διαμόρφωση των πρωτοφανών υψηλών θερμοκρασιών του 2024. Ο ρυθμός θέρμανσης της επιφάνειας της θάλασσας ήταν περίπου $0,06^{\circ}\text{C}$ τη δεκαετία του '80, αλλά πλέον έχει αυξηθεί σε $0,27^{\circ}\text{C}$ ανά δεκαετία και η αύξηση δεν είναι γραμμική, αλλά επιταχυνόμενη. Οι ωκεανοί βρίσκονται στη θερμότερη κατάσταση που έχει ποτέ καταγραφεί, όχι μόνο στην επιφάνειά τους (Εικόνα 22), αλλά και σε βάθος έως και 2000 μέτρα.



Εικόνα 22. Θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας του Βόρειου Ατλαντικού μεταξύ 1850-2024 (NOOA, 2024).

Κράββα Α. Μαρία. «Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης»

Περίπου το 90% της υπερβάλλουσας θερμότητας που προέρχεται από την κλιματική αλλαγή απορροφάται από τους ωκεανούς, γεγονός που καθιστά το ποσό θερμότητας των ωκεανών κρίσιμο δείκτη της κλιματικής αλλαγής. Από το 2023 έως το 2024, η θερμότητα των ωκεανών σε βάθος 2000 μέτρων αυξήθηκε κατά 16 ζετατζάουλ (10^{21} Τζάουλ), το οποίο αντιστοιχεί περίπου σε 140 φορές την παγκόσμια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας του 2023.

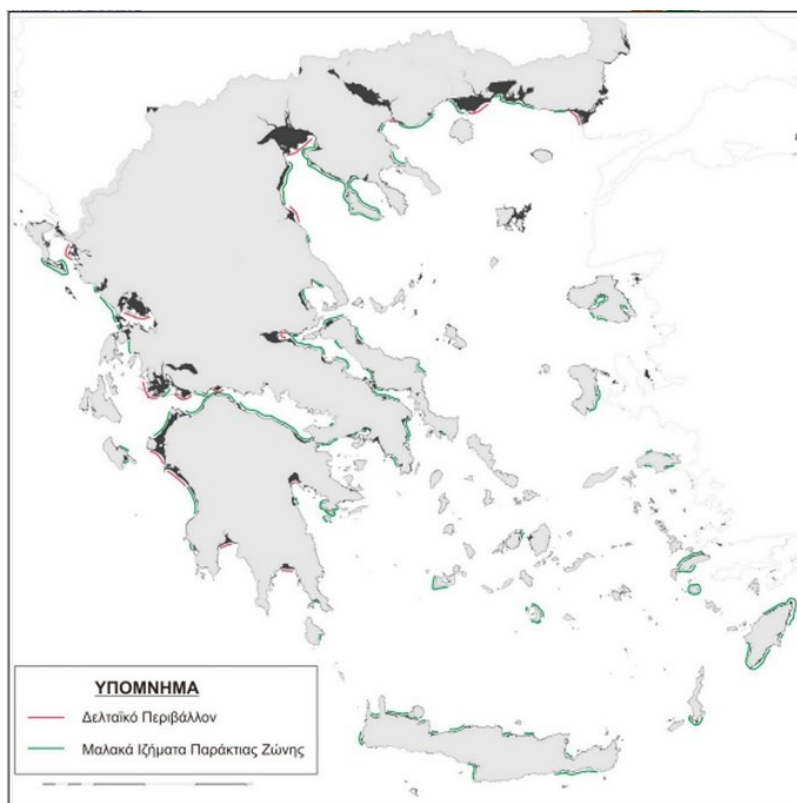
1.3.9 Επίπτωση της κλιματικής αλλαγής στην πολιτιστική κληρονομιά

Νέα μελέτη του πανεπιστημίου Dumlupınar της Τουρκίας (Zengin, 2024) αποκαλύπτει ότι πάνω από το μισό των ιστορικών τοποθεσιών στις ακτές της Τουρκίας και της Ελλάδας κινδυνεύουν να βυθιστούν έως το τέλος του αιώνα λόγω της ανόδου της στάθμης της θάλασσας.

Ήδη, ορισμένες τοποθεσίες, όπως το νησί της Δήλου κοντά στη Μύκονο, έχουν υποστεί δομικές ζημιές εξαιτίας συχνότερων πλημμυρών. Η Δήλος, ένας σημαντικός θρησκευτικός χώρος κατά την Ελληνιστική και Ρωμαϊκή περίοδο, αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα του κινδύνου.

Αξιολογήθηκαν 464 ιστορικές τοποθεσίες στις ακτές του Αιγαίου. Δημιουργήθηκαν χάρτες κινδύνου πλημμύρας για πέντε διαφορετικά σενάρια, με κατηγορίες κινδύνου από «πολύ υψηλό» έως «πολύ χαμηλό». Από τις τοποθεσίες που αναλύθηκαν, 147 εκτιμάται ότι θα διατρέχουν κάποιο επίπεδο κινδύνου στα επόμενα 50 χρόνια, ακόμα και στο καλύτερο σενάριο. Συγκεκριμένα, 34 τοποθεσίες βρίσκονται σε «πολύ υψηλό» κίνδυνο, 19 σε «υψηλό» και 27 σε «μέτριο» (Zengin, 2024).

Σύμφωνα με έκθεση της Επιτροπής Μελέτης Επιπτώσεων Κλιματικής Αλλαγής της Τράπεζας της Ελλάδος, 2011, αναφορικά με την τρωτότητα των παράκτιων ζωνών, από το συνολικό μήκος της ελληνικής ακτογραμμής, που φτάνει τα 6.938 χιλιόμετρα, το 25,2% αντιμετωπίζει πρόβλημα διάβρωσης. Στην εικόνα 23, οι περιοχές μέτριας τρωτότητας σημειώνονται με πράσινο χρώμα, ενώ εκείνες με υψηλή τρωτότητα με κόκκινο. Σε αυτές συμπεριλαμβάνεται και ο κόλπος του Θερμαϊκού. Οι υπόλοιπες ζώνες, που είναι κυρίως βραχώδεις και βρίσκονται σε μεγαλύτερο υψόμετρο, θεωρούνται χαμηλής τρωτότητας.



Εικόνα 23. Τρωτότητα παράκτιων ζωνών Ελλάδας (ΕΤΕ, 2011).

1.3.10 Επίδραση της κλιματικής αλλαγής στον τουρισμό στην Ελλάδα

Όσον αφορά σε τοπικό επίπεδο σχετικά με τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής, μεταξύ άλλων, μια νέα μελέτη των Petrou and Kassomenos (2024), εξετάζει την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στον τουρισμό στην Ελλάδα. Η έρευνα χρησιμοποιεί τον Δείκτη Κλιματικών Συνθηκών Διακοπών (HCI) για την αξιολόγηση της κλιματικής καταλληλότητας αστικών και παραθαλάσσιων περιοχών από το 1981 έως το 2023 και προβλέπει μελλοντικές τάσεις μέχρι το 2099 υπό τρία σενάρια κλιματικής αλλαγής.

Τα αποτελέσματα δείχνουν μείωση της κλιματικής καταλληλότητας, ιδιαίτερα τον Ιούνιο, λόγω αυξημένων θερμοκρασιών. Αστικοί προορισμοί, όπως η Αθήνα και η Θεσσαλονίκη, καθώς και παραθαλάσσιες περιοχές, όπως τα Ιόνια Νησιά και το Νότιο Αιγαίο, αναμένεται να παρουσιάσουν υποβάθμιση των συνθηκών από «Πολύ Καλές» σε «Οριακές» ή «Αποδεκτές» μέχρι το τέλος του αιώνα, ειδικά στα πιο απαισιόδοξα σενάρια.

Η μελέτη τονίζει ότι ακόμη και υπό αισιόδοξες προβλέψεις, οι αλλαγές στην κλιματική καταλληλότητα θα είναι αισθητές, απαιτώντας άμεσα μέτρα προσαρμογής,

Κράββα Α. Μαρία. «Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης»

και προτείνει τη βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας, τη χρήση τεχνολογιών εξοικονόμησης νερού και την υιοθέτηση βιώσιμων πρακτικών στον τουριστικό τομέα, ώστε να διατηρηθεί η Ελλάδα ανταγωνιστική και βιώσιμη ως τουριστικός προορισμός και να εξασφαλιστεί η οικονομική της σταθερότητα και ανθεκτικότητα στο πλαίσιο των κλιματικών αλλαγών (Petrou and Kassomenos, 2024).

1.3.11 Οικονομικές συνέπειες από την κλιματική αλλαγή

Σύμφωνα με μελέτη του Ινστιτούτου Πότσδαμ για την Έρευνα των Κλιματικών Επιπτώσεων (PIK, 2024), ακόμη και αν οι εκπομπές CO₂ μειωθούν δραστικά από σήμερα, η παγκόσμια οικονομία είναι ήδη δεσμευμένη σε απώλεια εισοδήματος κατά 19% έως το 2050 λόγω της κλιματικής αλλαγής. Οι εκτιμώμενες ζημιές, που ανέρχονται σε 38 τρισεκατομμύρια δολάρια ετησίως, είναι έξι φορές μεγαλύτερες από το κόστος των μέτρων για τον περιορισμό της υπερθέρμανσης στους 2°C. Η μελέτη, βασισμένη σε δεδομένα από 1.600 περιοχές τα τελευταία 40 χρόνια, υπολόγισε ότι η κλιματική αλλαγή θα επηρεάσει αρνητικά την αγροτική παραγωγή, την παραγωγικότητα της εργασίας και τις υποδομές, με περιοχές όπως η Νότια Ασία και η Αφρική να υφίστανται τις σοβαρότερες επιπτώσεις. Παρότι οι ζημιές προκύπτουν κυρίως από την αύξηση της θερμοκρασίας, οι μεταβολές στις βροχοπτώσεις και η μεταβλητότητα των θερμοκρασιών επιδεινώνουν την κατάσταση, σαφώς περισσότερο τα ακραία καιρικά φαινόμενα.

Η μελέτη επισημαίνει ότι οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής θα είναι αισθητές παντού, συμπεριλαμβανομένων των ανεπτυγμένων χωρών, όπως οι ΗΠΑ, η Γερμανία και η Γαλλία. Οι ερευνητές προειδοποιούν ότι χωρίς άμεση μείωση των εκπομπών, οι οικονομικές απώλειες θα αυξηθούν περαιτέρω, φτάνοντας έως και το 60% του παγκόσμιου εισοδήματος έως το 2100.

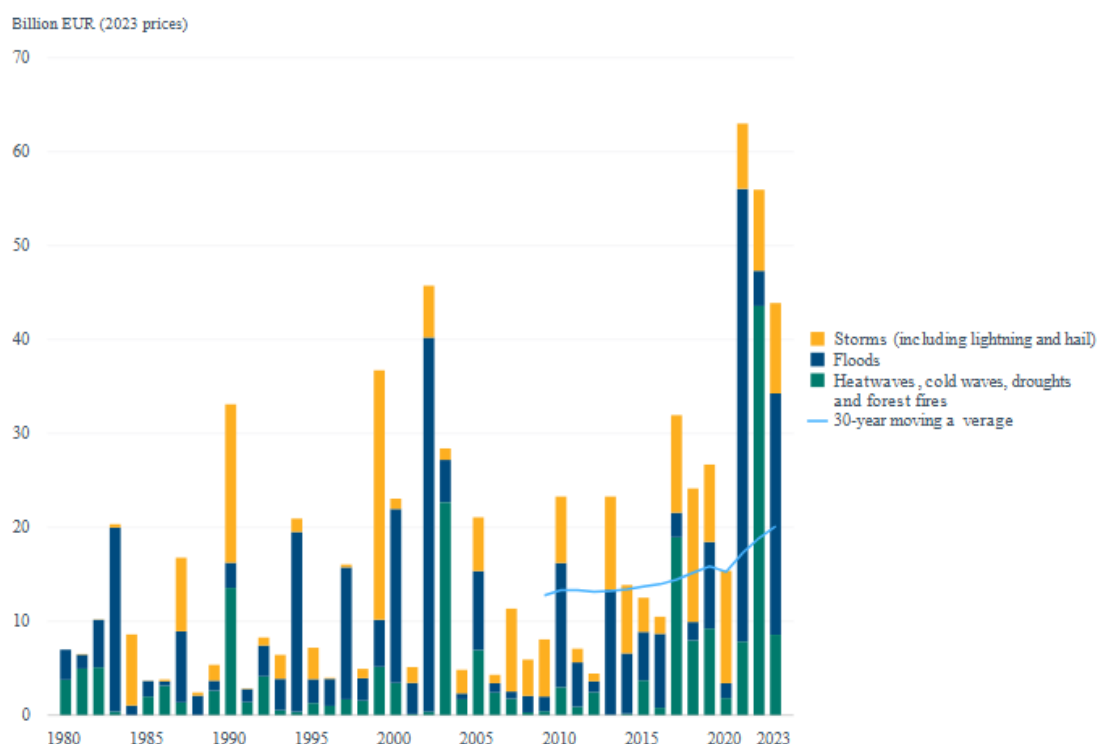
Η έρευνα αναδεικνύει τη μεγάλη ανισότητα στις συνέπειες της κλιματικής αλλαγής. Οι χώρες των τροπικών θα πληγούν το περισσότερο, καθώς είναι ήδη θερμές. Οι χώρες που συνεισφέρουν λιγότερο στις εκπομπές, θα υποστούν απώλειες εισοδήματος κατά 60% μεγαλύτερες από αυτές των πλουσιότερων κρατών και 40% μεγαλύτερες από αυτές των κρατών με τις περισσότερες εκπομπές. Οι χώρες αυτές έχουν περιορισμένους πόρους για να αντιμετωπίσουν τις επιπτώσεις.

Η μελέτη καταλήγει ότι η άμεση μετάβαση σε ένα ενεργειακό σύστημα βασισμένο σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ΑΠΕ, είναι απαραίτητη για την αποφυγή

Κράββα Α. Μαρία. «Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης» καταστροφικών συνεπειών. Αν δε σταματήσει η καύση ορυκτών καυσίμων, η σταθεροποίηση της θερμοκρασίας του πλανήτη θα είναι αδύνατη.

1.3.11.1 Οικονομικές συνέπειες στην ΕΕ από την κλιματική αλλαγή

Κατά την περίοδο 1980-2023, οι ακραίες καιρικές και κλιματικές συνθήκες προκάλεσαν σημαντικές οικονομικές απώλειες ύψους 738 δισεκατομμυρίων ευρώ στα κράτη-μέλη της ΕΕ, με 162 δισ. ευρώ (22%) να καταγράφονται μεταξύ 2021-2023 (Εικόνα 24). Η παρακολούθηση των τάσεων στις οικονομικές απώλειες είναι περίπλοκη λόγω της ετήσιας μεταβλητότητας. Παρόλα αυτά, ορισμένες αναλύσεις δείχνουν ότι αυτές αυξάνονται με την πάροδο του χρόνου. Δεδομένης της αναμενόμενης έντασης των ακραίων φαινομένων, οι σχετικές απώλειες είναι απίθανο να μειωθούν μέχρι το 2030 (ΕΟΠ, 2023).

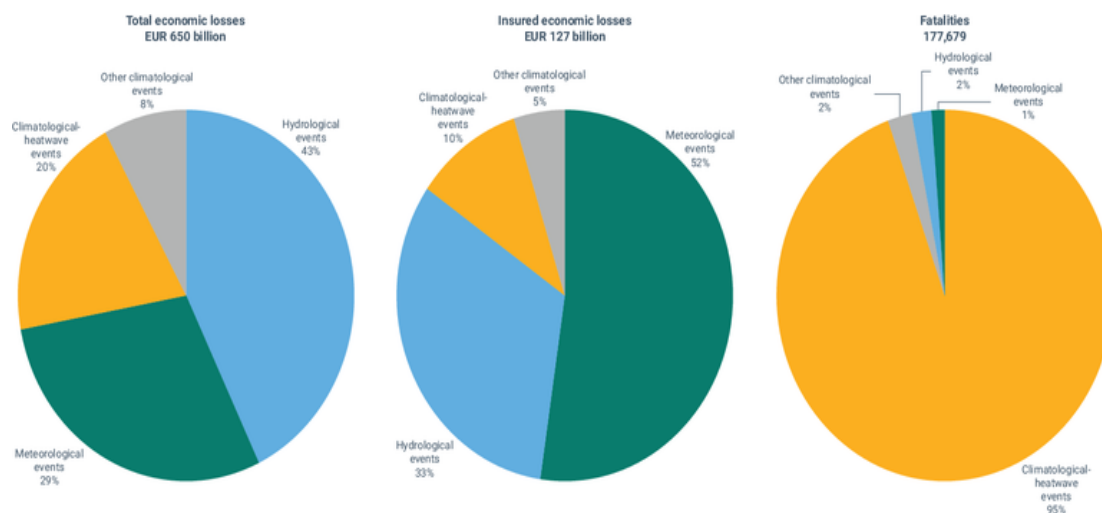


Εικόνα 24. Οικονομικές απώλειες σε ετήσια βάση που προκύπτουν από ακραία καιρικά και κλιματικά φαινόμενα στα κράτη-μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΟΠ, 2023).

Η Στρατηγική Προσαρμογής της ΕΕ του 2022 επικεντρώνεται στη βελτίωση της ανθεκτικότητας και στην προετοιμασία για τη διαχείριση των κινδύνων που απορρέουν από την κλιματική αλλαγή. Οι υδρολογικοί κίνδυνοι, όπως οι πλημμύρες,

Κράββα Α. Μαρία. «Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης»

αντιστοιχούν στο 43% των απωλειών, ενώ οι μετεωρολογικοί, όπως χαλάζι και κεραυνοί, στο 29%. Τα κλιματολογικά φαινόμενα, όπως οι καύσωνες, ευθύνονται για το 20%, ενώ ξηρασίες, δασικές πυρκαγιές και κύματα ψύχους συμβάλλουν στο υπόλοιπο 8% (Εικόνα 25).



Εικόνα 25. Απώλειες και θάνατοι που προκλήθηκαν από ακραία καιρικά και κλιματικά φαινόμενα στα κράτη-μέλη της ΕΕ κατά την περίοδο 1980-2022, ταξινομημένοι ανά κατηγορία κινδύνου. Περιλαμβάνονται συνολικές οικονομικές ζημιές, ασφαλισμένες ζημιές και θάνατοι ανά τύπο κινδύνου. Κατηγορίες κινδύνου: μετεωρολογικά φαινόμενα (πράσινο), υδρολογικά φαινόμενα (γαλάζιο), κλιματολογικά φαινόμενα - κύματα καύσωνα (κίτρινο) και άλλοι κλιματολογικοί κίνδυνοι (γκρι) (ΕΟΠ, 2022).

Τα πέντε χρόνια με τις πιο δαπανηρές ετήσιες καταστροφές (Εικόνα 24) ήταν:

- 2021 (EUR 63.0 δισ. ευρώ)
- 2022 (56.0 δισ. ευρώ)
- 2002 (45.7 δισ. ευρώ)
- 2023 (43.9 δισ. ευρώ)
- 1999 (36.7 δισ. ευρώ).

Το 5% των ακραίων φαινομένων με τις μεγαλύτερες ζημιές ευθύνεται για το 61% των συνολικών απωλειών, ενώ το 1% αυτών αντιστοιχεί στο 28%. Αυτό οφείλεται τόσο στην αυξημένη συχνότητα και ένταση των φαινομένων λόγω ανθρωπογενούς κλιματικής αλλαγής, όσο και στα περιουσιακά στοιχεία των εύλωτων περιοχών.

Οι μέσες ετήσιες απώλειες ανέρχονταν σε:

- 8,5 δισ. ευρώ την περίοδο 1980-1989 (δεκαετία)

Κράββα Α. Μαρία. «Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης»

- 14 δισ. ευρώ την περίοδο 1990-1999 (δεκαετία)
- 15,8 δισ. ευρώ την περίοδο 2000-2009 (δεκαετία)
- 17,8 δισ. ευρώ την περίοδο 2010-2019 (δεκαετία) και
- 44,5 δισ. ευρώ την περίοδο 2020-2023 (τετραετία).

Στατιστικές αναλύσεις δείχνουν ότι οι οικονομικές ζημιές αυξήθηκαν κατά 53% την περίοδο 2009-2023, με ετήσιο ρυθμό αύξησης 2,9%.

Οι οικονομικές ζημιές ποικίλλουν μεταξύ χωρών, με τη Γερμανία, την Ιταλία και τη Γαλλία να καταγράφουν τις μεγαλύτερες συνολικές απώλειες. Σλοβενία, Λουξεμβούργο και Ιταλία είχαν τις υψηλότερες κατά κεφαλήν ζημιές. Μόνο το 20% των ζημιών ήταν ασφαλισμένες, με σημαντικές διαφορές ανά χώρα και τύπο φαινομένου.

Η IPCC εκτιμά ότι τα ακραία κλιματικά φαινόμενα θα γίνουν συχνότερα και εντονότερα, προκαλώντας περισσότερες απώλειες στην Ευρώπη. Το οικονομικό κόστος εξαρτάται όχι μόνο από την ένταση και τη συχνότητα των φαινομένων, αλλά και από την αξία των εκτεθειμένων περιουσιακών στοιχείων και τα μέτρα προσαρμογής. Οι λύσεις που βασίζονται στη φύση μπορούν να περιορίσουν τις επιπτώσεις, καθιστώντας αναγκαία μια ολοκληρωμένη στρατηγική διαχείρισης κινδύνων. Η ανθεκτικότητα της κοινωνίας αποτελεί πυρήνα της στρατηγικής της ΕΕ, που εγκρίθηκε το 2021 (ΕΟΠ, 2023).

Κεφάλαιο 2^ο: Επεισόδια καύσωνα & θερμοκρασιακές μεταβολές σε παγκόσμιο και τοπικό επίπεδο. Μελέτη περίπτωσης στην πόλη της Θεσσαλονίκης

2.1.1 Ορισμοί καύσωνα

Η παρατηρούμενη αύξηση της παγκόσμιας μέσης θερμοκρασίας συνοδεύεται από την αύξηση της συχνότητας εμφάνισης ακραίων θερμοκρασιών (Fischer and Knutti, 2015). Από τις αρχές του 21^{ου} αιώνα, πολλές περιοχές του πλανήτη βιώνουν επεισόδια ακραίων θερμοκρασιών που αποδίδονται τόσο στις ανθρωπογενείς δραστηριότητες, όσο και στην εσωτερική μεταβλητότητα του συστήματος (IPCC, 2023; Perkins et al., 2012; Perkins and Alexander, 2013; Christidis et al., 2015; Perkins, 2015; Johnson et al., 2018; Lavaysse et al., 2018; Zhang et al., 2020). Χαρακτηριστικά, το 2024 σημειώθηκαν νέα ρεκόρ μέγιστης θερμοκρασίας σε πολλές χώρες της Ευρώπης κατά τη διάρκεια των ακραίων φαινομένων του Ιουνίου και Ιουλίου (Climatebook, 2024).

Οι καύσωνες αποτελούν από τις πιο επικίνδυνες κλιματικές ακραίες καταστάσεις, με σοβαρές επιπτώσεις στο περιβάλλον, τα οικοσυστήματα και τις κοινωνίες. Συνδέονται με αυξημένα ποσοστά θνησιμότητας και νοσηρότητας, ξηρασίες, πυρκαγιές, ζημιές στις υποδομές, καταστροφή καλλιεργειών και άλλες καταστροφικές συνέπειες, απειλώντας τις τοπικές οικονομίες και τη δημόσια υγεία (ETE, 2011; Feidas, 2017; Founda et al., 2022; Georgoulas et al., 2022).

Υπάρχουν ισχυρές ενδείξεις ότι οι καύσωνες γίνονται πιο έντονοι, συχνόι και διαρκείς, με τη συχνότητά τους να παρουσιάζει τη μεγαλύτερη και πιο ταχεία αλλαγή σε παγκόσμιο επίπεδο από το δεύτερο μισό του 20^{ου} αιώνα (IPCC, 2023; Perkins-Kirkpatrick and Lewis, 2020). Επιπλέον, προβλέπεται περαιτέρω αύξηση της έντασης, της διάρκειας και της συχνότητάς τους στο μέλλον (IPCC, 2023; Meehl and Tebaldi, 2004; Amengual et al., 2014; Perkins-Kirkpatrick and Gibson, 2017; Dosio et al., 2018; Guerreiro et al., 2018). Παράλληλα, τα έντονα επεισόδια βροχοπτώσεων έχουν αυξηθεί σε συχνότητα, ενώ τα ακραία φαινόμενα χαμηλών θερμοκρασιών έχουν μειωθεί (Frich et al. 2002).

Οι προβλεπόμενες αλλαγές εξαρτώνται από τα επίπεδα παγκόσμιας θέρμανσης και είναι ευαίσθητες στις θερμοκρασίες-κατώφλια υπερθέρμανσης του πλανήτη. Για παράδειγμα, η μείωση της περιόδου έντονων καυσώνων μπορεί να είναι 2-3 φορές

Κράββα Α. Μαρία. «Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης»

μικρότερη μεταξύ 1,5°C και 2,5°C (Perkins-Kirkpatrick and Gibson, 2017). Σύμφωνα με τους Dosio et al. (2018), με αύξηση 2°C, η συχνότητα εμφάνισης έντονων καυσώνων θα διπλασιαστεί σε μεγάλο μέρος του πλανήτη σε σύγκριση με έναν κόσμο με θέρμανση 1,5°C.

Λόγω του μεγάλου ενδιαφέροντος για τους καύσωνες και της ποικιλίας των τομέων και συστημάτων που επηρεάζονται από τις επιπτώσεις τους, δεν υπάρχει ένας ευρέως αποδεκτός ορισμός των καυσώνων στη βιβλιογραφία (Robinson, 2001; Perkins and Alexander, 2013; Fenner et al., 2019; Ζιακόπουλος και Φραγκούλη, 2015). Αντίθετα, έχει υιοθετηθεί μια πληθώρα διαφορετικών ορισμών, ανάλογα με τους στόχους κάθε μελέτης. Ενώ οι κλιματολόγοι επικεντρώνονται στη μελέτη στατιστικών για σπάνια κλιματικά φαινόμενα, οι επιστήμονες υγείας δίνουν έμφαση σε δείκτες που αποτυπώνουν τις επιπτώσεις στην ανθρώπινη ευημερία. Η ποικιλία στους ορισμούς, αν και δικαιολογημένη ανάλογα με το επιστημονικό πεδίο, δυσχεραίνει την κατανόηση, την ερμηνεία των προτύπων και των τάσεων, καθώς και την αξιολόγηση των επιπτώσεών τους σε διαφορετικές περιοχές (Founda et al., 2022).

Γενικά, οι καύσωνες κατανοούνται ως παρατεταμένες περίοδοι υπερβολικής θερμότητας (Perkins and Alexander, 2013), ωστόσο η επιλογή του ορίου θερμοκρασίας για τον ορισμό της "υπερβολικής θερμότητας" ποικίλλει σημαντικά στη βιβλιογραφία. Αυτή μπορεί να περιλαμβάνει ανώτερα ποσοστά της κατανομής θερμοκρασίας (στατικά ή δυναμικά) που βασίζονται σε δεδομένα από μετεωρολογικούς σταθμούς, αλλά και απόλυτα όρια θερμοκρασίας. Αυτό που μπορεί να θεωρηθεί ως "υπερβολική θερμότητα" σε μια ψυχρότερη περιοχή, ενδέχεται να είναι "φυσιολογικό" σε θερμότερα κλίματα. Για παράδειγμα, απόλυτα όρια θερμοκρασίας 37°C θεωρούνται λογικά για τα μεσογειακά κλίματα (Founda and Santamouris, 2017; Rasilla et al., 2019), ωστόσο είναι εξαιρετικά υψηλά για χώρες όπως το Ηνωμένο Βασίλειο ή η Φινλανδία, όπου έχουν υιοθετηθεί χαμηλότερα όρια (π.χ. Näyhä et al., 2014; McCarthy et al., 2019). Ακόμη και σε εθνικό ή τοπικό επίπεδο, τα κριτήρια για τον ορισμό ενός καύσωνα και την ενεργοποίηση συστημάτων προειδοποίησης διαφέρουν. Για παράδειγμα, στην Αυστραλία, τα όρια θερμοκρασίας διαφέρουν μεταξύ των Περθ (35°C), Αδελαΐδας (40°C) ή Κουίνσλαντ (συνδυασμός θερμοκρασίας και υγρασίας) (Tong et al., 2010; Zuo et al., 2015).

Πρόσφατες μελέτες έχουν διερευνήσει την ευαισθησία των στατιστικών και των τάσεων στα χαρακτηριστικά των επεισοδίων καύσωνα σε σχέση με τον ορισμό που

Κράββα Α. Μαρία. «Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης»

υιοθετείται. Η ανάλυση 16 διαφορετικών δεικτών καύσωνα στις ΗΠΑ από τους Smith et al. (2013) αποκάλυψε συνολική ποιοτική συμφωνία ως προς την κατεύθυνση των τάσεων, αλλά σημαντική μεταβλητότητα ως προς το μέγεθος των παρατηρούμενων τάσεων και τα γεωγραφικά πρότυπα της συχνότητας των ημερών καύσωνα. Οι You et al. (2017) κατέγραψαν ασθενείς συσχετίσεις, αλλά και αντιφατικές τάσεις μεταξύ δεικτών που βασίζονται σε σχετικά και απόλυτα θερμοκρασιακά κατώφλια στην Κίνα, υπογραμμίζοντας τη σημασία της επιλογής του δείκτη καύσωνα.

Η μελέτη των Fenner et al. (2019) που εφάρμοσε πολλούς ορισμούς καύσωνα σε εκατονταετή αρχεία θερμοκρασίας αέρα στη Γερμανία (Potsdam), έδειξε ομοιότητες, αλλά και σημαντικές αποκλίσεις στις μακροπρόθεσμες στατιστικές και τάσεις, με μόλις 15 επεισόδια σε διάστημα 125 ετών να καταγράφονται ταυτόχρονα από όλους τους ορισμούς.

Επιδημιολογικές μελέτες έχουν καταδείξει ότι οι καύσωνες αυξάνουν σημαντικά τη θνησιμότητα παγκοσμίως. Ωστόσο, οι εκτιμήσεις των επιπτώσεων διαφέρουν ανάλογα με τον υιοθετούμενο ορισμό, ενώ η προσαρμογή του πληθυσμού στη θερμότητα, και άλλοι κοινωνικοί παράγοντες, επηρεάζουν σημαντικά το τελικό αποτέλεσμα στην υγεία (Tan et al., 2010; Tong et al., 2010; Sheridan and Allen, 2015; Wang et al., 2015; Dong et al., 2016; Xu et al., 2016; Zhang et al., 2017; Park and Kim, 2018; López-Bueno et al., 2021). Οι Tong et al. (2010) κατέληξαν ότι ακόμη και μια μικρή αλλαγή στον ορισμό του καύσωνα είχε σημαντική επίδραση στις εκτιμώμενες επιπτώσεις στην υγεία στο Μπρίσμπεϊν (Αυστραλία).

Είναι αξιοσημείωτο ότι οι επιπτώσεις στην υγεία λόγω καύσωνα ενδέχεται να διαφέρουν σημαντικά μεταξύ περιοχών ή πόλεων ακόμη και της ίδιας χώρας, λόγω διαφορετικής προσαρμοστικότητας στη ζέστη (Wang et al., 2015), ενώ ενδοαστικές διαφοροποιήσεις έχουν επίσης καταγραφεί στην Αθήνα (Zafeiratou et al., 2019).

Παρόλο που η πλειονότητα των ορισμών για καύσωνες στη βιβλιογραφία βασίζεται σε δείκτες θερμοκρασίας αέρα, αρκετοί ερευνητές έχουν αναδείξει τη σημασία άλλων μετεωρολογικών παραμέτρων που επηρεάζουν τη θερμική άνεση των ανθρώπων, όπως η υγρασία. Αντίστοιχοι δείκτες έχουν υιοθετηθεί σε μελέτες καυσώνων (Smith et al., 2013; Russo et al., 2017; Park and Kim, 2018; Roshan et al., 2018; Heo et al., 2019). Απλοί δείκτες που συνδυάζουν τη θερμοκρασία αέρα με την υγρασία, όπως η Φαινόμενη Θερμοκρασία (Apparent Temperature) ή ο Δείκτης

Κράββα Α. Μαρία. «Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης»

Θερμότητας (Heat Index), χρησιμοποιούνται ευρέως στις έρευνες για την οριοθέτηση καυσώνων ή από τις Μετεωρολογικές Υπηρεσίες για την έκδοση προειδοποιήσεων θερμότητας (D'Ippoliti et al., 2010; Smith et al., 2013; Unal et al., 2013).

Πιο προηγμένοι δείκτες, όπως η Φυσιολογικά Ισοδύναμη Θερμοκρασία (PET) και ο Καθολικός Δείκτης Θερμικής Άνεσης (UTCI), αξιολογούν τη θερμική άνεση μέσω μοντέλων θερμικής ισορροπίας του ανθρώπου (Matzarakis et al., 1999; Bröde et al., 2012) και λαμβάνουν υπόψη επιπλέον ατμοσφαιρικές παραμέτρους, όπως η ταχύτητα του ανέμου και η ηλιακή ακτινοβολία. Αυτοί οι σύνθετοι δείκτες χρησιμοποιούνται συνήθως για την εκτίμηση της δυσφορίας που προκαλείται από τη θερμότητα ή το κρύο (Nastos and Matzarakis, 2012; Di Napoli et al., 2018; Katavoutas and Founda, 2019a, 2019b), αλλά σπάνια υιοθετούνται για τον καθορισμό καυσώνων ως συνεχόμενων ημερών θερμικού στρες (Roshan et al., 2018).

Η ανάλυση των διαφορετικών ορισμών καύσωνα των Founda et al. (2022) αποκαλύπτει ένα σταθερό μοτίβο. Συγκεκριμένα, οι ετήσιες μέσες τιμές των δεικτών καυσώνων, που αφορούν τόσο στη συχνότητα όσο και στη διάρκεια, παρουσιάζονται αυξημένες κατά την υποπερίοδο 1960-2019 σε σύγκριση με ολόκληρη την περίοδο 1900-2019, ανεξαρτήτως του ορισμού που βασίζεται στη θερμοκρασία, υποδηλώνοντας ότι οι καύσωνες ήταν πιο συχνοί και με μεγαλύτερη διάρκεια στη νεότερη υποπερίοδο. Επιπλέον, παρατηρείται μείωση στην εμφάνιση καυσώνων κατά τη δεκαετία του 1970, η οποία ακολουθείται από σημαντική αύξηση από τα μέσα της δεκαετίας του 1980 και έπειτα.

2.1.2 Εποχικότητα και Τάσεις των Καυσώνων

Τα επεισόδια καύσωνα εμφανίζονται συχνότερα τον Ιούλιο, καταλαμβάνοντας πάνω από το 45% των καλοκαιρινών καυσώνων κατά την περίοδο 1900-2019, ανεξαρτήτως ορισμού που βασίζεται στη θερμοκρασία. Ο Αύγουστος ακολουθεί με ένα αξιοσημείωτο ποσοστό 30-40%, ενώ ο Ιούνιος συμβάλλει περίπου στο 10% για τους περισσότερους ορισμούς (Founda et al., 2022).

2.1.3 Μακροπρόθεσμες Τάσεις στον Χρονοπρογραμματισμό των Καυσώνων

Οι μακροπρόθεσμες αναλύσεις αποκαλύπτουν στατιστικά σημαντική αύξηση στη διάρκεια της περιόδου των καυσώνων από το 1900. Η επιμήκυνση αυτή κυμαίνεται από 1,6-4 ημέρες ανά δεκαετία (Founda et al., 2022).

Κράββα Α. Μαρία. «Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης»

Η παρούσα μελέτη επικεντρώνεται στη Θεσσαλονίκη, μια πόλη της Μεσογείου. Η Μεσόγειος συνιστά μια περιοχή που είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη στην κλιματική αλλαγή και παρουσιάζει σημαντικούς κινδύνους θερμότητας, τόσο σε παρατηρούμενα όσο και σε προβαλλόμενα δεδομένα (Diffenbaugh et al., 2007; Perkins-Kirkpatrick and Gibson, 2017; Guerreiro et al., 2018; Founda et al., 2019a, 2019b). Η Μεσόγειος ανήκει στις πέντε περιοχές παγκοσμίως (από τις συνολικά 26) που εμφανίζουν σημαντικές παρατηρούμενες τάσεις σε όλες τις βασικές παραμέτρους καυσώνων, όπως η συχνότητα, η μέγιστη διάρκεια, η μέση ένταση και η συσσωρευμένη θερμότητα (Perkins-Kirkpatrick and Lewis, 2020).

Στη μελέτη χρησιμοποιείται ο ορισμός του Παγκόσμιου Μετεωρολογικού Οργανισμού (WMO), ο οποίος περιγράφει πιο ακραία γεγονότα καύσωνα (Frich et al. 2002), σύμφωνα με τον οποίο οι καύσωνες ορίζονται ως περίοδοι διάρκειας άνω των πέντε συνεχόμενων ημερών, κατά τις οποίες η μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία υπερβαίνει κατά τουλάχιστον 5°C τον μέσο όρο της μέγιστης θερμοκρασίας για την περίοδο Μαΐου-Σεπτεμβρίου, όπως έχει καταγραφεί κατά την περίοδο αναφοράς (1970-1999).

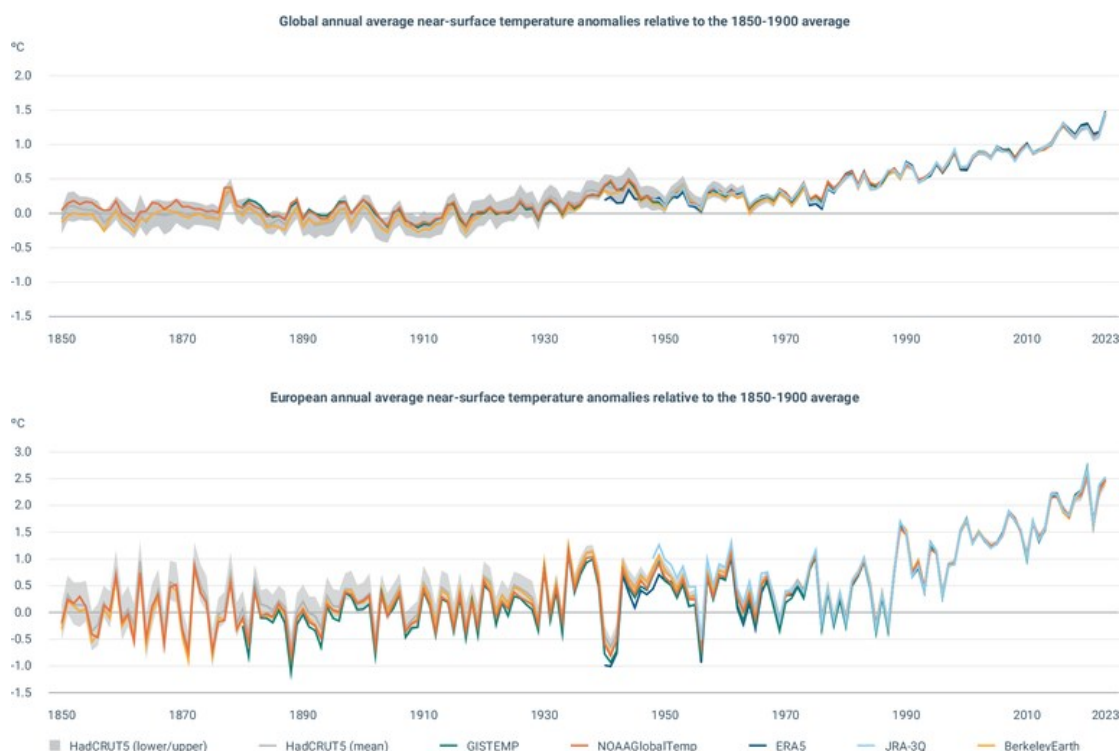
Σύμφωνα με τον WMO (2009), η προτεινόμενη διάρκεια ανάλυσης του κλίματος εξαρτάται από τον στόχο της μελέτης, όπως η παρακολούθηση της κλιματικής εξέλιξης, η ανίχνευση ακραίων φαινομένων ή η δημιουργία κλιματολογικών αναφορών. Ωστόσο, δεν υπάρχει ομοφωνία για μια συγκεκριμένη χρονική διάρκεια. Για την παρούσα ανάλυση, με στόχο την ανίχνευση επεισοδίων καύσωνα σε σχέση με μια περίοδο αναφοράς, θεωρήθηκε ότι μια διάρκεια 30 ετών είναι επαρκής για τη διαμόρφωση μιας αξιόπιστης κλιματολογίας. Βάσει των κατευθυντήριων γραμμών του WMO, προηγούμενων ερευνών και της διαθεσιμότητας δεδομένων, χρησιμοποιήθηκε η χρονική περίοδος 1970-1999 για την ανίχνευση και αξιολόγηση της έντασης των κυμάτων καύσωνα.

2.2 Παγκόσμια κλιματική κατάσταση

Οι παγκόσμιοι ετήσιοι μέσοι όροι της θερμοκρασίας κοντά στην επιφάνεια της γης και των ωκεανών εκφρασμένες ως η ανωμαλία σε σχέση με την προβιομηχανική περίοδο 1850-1900 σύμφωνα με τα σύνολα δεδομένων που χρησιμοποιούνται από την Υπηρεσία Κλιματικής Αλλαγής Copernicus παρουσιάζονται στην εικόνα 26, από

Κράββα Α. Μαρία. «Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης»

την οποία προκύπτει ότι η παγκόσμια θερμοκρασία αυξάνεται και ότι η Ευρώπη θερμαίνεται ταχύτερα (περίπου δύο φορές) από τις άλλες ηπείρους (ΕΟΠ, 2024).



Εικόνα 26. Παγκόσμιες και ευρωπαϊκές ανωμαλίες της θερμοκρασίας κοντά στην επιφάνεια σχετικά με τον μέσο όρο του 1850-1900 (Copernicus, 2024).

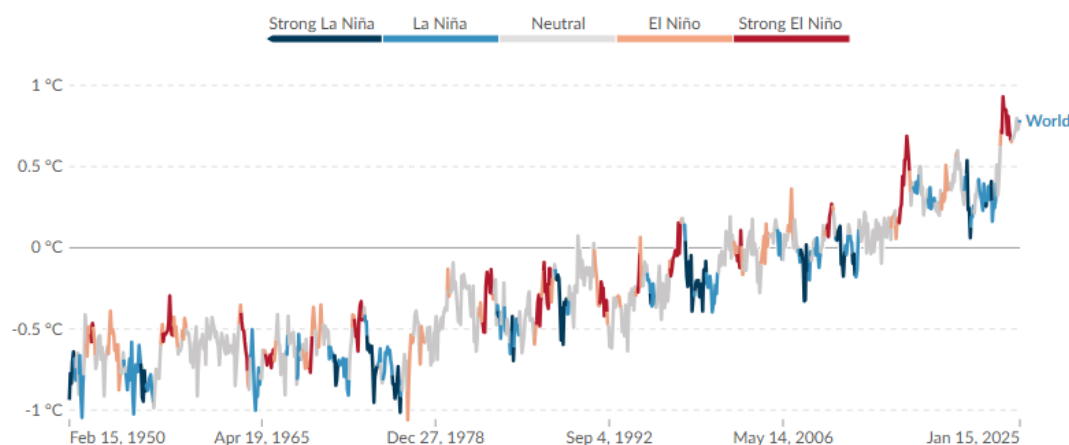
Παρατηρώντας και την εικόνα 27 παρακάτω, γίνεται εμφανές ότι η άνοδος της θερμοκρασίας δεν είναι γραμμική. Υπάρχουν περίοδοι με αυξήσεις και μειώσεις κατά μήκος της γενικής τάσης. Πολλές από αυτές τις βραχυπρόθεσμες διακυμάνσεις οφείλονται στο φαινόμενο ENSO (El Niño-Southern Oscillation), έναν φυσικό κλιματικό κύκλο που προκαλείται από μεταβολές στα πρότυπα των ανέμων και τις θερμοκρασίες της επιφάνειας της θάλασσας στον Ειρηνικό Ωκεανό. Αν και το ENSO ξεκινά από τον Ειρηνικό και επηρεάζει κυρίως τροπικές περιοχές, έχει επίσης επιπτώσεις στη θερμοκρασία και το κλίμα παγκοσμίως.

Ο κύκλος ENSO περιλαμβάνει δύο βασικές φάσεις:

- Τη φάση Λα Νίνια (La Niña), που συνδέεται με χαμηλότερες παγκόσμιες θερμοκρασίες
- Τη φάση Ελ Νίνιο (El Niño), που οδηγεί σε θερμότερες συνθήκες

Κράββα Α. Μαρία. «Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης»

Ο πλανήτης εναλλάσσεται μεταξύ των φάσεων Ελ Νίνιο και Λα Νίνια κάθε δύο έως επτά χρόνια, με ενδιάμεσα «ουδέτερα» διαστήματα, που δεν επικρατεί κάποια από τις δύο ακραίες καταστάσεις. Η εναλλασσόμενη πορεία της παγκόσμιας θερμοκρασίας γίνεται πιο κατανοητή όταν λαμβάνονται υπόψη οι φάσεις του ENSO. Το Ελ Νίνιο (θερμή φάση) εμφανίζεται με πορτοκαλί και κόκκινο, ενώ το Λα Νίνια (ψυχρή φάση) εμφανίζεται με μπλε. Αυτό που προκαλεί ιδιαίτερη εντύπωση είναι ότι οι παγκόσμιες θερμοκρασίες κατά τα πρόσφατα έτη Λα Νίνια ήταν υψηλότερες από τις θερμοκρασίες των ετών Ελ Νίνιο μερικές δεκαετίες νωρίτερα. Με άλλα λόγια, οι «κρύες χρονιές» σήμερα είναι πιο ζεστές από τις «ζεστές χρονιές» του παρελθόντος (Copernicus, 2025; NOAA, 2025; Our World in Data, 2025).



Εικόνα 27. Ανωμαλίες της παγκόσμιας θερμοκρασίας από τις συνθήκες Ελ Νίνιο και Λα Νίνια (Copernicus, 2025; NOAA, 2025; Our World in Data, 2025).

2.2.1 Η παγκόσμια κλιματική κατάσταση του 2024

Η υπηρεσία Copernicus Climate Change Service (C3S) της Ευρωπαϊκής Ένωσης δημοσίευσε την επίσημη αποτίμηση για το κλίμα του 2024, μιας χρονιάς που αποδείχθηκε εξαιρετικά σημαντική. Παρακάτω παρουσιάζονται τα βασικά ευρήματα:

➤ 2024: Το θερμότερο έτος στα χρονικά

Η μέση θερμοκρασία στην επιφάνεια της Γης σημείωσε τιμή 15.10°C, κατά 0,72°C υψηλότερη από τον μέσο όρο της δεκαετίας 1991-2020 και 1,60°C αντίστοιχα από τα προβιομηχανικά επίπεδα (1850-1900), ξεπερνώντας το 2023 κατά 0,12°C (Εικόνα 28). Το 2024 ήταν η πρώτη χρονιά που η παγκόσμια θερμοκρασία ξεπέρασε περισσότερο από 1,5°C τα προβιομηχανικά επίπεδα, με 11 μήνες να σημειώνουν μέση θερμοκρασία πάνω από αυτό το όριο (Ο μέσος όρος θερμοκρασίας για το 2023 και το 2024 συνδυαστικά ανέρχεται στους

Κράββα Α. Μαρία. «Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης»

1,54°C πάνω από τα προβιομηχανικά επίπεδα). Στις 22 Ιουλίου 2024, ο ημερήσιος παγκόσμιος μέσος όρος θερμοκρασίας άγγιξε νέο ρεκόρ θερμοκρασίας, 17.16°C.

➤ **Η πιο θερμή δεκαετία**

Τα τελευταία δέκα χρόνια (2015–2024) είναι τα θερμότερα που έχουν καταγραφεί.

➤ **Ρεκόρ θερμοκρασιών ανά μήνα**

Κάθε μήνας από τον Ιανουάριο έως τον Ιούνιο, καθώς και ο Αύγουστος, κατέγραψαν θερμοκρασίες υψηλότερες από κάθε προηγούμενο έτος (με τον Αύγουστο να ισοβαθμεί με το 2023).

➤ **Παγκόσμια κατανομή θερμοκρασίας**

Το 2024 αποτέλεσε το θερμότερο έτος για όλες τις ηπείρους, εκτός από την Ανταρκτική και την Ωκεανία, και για μεγάλο μέρος των ωκεανών. Οι μεγαλύτερες αποκλίσεις εντοπίστηκαν στον ανατολικό Καναδά, την Ευρώπη, την Αφρική, τη Σιβηρία και περιοχές της Ανταρκτικής.

➤ **Θερμοκρασία στην Ευρώπη**

Η Ευρώπη κατέγραψε το θερμότερο έτος της ιστορίας, της υπερβαίνοντας το δεύτερο θερμότερο έτος, το 2020, κατά 0,28°C, με την άνοιξη και το καλοκαίρι να αποτελούν τις πιο θερμές εποχές που έχουν ποτέ παρατηρηθεί (1,50°C και 1,54°C πάνω από τον μέσο όρο της περιόδου 1991-2020 αντίστοιχα). Η μέση θερμοκρασία σημείωσε τιμή 10.69°C, κατά 1.47°C υψηλότερη από τον μέσο όρο της δεκαετίας 1991-2020 και 2.92°C αντίστοιχα από τα προβιομηχανικά επίπεδα (1850-1900).

➤ **Αέρια θερμοκηπίου**

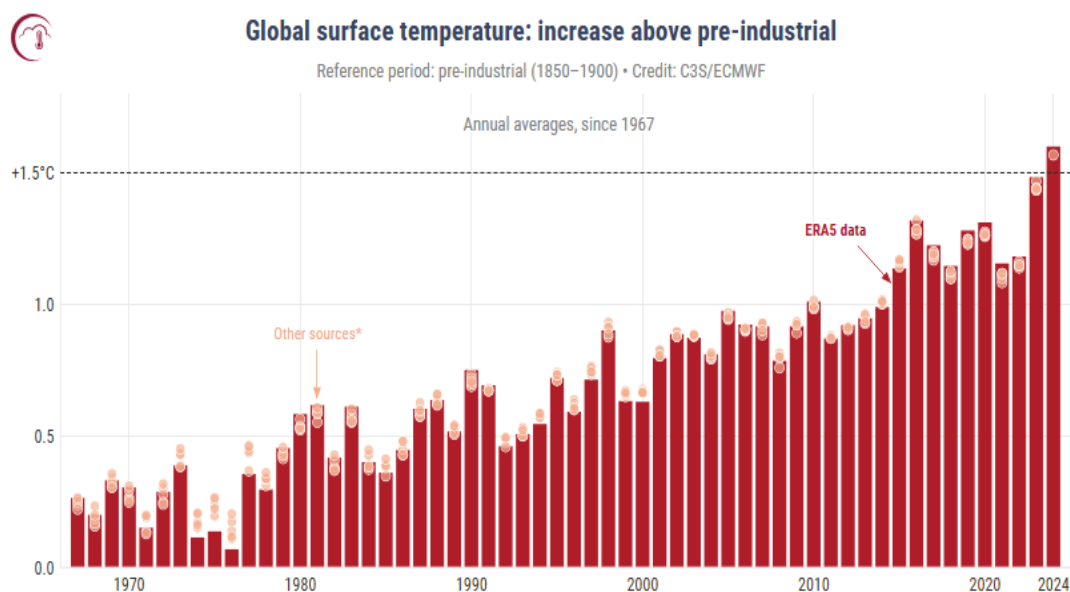
Οι συγκεντρώσεις διοξειδίου του Άνθρακα (422 ppm) και Μεθανίου (1897 ppb) συνέχισαν να αυξάνονται, φτάνοντας τα υψηλότερα επίπεδα των τελευταίων δύο εκατομμυρίων και 800.000 ετών αντίστοιχα, σύμφωνα με παλαιοκλιματικές εκτιμήσεις.

➤ **Θερμοκρασία θαλάσσιας επιφάνειας**

Οι θερμοκρασίες των ωκεανών έμειναν σε επίπεδα ρεκόρ από τον Ιανουάριο έως τον Ιούλιο, ενισχυμένες από το φαινόμενο Ελ Νίνιο, το οποίο εξασθένησε τον Ιούνιο.

➤ Θαλάσσιος πάγος

Η έκταση του θαλάσσιου πάγου της Ανταρκτικής παρέμεινε σε ιστορικά χαμηλά επίπεδα για δεύτερη συνεχόμενη χρονιά, ενώ στην Αρκτική σημειώθηκαν επίσης χαμηλά επίπεδα, χωρίς ωστόσο να καταρριφθεί το ρεκόρ (Copernicus, 2024).



Εικόνα 28. Παγκόσμια θερμοκρασία επιφάνειας: Αύξηση πάνω από τα προβιομηχανικά επίπεδα (Copernicus, 2024).

Η Συμφωνία του Παρισιού (UNFCCC) έχει στόχο να διατηρήσει την αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας «κατά πολύ κάτω από τους 2°C σε σχέση με τα προβιομηχανικά επίπεδα» (συνήθως, ο μέσος όρος της περιόδου 1850-1900 λαμβάνεται ως το προβιομηχανικό επίπεδο) και να καταβάλει προσπάθειες για τον περιορισμό της αύξησης στους 1,5°C. Παρόλο που η Συμφωνία δεν καθορίζει ακριβώς τι συνιστά την επίτευξη αυτών των στόχων ή τον ορισμό του «κατά πολύ κάτω από τους 2°C», είναι γενικά αποδεκτό ότι απαιτούνται θερμοκρασίες που έχουν μετρηθεί κατά μέσο όρο σε βάθος δύο ή τριών δεκαετιών για να επιβεβαιωθεί η υπέρβαση αυτών των ορίων.

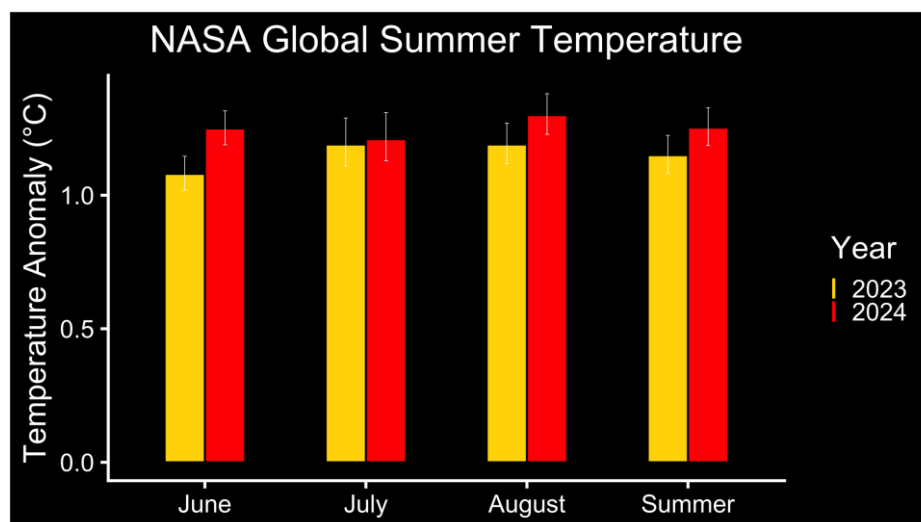
Η υπέρβαση του ορίου των 1,5°C για μία ή δύο χρονιές δεν σημαίνει ότι έχει παραβιαστεί η Συμφωνία του Παρισιού. Ωστόσο, με τον σημερινό ρυθμό θέρμανσης που ξεπερνά τους 0,2°C ανά δεκαετία, είναι πολύ πιθανό να υπερβεί το όριο των 1,5°C μέσα στη δεκαετία του 2030 (Copernicus, 2024; IPCC, 2023).

2.2.2 Αποκλίσεις συστημάτων

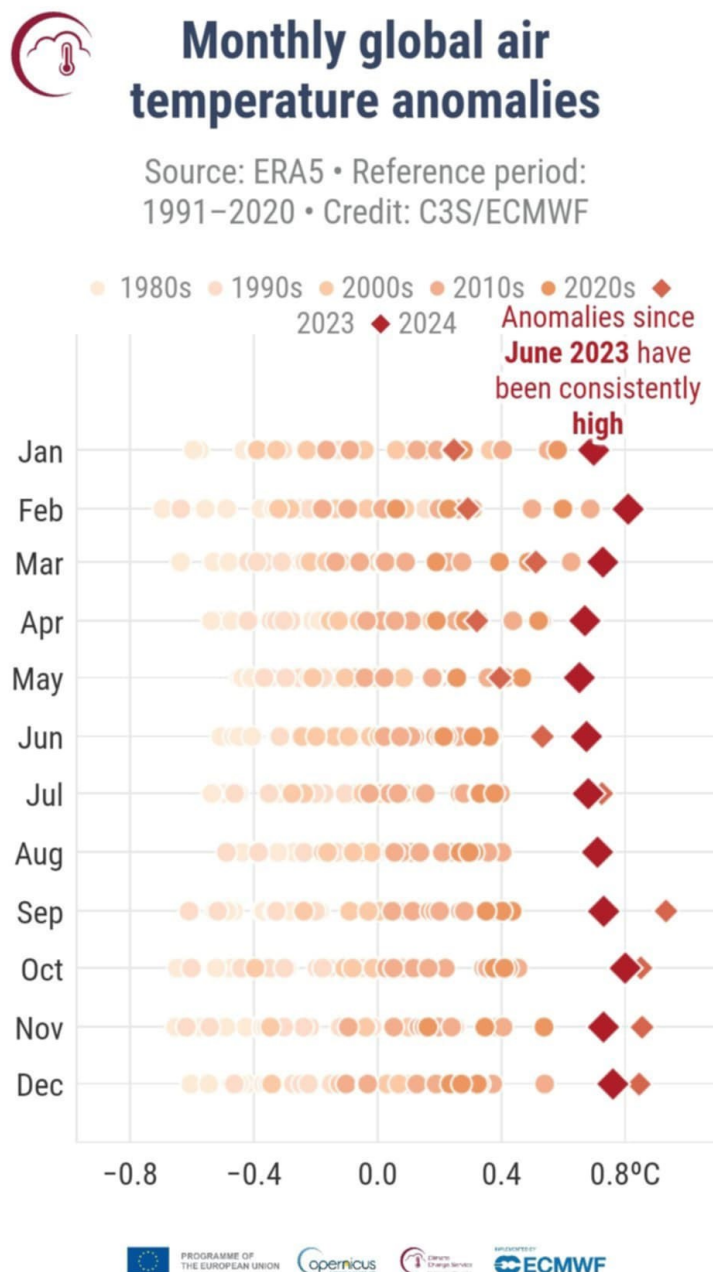
Η NASA δημιουργεί το σύνολο δεδομένων θερμοκρασίας της, γνωστό ως GISS Surface Temperature Analysis (GISTEMP), χρησιμοποιώντας στοιχεία από δεκάδες χιλιάδες μετεωρολογικούς σταθμούς, μετρήσεις θερμοκρασίας θαλάσσιας επιφάνειας από πλοία και σημαδούρες, καθώς και δεδομένα από την Ανταρκτική. Οι μέθοδοι ανάλυσης λαμβάνουν υπόψη την άνιση κατανομή των σταθμών παγκοσμίως και τις επιδράσεις της αστικής θέρμανσης, ώστε να διασφαλίζεται η ακρίβεια των αποτελεσμάτων.

Διάφοροι φορείς χρησιμοποιούν ανεξάρτητες μεθόδους για την εκτίμηση της θερμοκρασίας του πλανήτη. Το NOAA και η Υπηρεσία Κλιματικής Αλλαγής Copernicus της Ευρωπαϊκής Ένωσης επιβεβαιώνουν τα ευρήματα της NASA, με τον Κοπέρνικο να εφαρμόζει προηγμένες τεχνικές αναλύσεων δεδομένων (reanalysis). Παρόλο που τα αποτελέσματα είναι γενικά συνεπή, ενδέχεται να διαφέρουν σε λεπτομέρειες. Για παράδειγμα, ο Κοπέρνικος ανέφερε ότι ο Ιούλιος 2023 ήταν ο θερμότερος μήνας που έχει καταγραφεί, ενώ η NASA κατέταξε τον Ιούλιο 2024 στην πρώτη θέση (Εικόνα 29). Με νεότερη ανάλυση, διαπιστώθηκε ότι η διαφορά μεταξύ των δύο μηνών είναι μικρότερη από την αβεβαιότητα των δεδομένων.

Σύμφωνα με την εικόνα 30, ο Ιούλιος, ο Σεπτέμβριος, ο Οκτώβριος, ο Νοέμβριος και ο Δεκέμβριος του 2023 ήταν οι θερμότεροι μήνες στην ιστορία των καταγραφών σύμφωνα με το σύστημα Copernicus.



Εικόνα 29: Καλοκαιρινές αποκλίσεις της παγκόσμιας θερμοκρασίας του GISTEMP για το 2023 (εμφανίζεται με κίτρινο) και το 2024 (εμφανίζεται με κόκκινο). Ο Ιούνιος έως τον Αύγουστο θεωρείται μετεωρολογικό καλοκαίρι στο βόρειο ημισφαίριο. Οι λευκές γραμμές υποδεικνύουν το εύρος των εκτιμώμενων θερμοκρασιών (NASA, 2024).



Εικόνα 30. Παρεκκλίσεις παγκόσμιων μηνιαίων θερμοκρασιών σε σχέση με 1991-2020 (Copernicus, 2024).

2.2.3 Κατάσταση στη Μεσόγειο

Στην 29^η Διάσκεψη των Μερών (COP29) της Σύμβασης - Πλαισίου του ΟΗΕ για την Κλιματική Αλλαγή, που πραγματοποιήθηκε τον Νοέμβριο του 2024 στο Μπακού του Αζερμπαϊτζάν, επιτεύχθηκε νέα κλιματική συμφωνία, με τις ανεπτυγμένες χώρες να δεσμεύονται να παρέχουν 300 δισεκατομμύρια δολάρια ετησίως μέχρι το 2035 για την υποστήριξη των αναπτυσσόμενων χωρών απέναντι στις συνέπειες της κλιματικής κρίσης. Ωστόσο, πολλές αναπτυσσόμενες χώρες χαρακτήρισαν τη συμφωνία «εξαιρετικά ανεπαρκή». Η συμφωνία επιτεύχθηκε έπειτα από δύο εβδομάδες

Κράββα Α. Μαρία. «Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης»

δύσκολων διαπραγματεύσεων, κατά τις οποίες σημειώθηκαν αποχωρήσεις εκπροσώπων μικρών νησιωτικών κρατών και λιγότερο ανεπτυγμένων χωρών, λόγω διαφωνιών.

Παράλληλα, ειδικοί επιστήμονες, όπως οι Πιέρο Λιονέλο και Άμπντελ Μονέμ, παρουσίασαν ανησυχητικά δεδομένα για τη Μεσόγειο, η οποία θερμαίνεται κατά 20% ταχύτερα από τον υπόλοιπο κόσμο. Οι αλλαγές επηρεάζουν άμεσα 540 εκατομμύρια κατοίκους της περιοχής.

Ανάλυση της κατάστασης στη Μεσόγειο:

- **Θερμοκρασία:** Η αύξηση κατά τις δύο τελευταίες δεκαετίες οδήγησε σε 40% περισσότερους καύσωνες, με 15% να είναι μεγάλης διάρκειας. Αυτό έχει σοβαρές επιπτώσεις στη θαλάσσια ζωή (κοράλλια, σφουγγάρια, μαλάκια) και στη διάδοση ειδών όπως οι μέδουσες.
- **Ακραία φαινόμενα:** Αν δεν περιοριστεί η παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας στον 1,5°C, θα αυξηθεί η συχνότητα ακραίων φαινομένων, όπως οι πρόσφατες καταστροφικές βροχοπτώσεις στη Βαλένθια.
- **Υποδομές και αγροτική παραγωγή:** Οι πλημμύρες απειλούν βασικά έργα υποδομής, ενώ οι ξηρασίες και η έλλειψη γλυκού νερού προκαλούν προβλήματα στην παραγωγή ελαιών, σταφυλιών, σιτηρών και λαχανικών, επιβαρύνοντας την επισιτιστική ασφάλεια.
- **Ρύπανση:** Το 100% των επιπλεόντων και το 50% των βυθισμένων αποβλήτων στη Μεσόγειο είναι πλαστικά.

2.2.4 Η εμφάνιση του φαινομένου επεισοδίων καύσωνα στην Ελλάδα

2.2.4.1 Η κλιματική αποτίμηση του 2024 στην Ελλάδα

Το 2024 αναδείχθηκε ως το πιο θερμό έτος που έχει καταγραφεί στην Ελλάδα από το 1890 (Εικόνα 32). Η μέση θερμοκρασία στη χώρα κυμάνθηκε πάνω από τον μέσο όρο της περιόδου 1991-2020 για το 77% των ημερών του έτους. Συγκεκριμένα, θετικές αποκλίσεις καταγράφηκαν σε 282 από τις 366 ημέρες (Εικόνα 31) (Climatebook, 2024).

Βασικά σημεία από τα δεδομένα:

- Ο Απρίλιος του 2024 σημείωσε θερμοκρασίες ρεκόρ σε όλη την Ελλάδα.

Κράββα Α. Μαρία. «Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης»

- Κατά τη θερινή περίοδο (Ιούνιος - Αύγουστος), 85 από τις 92 ημέρες παρουσίασαν θερμοκρασίες πάνω από τον μέσο όρο.
- Το δίμηνο Ιουνίου - Ιουλίου 2024 καταγράφηκε ως το θερμότερο στα χρονικά, με μέση μέγιστη θερμοκρασία τους 31°C, ξεπερνώντας κατά πολύ το προηγούμενο ρεκόρ του 2012, με τον Ιούλιο να χαρακτηρίζεται από τον μεγαλύτερο σε διάρκεια καύσωνα που έχει καταγραφεί (8-23 Ιουλίου). Η υψηλότερη θερμοκρασία του 2024, 44,5°C, σημειώθηκε στις Βουκολιές Χανίων στις 13 Ιουνίου.
- Ο χειμώνας 2023 - 2024 ήταν ο πιο ζεστός που έχει καταγραφεί στην ιστορία.
- Το καλοκαίρι του 2024 ήταν το πιο ζεστό που έχει καταγραφεί στην ιστορία (Εικόνα 33) (ΕΑΑ, 2024).
- Κατά το 2024 σημειώθηκαν 31 έντονα καιρικά φαινόμενα με κοινωνικές και οικονομικές συνέπειες, περισσότερα από τον μέσο όρο της περιόδου 2000-2024 (Copernicus, 2024; ΕΑΑ, 2024).

Όσον αφορά στις μακροχρόνιες τάσεις, σύμφωνα με την παρουσίαση της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας στην Ελλάδα από το 1970 έως το 2024 (Εικόνα 32):

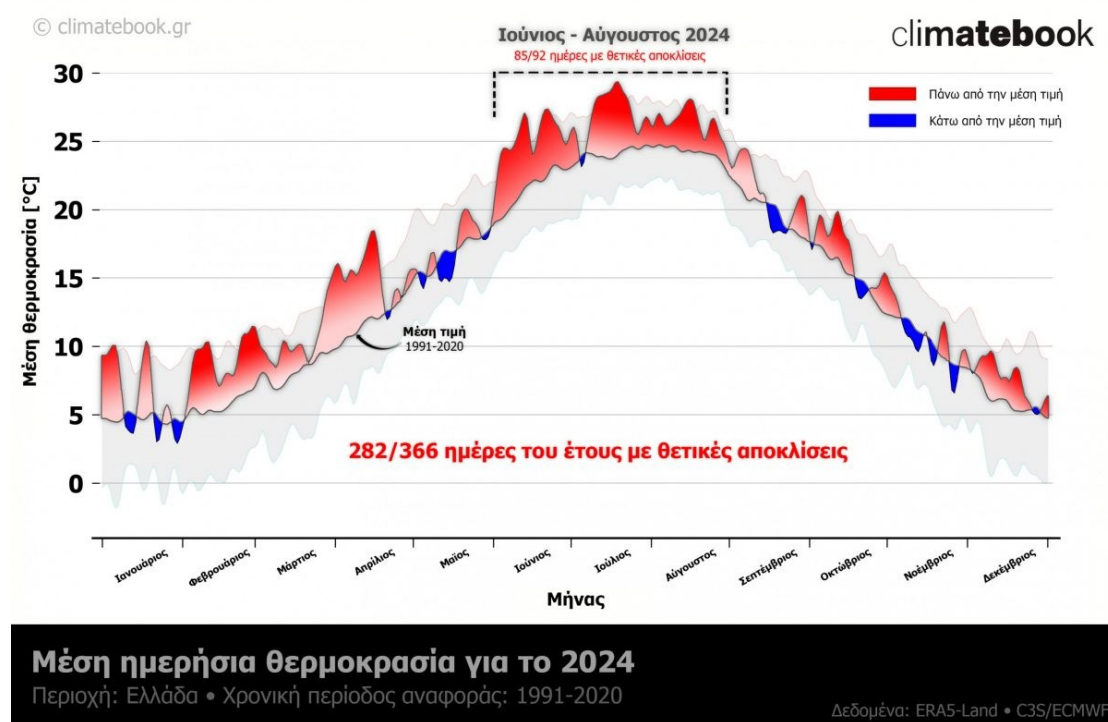
- Το 2024 καταγράφηκε ως το θερμότερο έτος στην Ελλάδα με μέση θερμοκρασία 16°C, ξεπερνώντας το 2023 κατά 0,7°C.
- Από τα έξι τελευταία έτη, τα πέντε κατατάσσονται ως τα θερμότερα που έχουν καταγραφεί στη χώρα.

Αυτά τα στοιχεία υπογραμμίζουν τη συνεχή τάση αύξησης της θερμοκρασίας, τονίζοντας την ανάγκη για άμεση δράση σχετικά με την κλιματική αλλαγή (Copernicus, 2024).

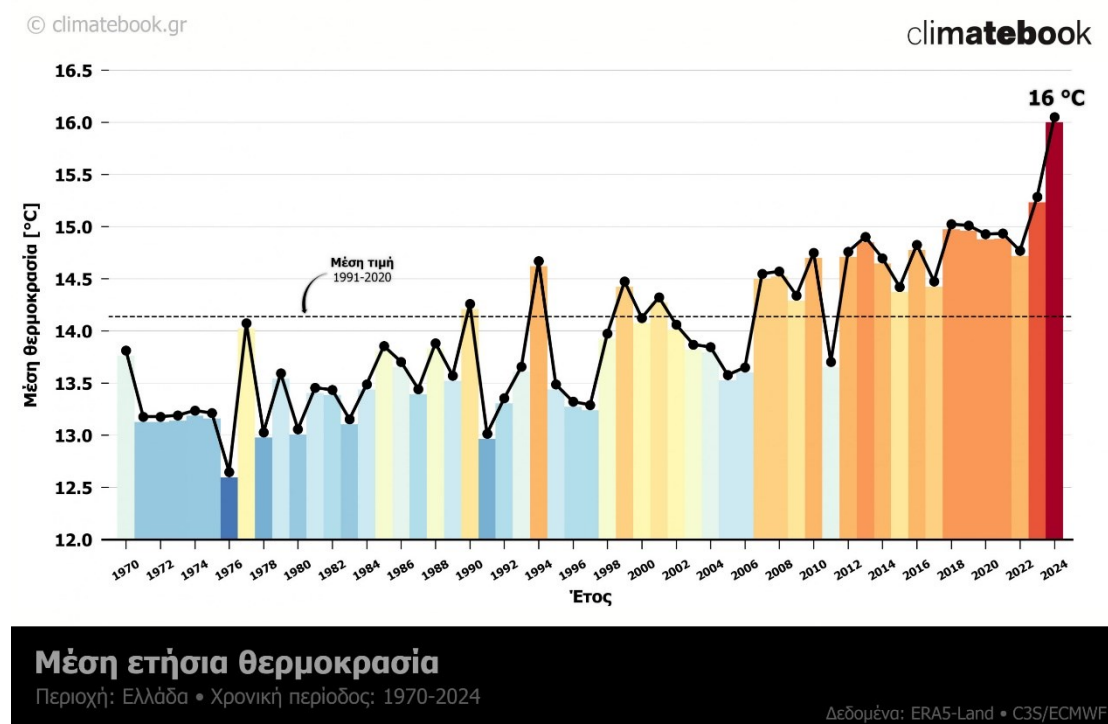
Σύμφωνα με την ανάλυση του ClimaMeter (Climatebook, 2024), τα θερμά επεισόδια στην Ανατολική Μεσόγειο, όπως ο καύσωνας του Ιουνίου 2024, έχουν αλλάξει στο σημερινό κλίμα (2001-2023) σε σχέση με το παρελθόν (1979-2001). Αν και η επιφανειακή πίεση, η βροχόπτωση και η ταχύτητα ανέμου δεν παρουσιάζουν σημαντικές μεταβολές, οι θερμοκρασίες σε παρόμοια γεγονότα είναι πλέον κατά 1,5°C υψηλότερες, με ακόμη μεγαλύτερες αυξήσεις στα Δυτικά Βαλκάνια και τη Βόρεια Αφρική, ενώ τα θερμά επεισόδια είναι συχνότερα και συμβαίνουν κυρίως τον Μάιο και τον Ιούλιο, αντί για τον Ιούνιο, όπως θα ήταν το αναμενόμενο. Η μοναδική φυσική κλιματική μεταβλητότητα που φαίνεται να επηρεάζει αυτά τα φαινόμενα είναι

Κράββα Α. Μαρία. «Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης»

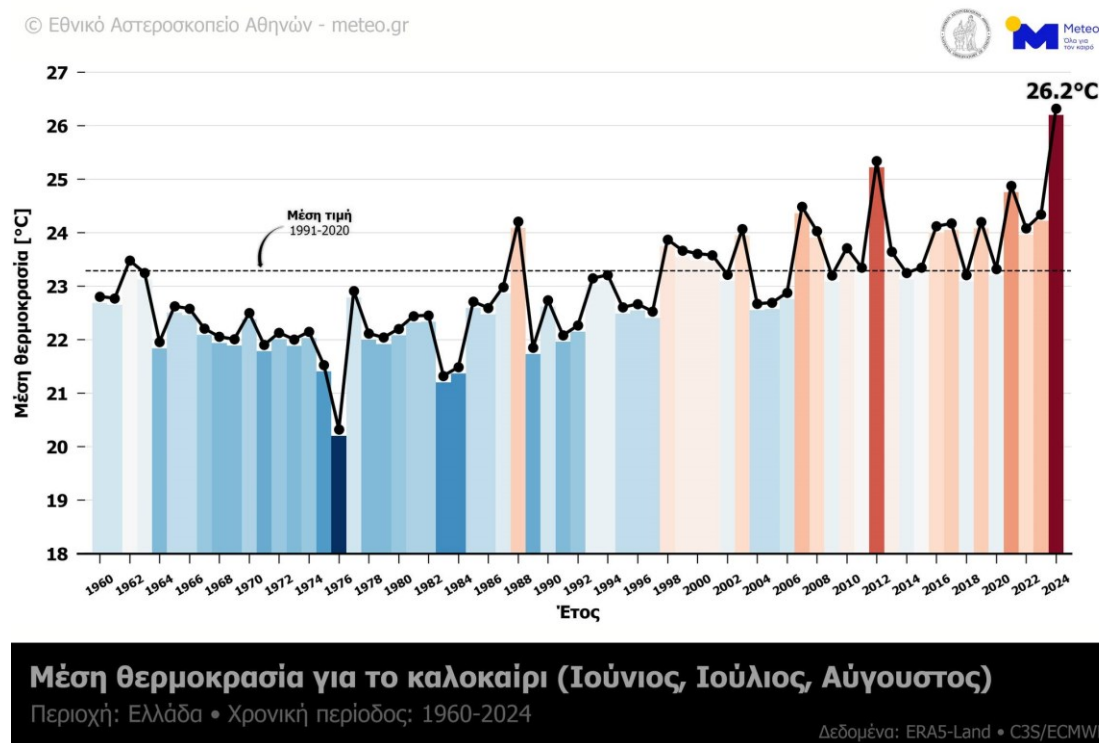
η Δεκαετής Ταλάντωση του Ειρηνικού. Ως εκ τούτου, οι κύριες αλλαγές αποδίδονται στην ανθρωπογενή κλιματική αλλαγή.



Εικόνα 31. Μέση ημερήσια θερμοκρασία για το 2024 στην Ελλάδα (Climatebook, 2024).



Εικόνα 32. Μέση ετήσια θερμοκρασία στην Ελλάδα από το 1970 έως το 2024 (Climatebook, 2024).



Εικόνα 33. Μέση θερμοκρασία για την περίοδο του καλοκαιριού (Ιούνιος, Ιούλιος, Αύγουστος) στην Ελλάδα από το 1960 μέχρι και το 2024 (ΕΑΑ, 2024).

2.2.5 Το καλοκαίρι του 2024 χαρακτηρίστηκε ως το θερμότερο των τελευταίων 40 ετών για τις ελληνικές θάλασσες

Σύμφωνα με έρευνα που διεξήχθη από το Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, το Πανεπιστήμιο Αιγαίου και το Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, το καλοκαίρι του 2024 χαρακτηρίστηκε ως το θερμότερο των τελευταίων 40 ετών για τις ελληνικές θάλασσες, αναλύοντας δορυφορικά δεδομένα από το 1982, οι επιστήμονες διαπίστωσαν ότι θερμοκρασίες ρεκόρ καταγράφηκαν σε ολόκληρη τη θαλάσσια περιοχή του Αιγαίου, του Ιονίου και του Κρητικού Πελάγους (Androulidakis et al., 2024).

Σημαντικά ευρήματα:

Θερμική αύξηση σε βάθος: Η θέρμανση δεν περιορίστηκε στην επιφάνεια, αλλά επεκτάθηκε έως και 50 μέτρα βάθος, φαινόμενο ιδιαίτερα ανησυχητικό.

Μειωμένοι μηχανισμοί ψύξης: Επηρεάστηκε η εισροή ψυχρών υδάτων από τη Μαύρη Θάλασσα και η ανάδυση ψυχρότερων μαζών στις ακτές.

Θαλάσσιοι καύσωνες: Καταγράφηκαν ιδιαίτερα έντονοι και μεγάλης διάρκειας καύσωνες, ειδικά στο Βόρειο Αιγαίο, μέχρι και τον Αύγουστο του 2024.

Κράββα Α. Μαρία. «Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης»

Αύξηση θερμοκρασίας και τάσεις

Οι ελληνικές θάλασσες παρουσιάζουν σταθερή αύξηση θερμοκρασίας, ξεπερνώντας τους 0,5°C ανά δεκαετία. Το καλοκαίρι του 2024, οι θερμοκρασίες άγγιξαν έως και τους 30°C σε ορισμένες περιοχές, με το Βόρειο Αιγαίο, τον Θερμαϊκό και τα Δωδεκάνησα να εμφανίζουν τις πιο έντονες αυξητικές τάσεις.

Επιπτώσεις

Η θέρμανση είχε σοβαρές συνέπειες στο οικοσύστημα. Στον Θερμαϊκό Κόλπο, η παραγωγή μυδιών υπέστη μεγάλες ζημιές λόγω θερμικού σοκ, οδηγώντας σε σημαντικές οικονομικές απώλειες το 2024 και προβλέψεις για μείωση της παραγωγής το 2025. Η ένταση και η διάρκεια των θαλάσσιων καυσώνων αποτελούν τη μεγαλύτερη απειλή για το θαλάσσιο περιβάλλον.

Ανάγκη για παρακολούθηση

Η συνεχής θέρμανση υπογραμμίζει την ανάγκη ενίσχυσης του δικτύου παρακολούθησης της θάλασσας. Επί του παρόντος, μόνο ένας σταθμός μέτρησης παραμένει ενεργός (στο Κρητικό Πέλαγος), γεγονός που δυσχεραίνει τη συστηματική καταγραφή. Ένα επαρκές δίκτυο παρακολούθησης θα παρείχε πολύτιμα δεδομένα για την κατανόηση και την αντιμετώπιση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής (Androulidakis et al., 2024).

2.3 Αίτια και παράγοντες που επηρεάζουν το φαινόμενο επεισοδίων καύσωνα

Όσον αφορά στις εκπομπές των κυριότερων αερίων του θερμοκηπίου και των κυριότερων ατμοσφαιρικών ρύπων, που εκπέμπονται στην Ελλάδα, αυτές παρουσιάζουν πτωτική τάση κατά την περίοδο 2007-2021, όπως προκύπτει και από τις εικόνες 34 έως 45 που ακολουθούν. Η εικόνα αυτή έρχεται σε αντίθεση με τις παρατηρούμενες αυξήσεις αυτών των εκπομπών σε παγκόσμια κλίμακα. Σε κάθε περίπτωση, δεν πρέπει να παραβλέπεται ο παράγοντας της πανδημίας του Κορωνοϊού Covid-19 και το γεγονός ότι η παραγωγή υπολειτουργούσε το διάστημα 2020-2021. Επίσης, πρέπει να ληφθεί υπόψη το γεγονός ότι η Ελλάδα είναι μια μικρή χώρα, με μικρή βιομηχανική δραστηριότητα, που αναπτύσσεται δειλά, όσον αφορά στον τομέα της Ενέργειας, επιβεβαιώνοντας την άποψη ότι οι λιγότερο ανεπτυγμένες χώρες εκπέμπουν πολύ λιγότερες εκπομπές σε σχέση με τον παγκόσμιο μέσο όρο. Ακόμη, η πτωτική τάση των εκπομπών την περίοδο 2007-2021 δικαιολογείται και από το γεγονός ότι τα τελευταία χρόνια η Ελλάδα σταδιακά εναρμονίζεται με το Ευρωπαϊκό

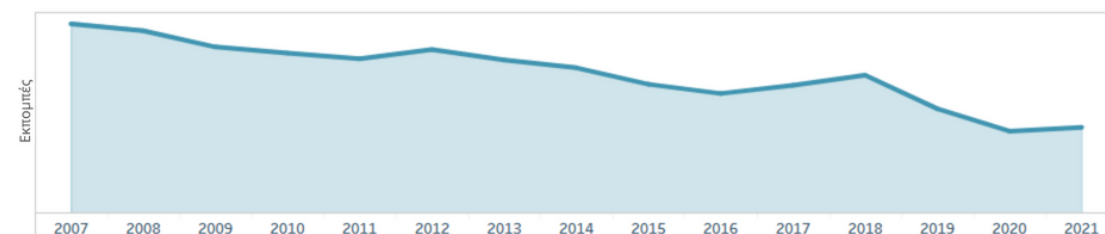
Κράββα Α. Μαρία. «Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης»

Δίκαιο και έτσι αυστηροποιήθηκε το νομοθετικό πλαίσιο για την προστασία του περιβάλλοντος και τη συμμόρφωση στους κανόνες και την παραγωγή εκπομπών εντός των ορίων που ορίζει η νομοθεσία. Η απανθρακοποίηση της βιομηχανίας αποτελεί βασικό στόχο της Ευρωπαϊκής Πράσινης Συμφωνίας. Η ΕΕ εισάγει μέτρα όπως το Σύστημα Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών (ΣΕΔΕ) και ο Μηχανισμός Συνοριακής Προσαρμογής Άνθρακα (ΜΣΠΑ), ενώ εξετάζονται οι προοπτικές για την ελληνική βιομηχανία, εστιάζοντας στην τσιμεντοβιομηχανία και στα διυλιστήρια. Αν και σημειώνεται μείωση εκπομπών, ορισμένοι κλάδοι αντιμετωπίζουν προκλήσεις στον πράσινο μετασχηματισμό λόγω τεχνολογικών και οικονομικών περιορισμών και οι ενδιαφερόμενοι φορείς υπογραμμίζουν την ανάγκη καλύτερης χρηματοδότησης και θεσμικής υποστήριξης για την επιτάχυνση των πράσινων επενδύσεων.

Το συντριπτικό ποσοστό παραγωγής αυτών των εκπομπών στον αέρα στην Ελλάδα οφείλεται στον τομέα της ενέργειας, ενώ σε μικρότερα ποσοστά στους τομείς της βιομηχανίας ορυκτών, μετάλλων και στον τομέα διαχείρισης απορριμμάτων και λυμάτων. Τα παραπάνω δεδομένα στοιχειοθετούν το γεγονός ότι η αύξηση των επεισοδίων καύσωνα, που συνδέονται με την κλιματική αλλαγή, δεν οφείλεται μόνο σε δραστηριότητες εντός του Ελλαδικού χώρου, αλλά και σε δραστηριότητες που λαμβάνουν χώρα σε ευρωπαϊκή και παγκόσμια κλίμακα, και επομένως απαιτούνται μέτρα σε ευρωπαϊκό και παγκόσμιο επίπεδο, παράλληλα με τις πρωτοβουλίες του Ελληνικού κράτους.

2.3.1 Εκπομπές CO₂

Οι Εκπομπές CO₂ στον αέρα (Mt) στην Ελλάδα παρουσιάζουν πτωτική τάση για την περίοδο 2007-2021, όπως προκύπτει από την εικόνα 34 που ακολουθεί.

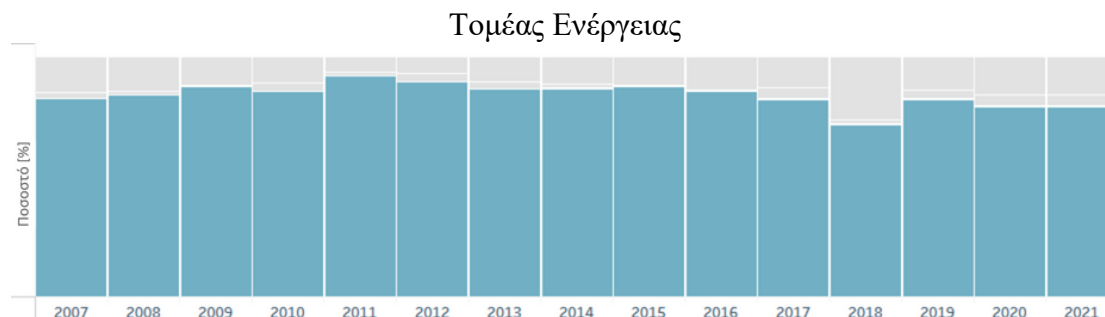


Εικόνα 34. Εκπομπές CO₂ στον αέρα (Mt) στην Ελλάδα (e-PRTR, 2021).

Οι δύο σημαντικότερες βιομηχανικές δραστηριότητες που εκπέμπουν τις μεγαλύτερες ποσότητες CO₂ στην Ελλάδα είναι ο τομέας της ενέργειας και η βιομηχανία ορυκτών, με τον τομέα της ενέργειας να συνεισφέρει συντριπτικά περισσότερο έναντι της

Κράββα Α. Μαρία. «Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης»

βιομηχανίας ορυκτών στην παραγωγή εκπομπών CO₂, όπως προκύπτει από τις εικόνες 35 και 36 που ακολουθούν.



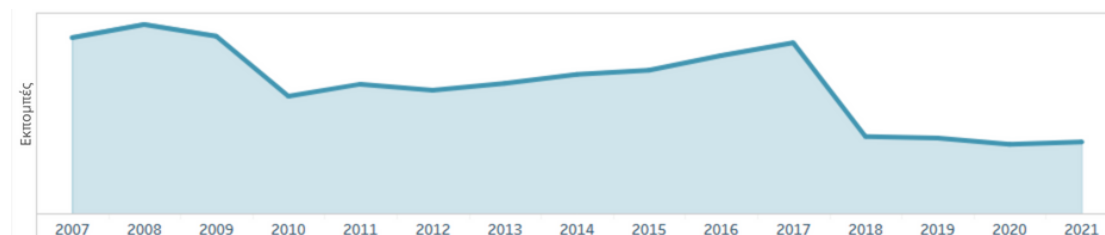
Εικόνα 35. Συμμετοχή (ποσοστό %) του τομέα της Ενέργειας σε εκπομπές CO₂ στον αέρα στην Ελλάδα (e-PRTR, 2021).



Εικόνα 36. Συμμετοχή (ποσοστό %) του τομέα της βιομηχανίας ορυκτών σε εκπομπές CO₂ στον αέρα στην Ελλάδα (e-PRTR, 2021).

2.3.2 Εκπομπές CH₄

Οι Εκπομπές CH₄ στον αέρα (kt) στην Ελλάδα παρουσιάζουν επίσης πτωτική τάση για την περίοδο 2007-2021, όπως προκύπτει από την εικόνα 37 που ακολουθεί.



Εικόνα 37. Εκπομπές CH₄ στον αέρα (kt) στην Ελλάδα (e-PRTR, 2021).

Οι δύο σημαντικότερες βιομηχανικές δραστηριότητες που εκπέμπουν τις μεγαλύτερες ποσότητες CH₄ στην Ελλάδα είναι ο τομέας της διαχείρισης απορριμμάτων και λυμάτων και ο τομέας της ενέργειας. Σχεδόν εξ' ολοκλήρου η παραγωγή εκπομπών CH₄ στον αέρα στην Ελλάδα οφείλεται στον τομέα της διαχείρισης απορριμμάτων και λυμάτων, όπως προκύπτει από τις εικόνες 38, 39 που ακολουθούν. Ένα πολύ

Κράββα Α. Μαρία. «Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης»

μικρό ποσοστό, και κυρίως κατά τη διετία 2018-2019, οφείλεται στον τομέα της ενέργειας.



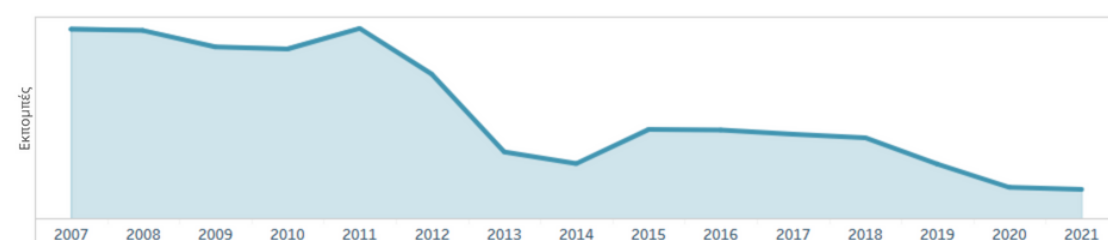
Εικόνα 38. Συμμετοχή (ποσοστό %) του τομέα της διαχείρισης απορριμμάτων και λυμάτων σε εκπομπές CH₄ στον αέρα στην Ελλάδα (e-PRTR, 2021).



Εικόνα 39. Συμμετοχή (ποσοστό %) του τομέα της Ενέργειας σε εκπομπές CH₄ στον αέρα στην Ελλάδα (e-PRTR, 2021).

2.3.3 Εκπομπές N₂O

Οι Εκπομπές N₂O στον αέρα (kt) στην Ελλάδα παρουσιάζουν επίσης πτωτική τάση για την περίοδο 2007-2021, όπως προκύπτει από την εικόνα 40 που ακολουθεί.

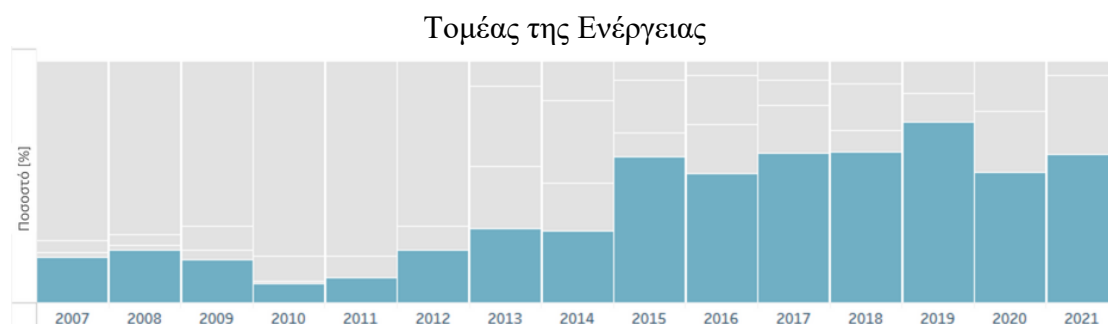


Εικόνα 40. Εκπομπές N₂O στον αέρα (kt) στην Ελλάδα (e-PRTR, 2021).

Οι δύο σημαντικότερες βιομηχανικές δραστηριότητες που εκπέμπουν τις μεγαλύτερες ποσότητες N₂O στην Ελλάδα είναι ο τομέας της ενέργειας και ο τομέας της παραγωγής χημικών, όπως προκύπτει από τις εικόνες 41, 42 που ακολουθούν. Ο τομέας της ενέργειας συνεισφέρει συντριπτικά περισσότερο τα τελευταία χρόνια (2015-2021) στην παραγωγή εκπομπών N₂O, έναντι του τομέα της παραγωγής

Κράββα Α. Μαρία. «Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης»

χημικών, ο οποίος συνεισέφερε το μέγιστο μεταξύ των ετών 2007-2012. Από το 2013 και έπειτα το ποσοστό αυτό μειώθηκε δραματικά. Το πιθανότερο σενάριο αφορά σε μέτρα που εισήχθησαν στον τομέα αυτό, που είχαν ως αποτέλεσμα τη μείωση εκπομπών N₂O. Σε κάθε περίπτωση, δεν πρέπει να αγνοείται το γεγονός ότι η πτώση του συγκεκριμένου κλάδου θα μπορούσε επίσης να συνδέεται με τη μειωμένη εκπομπή N₂O.



Εικόνα 41. Συμμετοχή (ποσοστό %) του τομέα της Ενέργειας σε εκπομπές N₂O στον αέρα στην Ελλάδα (e-PRTR, 2021).



Εικόνα 42. Συμμετοχή (ποσοστό %) του τομέα Παραγωγής Χημικών σε εκπομπές N₂O στον αέρα στην Ελλάδα (e-PRTR, 2021).

Η εικόνα 43 παρουσιάζει τον δείκτη βιομηχανικής παραγωγής για την περίοδο 2000-2022. Οι επιπτώσεις της οικονομικής κρίσης είναι εμφανείς από το 2008, όταν ο δείκτης αρχίζει να μειώνεται. Η μεγαλύτερη πτώση σημειώνεται το 2009, με μείωση 10,4%, ενώ στα επόμενα χρόνια ο ρυθμός πτώσης μειώνεται. Από το 2015 παρατηρείται ανάκαμψη. Ωστόσο, την περίοδο 2020-2021 σημειώνονται νέες μειώσεις λόγω της πανδημίας. Από το 2007 έως το 2018, ο δείκτης μειώθηκε συνολικά κατά 24,3%, με το 2014 να καταγράφει πτώση 30,9%. Η μέση ετήσια μεταβολή πριν την κρίση (2001-2007) ήταν -0,5%, υποδεικνύοντας τα χρόνια δομικά προβλήματα της ελληνικής βιομηχανικής παραγωγής, που δε βρισκόταν σε αναπτυξιακή πορεία ούτε πριν την κρίση (ΚΕΠΕ, 2022). Σε κάθε περίπτωση, η

Κράββα Α. Μαρία. «Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης»

εικόνα αυτή εναρμονίζεται πλήρως με τα παραπάνω, όπου αποτυπώνεται η μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου στην Ελλάδα.

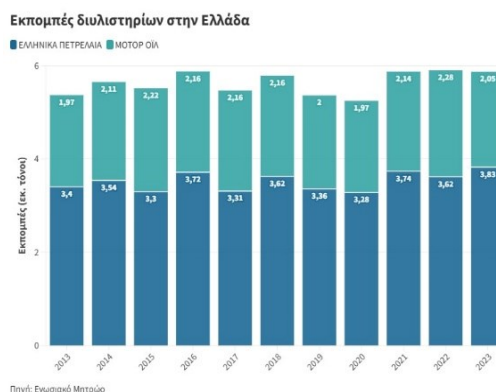
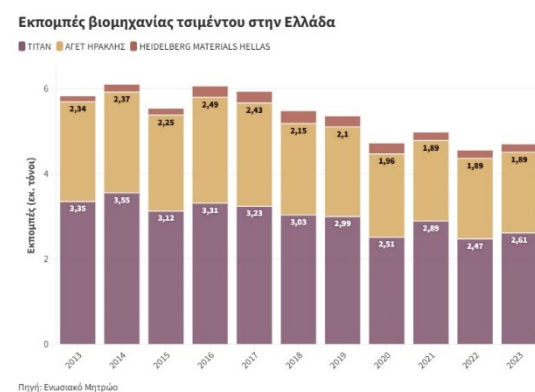


Εικόνα 43. Δείκτης Ελληνικής βιομηχανικής παραγωγής, 2000-2022, (ΕΛΣΤΑΤ, 2022; ΚΕΠΕ, 2022).

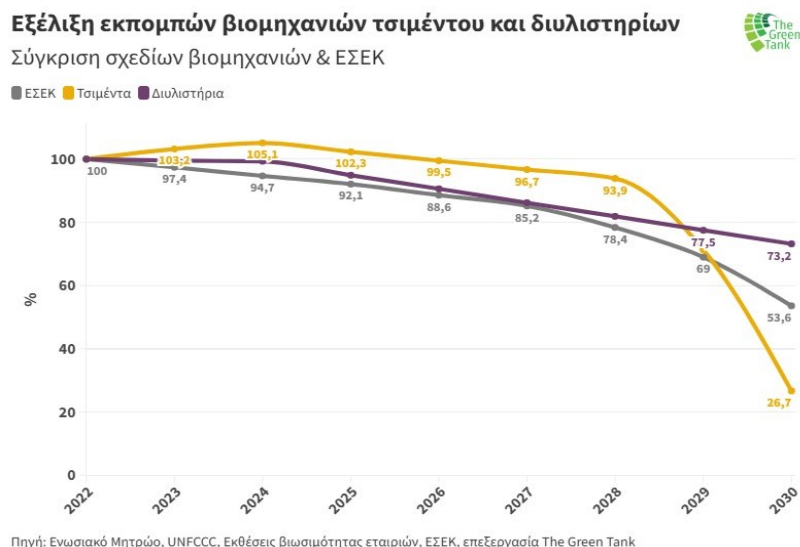
2.3.4 Το μέλλον για την απανθρακοποίηση της ελληνικής βιομηχανίας

Οι ελληνικές βιομηχανίες προχωρούν σε έργα μείωσης εκπομπών, με μεγάλες επενδύσεις στις τεχνολογίες Δέσμευσης, Χρήσης και Αποθήκευσης Άνθρακα (CCUS) που θα αποδώσουν κυρίως μετά το 2028. Συγκεκριμένα, αναμένεται σημαντική μείωση των εκπομπών που προέρχονται από τις βιομηχανικές διεργασίες στους δύο κλάδους με τη μεγαλύτερη ρύπανση, δηλαδή την παραγωγή τσιμέντου και τα διυλιστήρια.

Στις εικόνες 44, 45 απεικονίζεται η παρούσα κατάσταση, ενώ στην εικόνα 46 αποτυπώνεται η προβλεπόμενη πορεία απανθρακοποίησης για τους δύο κλάδους.



Εικόνα 44. Εκπομπές βιομηχανίας τσιμέντου **Εικόνα 45.** Εκπομπές διυλιστηρίων στην Ελλάδα (Ενωσιακό Μητρώο, 2024).



Εικόνα 46. Εκπομπές βιομηχανίας τσιμέντου και διυλιστηρίων στην Ελλάδα (Ενωσησικό Μητρώο; UNFCCC; Εκθέσεις βιωσιμότητας εταιριών, ΕΣΕΚ, 2024).

2.3.5 Φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας

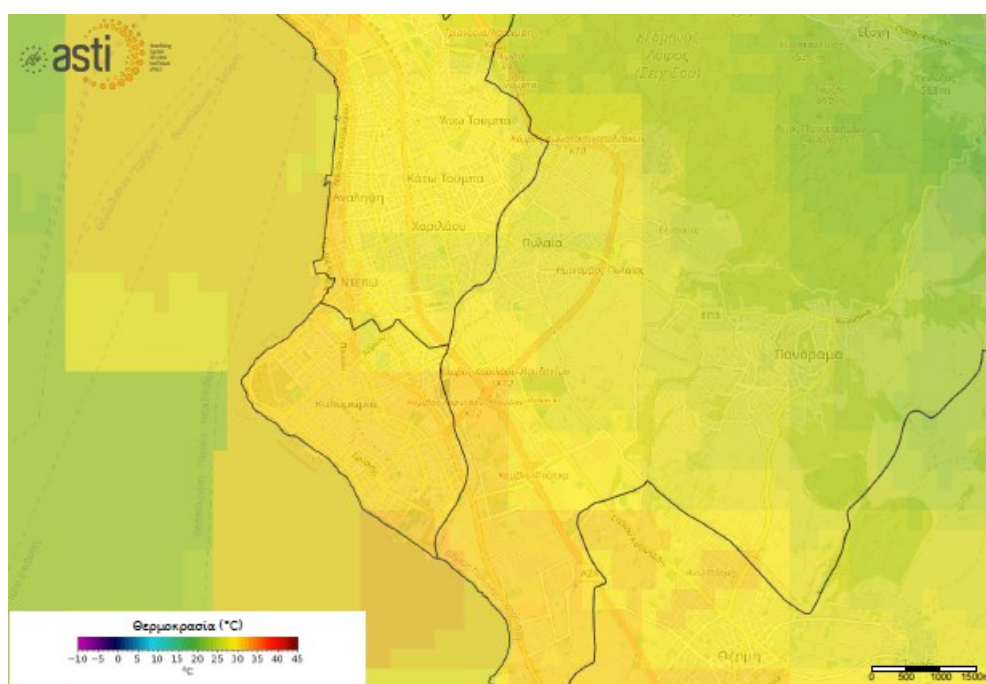
Τα τελευταία χρόνια, η ραγδαία αστικοποίηση έχει επηρεάσει σημαντικά το περιβάλλον, με επιπτώσεις όπως η αλλοίωση των κλιματικών συστημάτων, η απώλεια βιοποικιλότητας και η υποβάθμιση του μικροκλίματος των πόλεων, συμβάλλοντας παράλληλα στις παγκόσμιες κλιματικές μεταβολές (Φαρμάκη, 2024; LIFEASTI, 2025). Στην Ευρώπη, πάνω από το 70% του πληθυσμού ζει σε αστικά κέντρα, ποσοστό που αναμένεται να ξεπεράσει το 80% έως το 2050 (LIFEASTI, 2025).

Ένα από τα πιο χαρακτηριστικά αποτελέσματα της αστικοποίησης είναι το φαινόμενο της Αστικής Θερμικής Νησίδας, ΑΘΝ, κατά το οποίο οι θερμοκρασίες στις πόλεις είναι υψηλότερες από τις γύρω ημιαστικές ή αγροτικές περιοχές. Κύριες αιτίες του φαινομένου αποτελούν η αυξημένη ενεργειακή κατανάλωση, η πυκνή δόμηση, η έλλειψη πρασίνου και η θερμότητα που εκλύεται από ανθρωπογενείς δραστηριότητες (Τσόγκας, 2021; Φαρμάκη, 2024). Τα τελευταία έτη, το φαινόμενο της ΑΘΝ παρουσιάζει έξαρση, σε πολλές αστικές περιοχές παγκοσμίως, αλλά και σε αρκετές πόλεις της Ελλάδας, προκαλώντας προβλήματα στην ανθρώπινη υγεία, καθώς θεωρείται μια από τις κύριες αιτίες των συνολικών μεταβολών του μικροκλίματος. Το φαινόμενο της ΑΘΝ συνδέεται άμεσα με την αύξηση των θανάτων κατά τους θερινούς μήνες διότι τα καλοκαίρια δημιουργούνται ειδικές συνθήκες μέσα στις πόλεις, λόγω της ΑΘΝ. Οι κάτοικοι των αστικών κέντρων

Κράββα Α. Μαρία. «Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης»

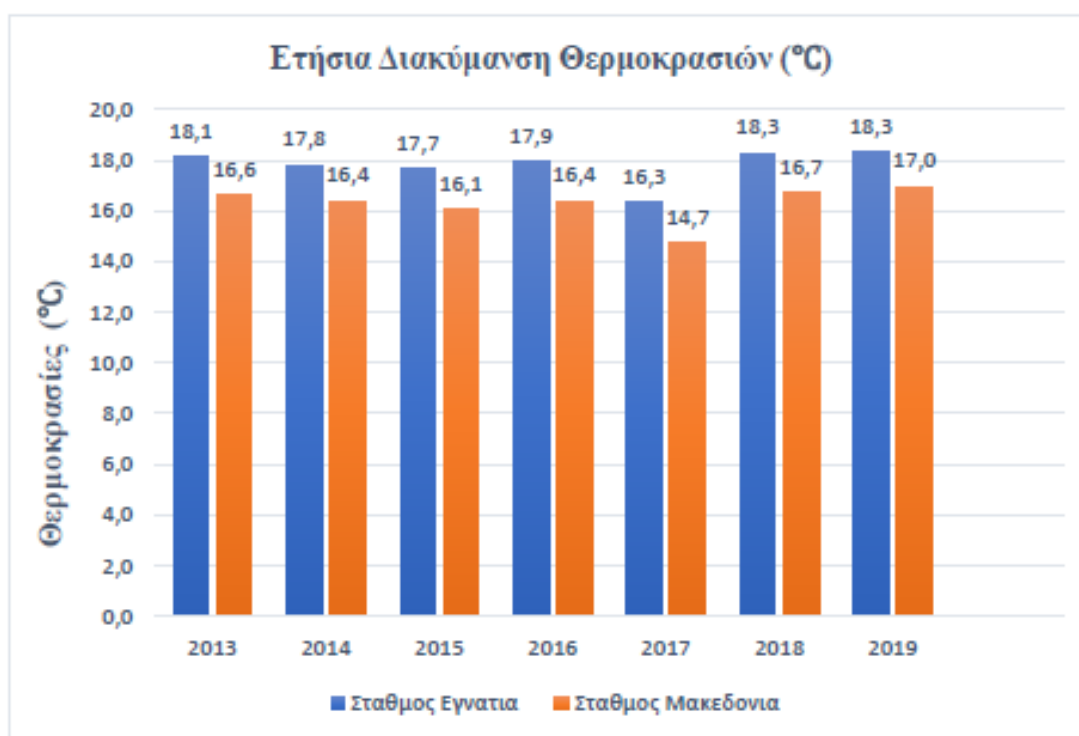
βιώνουν τους καύσωνες πιο έντονα και πολλοί άνθρωποι ενδεχομένως χάνουν τη ζωή τους εξαιτίας των υψηλών θερμοκρασιών. Κατά τη διάρκεια του έτους εμφανίζονται συνήθως στις πόλεις δύο μέγιστα θνησιμότητας. Το πρώτο μέγιστο εμφανίζεται τον χειμώνα, που οι συνθήκες είναι δύσκολες, υπάρχουν περισσότεροι ιοί και οι άνθρωποι καταπονούνται λόγω ψύχους, ενώ το δεύτερο μέγιστο θνησιμότητας παρουσιάζεται το καλοκαίρι και οφείλεται κυρίως στην εμφάνιση της ΑΘΝ και στις συνέπειες αυτής (LIFEASTI, 2025; Σάρας, 2020; Τσόγκας, 2021; Φαρμάκη, 2024).

Έτσι, με στόχο την ενημέρωση και προστασία των κατοίκων από τις συνέπειες της ΑΘΝ, το έργο LIFE ASTI (Adaptation Strategies to climate change Impacts on public health, 2025) παρέχει υποστήριξη στους τοπικούς φορείς για την υιοθέτηση μέτρων προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή. Το όλο εγχείρημα ξεκίνησε αρχικά στη Θεσσαλονίκη και στη Ρώμη και προστέθηκε το Ηράκλειο ως "πόλη εφαρμογής" (implementation city). Μέσω του LIFE ASTI αναπτύχθηκε μια καινοτόμος διαδικτυακή εφαρμογή, υψηλής χωρικής ανάλυσης, η οποία προσφέρει στοχευμένες μετεωρολογικές και βιομετεωρολογικές προβλέψεις, όπως ο δείκτης UTCI και η αισθητή θερμοκρασία, ενισχύοντας την κλιματική ανθεκτικότητα των πόλεων (LIFEASTI, 2025). Στην εικόνα 47 παρουσιάζονται οι θερμοκρασιακές διαφορές στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης, όπως προκύπτουν από το πρόγραμμα LIFE ASTI.



Εικόνα 47. Θερμοκρασιακές διαφορές στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης, (LIFEASTI, 2025).

Συνεπώς, στην αύξηση της θερμοκρασίας της πόλης της Θεσσαλονίκης δεν πρέπει να παραλείπεται η συμβολή του φαινομένου της ΑΘΝ. Συγκεκριμένα, ο μέσος όρος των ετήσιων θερμοκρασιακών διαφορών μεταξύ του κέντρου της πόλης και της περιαστικής περιοχής υπολογίζεται περίπου σε 1,5-2,0°C (Σάρας, 2020; Τσόγκας, 2021; Φαρμάκη, 2024). Στην εικόνα 48 παρουσιάζονται οι μέσες ετήσιες τιμές θερμοκρασιών για την περίοδο 2013-2019, στον αστικό σταθμό "Εγνατία" και στον περιαστικό σταθμό "Μακεδονία" στη Θεσσαλονίκη (Τσόγκας, 2021).



Εικόνα 48. Μέσες ετήσιες τιμές θερμοκρασιών για την περίοδο 2013-2019, στον σταθμό "Εγνατία" και στον σταθμό "Μακεδονία" στη Θεσσαλονίκη (Τσόγκας, 2021).

Η ΑΘΝ της Θεσσαλονίκης εμφανίζεται εντονότερα τα καλοκαίρια, ειδικά τη νύχτα, και ενισχύεται από την παρουσία της θαλάσσιας αύρας (LIFEASTI, 2025). Γενικά, από διάφορες μελέτες (Σάρας, 2020; Τσόγκας, 2021; Φαρμάκη, 2024) προκύπτει ότι οι διαφορές των μέσων ωριαίων θερμοκρασιών μεταξύ αστικών και περιαστικών περιοχών είναι μεγαλύτερες κατά τη διάρκεια της νύχτας και αυτό είναι αναμενόμενο, αφού στις περιοχές εκτός αστικού ιστού, όπως είναι η περιοχή στην οποία βρίσκεται ο σταθμός "Μακεδονία", η πτώση της θερμοκρασίας γίνεται με ταχύτερους ρυθμούς απ' ότι στο κέντρο της πόλης, εξαιτίας κυρίως του πληθυσμού που είναι συγκεντρωμένος στο κέντρο της πόλης, των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων, που γίνονται στην περιοχή, αλλά και λόγω του μεγάλου αριθμού και

Κράββα Α. Μαρία. «Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης»

της αυξημένης θερμοχωρητικότητας που έχουν οι διάφορες κατασκευές που υπάρχουν στο κέντρο της Θεσσαλονίκης. Ως εκ τούτου, στην παρούσα ΜΔΕ επιλέχθηκε σταθμός μέτρησης τοποθετημένος εκτός της πόλης, προκειμένου οι μετρήσεις να μην επηρεάζονται, κατά το δυνατόν, από το παραπάνω φαινόμενο.

Επομένως, σε πολλές πόλεις παγκοσμίως η ταχεία αστικοποίηση έχει σημαντικό αντίκτυπο στο περιβάλλον, αφού μεταβάλλει τα κλιματικά συστήματα, απειλεί τη βιοποικιλότητα, επηρεάζει την παραγωγικότητα των οικοσυστημάτων και έχει προκαλέσει αρνητικές επιπτώσεις στο τοπικό μικροκλίμα της κάθε πόλης (Φαινόμενο της Αστικής Θερμικής Νησίδας, ΑΘΝ), αλλά και συμβάλει στις μεταβολές του παγκόσμιου κλίματος. Έτσι, όσον αφορά στο φαινόμενο της ΑΘΝ σ' ένα μεγάλο αστικό κέντρο, όπως αυτό της Θεσσαλονίκης, επειδή οφείλεται σ' ένα συνδυασμό πολλών παραμέτρων, ο μετριασμός του σχετίζεται με τον σχεδιασμό και την κατασκευή νέων κτιρίων, την ανακαίνιση των ήδη υφιστάμενων, την ανάπλαση περιοχών, την εφαρμογή πράσινων στρατηγικών, όπως δημιουργία νέων πάρκων, πράσινων οροφών και προσόψεων, φύτευση κατάλληλων δέντρων και γενικότερα με την αναθεώρηση του σχεδιασμού ολόκληρης της πόλης.

2.4 Μέτρα

Η εξασφάλιση ενός βιώσιμου μέλλοντος απαιτεί ριζικές και εκτεταμένες αλλαγές σε όλους τους τομείς. Αυτές περιλαμβάνουν την εφαρμογή ήδη διαθέσιμων και αποτελεσματικών επιλογών για μετριασμό και προσαρμογή, η διαθεσιμότητα των οποίων διαφέρει ανά περιοχή. Η συστημική αλλαγή που απαιτείται για την επίτευξη ταχέων και ουσιαστικών μειώσεων εκπομπών και προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή είναι πρωτοφανής σε κλίμακα, αλλά όχι απαραίτητα σε ταχύτητα. Αυτές οι αλλαγές περιλαμβάνουν την εφαρμογή τεχνολογιών χαμηλών ή μηδενικών εκπομπών, την αλλαγή της ζήτησης μέσω βελτιώσεων στις υποδομές, την ενίσχυση της τεχνολογικής αποδοτικότητας, την κοινωνική προστασία, τις κλιματικές υπηρεσίες και την αποκατάσταση των οικοσυστημάτων. Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει δεσμευθεί να μειώσει τις εκπομπές κατά 55% έως το 2030 και να επιτύχει οικονομία καθαρών μηδενικών εκπομπών έως το 2050. Το 2024 η Ευρωπαϊκή Επιτροπή υπέβαλε σύσταση για τον καθορισμό στόχου μείωσης των εκπομπών έως το 2040 (Συμβούλιο της ΕΕ και Ευρωπαϊκό Συμβούλιο, 2024).

Κράββα Α. Μαρία. «Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης»

2.4.1 Ενέργεια

Η μετάβαση σε συστήματα μηδενικών εκπομπών CO₂ απαιτεί σημαντική μείωση της χρήσης ορυκτών καυσίμων και τη χρήση τεχνολογιών, όπως η αποθήκευση Άνθρακα και ενδεχομένως η πυρηνική ενέργεια. Η διάδοση της ηλεκτροκίνησης και η βελτίωση της αποδοτικότητας της ενέργειας είναι κρίσιμες για τη μείωση των εκπομπών CO₂. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως η ηλιακή, η αιολική, η γεωθερμική και η υδροηλεκτρική ενέργεια, συμβάλουν σημαντικά στη μείωση των εκπομπών, ενώ η αποθήκευση και η ενεργειακή αποδοτικότητα βελτιώνουν τη σταθερότητα του ενεργειακού συστήματος (IPCC AR6, 2023).

Σ' αυτή την κατεύθυνση, ένα σημαντικό βήμα προς την εμπορική χρήση της πυρηνικής σύντηξης επιτεύχθηκε στις 20 Ιανουάριου 2025, σύμφωνα με Κινέζους επιστήμονες. Το Πειραματικό Προηγμένο Υπεραγώγιμο Τοκάμακ (Experimental Advanced Superconducting Tokamak - EAST), γνωστό και ως «τεχνητός ήλιος», πέτυχε παγκόσμιο ρεκόρ διάρκειας λειτουργίας 1.006 δευτερολέπτων με πλάσμα που διατηρήθηκε σε θερμοκρασία άνω των 100 εκατομμυρίων βαθμών Κελσίου, καθιστώντας τον EAST ικανό να προσομοιώνει τις συνθήκες ενός μελλοντικού αντιδραστήρα πυρηνικής σύντηξης. Το εγχείρημα πραγματοποιήθηκε από το Ινστιτούτο Φυσικής Πλάσματος της Κινεζικής Ακαδημίας Επιστημών στο Χεφεί. Λίγες εβδομάδες αργότερα, στις 12 Φεβρουαρίου 2025, η διατήρηση πλάσματος στο WEST, ένα Τοκάμακ που λειτουργεί στο ερευνητικό κέντρο CEA Cadarache στη νότια Γαλλία, μία από τις μεσαίου μεγέθους εγκαταστάσεις Τοκάμακ του κοινοπρακτικού προγράμματος EUROfusion, διήρκησε 1.337 δευτερόλεπτα (22 λεπτά), βελτιωμένο χρόνο κατά 25% σε σχέση με το προηγούμενο ρεκόρ.

Η πυρηνική σύντηξη, η διαδικασία που συντελείται στον Ήλιο, παράγει ενέργεια συγχωνεύοντας άτομα υδρογόνου σε ήλιο, ενώ δεν εκπέμπει ρύπους ή ραδιενεργά απόβλητα. Για τη λειτουργία πυρηνικών αντιδραστήρων σύντηξης απαιτούνται θερμοκρασίες άνω των 100 εκατομμυρίων βαθμών, μακροχρόνια σταθερότητα και δυνατότητα ελέγχου του πλάσματος. Το EAST, με τις πρόσφατες αναβαθμίσεις του, πέτυχε διπλασιασμό της ισχύος του συστήματος θέρμανσης, συμβάλλοντας στην πρόοδο της έρευνας.

Ο στόχος του EAST είναι να αναπτύξει καθαρές και ανεξάντλητες πηγές ενέργειας, ενώ τα επιτεύγματά του υποστηρίζουν τη συμμετοχή της Κίνας στον Διεθνή Θερμοπυρηνικό Πειραματικό Αντιδραστήρα (ITER). Ο ITER, υπό κατασκευή

Κράββα Α. Μαρία. «Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης»

στη Γαλλία, θα αποτελέσει τον μεγαλύτερο αντιδραστήρα σύντηξης παγκοσμίως. Οι προσπάθειες του EAST αναμένεται να επιταχύνουν την πρόοδο στην πυρηνική σύντηξη, διευρύνοντας τη διεθνή συνεργασία και φέρνοντας την τεχνολογία σύντηξης πιο κοντά στην πρακτική χρήση.

2.4.2 Βιομηχανία και μεταφορές

Τα βιοκαύσιμα και το υδρογόνο χαμηλών εκπομπών μπορούν να συμβάλουν στη μείωση των εκπομπών από τα πλοία, την αεροπορία και τις βαριές χερσαίες μεταφορές, αν και απαιτούν βελτιώσεις στη διαδικασία παραγωγής και μείωση του κόστους.

2.4.3 Αστικά Συστήματα και Υποδομές

- ✓ Ενσωμάτωση των επιπτώσεων και κινδύνων της κλιματικής αλλαγής στον σχεδιασμό υποδομών και οικισμών.
- ✓ Χωροταξικός σχεδιασμός που προωθεί την πυκνή δόμηση, τη συνύπαρξη κατοικίας και εργασίας και τη στήριξη των δημόσιων συγκοινωνιών και της ενεργούς κινητικότητας (π.χ. περπάτημα και ποδηλασία).
- ✓ Αποδοτικός σχεδιασμός, ανακαίνιση και χρήση κτιρίων.
- ✓ Μείωση και αλλαγή της κατανάλωσης ενέργειας και υλικών, αντικατάσταση υλικών και ηλεκτροδότηση μέσω πηγών χαμηλών εκπομπών.

Οι αστικές μεταβάσεις, που προάγουν ταυτόχρονα τη μείωση των εκπομπών, την προσαρμογή, την υγεία, τις οικοσυστημικές υπηρεσίες και τη μείωση των ανισοτήτων, ενισχύονται μέσω μακροπρόθεσμου σχεδιασμού που ενσωματώνει φυσικές, κοινωνικές και περιβαλλοντικές υποδομές. Πράσινες και μπλε υποδομές, συνδυασμένες ενδεχομένως με γκρι υποδομές, μπορούν να μειώσουν την ενεργειακή χρήση και τους κινδύνους από ακραία καιρικά φαινόμενα, ενώ παράλληλα προσφέρουν οφέλη για την υγεία και τα μέσα διαβίωσης.

2.4.4 Γη, Ωκεανοί, Τρόφιμα και Νερό

Η διατήρηση, βελτίωση και αποκατάσταση δασών και άλλων οικοσυστημάτων παρέχει το μεγαλύτερο δυναμικό οικονομικής μείωσης εκπομπών, με τη μείωση της αποψύλωσης στις τροπικές περιοχές να έχει τον μεγαλύτερο συνολικό αντίκτυπο.

Κράββα Α. Μαρία. «Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης»

Η αποκατάσταση οικοσυστημάτων και η αναδάσωση ενδέχεται να δημιουργήσουν ανταγωνιστικές χρήσεις γης, κάτι που απαιτεί ολοκληρωμένες προσεγγίσεις για την επίτευξη πολλαπλών στόχων, όπως η ασφάλεια τροφίμων.

Μέτρα από την πλευρά της ζήτησης, όπως η μετάβαση σε βιώσιμες υγιεινές δίαιτες και η μείωση της σπατάλης τροφίμων, μπορούν να περιορίσουν τη μετατροπή οικοσυστημάτων, να μειώσουν τις εκπομπές CH₄ και N₂O και να απελευθερώσουν γη για αποκατάσταση οικοσυστημάτων.

Προσαρμοστικές επιλογές περιλαμβάνουν:

- ✓ Βελτίωση καλλιεργειών, αγροδασοκομία, προσαρμογές βασισμένες στις κοινότητες, διαφοροποίηση αγροκτημάτων και τοπίου, και αστική γεωργία.
- ✓ Διατήρηση οικοσυστημάτων υψηλής περιεκτικότητας σε Άνθρακα (π.χ. υγροτόποι), που αποφέρουν άμεσα οφέλη.
- ✓ Αποκατάσταση οικοσυστημάτων υψηλού Άνθρακα, τα αποτελέσματα της οποίας γίνονται αισθητά μετά από δεκαετίες.

Οι παραπάνω στρατηγικές απαιτούν ολοκληρωμένη διαχείριση βιοφυσικών, κοινωνικοοικονομικών και άλλων παραγόντων για την αποτελεσματική εφαρμογή τους.

Η διατήρηση της ανθεκτικότητας της βιοποικιλότητας και των οικοσυστημικών υπηρεσιών σε παγκόσμια κλίμακα απαιτεί αποτελεσματική και δίκαιη προστασία του 30%-50% της χερσαίας, υδάτινης και θαλάσσιας έκτασης της Γης, συμπεριλαμβανομένων των σχεδόν φυσικών οικοσυστημάτων. Η προστασία, αποκατάσταση και διαχείριση των οικοσυστημάτων μειώνει την ευαλωτότητα της βιοποικιλότητας στην κλιματική αλλαγή, περιορίζει τη διάβρωση και τις πλημμύρες στις παράκτιες περιοχές και αυξάνει τη δέσμευση και αποθήκευση Άνθρακα όταν ο περιορισμός της υπερθέρμανσης είναι αποτελεσματικός.

Η αποκατάσταση των υπερεκμεταλλευμένων αλιευμάτων μειώνει τις αρνητικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στους αλιευτικούς πόρους, ενώ παράλληλα υποστηρίζει τη διατροφική ασφάλεια, τη βιοποικιλότητα, την ανθρώπινη υγεία και ευημερία. Η αποκατάσταση εδαφών συμβάλλει στη μετρίαση και την προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή, βελτιώνοντας τις οικοσυστημικές υπηρεσίες και προσφέροντας οικονομικά οφέλη, με σημαντικές συνέργειες για τη μείωση της φτώχειας και τη βελτίωση των μέσων διαβίωσης.

Κράββα Α. Μαρία. «Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης»

Η συνεργασία με αυτόχθονες πληθυσμούς και τοπικές κοινότητες, καθώς και η αναγνώριση των δικαιωμάτων τους, αποτελούν αναπόσπαστο μέρος της επιτυχούς προσαρμογής και μετριασμού στα δάση και σε άλλα οικοσυστήματα.

2.4.5 Υγεία και Διατροφή

Η ανθρώπινη υγεία ωφελείται από την ενσωμάτωση επιλογών μετριασμού και προσαρμογής στις πολιτικές για τρόφιμα, υποδομές, κοινωνική προστασία και νερό. Υπάρχουν αποτελεσματικές προσαρμοστικές λύσεις για την προστασία της ανθρώπινης υγείας, όπως:

- ✓ Ενίσχυση προγραμμάτων δημόσιας υγείας για ασθένειες ευαίσθητες στο κλίμα.
- ✓ Βελτίωση της ανθεκτικότητας των συστημάτων υγείας.
- ✓ Ενίσχυση της πρόσβασης σε πόσιμο νερό και βελτίωση της υγείας των οικοσυστημάτων.
- ✓ Μείωση της έκθεσης των συστημάτων ύδρευσης σε πλημμύρες και ανάπτυξη συστημάτων έγκαιρης προειδοποίησης.
- ✓ Υποστήριξη της ψυχικής υγείας και ανάπτυξη σχεδίων δράσης για θερμικές καταπονήσεις.

Μέτρα όπως η μείωση της απώλειας και της σπατάλης τροφίμων ή η προώθηση βιώσιμων και υγιεινών διατροφών μπορούν να ενισχύσουν τη διατροφή, την υγεία, τη βιοποικιλότητα και να προσφέρουν περιβαλλοντικά οφέλη.

2.4.6 Κοινωνία, Μέσα Διαβίωσης και Οικονομία

Η εφαρμογή πολιτικών που περιλαμβάνουν ασφάλιση καιρού και υγείας, κοινωνική προστασία, χρηματοδοτικά αποθέματα, καθολική πρόσβαση σε συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης και αποτελεσματικά σχέδια αντιμετώπισης μπορεί να μειώσει την ευαλωτότητα των ανθρώπινων συστημάτων.

Η διαχείριση κινδύνων καταστροφών, οι υπηρεσίες για το κλίμα και η διάχυση του κινδύνου έχουν ευρεία εφαρμογή σε πολλούς τομείς. Επιπλέον, η αύξηση της εκπαίδευσης, της κλιματικής παιδείας και η χρήση κοινοτικών μεθόδων μπορούν να ενισχύσουν την αντίληψη κινδύνου, να επιταχύνουν τις αλλαγές στη συμπεριφορά και να προωθήσουν πιο αποτελεσματικό σχεδιασμό.

Επιταχυνόμενες και δίκαιες δράσεις για τον μετριασμό και την προσαρμογή στις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής είναι κρίσιμες για τη βιώσιμη ανάπτυξη.

Κράββα Α. Μαρία. «Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης»

Δράσεις που συνδέονται κυρίως με θετικές συνέργειες, παρά με συγκρούσεις με τους Στόχους Βιώσιμης Ανάπτυξης.

2.4.7 Ισότητα και ένταξη

Η προτεραιότητα στην ισότητα, την κλιματική και κοινωνική δικαιοσύνη, την ένταξη και τις δίκαιες μεταβάσεις μπορεί να διευκολύνει την υιοθέτηση μέτρων προσαρμογής και φιλόδοξων δράσεων μετριασμού, προωθώντας παράλληλα μια ανάπτυξη ανθεκτική στην κλιματική αλλαγή. Η παροχή ενισχυμένης υποστήριξης σε περιοχές και πληθυσμούς που είναι ιδιαίτερα ευάλωτοι στις κλιματικές επιπτώσεις βελτιώνει τα αποτελέσματα της προσαρμογής.

Η ενσωμάτωση της κλιματικής προσαρμογής στα προγράμματα κοινωνικής προστασίας ενισχύει την ανθεκτικότητα, ενώ η μείωση της κατανάλωσης με υψηλές εκπομπές μπορεί να επιτευχθεί μέσω αλλαγών συμπεριφοράς και τρόπου ζωής, προσφέροντας ταυτόχρονα οφέλη για την κοινωνική ευημερία.

2.4.8 Διακυβέρνηση και Πολιτικές

Η αποτελεσματική δράση για το κλίμα απαιτεί πολιτική δέσμευση, συντονισμό σε όλα τα επίπεδα διακυβέρνησης, ισχυρά θεσμικά πλαίσια, νομοθεσία, πολιτικές και στρατηγικές, καθώς και βελτιωμένη πρόσβαση στη χρηματοδότηση και την τεχνολογία. Καθαροί στόχοι, συντονισμός μεταξύ πολλαπλών τομέων πολιτικής και συμπεριληπτικές διαδικασίες διακυβέρνησης προάγουν την αποδοτικότητα της κλιματικής δράσης. Ρυθμιστικά και οικονομικά εργαλεία μπορούν να υποστηρίξουν σημαντικές μειώσεις εκπομπών και να ενισχύσουν την κλιματική ανθεκτικότητα, εφόσον επεκταθούν και εφαρμοστούν ευρέως.

2.4.9 Οικονομικοί Πόροι και Τεχνολογία

Η χρηματοδότηση, η καινοτομία στην τεχνολογία και η διεθνής συνεργασία είναι κρίσιμα στοιχεία για την επιτάχυνση των δράσεων για το κλίμα. Για την επίτευξη των κλιματικών στόχων, η χρηματοδότηση τόσο για την προσαρμογή όσο και για τον μετριασμό πρέπει να αυξηθεί σημαντικά. Παρότι υπάρχουν επαρκείς παγκόσμιοι οικονομικοί πόροι, απαιτείται υπέρβαση εμποδίων που περιορίζουν την ανακατεύθυνση κεφαλαίων σε κλιματικές δράσεις.

Κράββα Α. Μαρία. «Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης»

Η ενίσχυση των συστημάτων καινοτομίας είναι καίρια για την ταχεία υιοθέτηση τεχνολογιών και πρακτικών, ενώ η διεθνής συνεργασία μπορεί να προωθηθεί μέσω πολλαπλών καναλιών (IPCC AR6, 2023).

2.5 Προτάσεις για τη Θεσσαλονίκη

Επιπλέον, όσον αφορά στον μετριασμό των επιπτώσεων του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής, που συνδέονται με τη συνεχή αύξηση του αριθμού των καυσώνων στην πόλη της Θεσσαλονίκης, και για τη βελτίωση και αναβάθμιση του φυσικού και του ανθρωπογενούς περιβάλλοντος, προτείνονται τα ακόλουθα:

Η μείωση των ανθρωπογενών θερμικών κερδών στον πυρήνα και την ευρύτερη αστική ζώνη της Θεσσαλονίκης μπορεί να επιτευχθεί μέσω της αναδιάταξης των ζωνών χρήσης γης. Ενδεικτικά, προτείνεται η απομάκρυνση δραστηριοτήτων με υψηλές εκπομπές θερμότητας και ρύπων, όπως βιομηχανικές μονάδες και χρήσεις που απαιτούν αυξημένη κυκλοφορία μεταφορικών μέσων, από τον αστικό ιστό. Παράλληλα, η ενίσχυση του δικτύου μέσων μαζικής μεταφοράς θα συμβάλει στη μείωση της κυκλοφοριακής συμφόρησης και των εκπομπών.

Η αύξηση των πράσινων χώρων αποτελεί καίρια παρέμβαση. Η δημιουργία νέων αστικών πάρκων, η επέκταση και αναδιαμόρφωση των υφιστάμενων, καθώς και η φύτευση κατάλληλων δέντρων με σκίαση και φυσικές διεργασίες, μπορούν να επηρεάσουν ευεργετικά το μικροκλίμα της πόλης. Επιπλέον, η προώθηση πράσινων οροφών και προσόψεων, σε συνδυασμό με τη χρήση ψυχρών υλικών νέας τεχνολογίας σε κτίρια, μπορεί να αυξήσει τη λευκαύγεια και να μειώσει τη θερμική επιβάρυνση.

Ο σχεδιασμός του αστικού χώρου θα πρέπει να ενσωματώνει μέτρα για τη βελτίωση του αερισμού των δρόμων, όπως διαμπερή ανοίγματα στους κτιριακούς όγκους και την κατασκευή πεζοδρομίων και οδοστρωμάτων με κατάλληλα υλικά. Οι στρατηγικές αυτές αποδίδουν τα μέγιστα όταν εφαρμόζονται συνδυαστικά, προωθώντας έναν ολιστικό σχεδιασμό.

Η ενεργειακή αναβάθμιση του κτιριακού τομέα αποτελεί βασική στρατηγική. Το πρόγραμμα "Εξοικονομώ κατ' Οίκον" είναι ένα σημαντικό εργαλείο, ωστόσο απαιτεί σημαντικές βελτιώσεις για να καταστεί πιο αποτελεσματικό. Ειδικότερα, χρειάζεται να επεκταθούν τα κριτήρια επιλεξιμότητας και οι τύποι αναβαθμίσεων που

Κράββα Α. Μαρία. «Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης»

επιδοτούνται, ώστε να καλύψουν μεγαλύτερο εύρος κοινωνικών ομάδων και ενεργειακών απαιτήσεων (Τσόγκας, 2021).

Ο Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (KENAK, 2017) προσφέρει ένα πλαίσιο για την ενεργειακή διαχείριση, ωστόσο η περαιτέρω ανάπτυξή του είναι κρίσιμη. Η υπ' αριθμ. 5106/2024 (ΦΕΚ 623/Α'/01-05-24) τροποποίηση του Νέου Γενικού Οικοδομικού Κανονισμού (ΓΟΚ, 2012) ενσωματώνει, μεταξύ άλλων, ρυθμίσεις για την αντιμετώπιση των πολυεπίπεδων επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στους τομείς της διαχείρισης υδάτων, της διαχείρισης και προστασίας των δασών, της αστικής ανθεκτικότητας και πολιτικής και της καταπολέμησης της αυθαίρετης δόμησης.

Η αντιμετώπιση της υπερθέρμανσης σε μεγάλα αστικά κέντρα, όπως η Θεσσαλονίκη, απαιτεί πολυδιάστατη προσέγγιση που να λαμβάνει υπόψη τις ιδιαιτερότητες της περιοχής. Βασικό ρόλο διαδραματίζουν η ευαισθητοποίηση και η ενημέρωση των πολιτών μέσω προγραμμάτων, ημερίδων και πληροφοριακών εκδόσεων που υλοποιούνται σε τοπικό επίπεδο. Η επιτυχία των παραπάνω στρατηγικών προϋποθέτει τη συνεργασία όλων των εμπλεκόμενων φορέων και τη συνδυαστική εφαρμογή τεχνολογικών, περιβαλλοντικών και κοινωνικών μέτρων, εξασφαλίζοντας μια βιώσιμη και φιλική προς το περιβάλλον της Θεσσαλονίκης (Τσόγκας, 2021; Νταγκίνης, 2017; Κουκλής, 2019).

2.6 Κλιματικό Σύμφωνο Πόλης

Ο Δήμος Θεσσαλονίκης, με την υπογραφή του "Κλιματικού Συμφώνου Πόλης" τον Σεπτέμβριο του 2023 προχώρησε σε μια σημαντική δέσμευση για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής, συμμετέχοντας στην Ευρωπαϊκή Αποστολή για τις "100 Κλιματικά Ουδέτερες και Έξυπνες Πόλεις έως το 2030". Η άποψη του Δημοτικού Συμβουλίου του Δήμου Θεσσαλονίκης είναι ότι η εφαρμογή του Συμφώνου είναι επιτακτική για ένα βιώσιμο μέλλον, ενώ υπογραμμίστηκε η σημασία συνεργασίας και διάδοσης καλών πρακτικών για την επίτευξη της κλιματικής ουδετερότητας.

Το σχέδιο δράσης του Δήμου Θεσσαλονίκης περιλαμβάνει παρεμβάσεις στους τομείς ενέργειας, μεταφορών, χρήσεων γης, περιβάλλοντος, διαχείρισης αποβλήτων και αστικού πρασίνου. Μεταξύ άλλων, προβλέπεται η εγκατάσταση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, η αναβάθμιση κτιρίων, η ενίσχυση της μικροκινητικότητας, η ανακύκλωση, η δημιουργία υποδομών κομποστοποίησης και καινοτόμες λύσεις

Κράββα Α. Μαρία. «Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης»

έξυπνης πόλης και διακυβέρνησης. Ο στόχος είναι η μείωση των εκπομπών κατά 80% έως το 2030. Επισημαίνεται, ωστόσο, ότι, σε σχέση με την κλιματική αλλαγή, η άποψη του Δημοτικού Συμβουλίου είναι ότι υπάρχει επιτακτική ανάγκη για περισσότερους πόρους, λόγω της επιδείνωσης του φαινομένου σε τοπικό και παγκόσμιο επίπεδο.

Εκτός από τη συμμετοχή του στο έργο LIFE ASTI, ο Δήμος Θεσσαλονίκης αποτελεί επίσης εταίρο στο ευρωπαϊκό πρόγραμμα LIFE SIRIUS (System for Integrated Environmental Information in Urban Areas). Το συγκεκριμένο έργο, το οποίο συγχρηματοδοτείται από την πρωτοβουλία LIFE, αποσκοπεί στη βελτιστοποίηση της διακυβέρνησης και του σχεδιασμού πολιτικών για την ποιότητα του αέρα στις αστικές περιοχές, μέσα από την ενίσχυση των γνώσεων και ικανοτήτων των αρμόδιων δημόσιων φορέων. Η εφαρμογή του έργου ξεκίνησε πιλοτικά στις πόλεις Θεσσαλονίκη, Ρώμη και Λευκωσία, ενώ στη συνέχεια προστέθηκε και το Ηράκλειο ως πόλη εφαρμογής (LIFESIRIUS, 2025).

2.7 Μελέτη-Περίπτωσης: Δεδομένα και μεθοδολογία μελέτης των επεισοδίων καύσωνα και της έντασης των θερμοκρασιακών μεταβολών στη Θεσσαλονίκη

Η παρούσα ΜΔΕ έχει στόχο την κατανόηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στο ατμοσφαιρικό περιβάλλον μιας από τις μεγαλύτερες ελληνικές πόλεις, αυτής της Θεσσαλονίκης. Έτσι, σ' αυτή τη διπλωματική εργασία έγινε προσπάθεια διερεύνησης του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής και της συσχέτισής του με επεισόδια καύσωνα και, κατ' επέκταση, με θερμοκρασιακές μεταβολές στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης, τόσο της περιόδου 1970-1999, όσο και της περιόδου 2000-2023.

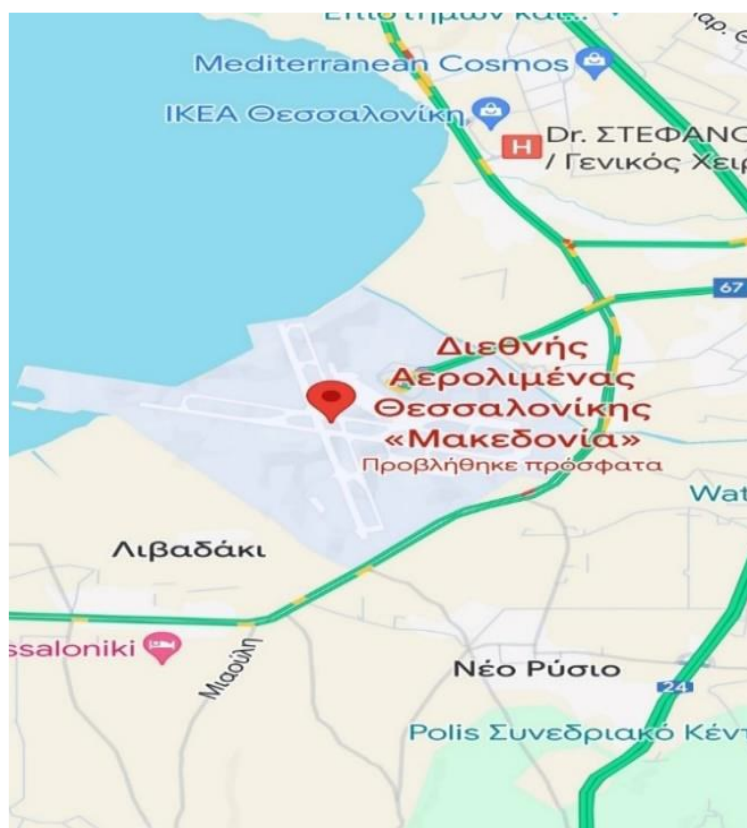
Η μελέτη περίπτωσης για τη Θεσσαλονίκη αναμένεται να δείξει τη σύνδεση της κλιματικής αλλαγής και των επεισοδίων καύσωνα και, ως εκ τούτου, να αποτελέσει ένα επιπλέον διαχειριστικό εργαλείο προς την κατεύθυνση ανάληψης μέτρων για την αντιμετώπιση των προκλήσεων που συνδέονται με τη συνεχή αύξηση του αριθμού των καυσώνων στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης.

2.7.1 Δεδομένα

Για τον λόγο αυτό έγινε ανάλυση και στατιστική επεξεργασία των διαθέσιμων ημερήσιων μετρήσεων της θερμοκρασίας του αέρα, στην περιοχή της Θεσσαλονίκης,

Κράββα Α. Μαρία. «Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης»

από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (ΕΜΥ, 2024-2025) κατά την περίοδο 1970-2023. Έτσι, χρησιμοποιήθηκαν οι μετρήσεις από τον Μετεωρολογικό Σταθμό Επιφανείας - Ανώτερης Ατμοσφαίρας (ΜΣΕ-ΑΑ) του Περιφερειακού Κέντρου Μακεδονίας (ΠΜΚΜ), το οποίο λειτουργεί υπό την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία, ΕΜΥ. Ο σταθμός είναι τοποθετημένος στον Κρατικό Αερολιμένα Θεσσαλονίκης "Μακεδονία" και βρίσκεται περίπου 15 χιλιόμετρα από το κέντρο της πόλης (Εικόνα 49). Ο συγκεκριμένος σταθμός μετρά και καταγράφει δεδομένα για τη θερμοκρασία επιφάνειας, τη σχετική υγρασία, την ένταση και τη διεύθυνση του ανέμου, την ορατότητα, το ύψος του νετού, την ποσότητα και τον τύπο των νεφών, καθώς και την ατμοσφαιρική πίεση. Οι μετρήσεις πραγματοποιούνται καθ' όλη τη διάρκεια του 24ώρου, είτε μέσω παραδοσιακών μετεωρολογικών οργάνων, είτε με τη χρήση αισθητήρων του ημιαυτόματου συστήματος που διαθέτει ο σταθμός (Σάρας, 2020). Ο σταθμός ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ, με κωδικό 16622, αποτελεί μέρος του δικτύου των σταθμών που έχει εγκαταστήσει η ΕΜΥ σ' όλη την Ελλάδα. και είναι σε λειτουργία από το 1959 έως σήμερα (Φαρμάκη, 2024). Παρά την αξιόπιστη λειτουργία του, καταγράφηκαν ορισμένες ημέρες κατά τις οποίες τα δεδομένα δεν ήταν διαθέσιμα.



Εικόνα 49. Μετεωρολογικός σταθμός της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας στο αεροδρόμιο "Μακεδονία" (Μίκρα) (Google Maps, 2024).

Κράββα Α. Μαρία. «Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης»

2.7.2 Περίοδος Μελέτης - Διαθεσιμότητα Δεδομένων

Η περίοδος μελέτης αφορούσε στην περίοδο από την 1^η Ιανουαρίου του 2000 μέχρι και την 31^η Δεκεμβρίου του 2023 και περιλάμβανε συνολικά 8.766 ημέρες.

Κατά την περίοδο της μελέτης, υπήρξαν ορισμένα χρονικά διαστήματα κατά τα οποία τα μετεωρολογικά δεδομένα δεν ήταν διαθέσιμα. Αυτό πιθανόν οφειλόταν είτε σε δυσλειτουργίες των αισθητήρων του σταθμού, είτε σε προβλήματα του συστήματος καταγραφής. Ωστόσο, η έλλειψη δεδομένων ήταν περιορισμένη και αφορούσε μόνο σε μικρά χρονικά διαστήματα. Συγκεκριμένα, καταγράφηκε απώλεια δεδομένων της τάξης του 3,9% του συνόλου των ημερών (342/8.766 ημέρες).

2.7.3 Γενικά χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης

Η Θεσσαλονίκη, μια από τις σημαντικότερες πόλεις της Ανατολικής Μεσογείου, βρίσκεται στο βόρειο τμήμα της Ελλάδας και αποτελεί την πρωτεύουσα του ομώνυμου νομού (Εικόνα 50). Ο Δήμος Θεσσαλονίκης, με συνολική έκταση 19,7 χλμ², είναι ο δεύτερος μεγαλύτερος σε πληθυσμό δήμος της χώρας, με 319.045 μόνιμους κατοίκους σύμφωνα με την απογραφή του 2021 της ΕΛΣΤΑΤ. Επιπλέον, η Περιφερειακή Ενότητα Θεσσαλονίκης, η οποία φιλοξενεί πάνω από ένα εκατομμύριο κατοίκους (περίπου το 10% του συνολικού πληθυσμού της Ελλάδας), αποτελεί το κυριότερο οικονομικό, εμπορικό και πολιτιστικό κέντρο της Βόρειας Ελλάδας, καθώς και ένα από τα μεγαλύτερα αστικά κέντρα των Βαλκανίων (Moussioropoulos et al., 2009; Petrakakis et al., 2007; Roupkou et al., 2011).

Στα ανατολικά της πόλης δεσπόζει ο Χορτιάτης, με υψόμετρο 1.200 μέτρα, ενώ στα βόρεια βρίσκεται το πευκοδάσος του Σείχ Σου. Ανατολικά της πόλης εκτείνεται το αεροδρόμιο "Μακεδονία", ενώ προς τα βορειοδυτικά αναπτύσσεται η πεδιάδα της Θεσσαλονίκης, την οποία διαρρέουν οι ποταμοί Λουδίας, Αξιός και Γαλλικός. Στην ίδια περιοχή βρίσκεται και η βιομηχανική ζώνη της Σίνδου (Χοστελίδου, 2012; Giannaros and Melas, 2012). Η Θεσσαλονίκη εκτείνεται σε μήκος μεγαλύτερο των 12 χλμ, εντός μιας λεκάνης που σχηματίζεται από χαμηλούς λόφους και καταλήγει στον κόλπο του Θερμαϊκού. Ο παράκτιος και ορεινός χαρακτήρας της συμβάλλει στη δημιουργία τοπικών ατμοσφαιρικών κυκλοφοριών, όπως η θαλάσσια και απόγειος αύρα, καθώς και οι άνεμοι κοιλάδας-βουνού (Moussioropoulos et al., 2009; Petrakakis et al., 2007; Roupkou et al., 2011).



Εικόνα 50. Η θέση της πόλης της Θεσσαλονίκης (Google Maps, 2024).

Το κλίμα της πόλης επηρεάζεται έντονα από τη γειτνίαση με τη θάλασσα και χαρακτηρίζεται ως μεσογειακό με ηπειρωτικές επιρροές, σύμφωνα με την κλιματική ταξινόμηση Köppen (CSA). Οι καλοκαιρινοί μήνες είναι θερμοί και ξηροί, ενώ οι χειμώνες ήπιοι και υγροί (Χοστελίδου, 2012; Giannaros and Melas, 2012; Flocas et al., 2009). Η μέση ετήσια θερμοκρασία ανέρχεται σε περίπου 16°C, με τη σχετική υγρασία να κυμαίνεται γύρω στο 60% (με μέγιστη τιμή 100%). Οι πιο ψυχροί μήνες είναι ο Ιανουάριος και ο Φεβρουάριος, με χαμηλότερη μέση θερμοκρασία περίπου 5,5°C, ενώ ο Ιούλιος παρουσιάζει τη μέγιστη μέση θερμοκρασία, φτάνοντας τους 26,5°C. Η ηλιοφάνεια είναι έντονη, με περίπου 140 ημέρες ετησίως να καταγράφουν θερμοκρασίες άνω των 25°C και 70 ημέρες να ξεπερνούν τους 30°C. Ο αριθμός των αίθριων ημερών φτάνει τις 107, ενώ 73 ημέρες χαρακτηρίζονται ως νεφελώδεις. Το φθινόπωρο και ο χειμώνας συνοδεύονται συχνά από την εμφάνιση ομίχλης

Κράββα Α. Μαρία. «Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης»

(Φαρμάκη, 2024). Οι χιονοπτώσεις είναι σπάνιες και το χιόνι τείνει να λιώνει μέσα σε λίγες ημέρες, με εξαίρεση συγκεκριμένους χειμώνες (1968, 1988, 2001, 2017 και 2019) που χαρακτηρίστηκαν από έντονες χιονοπτώσεις (Σάρας, 2020; Χοστελίδου, 2012; Giannaros and Melas, 2012; Petrakakis et al., 2006; Roupkou et al., 2011).

Η γεωμορφολογία της περιοχής, σε συνδυασμό με τις ατμοσφαιρικές διεργασίες ανάμιξης και αραίωσης, συμβάλλει στη δημιουργία τοπικών ατμοσφαιρικών κυκλοφοριών, όπως η θαλάσσια αύρα, η οποία είναι ιδιαίτερα έντονη από τον Απρίλιο έως τον Σεπτέμβριο, επηρεάζοντας τη μεταφορά και διασπορά των ατμοσφαιρικών ρύπων (Πετρακάκης κ.ά., 2009; Flocas et al., 2009; Moussiopoulos et al., 2009; Petrakakis et al., 2007). Η θαλάσσια αύρα είναι το κυρίαρχο ατμοσφαιρικό ρεύμα που επηρεάζει την πόλη καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, με μέση συχνότητα εμφάνισης 17-22 ημέρες τον μήνα κατά τη θερινή περίοδο του έτους (Σαχσαμάνογλου, 2002; Πετρακάκης κ.ά., 2008; 2009). Η πόλη δεν χαρακτηρίζεται από εμφάνιση υψηλού αιολικού δυναμικού, καθώς η άπνοια είναι συχνό φαινόμενο, ιδιαίτερα κατά τις νυχτερινές ώρες (Πετρακάκης κ.ά., 2009; Flocas et al., 2009; Μπαλάσας, 2015). Ο Βαρδάρης, ο γνωστότερος τοπικός άνεμος, είναι ένας ισχυρός, ξηρός και ψυχρός βορειοδυτικός άνεμος, με μέση ταχύτητα 10m/s και διάρκεια περίπου δύο ημερών, εμφανιζόμενος συνολικά περίπου 40 ημέρες ετησίως (Πετρακάκης κ.ά., 2009; Petrakakis et al., 2007). Οι άνεμοι έχουν μέση ένταση 5,6 m/s, με επικρατούσα διεύθυνση τη βορειοδυτική, ενώ η μέση ετήσια βροχόπτωση κυμαίνεται μεταξύ 400-500 mm, με το 59% αυτής να σημειώνεται μεταξύ Νοεμβρίου και Απριλίου (Φαρμάκη, 2024; Giannaros and Melas, 2012).

Η ρυμοτομία της Θεσσαλονίκης χαρακτηρίζεται από υψηλή πολυπλοκότητα, με το κέντρο της πόλης να παρουσιάζει έντονη δόμηση και πυκνή κατοίκηση. Η χρήση γης αποτελεί έναν συνδυασμό οικιστικών και εμπορικών δραστηριοτήτων (Giannaros and Melas, 2012). Σύμφωνα με πρόσφατες μελέτες, το 77% της συνολικής επιφάνειας του κέντρου καλύπτεται από κτίρια και τεχνητές επιφάνειες, το 19% από το οδικό δίκτυο και μόλις το 4% από χώρους πρασίνου (Τσόγκας, 2021). Η αναλογία πρασίνου ανά κάτοικο ανερχόταν σε μόλις 2,15 m², καθιστώντας τη Θεσσαλονίκη μία από τις πόλεις με τα χαμηλότερα ποσοστά πρασίνου στον κόσμο (Moussiopoulos, et al., 2009; Παπασταύρου κ.ά., 2005).

Κεφάλαιο 3^ο: Διερεύνηση των επεισοδίων καύσωνα και της έντασης των θερμοκρασιακών μεταβολών στην πόλη της Θεσσαλονίκης

Οι επιπτώσεις του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής είναι ποικίλες. Προκειμένου να διερευνηθούν τα επεισόδια καύσωνα και γενικότερα η ένταση των θερμοκρασιακών μεταβολών, καθώς και η ενδεχόμενη σύνδεση αυτών με την κλιματική αλλαγή, έγινε ανάλυση και στατιστική επεξεργασία των διαθέσιμων ημερήσιων μετρήσεων της θερμοκρασίας του αέρα στην ευρύτερη περιοχή μιας από τις μεγαλύτερες πόλεις της Ελλάδας, τη Θεσσαλονίκη. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκαν οι μετρήσεις της θερμοκρασίας του αέρα από τον περιφερειακό Μετεωρολογικό Σταθμό της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας, που βρίσκεται στον Κρατικό Αερολιμένα Θεσσαλονίκης "Μακεδονία" και βρίσκεται περίπου 15 χιλιόμετρα από το κέντρο της πόλης. Έτσι, δημιουργήθηκε μια βάση δεδομένων για διάστημα 54 ετών (1970-2023) με ανώτατες, T_{max} , μέσες, T_{mean} , και κατώτατες, T_{min} , ημερήσιες μετρήσεις θερμοκρασίας του αέρα, που προέρχονται από τις διαθέσιμες ημερήσιες παρατηρήσεις του σταθμού "Μακεδονία". Η περίοδος μελέτης αφορά στο χρονικό διάστημα 2000-2023, ενώ βάση αναφοράς της έρευνας αποτέλεσε η περίοδος 1970-1999.

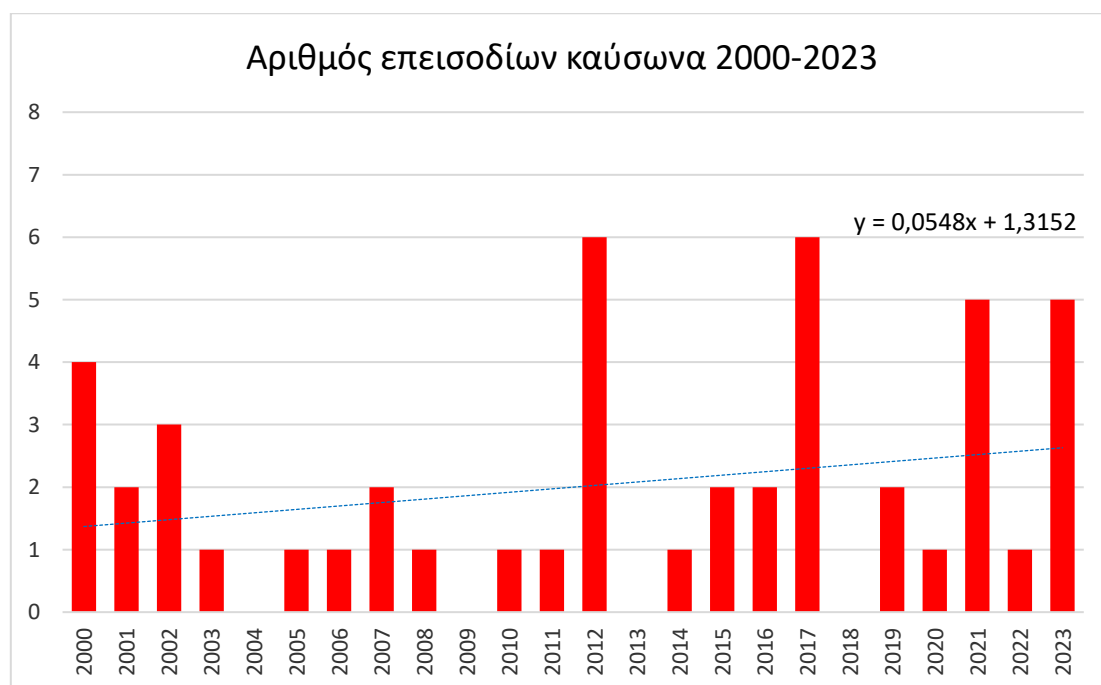
Για τον ορισμό ενός επεισοδίου καύσωνα χρησιμοποιήθηκε ο ορισμός του Παγκόσμιου Μετεωρολογικού Οργανισμού (WMO), ο οποίος περιγράφει ακραία γεγονότα καύσωνα (Frich et al. 2002), σύμφωνα με τον οποίο ως επεισόδιο καύσωνα ορίστηκε η περίοδος διάρκειας άνω των πέντε συνεχόμενων ημερών, κατά την οποία η μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία υπερέβη κατά τουλάχιστον 5°C το μέσο όρο της μέγιστης θερμοκρασίας του αέρα, T_{max} (που υπολογίστηκε ίση με $28,65^{\circ}\text{C}$) των παρατηρήσεων του σταθμού "Μακεδονία" της ΕΜΥ, για την περίοδο Μαΐου-Σεπτεμβρίου, όπως έχει καταγραφεί κατά την περίοδο αναφοράς (1970-2000), η οποία έτσι υπολογίστηκε ίση με $33,65^{\circ}\text{C}$.

3.1 Επεισόδια καύσωνα της περιόδου 1970-2000 και της περιόδου 2000-2023, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης.

Στο γράφημα 1 απεικονίζεται ο αριθμός επεισοδίων καύσωνα για την περίοδο μελέτης 2000-2023, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης. Από το γράφημα, και συγκεκριμένα από τη γραμμή τάσης (γραμμική παρεμβολή), που επισημαίνεται με

Κράββα Α. Μαρία. «Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης»

μπλε διακεκομμένη γραμμή, διαπιστώνεται άνοδος του αριθμού των επεισοδίων καύσωνα για την περίοδο μελέτης 2000-2023. Τα επεισόδια καύσωνα κυμάνθηκαν μεταξύ 0 έως 6 ανά έτος, με μόλις 4 έτη από τα 24 έτη του συνόλου της περιόδου να μην παρουσιάζουν κανένα επεισόδιο καύσωνα. Κατά τα έτη 2004, 2009, 2013 και 2018 δε σημειώθηκε επεισόδιο καύσωνα σύμφωνα με τον ορισμό καύσωνα που επιλέχθηκε. Τα περισσότερα επεισόδια σημειώθηκαν τα έτη 2012 και 2017. Επισημαίνεται, ωστόσο, ότι τα τελευταία έτη σημειώθηκαν αρκετά συχνά συνεχόμενες μέρες με αυξημένες τιμές μέγιστων θερμοκρασιών ($>33,65^{\circ}\text{C}$), ωστόσο δεν ξεπέρασαν τις 4 στον αριθμό, προκειμένου να προσμετρηθούν στα επεισόδια καύσωνα σύμφωνα με τον επιλεγθέντα ορισμό καύσωνα.



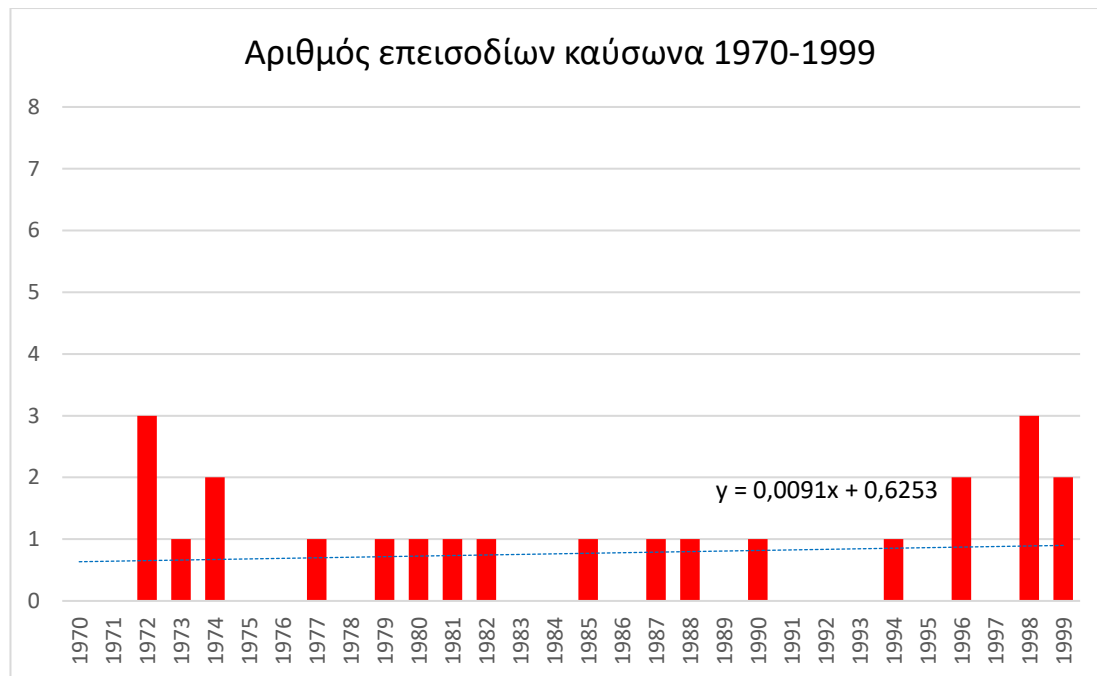
Γράφημα 1. Αριθμός επεισοδίων καύσωνα για την περίοδο μελέτης 2000-2023, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης.

Αντίστοιχα, στο γράφημα 2 απεικονίζεται ο αριθμός επεισοδίων καύσωνα για την περίοδο αναφοράς 1970-1999, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης. Από το γράφημα, και συγκεκριμένα από τη γραμμή τάσης, που επισημαίνεται με μπλε διακεκομμένη γραμμή, διαπιστώνεται άνοδος του αριθμού των επεισοδίων καύσωνα κατά την περίοδο αναφοράς 1970-1999, ωστόσο με πολύ μικρότερη τάση ανόδου έναντι της περιόδου μελέτης 2000-2023. Τα επεισόδια καύσωνα κυμάνθηκαν μεταξύ

Κράββα Α. Μαρία. «Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης»

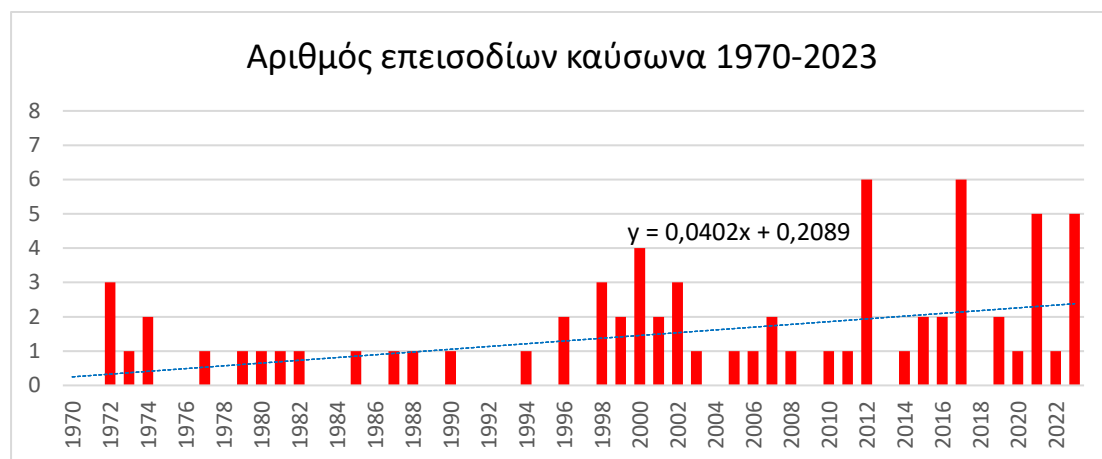
0 έως 3 ανά έτος, με 14 έτη από τα 30 έτη του συνόλου της περιόδου να μην παρουσιάζουν κανένα επεισόδιο καύσωνα.

Συνεπώς, από τη σύγκριση των γραφημάτων 1 και 2 προκύπτει ότι την περίοδο μελέτης 2000-2023 σημειώθηκαν πολύ περισσότερα επεισόδια καύσωνα, 48 συνολικά, έναντι 23 επεισοδίων της περιόδου αναφοράς 1970-1999, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης. Τα επεισόδια καύσωνα είναι παραπάνω από διπλάσια στην περίοδο μελέτης των 24 ετών έναντι της περιόδου αναφοράς των 30 ετών, που είναι μεγαλύτερη κατά 6 έτη. Δεδομένου ότι το καλοκαίρι του 2024 ήταν το θερμότερο που έχει καταγραφεί, ο αριθμός των επεισοδίων καύσωνα αναμένεται να αυξηθεί πολύ περισσότερο. Επιπλέον, συγκριτικά μεταξύ των δυο περιόδων, η διακύμανση επεισοδίων καύσωνα ανά έτος επίσης αυξήθηκε σημαντικά την περίοδο μελέτης 2000-2023 (0 έως 6 ανά έτος) έναντι της περιόδου αναφοράς 1970-1999 (0 έως 3 ανά έτος), με τα έτη που δε σημειώθηκε κανένα επεισόδιο καύσωνα να είναι σημαντικά περισσότερα στην περίοδο αναφοράς (14/30 έναντι 4/24 της περιόδου μελέτης).



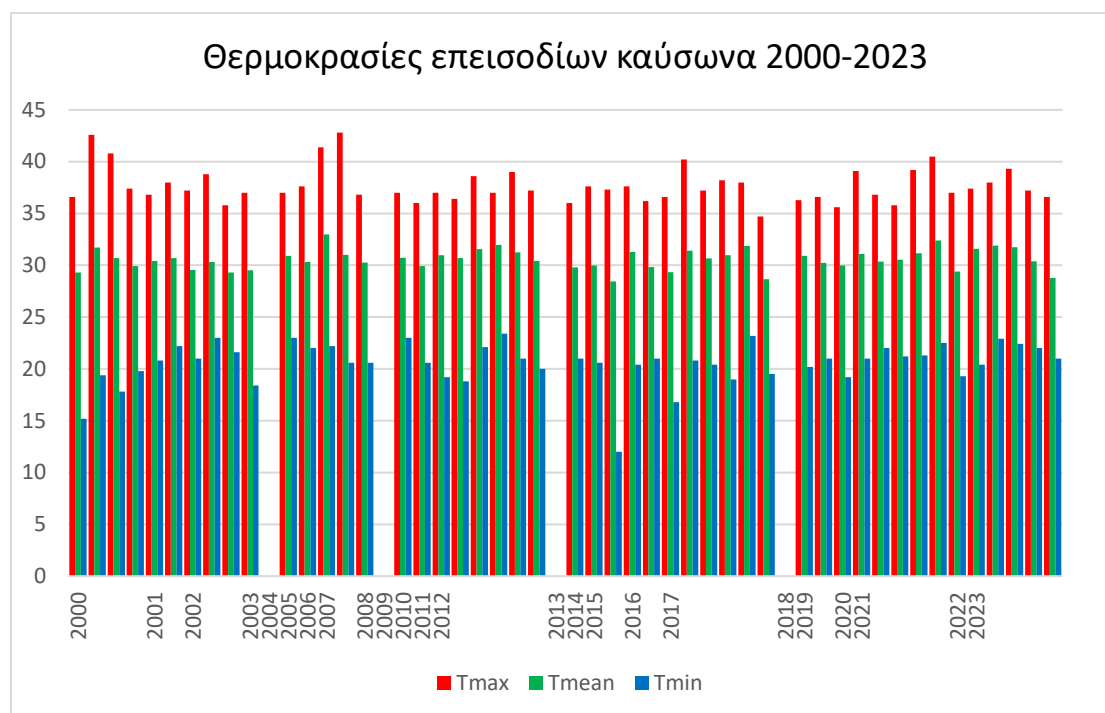
Γράφημα 2. Αριθμός επεισοδίων καύσωνα για την περίοδο αναφοράς 1970-1999, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης.

Στο γράφημα 3 απεικονίζεται ο αριθμός των επεισοδίων καύσωνα για την περίοδο 1970-2023 συγκεντρωτικά, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης, όπου διαπιστώνεται η ανοδική τάση του αριθμού των επεισοδίων καύσωνα καθ' όλη την περίοδο μελέτης.



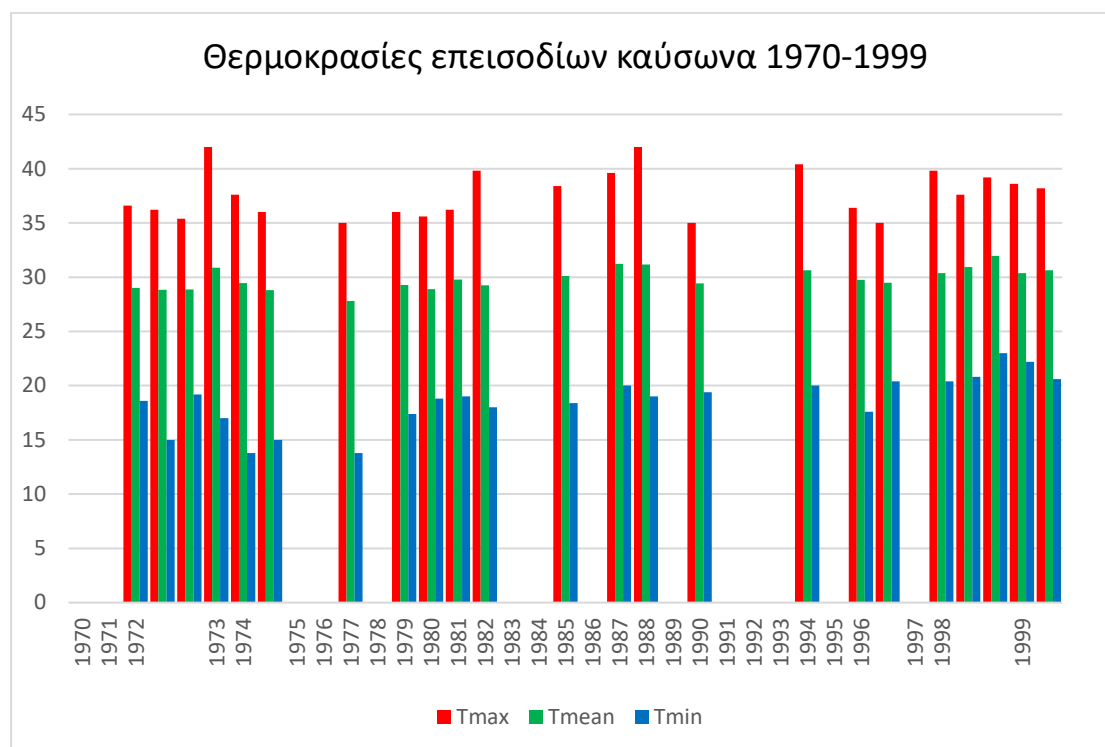
Γράφημα 3. Αριθμός επεισοδίων καύσωνα για την περίοδο 1970-2023, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης.

Στο γράφημα 4 απεικονίζονται τα επεισόδια καύσωνα και η μέγιστη, T_{max} , η μέση, T_{mean} , και η ελάχιστη θερμοκρασία, T_{min} , του εκάστοτε επεισοδίου για την περίοδο μελέτης 2000-2023. Προκύπτει ότι οι μέγιστες θερμοκρασίες, T_{max} , επεισοδίων καύσωνα κυμάνθηκαν μεταξύ $35,6^{\circ}\text{C}$ - $42,8^{\circ}\text{C}$ και ότι οι μεγαλύτερες τιμές μέγιστων θερμοκρασιών επεισοδίων καύσωνα σημειώθηκαν τα έτη 2000 και 2007, με τιμές $42,6^{\circ}\text{C}$ και $42,8^{\circ}\text{C}$ αντίστοιχα και όχι κατά τα έτη με τα περισσότερα επεισόδια καύσωνα, 2012 και 2017, ή τα τελευταία έτη. Επίσης, οι μέσες θερμοκρασίες, T_{mean} , επεισοδίων καύσωνα κυμάνθηκαν μεταξύ $29,31^{\circ}\text{C}$ - $32,98^{\circ}\text{C}$ και τα επεισόδια καύσωνα με τις υψηλότερες μέσες θερμοκρασίες ήταν το πρώτο επεισόδιο του 2007 και το τελευταίο επεισόδιο του 2021, με τιμές $32,98^{\circ}\text{C}$ και $32,38^{\circ}\text{C}$ αντίστοιχα. Οι ελάχιστες τιμές, T_{min} , επεισοδίων καύσωνα κυμάνθηκαν μεταξύ 12°C - $23,4^{\circ}\text{C}$, με τις μικρότερες εξ αυτών να σημειώνονται τα έτη 2000 και 2015, με τιμές $15,2^{\circ}\text{C}$ και 12°C αντίστοιχα.



Γράφημα 4. Επεισόδια καύσωνα και Tmax, Tmean, Tmin αυτών για την περίοδο 2000-2023, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης.

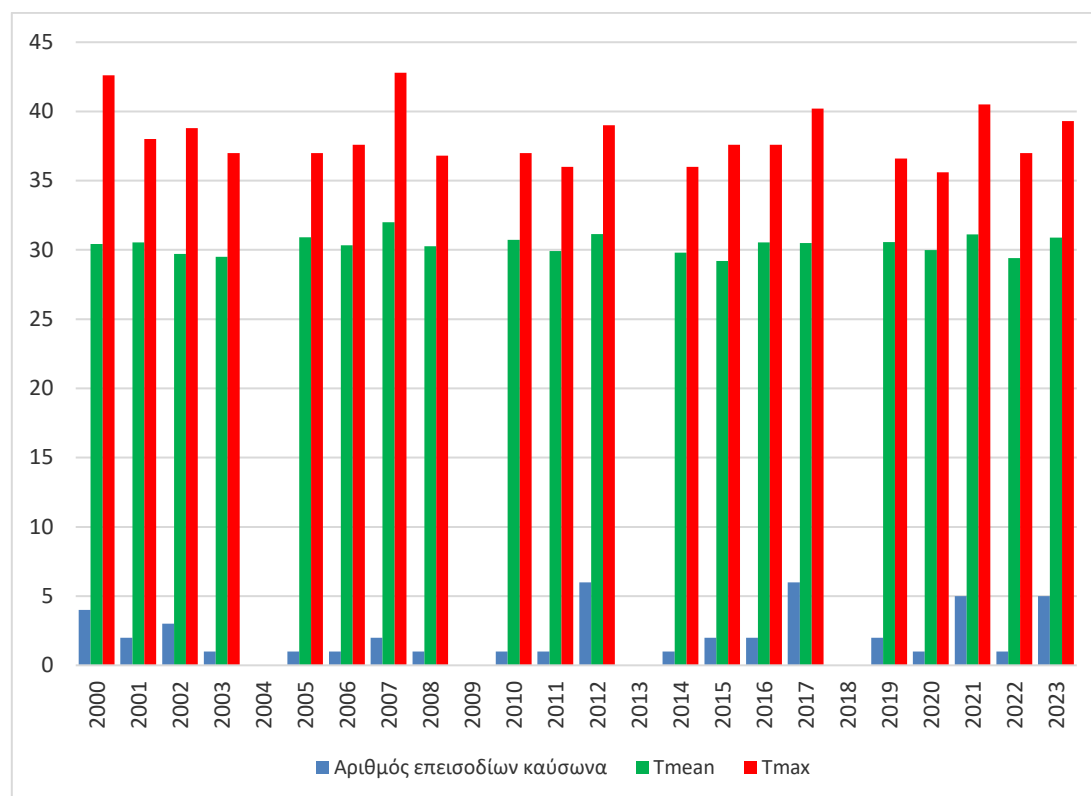
Στο γράφημα 5 παρατίθεται το αντίστοιχο διάγραμμα που απεικονίζει τα επεισόδια καύσωνα και τη μέγιστη, Tmax, τη μέση, Tmean, και την ελάχιστη θερμοκρασία, Tmin, του εκάστοτε επεισοδίου για την περίοδο αναφοράς 1970-1999. Προκύπτει ότι οι μέγιστες θερμοκρασίες επεισοδίων καύσωνα κυμάνθηκαν μεταξύ 35°C-42°C και ότι η μεγαλύτερη τιμή εξ αυτών σημειώθηκε τα έτη 1973 και 1988. Επίσης, οι μέσες θερμοκρασίες επεισοδίων καύσωνα κυμάνθηκαν μεταξύ 27,80°C-31,98°C και τα επεισόδια καύσωνα με τις υψηλότερες μέσες θερμοκρασίες ήταν το τρίτο του έτους 1998 και αυτό του έτους 1987, με τιμές 31,98 °C και 31,23°C αντίστοιχα. Οι μικρότερες τιμές ελάχιστων θερμοκρασιών επεισοδίων καύσωνα κυμάνθηκαν μεταξύ 13,8°C-23°C και η μικρότερη τιμή εξ αυτών σημειώθηκε κατά το πρώτο επεισόδιο του έτους 1974 και το έτος 1977. Συγκρίνοντας τα γραφήματα 4 και 5 προκύπτει και απ' αυτά η ανοδική τάση της θερμοκρασίας του αέρα (όπως και από τα γραφήματα 1-3) στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης.



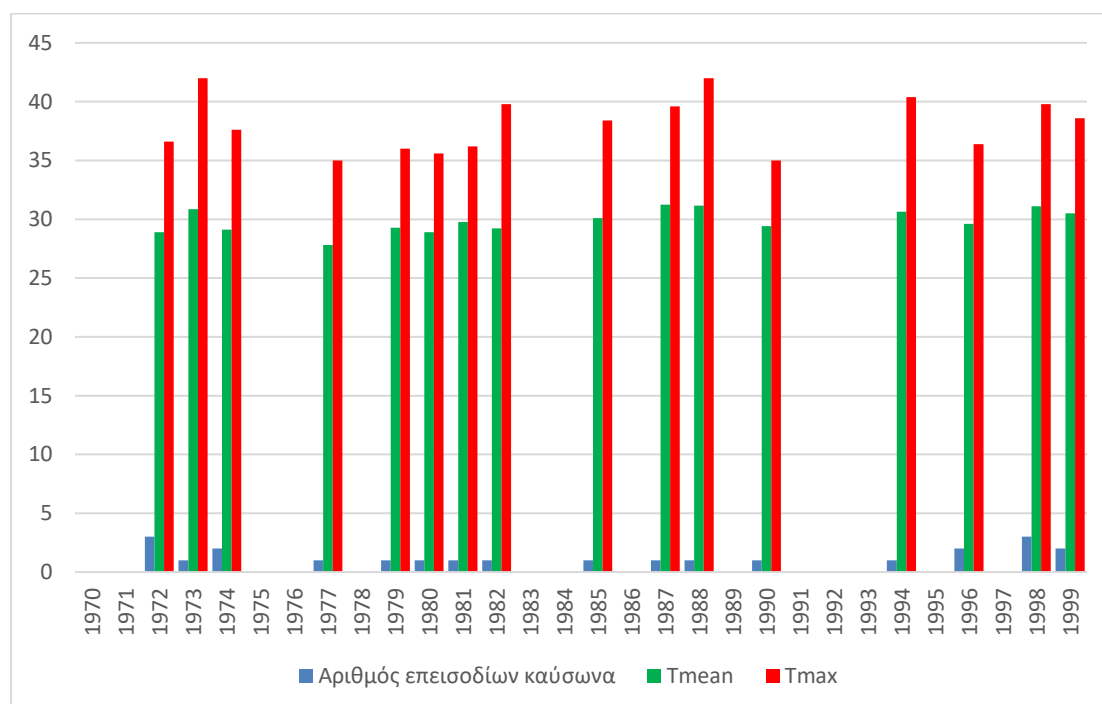
Γράφημα 5. Επεισόδια καύσωνα και Tmax, Tmean, Tmin αυτών για την περίοδο 1970-1999, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης.

Στο γράφημα 6 απεικονίζεται συγκεντρωτικά το σύνολο των επεισοδίων καύσωνα που παρουσιάστηκαν κάθε έτος, για την περίοδο μελέτης 2000-2023, σε σχέση με τη μέση, Tmean, και τη μέγιστη θερμοκρασία, Tmax, αυτών των επεισοδίων. Οι μέσες τιμές των μέσων θερμοκρασιών, Tmean, του συνόλου των επεισοδίων καύσωνα κάθε έτους κυμάνθηκαν μεταξύ 29,2°C-32°C. Οι χρονιές με τις μεγαλύτερες μέσες τιμές μέσων θερμοκρασιών, Tmean, επεισοδίων καύσωνα σημειώθηκαν κατά τα έτη 2007 και 2012, με τιμές 32°C και 31,14°C αντίστοιχα.

Αντίστοιχα, στο γράφημα 7 παρατίθεται το αντίστοιχο διάγραμμα που απεικονίζει συγκεντρωτικά το σύνολο των επεισοδίων καύσωνα που παρουσιάστηκαν κάθε έτος, σε σχέση με τη μέση, Tmean, και τη μέγιστη θερμοκρασία, Tmax, αυτών των επεισοδίων, για την περίοδο 1970-1999. Οι μέσες τιμές των μέσων θερμοκρασιών, Tmean, του συνόλου των επεισοδίων καύσωνα κάθε έτους κυμάνθηκαν μεταξύ 27,8°C-31,23°C. Οι χρονιές με τις μεγαλύτερες μέσες τιμές μέσων θερμοκρασιών, Tmean, επεισοδίων καύσωνα σημειώθηκαν κατά τα έτη 1987 και 1988, με τιμές 31,23°C και 31,17°C αντίστοιχα.



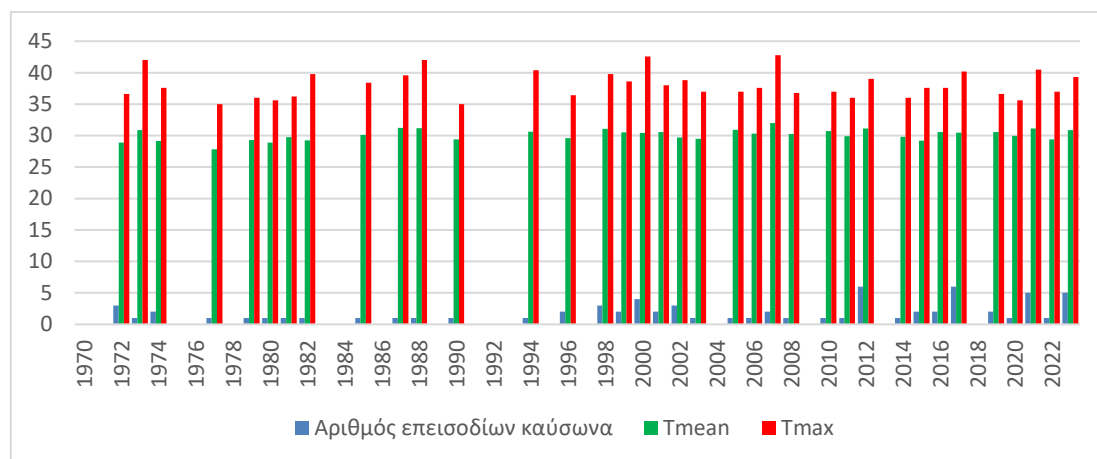
Γράφημα 6. Αριθμός επεισοδίων καύσωνα και Tmean, Tmax αυτών για την περίοδο 2000-2023, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης.



Γράφημα 7. Αριθμός επεισοδίων καύσωνα και Tmean, Tmax αυτών για την περίοδο 1970-1999, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης.

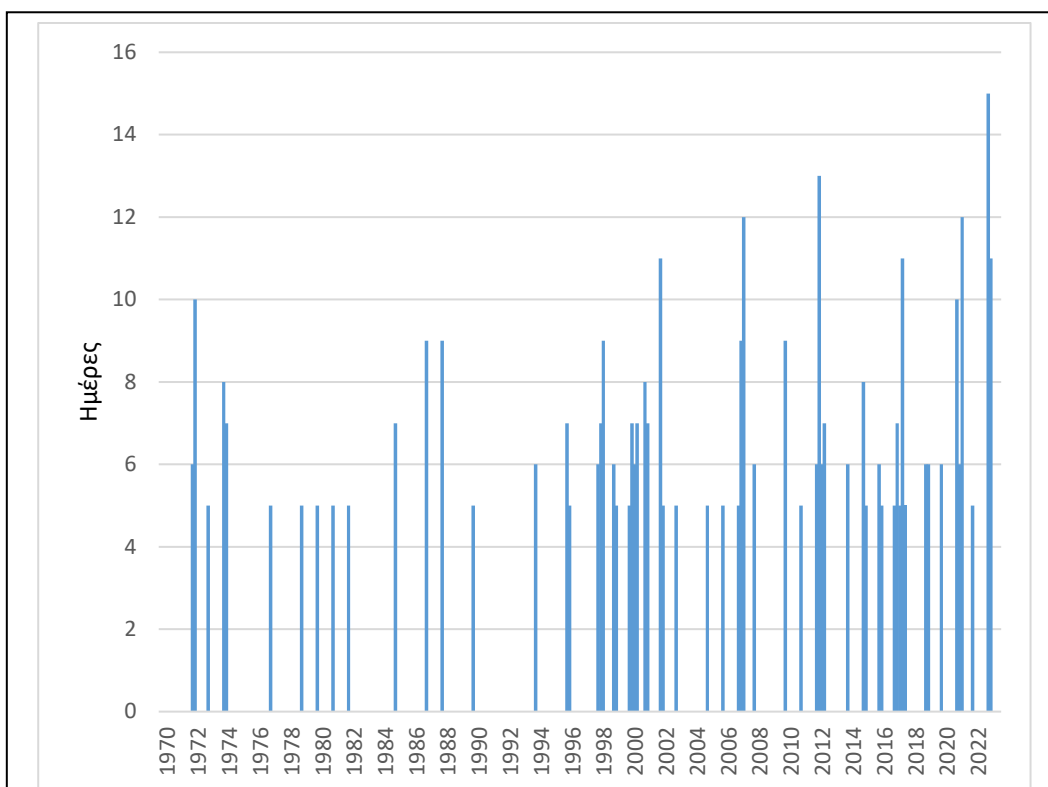
Κράββα Α. Μαρία. «Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης»

Στο γράφημα 8 παρουσιάζεται το σύνολο των επεισοδίων καύσωνα που παρουσιάστηκαν κάθε έτος, για όλη την περίοδο μελέτης 1970-2023, σε σχέση με τη μέση, T_{mean} , και τη μέγιστη θερμοκρασία, T_{max} , αυτών των επεισοδίων. Παρατηρείται ότι οι μέσες θερμοκρασίες, T_{mean} , και οι μέγιστες θερμοκρασίες, T_{max} , των επεισοδίων καύσωνα έχουν μια σχετικά μικρή ανοδική τάση μεταξύ της περιόδου μελέτης και της περιόδου αναφοράς.

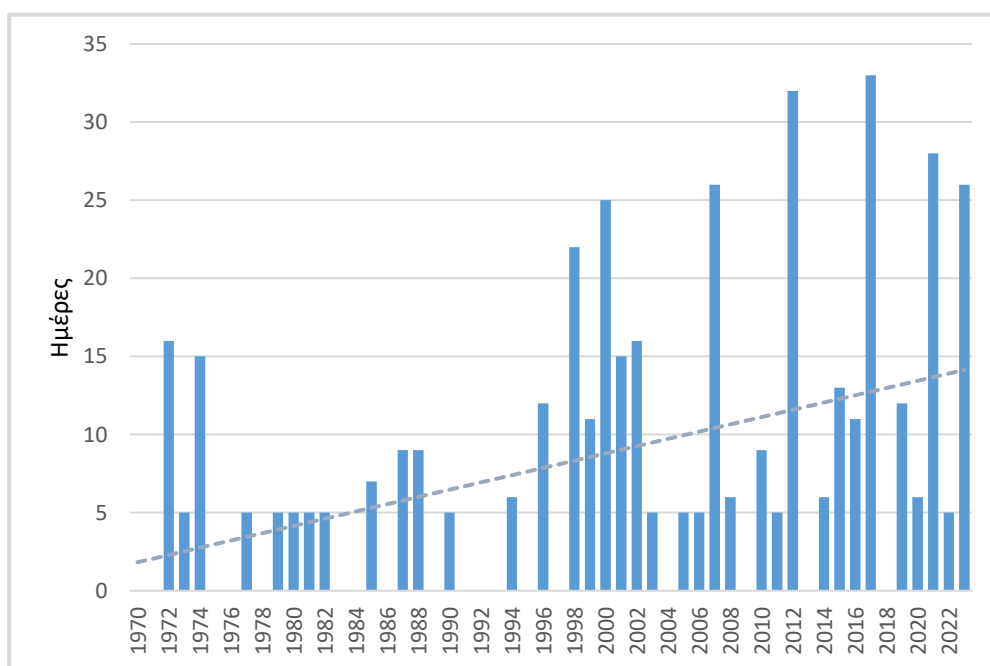


Γράφημα 8. Αριθμός επεισοδίων καύσωνα και T_{mean} , T_{max} αυτών για την περίοδο 1970-2023, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης.

Στο γράφημα 9 παρουσιάζεται η διάρκεια επεισοδίων καύσωνα για την περίοδο 1970-2023, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης. Συγκεκριμένα, στο διάγραμμα α. παρουσιάζεται η διάρκεια κάθε επεισοδίου καύσωνα για την περίοδο 1970-2023, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης. Κάθε στήλη αφορά σε επεισόδιο καύσωνα. Αντίστοιχα, στο διάγραμμα β. παρουσιάζεται η ανοδική τάση του συνολικού αριθμού ημερών των επεισοδίων καύσωνα κάθε έτους σε όλη την περίοδο μελέτης. Παρατηρείται ότι η διάρκεια επεισοδίων καύσωνα κατά την περίοδο μελέτης έχει μεγαλώσει αισθητά σε σχέση με την περίοδο αναφοράς. Μέχρι και το έτος 2001 τα επεισόδια καύσωνα σπάνια ξεπερνούσαν τις 10 μέρες. Μετά το έτος 2001 και έπειτα παρατηρείται μια σημαντική αύξηση στη διάρκεια, η οποία κορυφώνεται το έτος 2023, κατά το οποίο καταγράφηκε καύσωνας διάρκειας 15 ημερών. Επισημαίνεται, επιπλέον, ότι τα έτη 1998, 2012 και 2017 μεταξύ δύο επεισοδίων καύσωνα μεσολάβησε μόλις μια ημέρα θερμοκρασίας μικρότερης των 33,65°C.



α. Διάρκεια κάθε επεισοδίου καύσωνα για την περίοδο 1970-2023, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης.

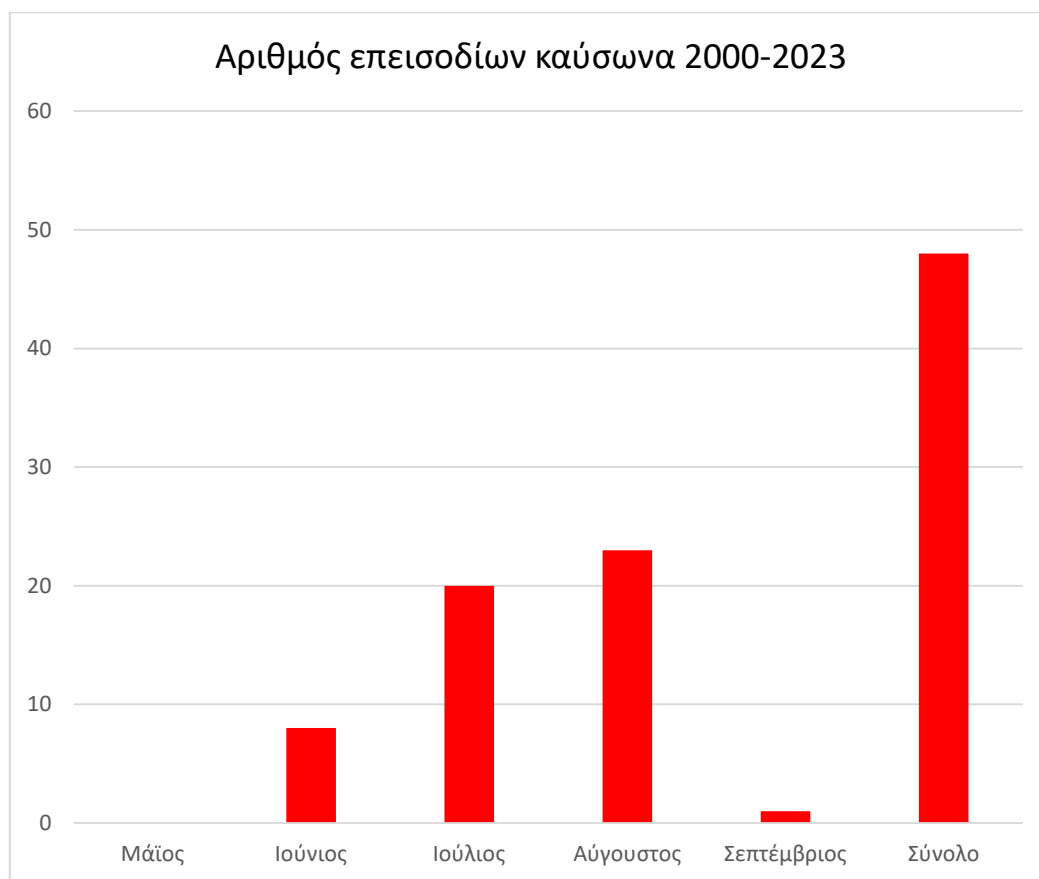


β. Συνολικός αριθμός ημερών επεισοδίων καύσωνα κάθε έτους για την περίοδο 1970-2023, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης.

Γράφημα 9. Διάρκεια επεισοδίων καύσωνα για την περίοδο 1970-2023, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης.

3.2 Εποχική και μηνιαία διακύμανση επεισοδίων καύσωνα για την περίοδο μελέτης, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης

Στο γράφημα 10 απεικονίζεται ο αριθμός επεισοδίων καύσωνα για την περίοδο μελέτης 2000-2023, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης. Την περίοδο μελέτης έλαβαν χώρα 48 επεισόδια καύσωνα. Τα περισσότερα επεισόδια σημειώθηκαν τους μήνες Ιούνιο και Αύγουστο. Συγκεκριμένα, συγκεντρωτικά, σημειώθηκαν 8 επεισόδια καύσωνα τον μήνα Ιούνιο, 19 επεισόδια τον μήνα Ιούλιο, 20 επεισόδια τον μήνα Αύγουστο και ένα επεισόδιο τον μήνα Σεπτέμβριο του έτους 2015. Συνεπώς τα επεισόδια καύσωνα έλαβαν χώρα την εποχή του καλοκαιριού, εκτός από ένα επεισόδιο που σημειώθηκε το φθινόπωρο.

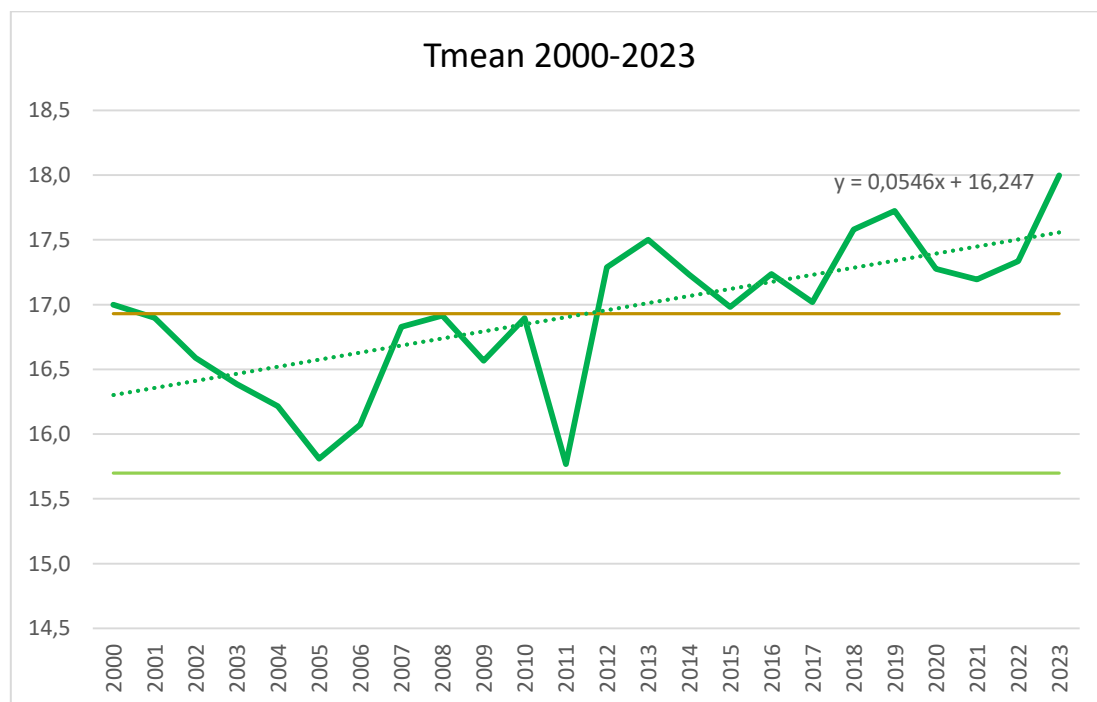


Γράφημα 10. Αριθμός επεισοδίων καύσωνα για την περίοδο 2000-2023, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης.

3.3 Διακύμανση μέσων ετήσιων, εποχικών, μηνιαίων θερμοκρασιακών μεταβολών για την περίοδο μελέτης, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης

Στο γράφημα 11 παρουσιάζεται η διακύμανση των μέσων ετήσιων τιμών θερμοκρασιών του αέρα για την περίοδο μελέτης, δηλαδή οι μέσες ετήσιες θερμοκρασίες του αέρα για την περίοδο 2000-2023, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης. Από τη γραμμική παρεμβολή (τάση), η οποία επισημαίνεται με διακεκομμένη πράσινη γραμμή, διαπιστώνεται ότι παρατηρήθηκε άνοδος των μέσων ετήσιων θερμοκρασιών του αέρα την περίοδο 2000-2023.

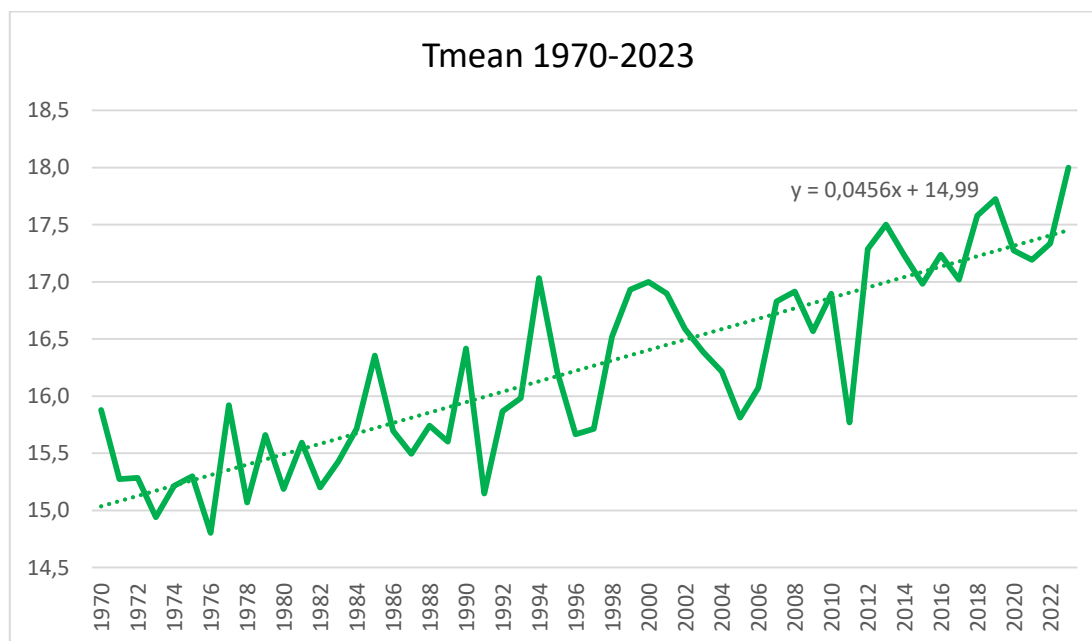
- Η μέση ετήσια θερμοκρασία του αέρα για την περίοδο μελέτης 2000-2023 κυμάνθηκε μεταξύ 15,8-18,0°C.
- Η μέση τιμή της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας του αέρα για την περίοδο μελέτης 2000-2023, ήταν 16,9°C (συνεχής καφέ γραμμή) έναντι 15,7°C (συνεχής ανοιχτή πράσινη γραμμή) της περιόδου αναφοράς 1970-1999. Συνεπώς, η διαφορά μεταξύ των δυο περιόδων ήταν της τάξης των 1,2°C.
- Οι μεταβολές θερμοκρασίας του αέρα ανάμεσα στα έτη της συγκεκριμένης περιόδου, ειδικότερα μετά το 2007, δεν ήταν ιδιαίτερα σημαντικές, εκτός από το έτος 2011 που σημειώθηκε μια πτώση θερμοκρασίας της τάξης των 1,1°C.



Γράφημα 11. Μέσες ετήσιες τιμές θερμοκρασιών για την περίοδο 2000-2023, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης.

Κράββα Α. Μαρία. «Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης»

Στο γράφημα 12 παρουσιάζεται η διακύμανση των μέσων ετήσιων τιμών θερμοκρασιών του αέρα, για την περίοδο 1970-2023 συγκεντρωτικά, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης, όπου παρατηρήθηκε συνεχής άνοδος των τιμών, της τάξης περίπου των 2,4°C, καθ' όλη τη διάρκεια αυτής της περιόδου.



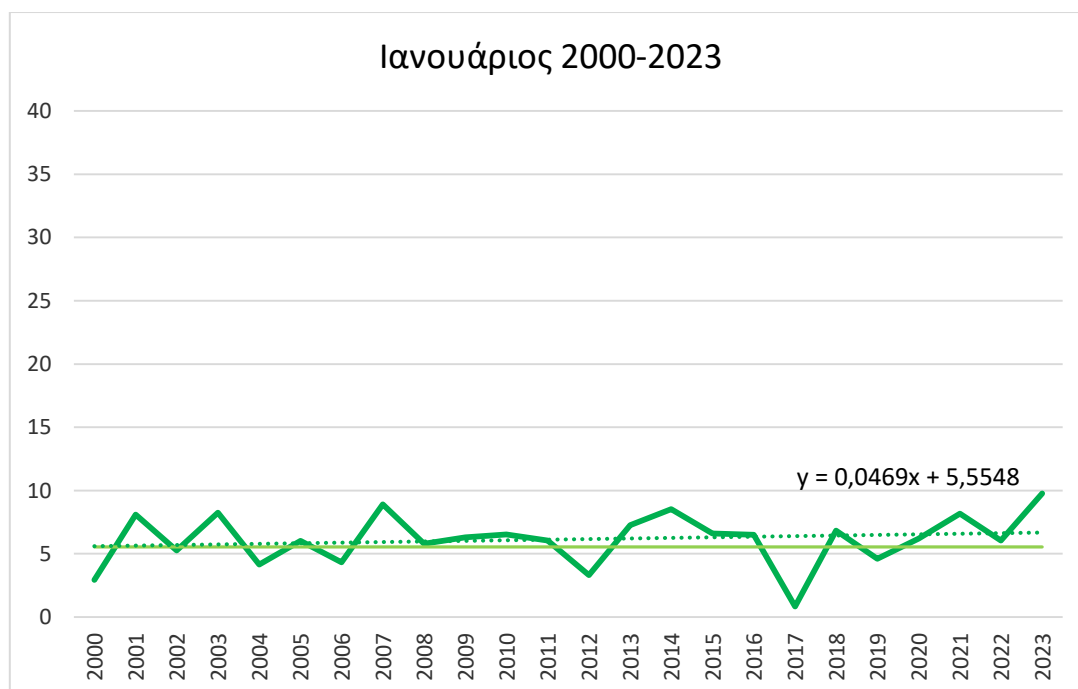
Γράφημα 12. Μέσες ετήσιες τιμές θερμοκρασιών για την περίοδο 1970-2023, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης.

3.4 Διακύμανση μέσων μηνιαίων τιμών θερμοκρασιών για την περίοδο μελέτης, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης

Στα γραφήματα 13 έως 24 παρουσιάζεται η διακύμανση των μέσων μηνιαίων τιμών των θερμοκρασιών του αέρα, για την περίοδο 2000-2023, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης. Στα γραφήματα 18 έως 21, παρουσιάζεται η διακύμανση των μέσων μηνιαίων τιμών θερμοκρασιών των μηνών Ιουνίου, Ιουλίου, Αυγούστου και Σεπτεμβρίου, κατά τους οποίους σημειώνονται επεισόδια καύσωνα, απεικονίζονται, ενδεικτικά, και οι διακυμάνσεις των μέγιστων και των ελάχιστων θερμοκρασιών αντίστοιχα. Από το σύνολο των γραφημάτων συμπεραίνεται ότι ο θερμότερος μήνας της περιόδου ήταν ο δεύτερος μήνας του καλοκαιριού, ο Ιούλιος, και ο ψυχρότερος μήνας της περιόδου ήταν ο δεύτερος μήνας του χειμώνα, ο Ιανουάριος.

Στο γράφημα 13 παρουσιάζεται η διακύμανση της μέσης μηνιαίας τιμής της θερμοκρασίας του Ιανουαρίου για την περίοδο 2000-2023, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης.

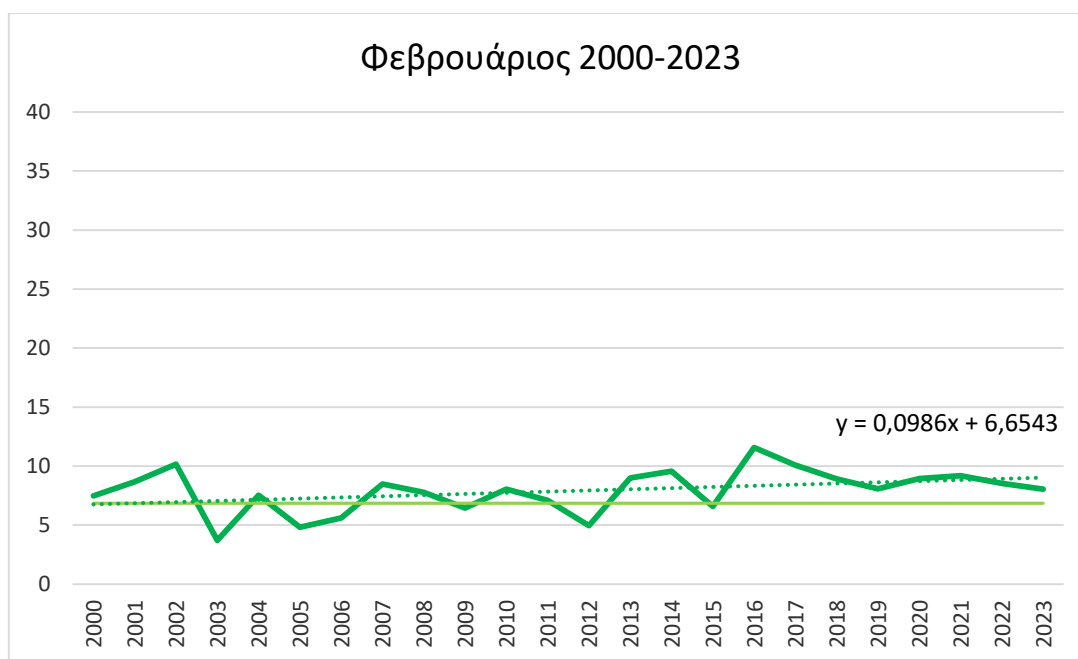
- Από τη γραμμική παρεμβολή (τάση), η οποία επισημαίνεται με διακεκομμένη πράσινη γραμμή, διαπιστώνεται ότι παρατηρήθηκε άνοδος της μέσης θερμοκρασίας Ιανουαρίου την περίοδο 2000-2023.
- Η μέση τιμή της μέσης θερμοκρασίας Ιανουαρίου για την περίοδο μελέτης 2000-2023 κυμάνθηκε μεταξύ 0,8-9,8°C.
- Η υψηλότερη τιμή σημειώθηκε το έτος 2023.
- Η μέση τιμή της μέσης θερμοκρασίας Ιανουαρίου για την περίοδο μελέτης 2000-2023 ήταν 6,1°C έναντι 5,55°C της περιόδου αναφοράς 1970-1999 (+0,55°C), η οποία επισημαίνεται με ανοιχτή πράσινη γραμμή.
- Οι μεταβολές της μέσης θερμοκρασίας Ιανουαρίου ανάμεσα στα έτη της συγκεκριμένης περιόδου δεν ήταν ιδιαίτερα σημαντικές, εκτός από το έτος 2017 που σημειώνεται μια πτώση θερμοκρασίας της τάξης των 5,7°C, ώστε η μέση θερμοκρασία να αγγίζει τους 0,8°C. Επισημαίνεται, ωστόσο, ότι συγκεκριμένα για τον μήνα Ιανουάριο του 2017 απουσίαζαν 10/31 τιμές θερμοκρασίας, οπότε η μέση τιμή του εμφανίζει απόκλιση σε σχέση με τα υπόλοιπα έτη της συγκεκριμένης περιόδου.



Γράφημα 13. Μέσες μηνιαίες τιμές θερμοκρασιών Ιανουαρίου για την περίοδο 2000-2023, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης.

Στο γράφημα 14 παρουσιάζεται η διακύμανση της μέσης μηνιαίας τιμής της θερμοκρασίας του Φεβρουαρίου για την περίοδο 2000-2023.

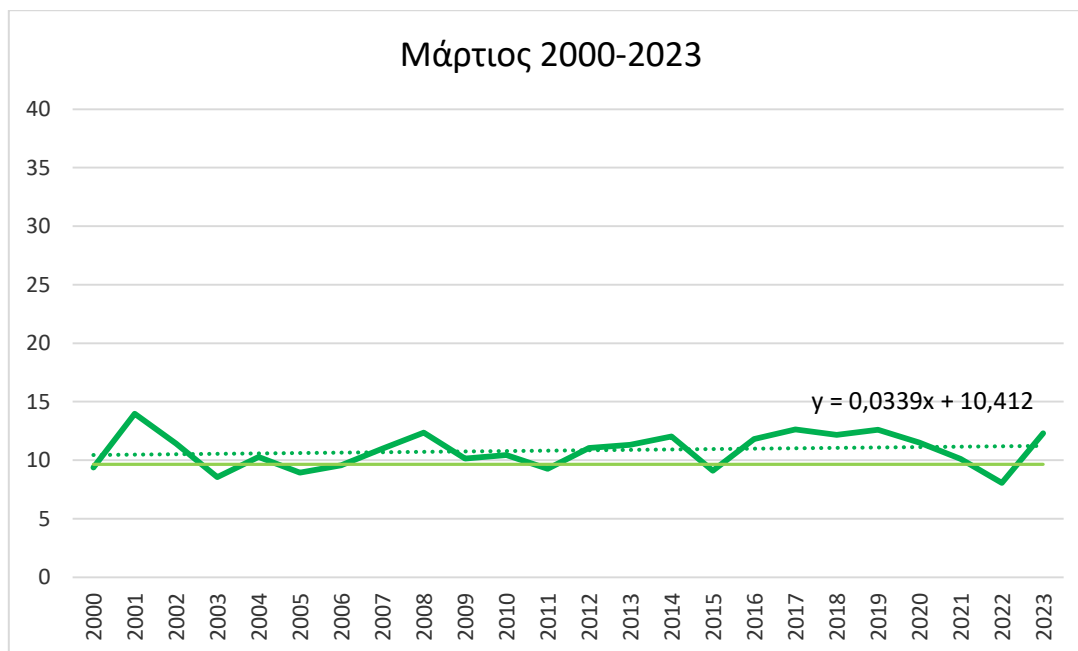
- Από τη γραμμική παρεμβολή (τάση), η οποία επισημαίνεται με διακεκομμένη πράσινη γραμμή, διαπιστώνεται ότι παρατηρήθηκε άνοδος της μέσης θερμοκρασίας Φεβρουαρίου την περίοδο 2000-2023.
- Η μέση τιμή της μέσης θερμοκρασίας Φεβρουαρίου για την περίοδο μελέτης 2000-2023 κυμάνθηκε μεταξύ 3,7-11,6°C.
- Η μέση τιμή της μέσης θερμοκρασίας Φεβρουαρίου για την περίοδο μελέτης 2000-2023 ήταν 7,9°C έναντι 6,85°C της περιόδου αναφοράς 1970-1999 (+1,05°C), η οποία επισημαίνεται με ανοιχτή πράσινη γραμμή.
- Οι μεταβολές της μέσης θερμοκρασίας Φεβρουαρίου ανάμεσα στα έτη της συγκεκριμένης περιόδου δεν ήταν ιδιαίτερα σημαντικές, εκτός από το έτος 2003 που σημειώνεται μια πτώση θερμοκρασίας της τάξης των 6,5°C, ώστε η μέση θερμοκρασία να αγγίζει τους 3,7°C.



Γράφημα 14. Μέσες μηνιαίες τιμές θερμοκρασιών Φεβρουαρίου για την περίοδο 2000-2023, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης.

Στο γράφημα 15 παρουσιάζεται η διακύμανση της μέσης μηνιαίας τιμής της θερμοκρασίας του Μαρτίου για την περίοδο 2000-2023, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης.

- Από τη γραμμική παρεμβολή (τάση), η οποία επισημαίνεται με διακεκομμένη πράσινη γραμμή, διαπιστώνεται ότι παρατηρήθηκε άνοδος της μέσης θερμοκρασίας Μαρτίου την περίοδο 2000-2023.
- Η μέση τιμή της μέσης θερμοκρασίας Μαρτίου για την περίοδο μελέτης 2000-2023 κυμάνθηκε μεταξύ 8,1-14°C.
- Η μέση τιμή της μέσης θερμοκρασίας Μαρτίου για την περίοδο μελέτης 2000-2023 ήταν 10,8°C έναντι 9,6°C της περιόδου αναφοράς 1970-1999 (+1,2°C), η οποία επισημαίνεται με ανοιχτή πράσινη γραμμή.
- Οι μεταβολές της μέσης θερμοκρασίας Μαρτίου ανάμεσα στα έτη της συγκεκριμένης περιόδου δεν ήταν ιδιαίτερα σημαντικές.

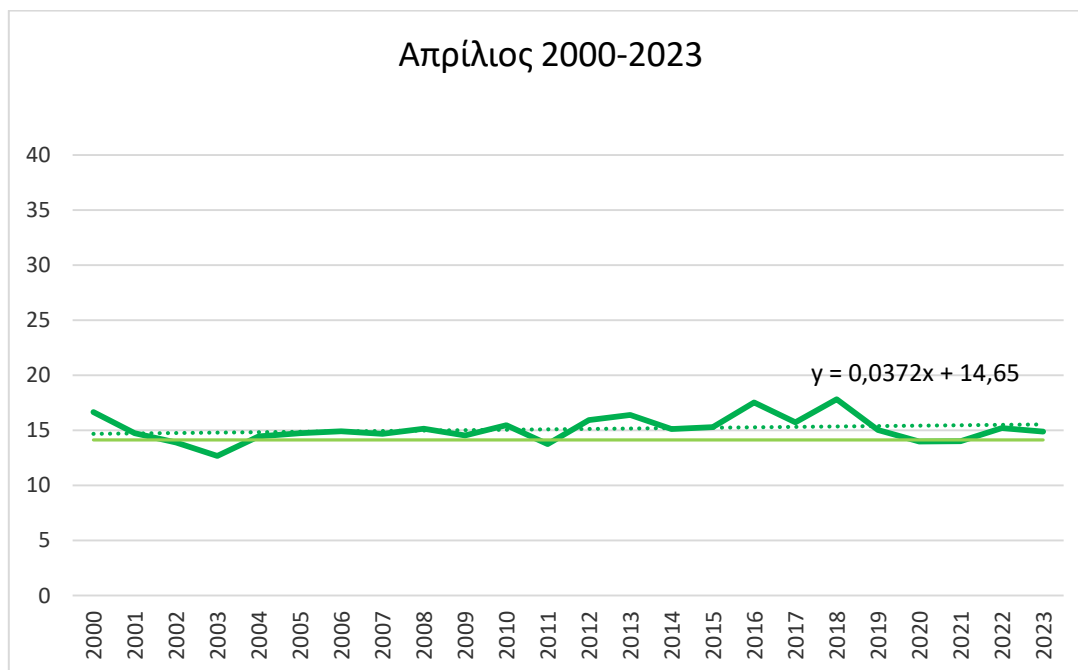


Γράφημα 15. Μέσες μηνιαίες τιμές θερμοκρασιών Μαρτίου για την περίοδο 2000-2023, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης.

Στο γράφημα 16 παρουσιάζεται η διακύμανση της μέσης μηνιαίας τιμής της θερμοκρασίας του Απριλίου για την περίοδο 2000-2023, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης.

- Από τη γραμμική παρεμβολή (τάση), η οποία επισημαίνεται με διακεκομμένη πράσινη γραμμή, διαπιστώνεται ότι παρατηρήθηκε άνοδος της μέσης θερμοκρασίας Απριλίου την περίοδο 2000-2023.
- Η μέση τιμή της μέσης θερμοκρασίας Απριλίου για την περίοδο μελέτης 2000-2023 κυμάνθηκε μεταξύ 12,7-17,8°C.

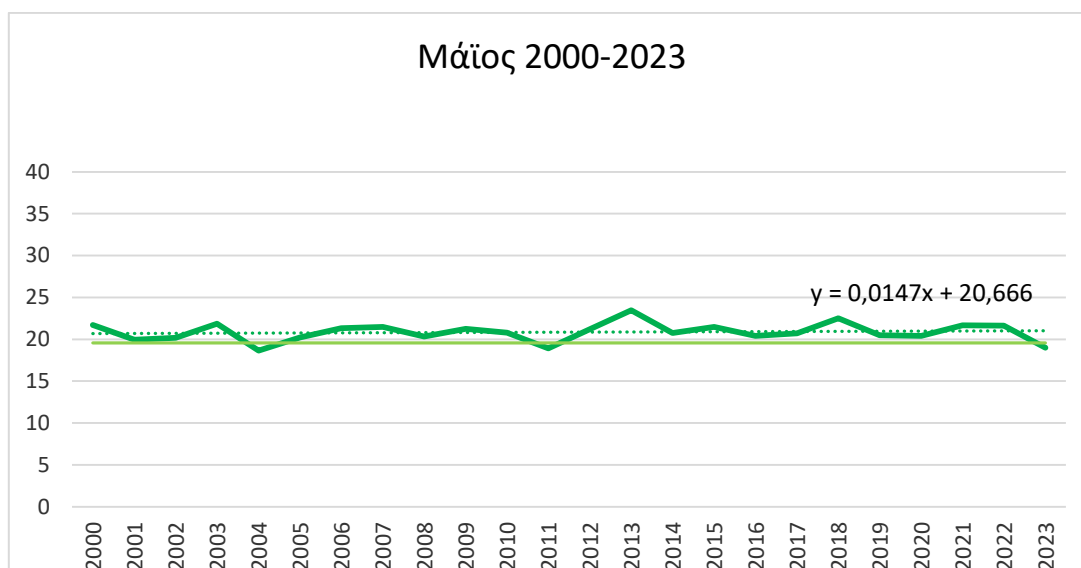
- Η μέση τιμή της μέσης θερμοκρασίας Απριλίου για την περίοδο μελέτης 2000-2023 ήταν 15,1°C έναντι 14,4°C της περιόδου αναφοράς 1970-1999 (+0,7°C), η οποία επισημαίνεται με ανοιχτή πράσινη γραμμή.
- Οι μεταβολές της μέσης θερμοκρασίας Απριλίου ανάμεσα στα έτη της συγκεκριμένης περιόδου δεν ήταν ιδιαίτερα σημαντικές.



Γράφημα 16. Μέσες μηνιαίες τιμές θερμοκρασιών Απριλίου για την περίοδο 2000-2023, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης.

Στο γράφημα 17 παρουσιάζεται η διακύμανση της μέσης μηνιαίας τιμής της θερμοκρασίας του Μαΐου για την περίοδο 2000-2023, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης.

- Από τη γραμμική παρεμβολή (τάση), η οποία επισημαίνεται με διακεκομμένη πράσινη γραμμή, διαπιστώνεται ότι παρατηρήθηκε άνοδος της μέσης θερμοκρασίας Μαΐου την περίοδο 2000-2023.
- Η μέση τιμή της μέσης θερμοκρασίας Μαΐου για την περίοδο μελέτης 2000-2023 κυμάνθηκε μεταξύ 19,55-23,5°C.
- Η μέση τιμή της μέσης θερμοκρασίας Μαΐου για την περίοδο μελέτης 2000-2023 ήταν 20,8°C έναντι 19,55°C της περιόδου αναφοράς 1970-1999 (+1,25°C), η οποία επισημαίνεται με ανοιχτή πράσινη γραμμή.
- Οι μεταβολές της μέσης θερμοκρασίας Μαΐου ανάμεσα στα έτη της συγκεκριμένης περιόδου δεν ήταν ιδιαίτερα σημαντικές.

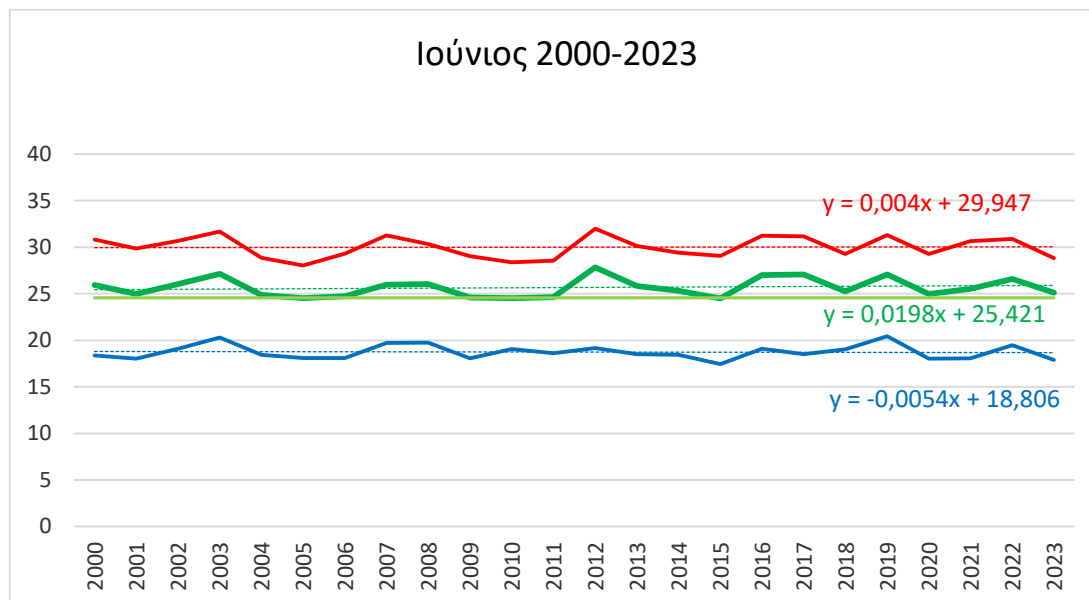


Γράφημα 17. Μέσες μηνιαίες τιμές θερμοκρασιών Μαΐου για την περίοδο 2000-2023, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης.

Στο γράφημα 18 παρουσιάζονται οι διακυμάνσεις της μέγιστης, της μέσης και της ελάχιστης μηνιαίας τιμής της θερμοκρασίας του Ιουνίου για την περίοδο 2000-2023, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης, με κόκκινο, πράσινο και μπλε χρώμα αντίστοιχα.

- Από τις γραμμικές παρεμβολές (τάσεις), οι οποίες επισημαίνονται με διακεκομμένη κόκκινη, πράσινη και μπλε γραμμή αντίστοιχα, διαπιστώνεται ότι παρατηρήθηκε άνοδος της μέγιστης και της μέσης θερμοκρασίας Ιουνίου την περίοδο 2000-2023, ενώ παρατηρήθηκε μια πάρα πολύ μικρή πτώση της ελάχιστης θερμοκρασίας.
- Η μέση τιμή της μέγιστης θερμοκρασίας Ιουνίου για την περίοδο μελέτης 2000-2023 κυμάνθηκε μεταξύ 28,03-31,98°C.
- Η μέση τιμή της μέσης θερμοκρασίας Ιουνίου για την περίοδο μελέτης 2000-2023 κυμάνθηκε μεταξύ 24,5-27,8°C.
- Η μέση τιμή της ελάχιστης θερμοκρασίας Ιουνίου για την περίοδο μελέτης 2000-2023 κυμάνθηκε μεταξύ 17,45-20,43°C.
- Η μέση τιμή της μέσης θερμοκρασίας Ιουνίου για την περίοδο μελέτης 2000-2023 ήταν 25,7°C έναντι 24,55°C της περιόδου αναφοράς 1970-1999 (+1,15°C), η οποία επισημαίνεται με ανοιχτή πράσινη γραμμή.
- Οι μεταβολές της μέγιστης, της μέσης και της ελάχιστης θερμοκρασίας Ιουνίου ανάμεσα στα έτη της συγκεκριμένης περιόδου δεν ήταν ιδιαίτερα σημαντικές. Η

μέση θερμοκρασία Ιουνίου του έτους 2012 ήταν σημαντικά μεγάλη, το οποίο είναι αναμενόμενο δεδομένου ότι το 2012 ήταν το έτος με τους περισσότερους καύσωνες.

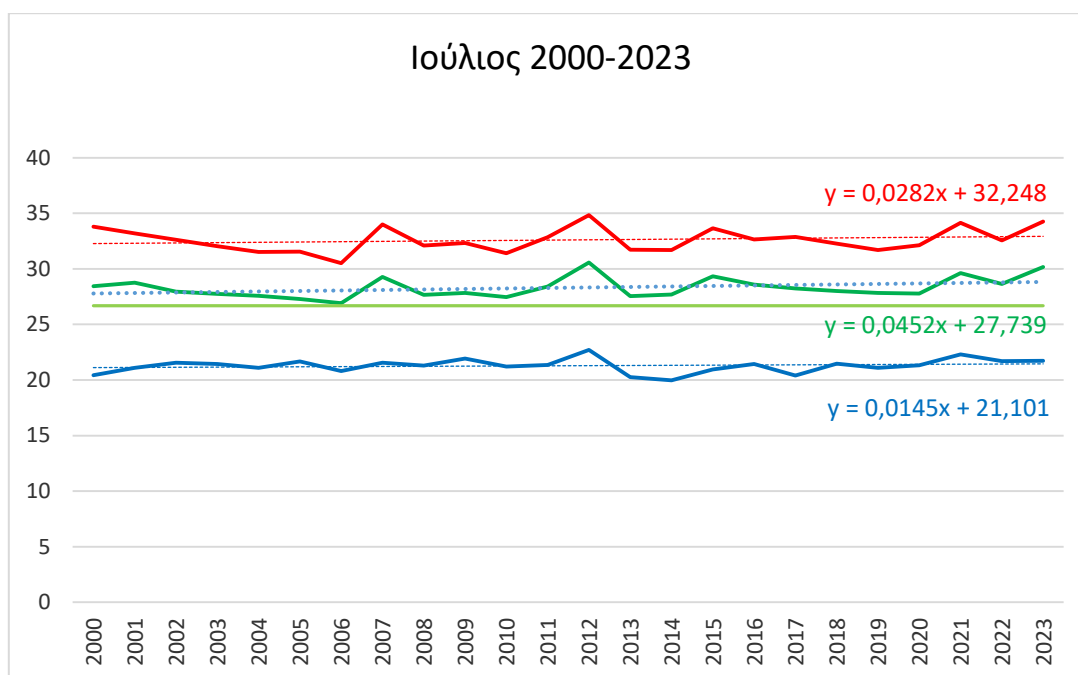


Γράφημα 18. Μέγιστη, μέση και ελάχιστη μηνιαία τιμές της θερμοκρασίας του Ιουνίου για την περίοδο 2000-2023, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης.

Στο γράφημα 19 παρουσιάζονται οι διακυμάνσεις της μέγιστης, της μέσης και της ελάχιστης μηνιαίας τιμής της θερμοκρασίας του Ιουλίου για την περίοδο 2000-2023, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης, με κόκκινο, πράσινο και μπλε χρώμα αντίστοιχα.

- Από τις γραμμικές παρεμβολές (τάσεις), οι οποίες επισημαίνονται με διακεκομμένη κόκκινη, πράσινη και μπλε γραμμή αντίστοιχα, διαπιστώνεται ότι παρατηρήθηκε άνοδος της μέγιστης, της μέσης και της ελάχιστης θερμοκρασίας Ιουλίου την περίοδο 2000-2023.
- Η μέση τιμή της μέγιστης θερμοκρασίας Ιουλίου για την περίοδο μελέτης 2000-2023 κυμάνθηκε μεταξύ 30,5-34,83°C.
- Η μέση τιμή της μέσης θερμοκρασίας Ιουλίου για την περίοδο μελέτης 2000-2023 κυμάνθηκε μεταξύ 26,9-30,6°C.
- Η μέση τιμή της ελάχιστης θερμοκρασίας Ιουλίου για την περίοδο μελέτης 2000-2023 κυμάνθηκε μεταξύ 19,97-22,72°C.

- Η μέση τιμή της μέσης θερμοκρασίας Ιουλίου για την περίοδο μελέτης 2000-2023 ήταν 28,3°C έναντι 26,67°C της περιόδου αναφοράς 1970-1999 (+1,63°C), η οποία επισημαίνεται με ανοιχτή πράσινη γραμμή.
- Οι μεταβολές της μέγιστης, της μέσης και της ελάχιστης θερμοκρασίας Ιουλίου ανάμεσα στα έτη της συγκεκριμένης περιόδου δεν ήταν ιδιαίτερα σημαντικές. Η μέση θερμοκρασία Ιουλίου του έτους 2012 ήταν σημαντικά μεγάλη, το οποίο είναι αναμενόμενο δεδομένου ότι το 2012 ήταν το έτος με τους περισσότερους καύσωνες.



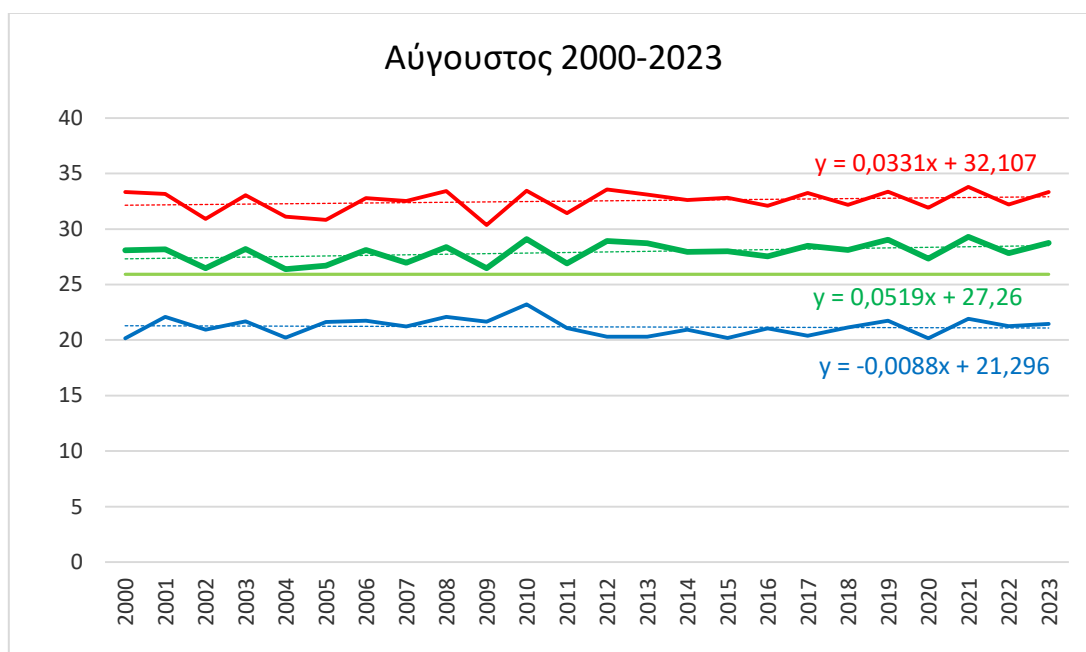
Γράφημα 19. Μέγιστη, μέση και ελάχιστη μηνιαία τιμές της θερμοκρασίας του Ιουλίου για την περίοδο 2000-2023, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης.

Στο γράφημα 20 παρουσιάζονται οι διακυμάνσεις της μέγιστης, της μέσης και της ελάχιστης μηνιαίας τιμής της θερμοκρασίας του Αυγούστου για την περίοδο 2000-2023, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης, με κόκκινο, πράσινο και μπλε χρώμα αντίστοιχα.

- Από τις γραμμικές παρεμβολές (τάσεις), οι οποίες επισημαίνονται με διακεκομμένη κόκκινη, πράσινη και μπλε γραμμή αντίστοιχα, διαπιστώνεται ότι παρατηρήθηκε άνοδος της μέγιστης και της μέσης θερμοκρασίας Αυγούστου την περίοδο 2000-2023, ενώ παρατηρήθηκε μια πάρα πολύ μικρή πτώση της ελάχιστης θερμοκρασίας.

Κράββα Α. Μαρία. «Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης»

- Η μέση τιμή της μέγιστης θερμοκρασίας Αυγούστου για την περίοδο μελέτης 2000-2023 κυμάνθηκε μεταξύ 30,35-33,79°C.
- Η μέση τιμή της μέσης θερμοκρασίας Αυγούστου για την περίοδο μελέτης 2000-2023 κυμάνθηκε μεταξύ 26,4-29,3°C.
- Η μέση τιμή της ελάχιστης θερμοκρασίας Αυγούστου για την περίοδο μελέτης 2000-2023 κυμάνθηκε μεταξύ 20,15-23,21°C.
- Η μέση τιμή της μέσης θερμοκρασίας Αυγούστου για την περίοδο μελέτης 2000-2023 ήταν 27,9°C έναντι 25,93°C της περιόδου αναφοράς 1970-1999 (+1,97°C), η οποία επισημαίνεται με ανοιχτή πράσινη γραμμή.
- Οι μεταβολές της μέγιστης, της μέσης και της ελάχιστης θερμοκρασίας Αυγούστου ανάμεσα στα έτη της συγκεκριμένης περιόδου δεν ήταν ιδιαίτερα σημαντικές.



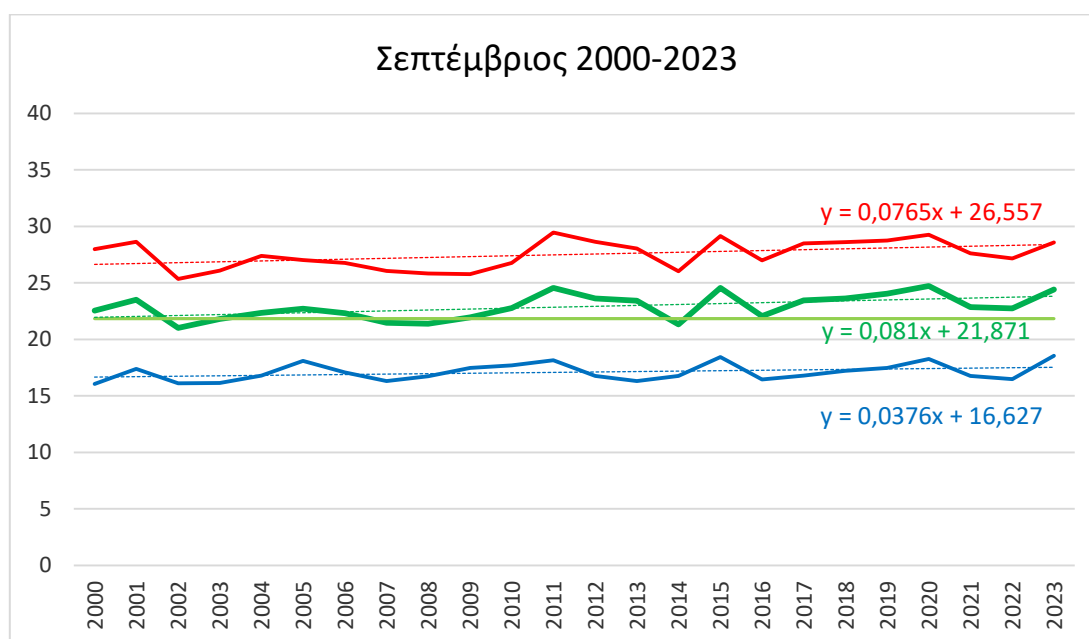
Γράφημα 20. Μέγιστη, μέση και ελάχιστη μηνιαία τιμές της θερμοκρασίας του Αυγούστου για την περίοδο 2000-2023, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης.

Στο γράφημα 21 παρουσιάζονται οι διακυμάνσεις της μέγιστης, της μέσης και της ελάχιστης μηνιαίας τιμής της θερμοκρασίας του Σεπτεμβρίου για την περίοδο 2000-2023, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης, με κόκκινο, πράσινο και μπλε χρώμα αντίστοιχα.

- Από τις γραμμικές παρεμβολές (τάσεις), οι οποίες επισημαίνονται με διακεκομμένη κόκκινη, πράσινη και μπλε γραμμή αντίστοιχα, διαπιστώνεται ότι

παρατηρήθηκε άνοδος της μέγιστης, της μέσης και της ελάχιστης θερμοκρασίας Σεπτεμβρίου την περίοδο 2000-2023.

- Η μέση τιμή της μέγιστης θερμοκρασίας Σεπτεμβρίου για την περίοδο μελέτης 2000-2023 κυμάνθηκε μεταξύ 30,35-33,79°C.
- Η μέση τιμή της μέσης θερμοκρασίας Σεπτεμβρίου για την περίοδο μελέτης 2000-2023 κυμάνθηκε μεταξύ 26,4-29,3°C.
- Η μέση τιμή της ελάχιστης θερμοκρασίας Σεπτεμβρίου για την περίοδο μελέτης 2000-2023 κυμάνθηκε μεταξύ 20,15-23,21°C.
- Η μέση τιμή της μέσης θερμοκρασίας Σεπτεμβρίου για την περίοδο μελέτης 2000-2023 ήταν 22,9°C έναντι 21,83°C της περιόδου αναφοράς 1970-1999 (+1,07°C), η οποία επισημαίνεται με ανοιχτή πράσινη γραμμή.
- Οι μεταβολές της μέγιστης, της μέσης και της ελάχιστης θερμοκρασίας Σεπτεμβρίου ανάμεσα στα έτη της συγκεκριμένης περιόδου δεν ήταν ιδιαίτερα σημαντικές.

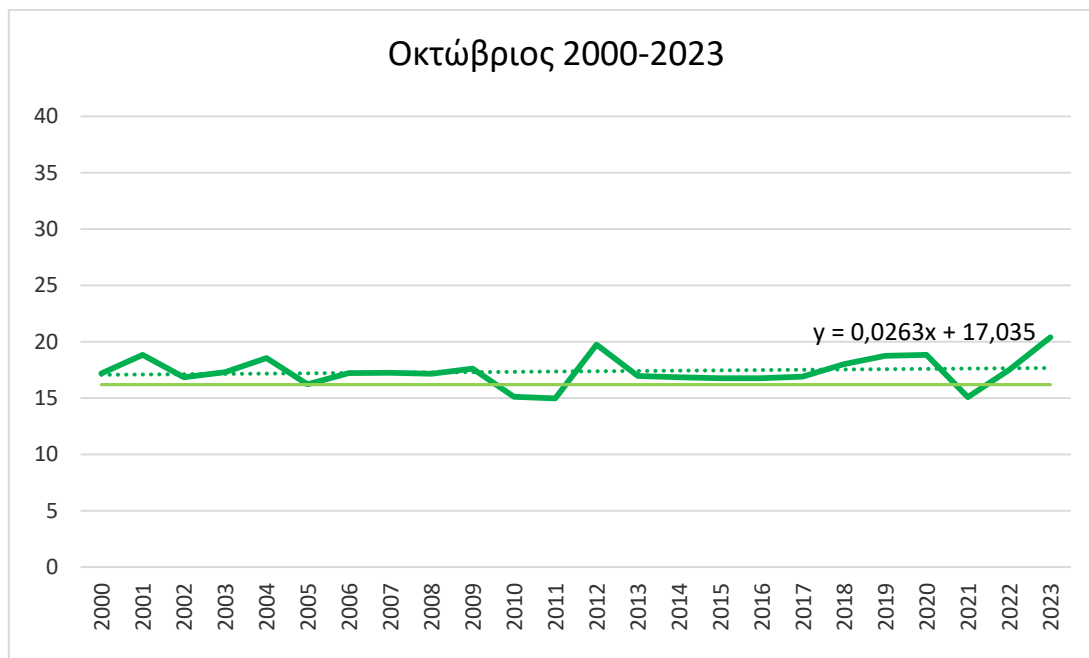


Γράφημα 21. Μέγιστη, μέση και ελάχιστη μηνιαία τιμές της θερμοκρασίας του Σεπτεμβρίου για την περίοδο 2000-2023, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης.

Στο γράφημα 22 παρουσιάζεται η διακύμανση της μέσης μηνιαίας τιμής της θερμοκρασίας του Οκτωβρίου για την περίοδο 2000-2023, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης.

Κράββα Α. Μαρία. «Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης»

- Από τη γραμμική παρεμβολή (τάση), η οποία επισημαίνεται με διακεκομμένη πράσινη γραμμή, διαπιστώνεται ότι παρατηρήθηκε άνοδος της μέσης θερμοκρασίας Οκτωβρίου την περίοδο 2000-2023.
- Η μέση τιμή της μέσης θερμοκρασίας Οκτωβρίου για την περίοδο μελέτης 2000-2023 κυμάνθηκε μεταξύ 15-20,4°C. Η μέγιστη μέση τιμή της μέσης θερμοκρασίας Οκτωβρίου για την περίοδο μελέτης 2000-2023 σημειώθηκε το 2023.
- Η μέση τιμή της μέσης θερμοκρασίας Οκτωβρίου για την περίοδο μελέτης 2000-2023 ήταν 17,4°C έναντι 16,2°C της περιόδου αναφοράς 1970-1999 (+1,2°C), η οποία επισημαίνεται με ανοιχτή πράσινη γραμμή.
- Οι μεταβολές της μέσης θερμοκρασίας Οκτωβρίου ανάμεσα στα έτη της συγκεκριμένης περιόδου δεν ήταν ιδιαίτερα σημαντικές. Η μέση θερμοκρασία Οκτωβρίου του έτους 2012 ήταν σημαντικά μεγάλη, εκτός από το έτος 2012 που σημειώνεται μια άνοδος θερμοκρασίας της τάξης των 4,8°C, το οποίο είναι αναμενόμενο δεδομένου ότι το 2012 ήταν το έτος με τους περισσότερους καύσωνες.

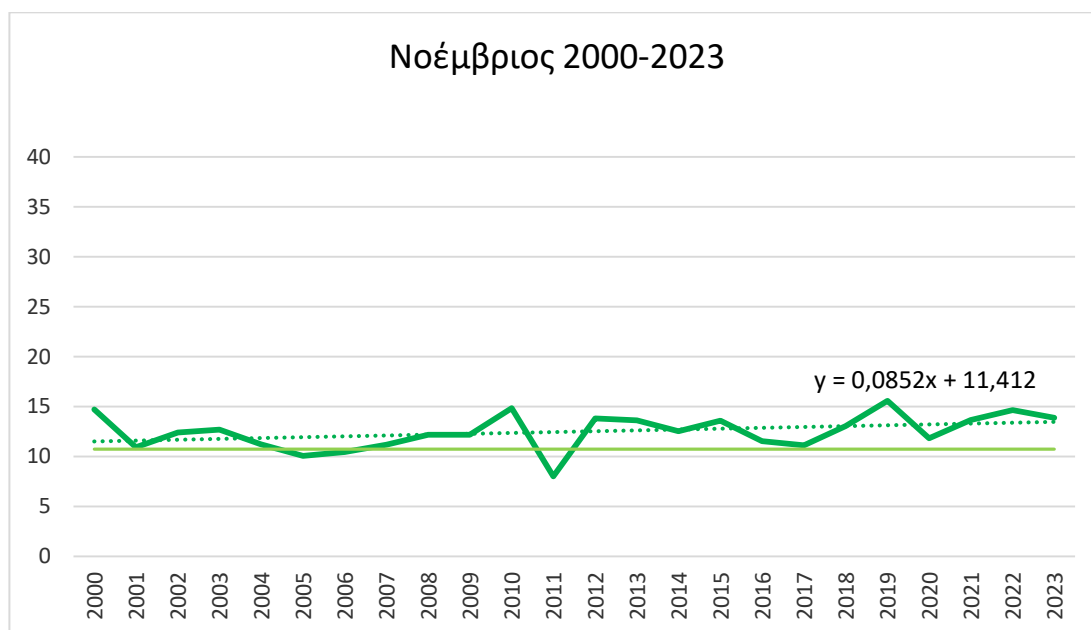


Γράφημα 22. Μέσες μηνιαίες τιμές θερμοκρασιών Οκτωβρίου για την περίοδο 2000-2023, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης.

Κράββα Α. Μαρία. «Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης»

Στο γράφημα 23 παρουσιάζεται η διακύμανση της μέσης μηνιαίας τιμής της θερμοκρασίας του Νοεμβρίου για την περίοδο 2000-2023, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης.

- Από τη γραμμική παρεμβολή (τάση), η οποία επισημαίνεται με διακεκομμένη πράσινη γραμμή, διαπιστώνεται ότι παρατηρήθηκε άνοδος της μέσης θερμοκρασίας Νοεμβρίου την περίοδο 2000-2023.
- Η μέση τιμή της μέσης θερμοκρασίας Νοεμβρίου για την περίοδο μελέτης 2000-2023 κυμάνθηκε μεταξύ 8-15,6°C.
- Η μέση τιμή της μέσης θερμοκρασίας Νοεμβρίου για την περίοδο μελέτης 2000-2023 ήταν 12,5°C έναντι 10,71°C της περιόδου αναφοράς 1970-1999 (+1,79°C), η οποία επισημαίνεται με ανοιχτή πράσινη γραμμή.
- Οι μεταβολές της μέσης θερμοκρασίας Νοεμβρίου ανάμεσα στα έτη της συγκεκριμένης περιόδου δεν ήταν ιδιαίτερα σημαντικές, εκτός από το έτος 2011 που σημειώνεται μια πτώση θερμοκρασίας της τάξης των 6,82°C, ώστε η μέση θερμοκρασία να αγγίζει τους 8°C.

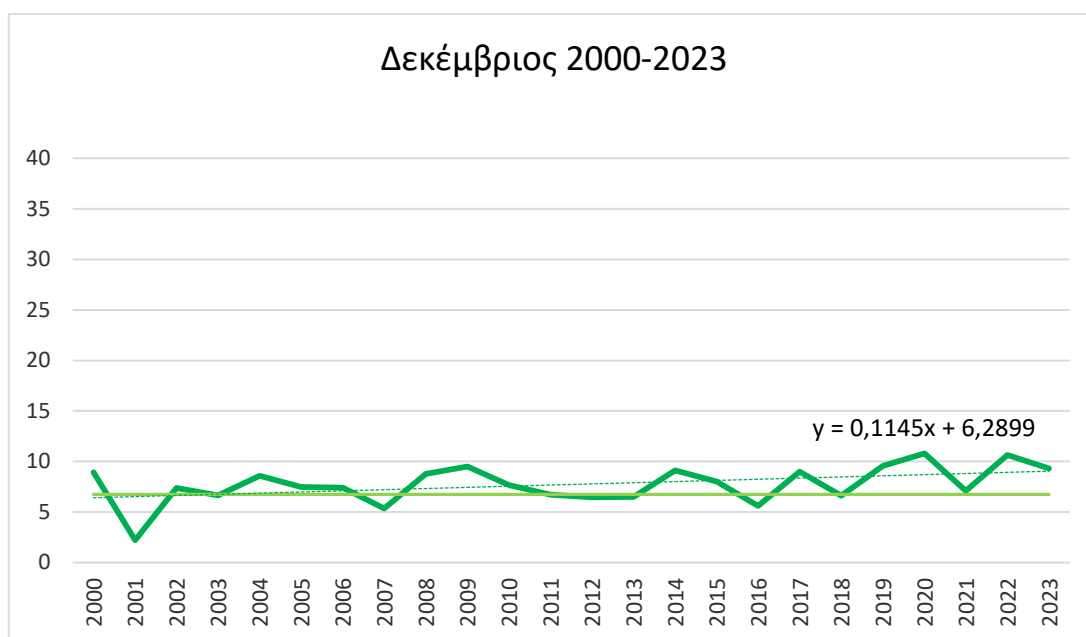


Γράφημα 23. Μέσες μηνιαίες τιμές θερμοκρασιών Νοεμβρίου για την περίοδο 2000-2023, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης.

Στο γράφημα 24 παρουσιάζεται η διακύμανση της μέσης μηνιαίας τιμής της θερμοκρασίας του Δεκεμβρίου για την περίοδο 2000-2023, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης.

Κράββα Α. Μαρία. «Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης»

- Από τη γραμμική παρεμβολή (τάση), η οποία επισημαίνεται με διακεκομμένη πράσινη γραμμή, διαπιστώνεται ότι παρατηρήθηκε άνοδος της μέσης θερμοκρασίας Δεκεμβρίου την περίοδο 2000-2023.
- Η μέση τιμή της μέσης θερμοκρασίας Δεκεμβρίου για την περίοδο μελέτης 2000-2023 κυμάνθηκε μεταξύ 2,2-10,6°C.
- Η μέση τιμή της μέσης θερμοκρασίας Δεκεμβρίου για την περίοδο μελέτης 2000-2023 ήταν 7,7°C έναντι 6,73°C της περιόδου αναφοράς 1970-1999 (+0,97°C), η οποία επισημαίνεται με ανοιχτή πράσινη γραμμή.
- Οι μεταβολές της μέσης θερμοκρασίας Δεκεμβρίου ανάμεσα στα έτη της συγκεκριμένης περιόδου δεν ήταν ιδιαίτερα σημαντικές, εκτός από το έτος 2001 που σημειώνεται μια πτώση θερμοκρασίας της τάξης των 6,7°C, ώστε η μέση θερμοκρασία το έτος 2002 να αγγίξει τους 2,2°C.



Γράφημα 24. Μέσες μηνιαίες τιμές θερμοκρασιών Δεκεμβρίου για την περίοδο 2000-2023, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης.

3.4 Εποχικές κατανομές θερμοκρασιών για την περίοδο μελέτης, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης.

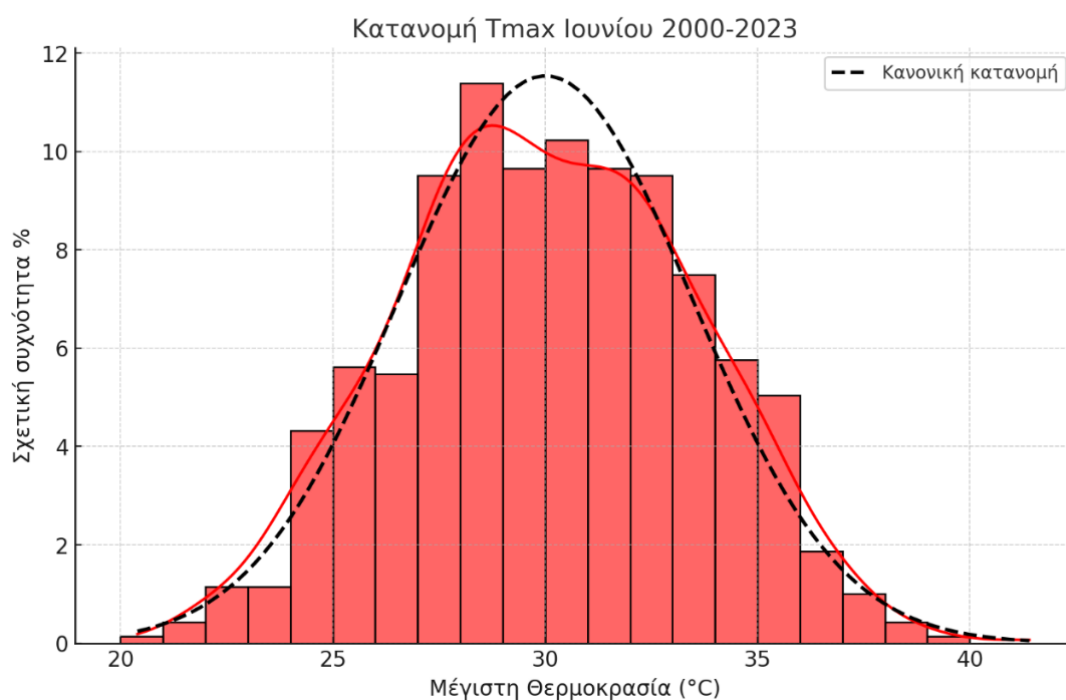
Στα γραφήματα 25, 26 και 27 παρουσιάζεται η συχνότητα εμφάνισης κλάσεων των μέγιστων ημερήσιων θερμοκρασιών, T_{max}, των τριών θερινών μηνών (Ιούνιος, Ιούλιος, Αύγουστος) για την περίοδο 2000-2023, στην ευρύτερη περιοχή της

Κράββα Α. Μαρία. «Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης»

Θεσσαλονίκης. Ο οριζόντιος άξονας περιέχει τις κλάσεις εύρους θερμοκρασίας ενός βαθμού Κελσίου, 1°C , ενώ στον κατακόρυφο άξονα εμφανίζονται τα ποσοστά (επί της εκατό) των συχνοτήτων εμφάνισης. Επιπλέον, στα παρακάτω ιστογράμματα παρουσιάζεται η καμπύλη της Κανονικής (Γκαουσιανής) κατανομής με διακεκομμένη μαύρη γραμμή, καθώς και η Kernel Density Estimation (KDE) καμπύλη με κόκκινο χρώμα. Για το θερινό τρίμηνο προκύπτει:

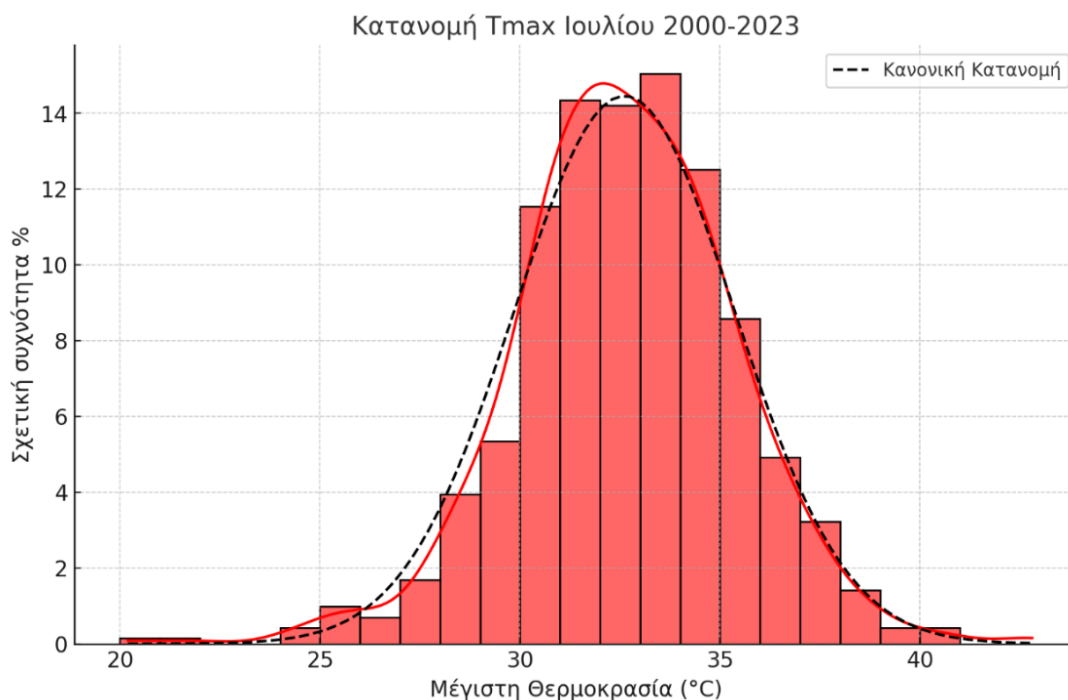
Στο καλοκαιρινό τρίμηνο, οι κλάσεις των μέγιστων θερμοκρασιών κυμάνθηκαν μεταξύ $20\text{-}43^{\circ}\text{C}$. Συγκεκριμένα,

- τον Ιούνιο οι μέγιστες ημερήσιες θερμοκρασίες κυμάνθηκαν μεταξύ $20\text{-}42^{\circ}\text{C}$, με τις συχνότερες κλάσεις να κυμαίνονται μεταξύ $27\text{-}33^{\circ}\text{C}$ σε ποσοστό συνολικά μέχρι 59,86%. Η συχνότερη κλάση ήταν αυτή των $28\text{-}29^{\circ}\text{C}$ με ποσοστό εμφάνισης 11,37%.



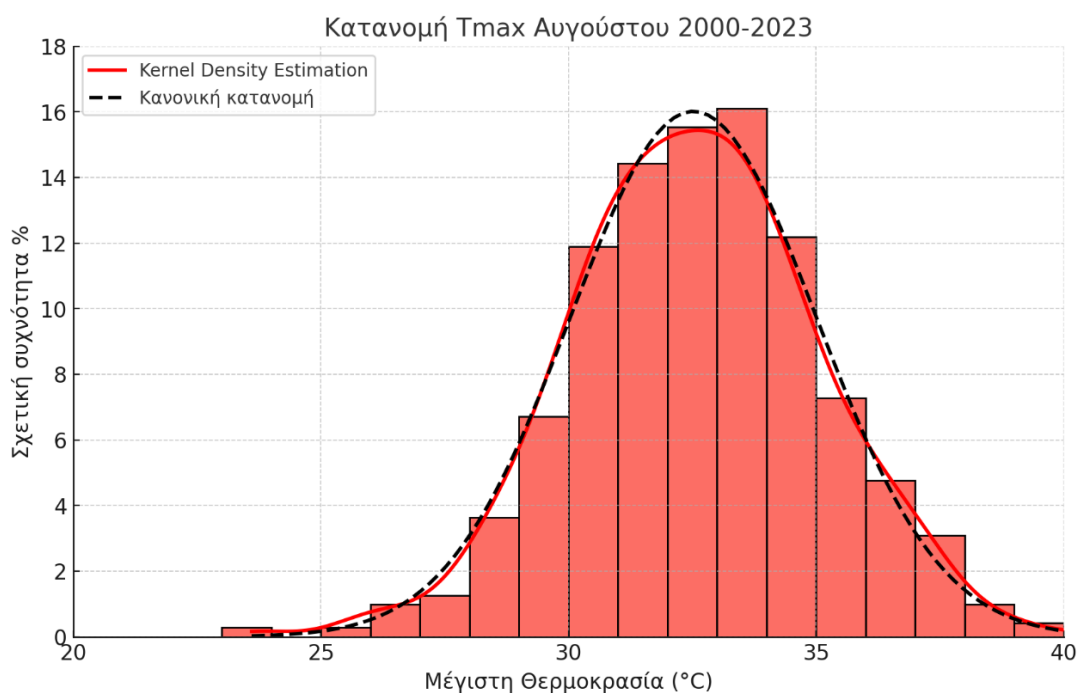
Γράφημα 25. Κατανομή μέγιστων ημερήσιων θερμοκρασιών, Tmax, Ιουνίου για την περίοδο 2000-2023, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης.

- Τον Ιούλιο οι μέγιστες ημερήσιες θερμοκρασίες κυμάνθηκαν μεταξύ $20\text{-}43^{\circ}\text{C}$, με τις συχνότερες κλάσεις να κυμαίνονται μεταξύ $30\text{-}35^{\circ}\text{C}$ σε ποσοστό συνολικά μέχρι 67,46%. Η συχνότερη κλάση ήταν αυτή των $33\text{-}34^{\circ}\text{C}$ με ποσοστό εμφάνισης 15,01%.



Γράφημα 26. Κατανομή μέγιστων ημερήσιων θερμοκρασιών, T_{max}, Ιουλίου για την περίοδο 2000-2023, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης.

- τον Αύγουστο οι μέγιστες ημερήσιες θερμοκρασίες κυμάνθηκαν μεταξύ 23-40°C, με τις συχνότερες κλάσεις να κυμαίνονται μεταξύ 30-35°C σε ποσοστό συνολικά μέχρι 70,17%. Η συχνότερη κλάση ήταν αυτή των 33-34°C με ποσοστό εμφάνισης 16,11%.



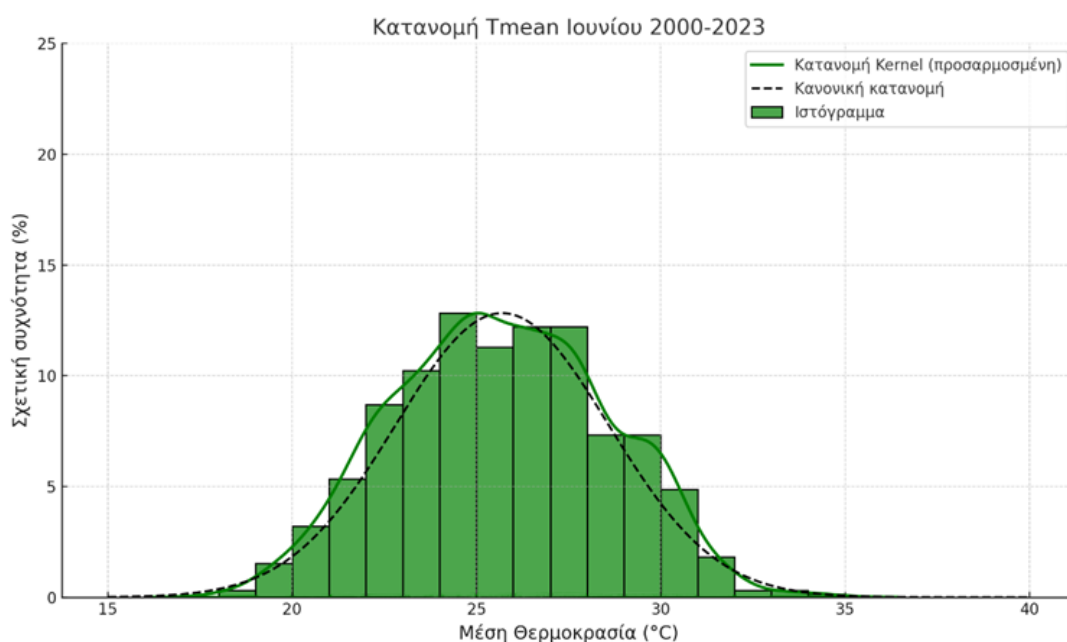
Γράφημα 27. Κατανομή μέγιστων ημερήσιων θερμοκρασιών, T_{max}, Αυγούστου για την περίοδο 2000-2023, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης.

- Οι κλάσεις με θερμοκρασία τους $33,65^{\circ}\text{C}$ και άνω, που θεωρείται σαν αρχή ενός επεισοδίου καύσωνα, εμφανίστηκαν με ποσοστό συνολικά 21,87% τον Ιούνιο, 46,7% τον Ιούλιο και 44,96% τον Αύγουστο.

Στα γραφήματα 28, 29 και 30 παρουσιάζεται η συχνότητα εμφάνισης κλάσεων των μέσων ημερήσιων θερμοκρασιών, T_{mean} , των τριών θερινών μηνών (Ιούνιος, Ιούλιος, Αύγουστος) για την περίοδο 2000-2023, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης. Ο οριζόντιος άξονας περιέχει τις κλάσεις εύρους θερμοκρασίας ενός βαθμού Κελσίου, 1°C , ενώ στον κατακόρυφο άξονα εμφανίζονται τα ποσοστά (επί της εκατό) των συχνοτήτων εμφάνισης. Επιπλέον, στα παρακάτω ιστογράμματα παρουσιάζεται η καμπύλη της Κανονικής (Γκαουσιανής) κατανομής με διακεκομμένη μαύρη γραμμή, καθώς και η Kernel Density Estimation (KDE) καμπύλη με πράσινο χρώμα. Για το θερινό τρίμηνο προκύπτει:

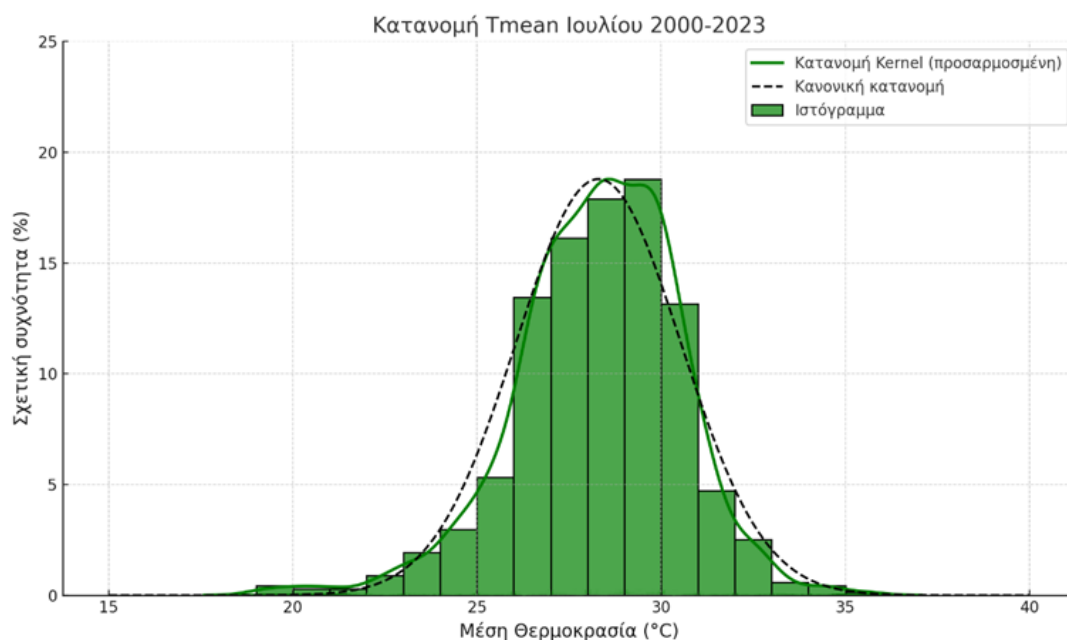
Στο καλοκαιρινό τρίμηνο, οι κλάσεις των μέσων θερμοκρασιών κυμάνθηκαν μεταξύ $17-36^{\circ}\text{C}$. Συγκεκριμένα:

- τον Ιούνιο οι μέσες ημερήσιες θερμοκρασίες κυμάνθηκαν μεταξύ $18-35^{\circ}\text{C}$, με τις συχνότερες κλάσεις να κυμαίνονται μεταξύ $23-28^{\circ}\text{C}$ σε ποσοστό συνολικά μέχρι 58,78%. Η συχνότερη κλάση ήταν αυτή των $24-25^{\circ}\text{C}$ με ποσοστό εμφάνισης 12,82%.



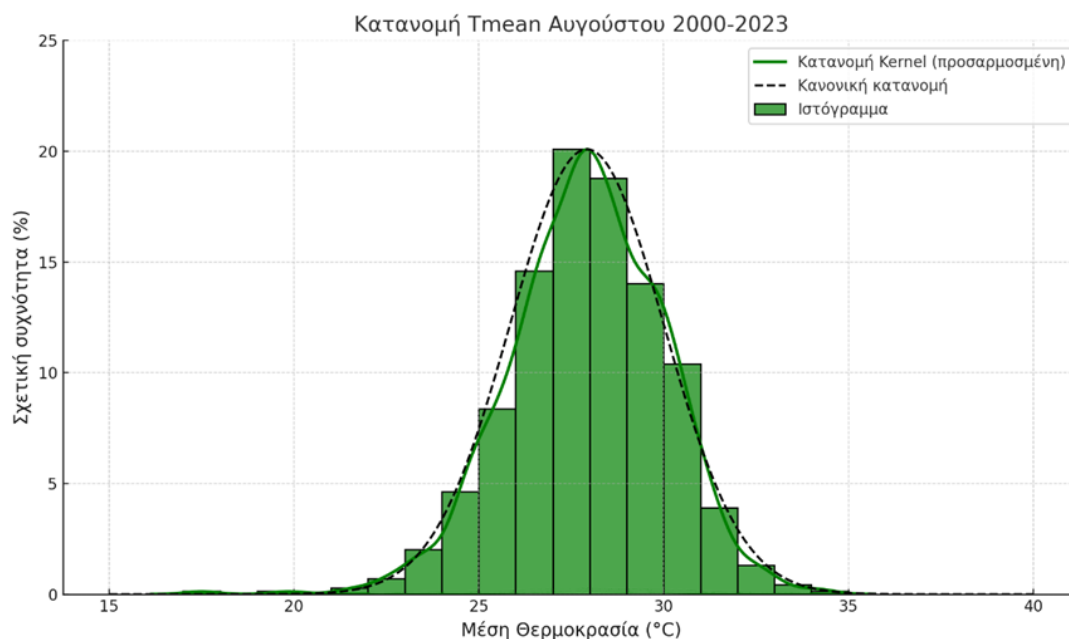
Γράφημα 28. Κατανομή μέσων ημερήσιων θερμοκρασιών, T_{mean} , Ιουνίου για την περίοδο 2000-2023, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης.

- Τον Ιούλιο οι μέσες ημερήσιες θερμοκρασίες κυμάνθηκαν μεταξύ 19-36°C, με τις συχνότερες κλάσεις να κυμαίνονται μεταξύ 26-31°C και σε μεγαλύτερο ποσοστό σε σχέση με τον Ιούνιο, ώστε συνολικά να φτάνουν μέχρι την τιμή 79,44%. Η συχνότερη κλάση ήταν αυτή των 29-30°C με ποσοστό εμφάνισης 18,79%.



Γράφημα 29. Κατανομή μέσων ημερήσιων θερμοκρασιών, Tmean, Ιουλίου για την περίοδο 2000-2023, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης.

- τον Αύγουστο οι μέσες ημερήσιες θερμοκρασίες κυμάνθηκαν μεταξύ 17-35°C, με τις συχνότερες κλάσεις να κυμαίνονται μεταξύ 26-31°C και σε επίσης πολύ μεγαλύτερο ποσοστό σε σχέση με τον Ιούνιο, ώστε συνολικά να φτάνουν μέχρι την τιμή 77,89%. Η συχνότερη κλάση ήταν αυτή των 27-28°C με ποσοστό εμφάνισης 20,09%.



Γράφημα 30. Κατανομή μέσων ημερήσιων θερμοκρασιών, Tmean, Αυγούστου για την περίοδο 2000-2023, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης.

Συζήτηση - Προτάσεις

Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής εντάθηκαν τα τελευταία χρόνια, καθώς πολλοί δείκτες, όπως η άνοδος της στάθμης της θάλασσας και η παγκόσμια θερμοκρασία της επιφάνειας, ξεπέρασαν τα προηγούμενα ρεκόρ. Οι παγκόσμιες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, που οδηγούν στην κλιματική αλλαγή, συνέχισαν να αυξάνονται. Ακραία καιρικά φαινόμενα και άλλα γεγονότα που επηρεάζονται από την κλιματική αλλαγή -πλημμύρες, τροπικοί κυκλώνες, καύσωνες, ξηρασία και πυρκαγιές- επηρέασαν κάθε ήπειρο. Η μακροπρόθεσμη πρόβλεψη που αφορά στις προσπάθειες του πλανήτη να αντιμετωπίσει την κλιματική αλλαγή παραμένει απαισιόδοξη, καθώς οι περισσότερες κυβερνήσεις αποτυγχάνουν να υιοθετήσουν τα αναγκαία χρηματοδοτικά και πολιτικά μέτρα για να σταματήσουν την παγκόσμια θέρμανση. Η ανάπτυξη της ηλιακής και αιολικής ενέργειας έχει εντυπωσιακά αποτελέσματα, ωστόσο παραμένει ανεπαρκής για να σταθεροποιήσει το κλίμα. Βάσει των πρόσφατων εκλογικών εκστρατειών, η κλιματική αλλαγή θεωρείται χαμηλής προτεραιότητας στις Ηνωμένες Πολιτείες, αλλά και σε πολλές άλλες χώρες.

Δεδομένου ότι το καλοκαίρι του 2024 ήταν το θερμότερο που έχει καταγραφεί, ο αριθμός των επεισοδίων καύσωνα αναμένεται να αυξηθεί πολύ περισσότερο. Το έτος 2025 αναμένεται να είναι ένα από τα τρία θερμότερα έτη που έχουν καταγραφεί στον πλανήτη, σύμφωνα με τη βρετανική μετεωρολογική υπηρεσία, παρά το τέλος

Κράββα Α. Μαρία. «Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης»

του φυσικού φαινομένου Ελ Νίνιο και το γεγονός ότι (η περιοχή του) τροπικού Ειρηνικού οδεύει προς μια φάση Λα Νίνια.

Σε κάθε περίπτωση, η υπέρβαση του ορίου των 1,5°C για μία ή δύο χρονιές δε σημαίνει ότι έχει παραβιαστεί η Συμφωνία του Παρισιού, ωστόσο τα ευρήματα επιβεβαιώνουν την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στις θερμοκρασιακές μεταβολές σε παγκόσμιο και τοπικό επίπεδο και αναδεικνύεται η ανάγκη για άμεσες παρεμβάσεις και δράσεις αντιμετώπισης της κλιματικής κρίσης. Με τον σημερινό ρυθμό θέρμανσης που ξεπερνά τους 0,2°C ανά δεκαετία, είναι πολύ πιθανό να υπερβεί το όριο των 1,5°C μέσα στη δεκαετία του 2030.

Η περαιτέρω έρευνα και η καλύτερη κατανόηση των παρατηρούμενων μακροπρόθεσμων τάσεων των επεισοδίων καυσώνων, καθώς και των θερμοκρασιακών μεταβολών στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης, θα δείξει με μεγαλύτερη έμφαση τις επιδράσεις της κλιματικής αλλαγής, γεγονός που είναι κρίσιμο για την αξιολόγηση των μελλοντικών τάσεων, αλλά και των μέτρων που πρέπει να ληφθούν για τον περιορισμό του φαινομένου. Σ' αυτή την κατεύθυνση, η χρήση τεχνητής νοημοσύνης για την πρόγνωση και την προσαρμογή στις κλιματικές αλλαγές αναμένεται να ενισχυθεί, βοηθώντας στην καλύτερη κατανόηση και διαχείριση των επιπτώσεων. Το μέγεθος των επιπτώσεων των επεισοδίων καύσωνα, και κατ' επέκταση της κλιματικής αλλαγής θα καθοριστεί τελικά από έναν συνδυασμό κοινωνικών και πολιτιστικών παραγόντων, που διαμορφώνουν την ευπάθεια του πληθυσμού. Η κατανόηση των σχετικών επιπτώσεων θα διευκολύνουν την ετοιμότητα των συστημάτων προειδοποίησης σε θερμότερο κλίμα, μαζί με την ανάπτυξη στρατηγικών και σχεδίων προσαρμογής για την ελαχιστοποίηση των καταστροφικών συνεπειών ακραίων γεγονότων. Συνεπώς, τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας θα μπορούσαν να είναι χρήσιμα για την καλύτερη αξιολόγηση των μελλοντικών τάσεων και να λειτουργήσουν ως ένα επιπλέον διαχειριστικό εργαλείο προς την κατεύθυνση ανάληψης μέτρων για την αντιμετώπιση των προκλήσεων που σχετίζονται με τη συνεχή αύξηση του αριθμού των καυσώνων στην πόλη της Θεσσαλονίκης.

Ωστόσο, απαιτείται καλύτερος συντονισμός μεταξύ των υπευθύνων λήψης αποφάσεων και της επιστημονικής κοινότητας, προκειμένου το χάσμα μεταξύ της ανάγκης για πιο αξιόπιστες λύσεις για την αντιμετώπιση των προκλήσεων της κλιματικής αλλαγής και της άμεσης παροχής αυτών των δεδομένων από την

Κράββα Α. Μαρία. «Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης»

επιστημονική κοινότητα να μικρύνει, ώστε να ευθυγραμμιστεί η ταχύτητα της επιστημονικής έρευνας με τον επείγοντα χαρακτήρα της διαδικασίας λήψης αποφάσεων.

Το μεγαλύτερο μέρος των πιθανών ζημιών λόγω της κλιματικής αλλαγής θα επιβαρύνει τις μελλοντικές γενεές, ενώ το κόστος για την ανάληψη δράσης πρέπει να το επωμιστούν οι παρούσες γενεές. Οι πολιτικοί υπεύθυνοι οφείλουν να σταθμίσουν τα αποτελέσματα της ανάλυσης κόστους-οφέλους και να λάβουν εγκαίρως αποφάσεις προς όφελος της ανθρωπότητας.

Συμπεράσματα

Η παρούσα ΜΔΕ έχει στόχο την κατανόηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στο ατμοσφαιρικό περιβάλλον μιας από τις μεγαλύτερες ελληνικές πόλεις, αυτής της Θεσσαλονίκης. Έτσι, σ' αυτή τη διπλωματική εργασία έγινε προσπάθεια διερεύνησης του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής και της συσχέτισής του με επεισόδια καύσωνα και, κατ' επέκταση, με θερμοκρασιακές μεταβολές στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης, τόσο της περιόδου αναφοράς, 1970-1999, όσο και της περιόδου μελέτης, 2000-2023.

Για τον λόγο αυτό έγινε στατιστική επεξεργασία και αξιολόγηση των διαθέσιμων ημερήσιων μετρήσεων της θερμοκρασίας του αέρα (T_{max} , T_{mean} και T_{min}), κατά την περίοδο 1970-2023, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης. Οι μετρήσεις που χρησιμοποιήθηκαν προέρχονται από τον περιστατικό Μετεωρολογικό Σταθμό Επιφανείας-Ανώτερης Ατμοσφαιράς, του Περιφερειακού Κέντρου Μακεδονίας, που λειτουργεί υπό την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία. Ο σταθμός είναι τοποθετημένος στον Κρατικό Αερολιμένα Θεσσαλονίκης "Μακεδονία" και βρίσκεται περίπου 15 χιλιόμετρα από το κέντρο της πόλης.

Για τον ορισμό ενός επεισοδίου καύσωνα χρησιμοποιήθηκε ο ορισμός του Παγκόσμιου Μετεωρολογικού Οργανισμού (WMO), ο οποίος περιγράφει ακραία γεγονότα καύσωνα (Frich et al. 2002), σύμφωνα με τον οποίο ως επεισόδιο καύσωνα ορίστηκε η περίοδος διάρκειας άνω των πέντε συνεχόμενων ημερών, κατά την οποία η μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία υπερέβη κατά τουλάχιστον 5°C το μέσο όρο της μέγιστης θερμοκρασίας του αέρα, T_{max} (που υπολογίστηκε ίση με $28,65^{\circ}\text{C}$) των παρατηρήσεων του σταθμού "Μακεδονία" της ΕΜΥ, για την περίοδο Μαΐου-

Κράββα Α. Μαρία. «Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης»

Σεπτεμβρίου, όπως έχει καταγραφεί κατά την περίοδο αναφοράς (1970-2000), η οποία έτσι υπολογίστηκε ίση με 33,65°C.

Τα κύρια συμπεράσματα της ανάλυσης έδειξαν:

- ✓ Την περίοδο μελέτης 2000-2023, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης, σημειώθηκαν 48 επεισόδια καύσωνα, υπερδιπλάσια σε σχέση με τα 23 επεισόδια καύσωνα της περιόδου αναφοράς 1970-1999. Επίσης, πρέπει να επισημανθεί ότι η περίοδος μελέτης ήταν διάρκειας 24 ετών, δηλαδή μικρότερη κατά 6 έτη, σε σχέση με την περίοδο αναφοράς, που ήταν διάρκειας 30 ετών.
- ✓ Η διακύμανση επεισοδίων καύσωνα ανά έτος, επίσης αυξήθηκε σημαντικά την περίοδο μελέτης 2000-2023 (0-6 ανά έτος), σε σχέση με την περίοδο αναφοράς 1970-1999 (0-3 ανά έτος). Ακόμη, τα έτη που δε σημειώθηκε κανένα επεισόδιο καύσωνα ήταν πολύ περισσότερα την περίοδο αναφοράς (14/30), έναντι της περιόδου μελέτης (4/24).
- ✓ Οι μέγιστες θερμοκρασίες (T_{max}) επεισοδίων καύσωνα, την περίοδο μελέτης (2000-2023), κυμάνθηκαν μεταξύ 35,6°C-42,8°C, ενώ οι μεγαλύτερες τιμές μέγιστων θερμοκρασιών επεισοδίων καύσωνα σημειώθηκαν τα έτη 2000 (42,6°C) και 2007 (42,8°C). Επίσης, οι μέσες θερμοκρασίες (T_{mean}) επεισοδίων καύσωνα κυμάνθηκαν μεταξύ 29,31°C-32,98°C.
- ✓ Οι μέσες θερμοκρασίες (T_{mean}) και οι μέγιστες θερμοκρασίες (T_{max}) των επεισοδίων καύσωνα της περιόδου μελέτης (2000-2023) ήταν λίγο μεγαλύτερες σε σχέση με την περίοδο αναφοράς (1970-1999).
- ✓ Τα έτη με τα περισσότερα επεισόδια καύσωνα ήταν το 2012 και το 2017.
- ✓ Η διάρκεια επεισοδίων καύσωνα κατά την περίοδο μελέτης (2000-2023) έχει μεγαλώσει αισθητά σε σχέση με την περίοδο αναφοράς. Μέχρι το 2000 η διάρκεια των επεισοδίων καύσωνα συνήθως δεν ξεπερνούσε τις 10 ημέρες. Μετά το 2001 παρατηρήθηκε μια σημαντική αύξηση στη διάρκεια των επεισοδίων καύσωνα, που πολλές φορές ήταν μεταξύ των 10-15 ημερών και η οποία κορυφώθηκε το 2023, κατά το οποίο καταγράφηκε καύσωνας διάρκειας 15 ημερών.
- ✓ Τα περισσότερα επεισόδια καύσωνα την περίοδο μελέτης (2000-2023) σημειώθηκαν τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο. Συγκεκριμένα, σημειώθηκαν 8 επεισόδια καύσωνα τον Ιούνιο, 19 επεισόδια τον Ιούλιο, 20 επεισόδια τον Αύγουστο και ένα επεισόδιο το Σεπτέμβριο.

Κράββα Α. Μαρία. «Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης»

- ✓ Παρατηρήθηκε άνοδος των μέσων ετήσιων θερμοκρασιών του αέρα την περίοδο μελέτης (2000-2023). Η μέση τιμή της ετήσιας θερμοκρασίας του αέρα, την περίοδο μελέτης (2000-2023) κυμάνθηκε μεταξύ 15,8-18,0°C, ενώ η μέση τιμή της υπολογίστηκε ίση με 16,9°C, έναντι 15,7°C της περιόδου αναφοράς (1970-1999). Επομένως, η διαφορά μεταξύ των δυο περιόδων ήταν της τάξης των 1,2°C.
- ✓ Οι μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες όλων των μηνών για την περίοδο μελέτης (2000-2023) ήταν μεγαλύτερες σε σχέση με τους αντίστοιχους της περιόδου αναφοράς (1970-1999). Τη μεγαλύτερη αύξηση σημείωσε ο μήνας Αύγουστος (+1,97°C).
- ✓ Από τη συχνότητα εμφάνισης των κλάσεων των μέγιστων ημερήσιων θερμοκρασιών (Tmax) των τριών θερινών μηνών, κατά τους οποίους εμφανίζονται τα επεισόδια καύσωνα, για την περίοδο μελέτης (2000-2023), προέκυψε ότι η συχνότερη κλάση ήταν αυτή των 28-29°C με ποσοστό εμφάνισης 11,37% τον Ιούνιο, των 33-34°C με ποσοστό εμφάνισης 15,01% τον Ιούλιο και των 33-34°C με ποσοστό εμφάνισης 16,11% τον Αύγουστο.
- ✓ Οι κλάσεις των μέγιστων ημερήσιων θερμοκρασιών (Tmax) με θερμοκρασία τους 33,65°C και άνω, που θεωρείται σαν αρχή ενός επεισοδίου καύσωνα, εμφανίστηκαν με ποσοστό συνολικά 21,87% τον Ιούνιο, 46,7% τον Ιούλιο και 44,96% τον Αύγουστο.
- ✓ Απ' όλα τα παραπάνω προκύπτει ότι υπάρχει μια σαφής άνοδος της θερμοκρασίας του αέρα κατά την περίοδο μελέτης (2000-2023), αλλά και κατά την περίοδο αναφοράς (1970-1999), στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης. Τα συμπεράσματα αυτά συμφωνούν με αντίστοιχα αποτελέσματα που έχουν αναφερθεί στον ευρύτερο ελλαδικό χώρο, αλλά και σε παγκόσμιο επίπεδο. Έτσι, αυτά τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η επίδραση της κλιματικής αλλαγής είναι σημαντική στις θερμοκρασιακές μεταβολές του αέρα, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης.
- ✓ Ωστόσο, απαιτείται περαιτέρω έρευνα για την καλύτερη κατανόηση των παρατηρούμενων μακροπρόθεσμων τάσεων των επεισοδίων των καυσώνων και των θερμοκρασιακών μεταβολών του αέρα, στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης, προκειμένου να διαπιστωθεί η επίδραση του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής σε τοπικό επίπεδο.

Κράββα Α. Μαρία. «Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης»

Βιβλιογραφία

Ελληνική Βιβλιογραφία

- Βερύκιος, Ξ., 2003. Ατμοσφαιρικοί Ρύποι και Τεχνολογία Ελέγχου Εκπομπής τους. Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο Πάτρας, Διαχείριση Αέριων Ρύπων, Τόμος Α'.
- ΕΜΥ, 2024-2025 (προσωπική επικοινωνία).
- ΕΤΕ - ΕΜΕΚΑ-Επιτροπή Μελέτης Επιπτώσεων Κλιματικής Αλλαγής, 2011. Οι Περιβαλλοντικές, Οικονομικές Επιπτώσεις της Κλιματικής Αλλαγής στην Ελλάδα. Τράπεζα της Ελλάδος, Ευρωσύστημα, Αθήνα. ISBN 978-960-7032-49-2
- Ζιακόπουλος, Δ., Φραγκούλη, Π., 2015. Το εγχειρίδιο του μετεωρολόγου - προγνώστή.
- Ζιώμας, Ι., Ρεμουντάκη, Ε., 2003. Η ατμόσφαιρα ως αποδέκτης Αποβλήτων. Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο Πάτρας, Φυσικό Περιβάλλον και Ρύπανση.
- Καμπεξίδης, Χ., Ματράλης, Χ., 2004. Ατμοσφαιρικοί ρύποι και Τεχνολογία Ελέγχου Εκπομπής τους. Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο Πάτρας, Διαχείριση Αέριων Ρύπων, Τόμος Β'.
- Κουκλής, Γ. Ρ., 2019. Η συμβολή της αστικής μορφολογίας στη διαμόρφωση του μικροκλίματος. Μια προσομοίωση στο συμπαγές κέντρο της Θεσσαλονίκης Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία.
- Μουσιόπουλος, Ν., Αχιλλέας, Χ., Βλαχόκωστας, Χ., Σπυρίδης, Δ., Νικολάου, Κ., 1999. Σύστημα Δεικτών Περιβάλλοντος και Αειφορίας για τη Θεσσαλονίκη, Στο 3ο Πανελλήνιο Συνέδριο Κλιματική Αλλαγή, Βιώσιμη Ανάπτυξη & Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, Αναζητώντας Λύσεις για το Ελληνικό Περιβάλλον, 15-17 Σεπτεμβρίου 1999.
- Μπαλάσας, Κ. Α., 2015. Μελέτη αστικής θερμικής νησίδας στην Αθήνα και στη Θεσσαλονίκη. Διπλωματική Εργασία, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο Πάτρας.
- Νταγκίνης, Δ., 2007. Μελέτη του φαινομένου της Αστικής Θερμικής Νησίδας στο ευρύτερο πολεοδομικό συγκρότημα της Αθήνας. Διπλωματική Εργασία, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Φυσικής.
- Παπασταύρου, Κ.Α., 2005. Κοινωνικός Ρόλος του Αστικού και Περιαστικού Πρασίνου της Θεσσαλονίκης, Πρακτ. Πανελλήνιο Συνέδριο Η Θεσσαλονίκη και ο ευρύτερος χώρος, 28 Φεβρουαρίου - 2 Μαρτίου 2003, Θεσσαλονίκη: Εταιρεία Μακεδονικών Σπουδών.
- Πετρακάκης, Μ.Ι., Παπαγιαννόπουλος, Ν.Μ., Κελέσης, Α.Γ., Τζουμάκα, Π.Ν., Τζουρέλης, Α., Κανελλοπούλου, Ζ., Τσακνιά, Α., Κούτσαρη, Ε., Ζουμάκης Ν.Μ., 2008. Αξιολόγηση της διαχρονικής εξέλιξης των ατμοσφαιρικών ρύπων στην περιοχή της Θεσσαλονίκης. 3^ο Περιβαλλοντικό Συνέδριο Μακεδονίας 14-17 Μαρτίου 2008, Θεσσαλονίκη.
- Πετρακάκης, Μ., Κελέσης, Α., Τζουμάκα, Π., Παπαγιαννόπουλος, Ν., 2009. Επιπτώσεις της Αστικοποίησης στο Ατμοσφαιρικό Περιβάλλον της Θεσσαλονίκης. Στο Πανελλήνιο Συνέδριο Κλιματική Αλλαγή, Βιώσιμη Ανάπτυξη

Κράββα Α. Μαρία. «Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης»

& Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας., Αναζητώντας Λύσεις για το Ελληνικό Περιβάλλον.

- Σάρας, Χ., 2020. Αστική Θερμική Νησίδα στη Θεσσαλονίκη: Κλιματολογία, διαχρονικές τάσεις και φυσικοί μηχανισμοί, Διπλωματική Εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Φυσικής, Πρόγραμμα μεταπτυχιακών Σπουδών Φυσικής Περιβάλλοντος, Θεσσαλονίκη.
- Τσόγκας, Λ., 2021. Διερεύνηση της Αστικής Νησίδας Θερμότητας στη ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης. Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο Πάτρας.
- Υ.Π.ΕΝ. (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας), 2000-2023, «Ετήσιες Εκθέσεις Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης 2000-2023», Τμήμα Ποιότητας Ατμόσφαιρας - ΕΔΠΑΡ, (2000-2023) Αθήνα.
- Φαρμάκη, Α., 2024. Αστική θερμική νησίδα και ατμοσφαιρικό περιβάλλον: μελέτη του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας στο ευρύτερο πολεοδομικό συγκρότημα της Θεσσαλονίκης. Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο Πάτρας.
- Χοστελίδου, Μ. Η., 2012. Μελέτη της Αστικής Νησίδας Θερμότητας στην πόλη της Θεσσαλονίκης. Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Σχολή Θετικών Επιστήμων Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας, Θεσσαλονίκη.

Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

- Amengual, A., Homar, V., Romero, R., Brooks, H.E., Ramis, C., Gordaliza, M., et al., 2014. Projections of heat waves with high impact on human health in Europe. *Glob. Planet. Chang.* 119, 71-84.
- Androulidakis, Y., Kolovoyiannis, V., Makris, C., Krestenitis, Y., 2024. Evidence of 2024 Summer as the Warmest During the Last Four Decades in the Aegean, Ionian, and Cretan Seas. *J. Mar. Sci.*, 12(11), 2020.
- Bröde, P., Fiala, D., Błażejczyk, K., Holmér, I., Jendritzky, G., Kampmann, B., Tinz, B., Havenith, G., 2012. Deriving the operational procedure for the Universal thermal climate Index (UTCI). *Int. J. Biometeorol.* 56, 481-494.
- Cheng, L., Abraham J.et al, 2025. Record High Temperatures in the Ocean in 2024. *Advances in Atmospheric Sciences*
- Christidis, N., Jones, G., Stott, P., 2015. Dramatically increasing chance of extremely hot summers since the 2003 European heatwave. *Nat. Clim. Chang.* 5, 46-50.
- Cooper, C.D, Alley, F.C, 2002. «Air Pollution Control», A Design Approach, 3rd Waveland Press Inc.
- Di Napoli, C., Pappenberger, F., Cloke, H.L., 2018. Assessing heat-related health risk in Europe via the Universal Thermal Climate Index (UTCI). *Int. J. Biometeorol.* 62, 1155-1165.
- Diffenbaugh, N.S., Pal, J.S., Giorgi, F., Gao, X., 2007. Heat stress intensification in the Mediterranean climate change hotspot. *Geophys. Res. Lett.* 34, L11706.

Κράββα Α. Μαρία. «Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης»

- D'Ippoliti, D., Michelozzi, P., Marino, C., et al., 2010. The impact of heat waves on mortality in 9 European cities: results from the EuroHEAT project. *Environ. Health* 9, 37.
- Dong, W., Zeng, Q., Ma, Y., Li, G., Pan, X., 2016. Impact of heat wave definitions on the added effect of heat waves on cardiovascular mortality in Beijing, China. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 13, 933.
- Dosio, A., Mentaschi, L., Fischer, E.M., Wyser, K., 2018. Extreme heat waves under 1.5 °C and 2 °C global warming. *Environ. Res. Lett.* 13, 054006.
- Driscoll D.A., Macdonald K.J., Phillips R.D., 2024. Biodiversity impacts of the 2019-2020 Australian megafires. *Nature* Vol. 635, 898-905.
- Ernakovich, J.G., Barbato, R.A., Rich, V.I., Schädel, C., Hewitt, R.E., Doherty, S.J., Whalen, E.D., Abbott, B.W., Barta, J., Biasi, C., Chabot, C.L., Hultman, J., Knoblauch, C., Vetter, M.C.Y.L., Leewis, M., Liebner, S., Mackelprang, R., Onstott, T.C., Richter, A., Schütte, U.M.E., Siljanen, H.M.P., Taş, N., Timling, I., Vishnivetskaya, T.A., Waldrop, M.P., Winkel, M., 2022. Microbiome assembly in thawing permafrost and its feedbacks to climate, *Glob. Change Biol.*, 28, 5007-5026.
- Feidas, H., 2017. Trend analysis of air temperature time series in Greece and their relationship with circulation using surface and satellite data: recent trends and an update to 2013. *Theor. Appl. Climatol.* 129, 1383-1406. <https://doi.org/10.1007/s00704-016-1854-2>.
- Fenner, D., Holtmann, A., Krug, A., Scherrer, D., 2019. Heat waves in Berlin and Potsdam, Germany-long-term trends and comparison of heat wave definitions from 1893 to 2017. *Int. J. Climatol.* 39, 2422-2437.
- Fischer, E.M., Knutti, R., 2015. Anthropogenic contribution to global occurrence of heavy-precipitation and high-temperature extremes. *Nat. Clim. Chan.* 5, 560-564.
- Flocas, A.A., 1981: Persistence of Cold and Hot Spells at Thessaloniki, *Arch. Met. Geoph. Biokl., Ser. A*, 30, 135-144.
- Flocas, H., Kelessis, A., Helmis, C., Petrakakis, M., Zoumakis, M., Pappas, K., 2009. Synoptic and Local Scale Atmospheric Circulation Associated with Air Pollution Episodes in an Urban Mediterranean Area. *Theoretical and Applied Climatology*, Vol. 95.
- Founda D., Katavoutas G., Pierros F., Mihalopoulos N., 2022. Centennial changes in heat waves characteristics in Athens (Greece) from multiple definitions based on climatic and bioclimatic indices. *Global and Planetary Change* 212, 103807.
- Founda, D., Pierros, F., Katavoutas, G., Keramitsoglou, I., 2019a. Observed trends in thermal stress at European cities with different background climates. *Atmosphere* 10, 436.
- Founda, D., Santamouris, M., 2017. Synergies between Urban Heat Island and Heat Waves in Athens (Greece) during an extremely hot summer (2012). *Sci. Rep.* 7, 10973.

Κράββα Α. Μαρία. «Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης»

- Founda, D., Varotsos, K.V., Pierros, F., Giannakopoulos, C., 2019b. Observed and projected shifts in hot extremes' season in the Eastern Mediterranean. Glob. Planet. Chang. 175, 190-200.
- Fox-Kemper, B., Hewitt, H. T., Xiao, C., Aðalgeirsdóttir, G., Drijfhout, S. S., Edwards, T. L., Golledge, N. R., Hemer, M., Kopp, R. E., Krinner, G., Mix, A., Notz, D., Nowicki, S., Nurhati, I. S., Ruiz, L., Sallée, J.-B., Slangen, A. B. A., Yu, Y., 2021. Ocean, cryosphere, and sea level change in: Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., et al. (eds), Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press.
- Frich, P., Alexander, L.V., Della-Marta, P., Gleason B., Haylock, M., A. M.G. Klein Tank, Peterson, T., 2002. Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century, 19: 193-212.
- Georgoulas, A.K., Akritidis, D., Kalisoras, A., Kapsomenakis, J., Melas, D., Zerefos, C.S., Zanis, P., 2022: Climate change projections for Greece in the 21st century from high-resolution EURO-CORDEX RCM simulations, Atmospheric Research 271 (2022) 106049, <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2022.106049>
- Electronic Supplement of the paper: Climate change projections for Greece in the 21st century from high-resolution EURO-CORDEX RCM simulations, Atmospheric Research 271 (2022) 106049.
- Giannaros, M.T., Melas, D., 2012. Study of the urban heat island in a coastal Mediterranean City: The case study of Thessaloniki, Greece, Atmospheric Research, 118, Elsevier, 103-120.
- Goessling, H.F., Rackow, T., Jung T., 2024. Recent global temperature surge intensified by record-low planetary albedo. Science, 387, Issue 6729, 68-73.
- Grandey, B.S., Dauwels, J., Koh, Z.Y., Horton, B. P., Chew, L.Y., 2024. Fusion of Probabilistic Projections of Sea-Level Rise. Earth's Future, 12(12), Article e2024EF005295.
- Guerreiro, S.B., Dawson, R.J., Kilsby, C., Lewis, E., Ford, A., 2018. Future heat waves, droughts and floods in 571 European cities. Environ. Res. Lett. 13, 034009.
- Heo, S., Bell, M.L., Lee, J.T., 2019. Comparison of health risks by heatwave definition: Applicability of wet bulb globe temperature for heat wave criteria. Environ. Res. 168, 158-170.
- Heuzé, C., Jahn, A., 2024. The first ice-free day in the Arctic Ocean could occur before 2030. Nature Communications, Vol 15, Article 10101.
- Jacob, D., Petersen, J., Eggert, B., Alias, A., Christensen, O., Bouwer, L.M., Braun, A., Colette, A., Deque, M., Georgievski, G., Georgopoulou, E., Gobiet, A., Menut, L., Nikulin, G., Haensler, A., Hempelmann, N., Jones, C., Keuler, K., Kovats, S., Kroner, N., Kotlarski, S., Kriegsmann, A., Martin, E., van Meijgaard, E., Moseley, C., Pfeifer, S., Preuschmann, S., Radermacher, C., Radtke, K., Rechid, D., Rounsevell, M., Samuelsson, P., Somot, S., Soussana, J.F., Teichmann, C., Valentini, R., Vautard, R., Weber, B., Yiou, P., 2014. EURO-CORDEX: new

- high-resolution climate change projections for European impact research, 14: 563-578.
- Johnson, N.C., Xie, S.P., Kosaka, Y., Li, X., 2018. Increasing occurrence of cold and warm extremes during the recent global warming slowdown. *Nat. Commun.* 9, 1724.
 - Judd, E.J., Tierney, J.E., Lunt, D.J., Montañez, I.P., Huber, B.T., Wing, S.L., Valde, P.J., 2024. A 485-million-year history of Earth's surface temperature.
 - Katavoutas, G., Founda, D., 2019a. Intensification of thermal risk in Mediterranean climates: evidence from the comparison of rational and simple indices. *Int. J. Biometeorol.* 63, 1251-1264.
 - Katavoutas, G., Founda, D., 2019b. Response of urban heat stress to heat waves in athens (1960-2017). *Atmosphere* 10, 483.
 - Kornhuber, K., Bartusek, S., Seager, R., Schellnhuber, H. J., and Ting M., 2024. Global emergence of regional heatwave hotspots outpaces climate model simulations.
 - Lavaysse, C., Cammalleri, C., Dosio, A., Van der Schrier, G., Toreti A., Vogt, J., 2018. Towards a monitoring system of temperature extremes in Europe, 18, 91-104.
 - Lopez-Bueno, J.A., Navas-Martín, M.A., Linares, C., Mir'on, I.J., Luna, M.Y., S'anchez- Martínez, G., Culqui, D., Díaz, J., 2021. Analysis of the impact of heat waves on daily mortality in urban and rural areas in Madrid. *Environ. Res.* 195, 110892.
 - Matzarakis, A., Mayer, H., Iziomon, M.G., 1999. Applications of a universal thermal index: Physiologically equivalent temperature. *Int. J. Biometeorol.* 43, 76-84.
 - McCarthy, M., Armstrong, L., Armstrong, N., 2019. A new heatwave definition for the UK. *Weather* 74 (11), 382-387.
 - Meehl, G.A., Tebaldi, C., 2004. More intense, more frequent, and longer lasting heat waves in the 21st century. *Science* 305, 994-997.
 - Merchant, C.J., Allan, R.P., Embury, O., 2025. Quantifying the acceleration of multidecadal global sea surface warming driven by Earth's energy imbalance. *Environmental Research Letters*, Vol. 20, 2.
 - Moussiopoulos, N., Vlachokostas, Ch., Tsilingiridis, G., Douros, I., Hourdakakis, E., Naneris, C., Sidiropoulos, C., 2009. Air quality status in Greater Thessaloniki Area and the emission reductions needed for attaining the EU air quality legislation. *Science Direct*, 407, 1268 - 1285.
 - Nastos, P.T., Matzarakis, A., 2012. The effect of air temperature and human thermal indices on mortality in Athens, Greece. *Theor. Appl. Climatol.* 108, 591-599.
 - N"ayh"a, S., Rintam"aki, H., Donaldson, G., Hassi, J., Jousilahti, P., Laatikainen, T., Jaakkola, J.J.K., Ik"aheimo, T.M., 2014. Heat-related thermal sensation, comfort and symptoms in a northern population: the National FINRISK 2007 study. *Eur. J. Pub. Health* 24 (4), 620-626.

Κράββα Α. Μαρία. «Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης»

- Park, J., Kim, J., 2018. Defining heatwave thresholds using an inductive machine learning approach. PLoS One 13 (11), e0206872.
- Perkins, S.E., 2015. A review of the scientific understanding of heat waves- their measurement, driving mechanisms, and changes at the global scale. Atmos. Res. 164-165, 242-267.
- Perkins, S.E., Alexander, L.V., 2013. On the measurement of heat waves. J. Clim. 26, 4500-4517.
- Perkins, S.E., Alexander, L.V., Nairn, J.R., 2012. Increasing frequency, intensity and duration of observed global heat waves and warm spells. Geophys. Res. Lett. 39, L20714.
- Perkins-Kirkpatrick, S.E., Gibson, P.B., 2017. Changes in regional heatwave characteristics as a function of increasing global temperature. Sci. Rep. 7, 12256.
- Perkins-Kirkpatrick, S.E., Lewis, S.C., 2020. Increasing trends in regional heatwaves. Nat. Commun. 11, 3357.
- Petrakakis, M.J., Kelessis, A.G., Flocas, H.A., Zoumakis, N.M., Helmis, C.G., Tsugas, M.A., 2006. Meteorological Conditions during Air Pollution Episodes in Thessaloniki, Greece. Journal Fresenius Environmental Bulletin, Vol. 15(8b).
- Petrakakis, M.I., Kelessis, A.G., Samara, C., Tzoumaka, P., Zoumakis, N.M., Iosifidis, E., 2007. Effects of transport processes on particulate concentration in urban Thessaloniki, Greece, Proc. of First Conference on Environmental Management, Engineering, Planning and Economics (CEMEPE 2007), (eds A. Kungolos, K. Aravossis, A. Karagiannidis and P. Samaras), June 24 - 28, Skiathos, Greece, 2471-2477.
- Petrou, I., Kassomenos, P., 2024. Spatiotemporal analysis of Holiday Climate Index for urban and beach destinations in Greece. Theoretical and Applied Climatology, Vol.156, Article 27.
- Poupkou, A., Nastos, P., Melas, D., Zerefos, Ch., 2011. Climatology of Discomfort Index and Air Quality Index in a Large Urban Mediterranean Agglomeration, Water Air Soil Pollut. 222:163-183.
- Poore, J., Nemecek T., 2018. Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. Science, 360(6392), 987-992.
- Rantanen, M., Karpechko, A.Y., Lipponen, A., Nordling, K., Hyvärinen, O., Ruosteenoja, K., Vihma, T., Laaksonen, A., 2022. The Arctic has warmed nearly four times faster than the globe since 1979. Communications Earth & Environment, 3, Article 168.
- Raphael, C.N., 1999. The Holocene: An Environmental History by Neil Roberts. Malden and Blackwell. The Geographical Bulletin, Vol. 41, Iss. 2, Article 9.
- Rasilla, D., Allende, F., Martilli, A., Fern´andez, F., 2019. Heat waves and human well-being in Madrid (Spain). Atmosphere 10, 288.
- Rignot, E., Scheuchl, B., Dow, C., 2024. Widespread seawater intrusions beneath the grounded ice of Thwaites Glacier, West Antarctica. 121 (22) e2404766121.
- Robinson, P.J., 2001. On the definition of a heat wave. J. Appl. Meteorol. 40, 762-775.

Κράββα Α. Μαρία. «Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης»

- Rolland, T.P., Bartlett O.T., Charman, D.J., Anderson, K., Hodgson, D.A., Amesbury, M.J., Maclean, I., Fretwell, P., T., Fleming, A., 2024. Sustained greening of the Antarctic Peninsula observed from satellites. *Nature Geoscience*, 5, 1121-1126.
- Roshan, G., Ghanghermeh, A., Kong, Q., 2018. Spatial and temporal analysis of outdoor human thermal comfort during heat and cold waves in Iran. *Weather Clim. Extremes* 19, 58-67.
- Russo, S., Sillmann, J., Sterl, A., 2017. Humid heat waves at different warming levels. *Sci. Rep.* 7, 7477.
- Scotese, C., Song, H., Mills, B., Van der Meer, D., 2021. Phanerozoic paleotemperatures: the earth's changing climate during the last 540 million years. *Earth-Sci. Rev.* 103503.
- Sheridan, S.C., Allen, M.J., 2015. Changes in the frequency and intensity of extreme temperature events and human health concerns. *Curr. Clim. Change Rep* 1, 155-162.
- Smith, T.T., Zaitchik, B.F., Gohlke, J.M., 2013. Heat waves in the United States: definitions, patterns and trends. *Clim. Chang.* 118, 811-825.
- Tan, J., Zheng, Y., Tang, X., Guo, C., Li, L., Song, G., Zhen, X., Yuan, D., Kalkstein, A.J., Li, F., Chen, H., 2010. The urban heat island and its impact on heat waves and human health in Shanghai. *Int. J. Biometeorol.* 54, 75-84.
- The GlaMBIE Team, 2025. Community estimate of global glacier mass changes from 2000 to 2023. *Nature*.
- Tong, S., Wang, X.Y., Barnett, A.G., 2010. Assessment of heat-related health impacts in Brisbane, Australia: comparison of different heatwave definitions. *PLoS One* 5 (8), e12155.
- Turco, M., Abatzoglou, J.T., Herrera, S., Cvijanovic I., 2023. Anthropogenic climate change impacts exacerbate summer forest fires in California. *Earth, Atmospheric, and Planetary Sciences*, 120 | No. 25.
- Unal, Y.S., Tan, E., Menten, S.S., 2013. Summer heat waves over western Turkey between 1965 and 2006. *Theor. Appl. Climatol.* 112, 339-350.
- Wang, X.Y., Guo, Y., FitzGerald, G., Aitken, P., Tippet, V., Chen, D., et al., 2015. The impacts of heatwaves on mortality differ with different study periods: a multi-city time series investigation. *PLoS One* 10 (7), e0134233.
- Willeit, M., Ganopolski A., Calov, R., Brovkin V., 2019. Mid-Pleistocene transition in glacial cycles explained by declining CO₂ and regolith removal. *Science Advances*, 5, Issue 4.
- Xu, Z., FitzGerald, G., Guo, Y., Jalaludin, B., Tong, S., 2016. Impact of heatwave on mortality under different heatwave definitions. *Environ. Int.* 89-90, 193-203.
- You, Q., Jiang, Z., Kong, L., Wu, Z., Bao, Y., Kang, S., Pepin, N., 2017. A comparison of heat wave climatologies and trends in China based on multiple definitions. *Clim. Dyn.* 48, 3975-3989.
- Voogt J.A., 2002. Urban Heat Island. In Munn, T. (ed.) *Encyclopedia of Global Environmental Change*, Vol. 3. Chichester, John Wiley and Sons.

Κράββα Α. Μαρία. «Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης»

- Zafeiratou, S., Analitis, A., Founda, D., Giannakopoulos, C., Varotsos, K.V., Sismanidis, P., Keramitsoglou, I., Katsouyanni, K., 2019. Spatial variability in the effect of high ambient temperature on mortality: an analysis at municipality level within the greater Athens area. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 16 (19), 3689.
- Zhang, Y., Feng, R., Wu, R., et al., 2017. Global climate change: impact of heat waves under different definitions on daily mortality in Wuhan, China. *Global Health Res. Policy* 2, 10.
- Zhang, J., Chen, Z., Chen, H., Ma, Q., Teshome, A., 2020. North Atlantic multidecadal variability enhancing decadal extratropical extremes in boreal late summer in the early twenty-first century. *J. Clim.* 33, 6047-6064.
- Zuo, J., Pullen, S., Palmer, J., Bennetts, H., Chileshe, N., Ma, T., 2015. Impacts of heat waves and corresponding measures: a review. *J. Clean. Prod.* 92, 1-12.

Ιστοσελίδες στο διαδίκτυο

- <http://ec.europa.eu/> Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος, ΕΟΠ
- <https://www.ecmwf.int/> European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF
- <https://envdimosthes.gr/> Τμήμα Περιβάλλοντος και Προσαρμογής στην Κλιματική Αλλαγή του Δήμου Θεσσαλονίκης
- <https://thessaloniki.gr/> Δήμος Θεσσαλονίκης
- <https://ourworldindata.org/> Our World in Data
- <https://www.statistics.gr/el/2021> Ελληνική Στατιστική Υπηρεσία, ΕΛΣΤΑΤ
- <https://www.statistics.gr/el/statistics/-/publication/DKT21/-> Ελληνική Στατιστική Υπηρεσία, ΕΛΣΤΑΤ
- <https://industry.eea.europa.eu/> European Industrial Emissions Portal
- <https://industry.eea.europa.eu/> European Pollutant Release and Transfer Register, e-PRTR
- <https://www.eea.europa.eu/en> Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος, ΕΟΠ
- <http://www.ypen.gr> Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας, ΥΠΕΝ
- <https://unionregistry.ec.europa.eu/euregistry/GR/index.xhtml> Ενωσιακό Μητρώο Εκπομπής Αερίων Θερμοκηπίου
- <https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar4/> Τέταρτη Έκθεση για τις μεταβολές του κλίματος της IPCC (2007)
- <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle/> Έκτη Έκθεση για τις μεταβολές του κλίματος της IPCC (2023)
- <https://www.noaa.gov/> National Oceanic & Atmospheric Administration, NOAA
- <https://www.ncei.noaa.gov/> National Centers for Environmental Information, NOAA
- <https://www.climate.gov/> National Oceanic & Atmospheric Administration, NOAA
- <https://www.noa.gr/> Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, ΕΑΑ
- <https://www.meteo.gr/meteomaps> Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, ΕΑΑ

Κράββα Α. Μαρία. «Μελέτη των θερμοκρασιακών μεταβολών και των επεισοδίων καύσωνα υπό την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην πόλη της Θεσσαλονίκης»

- <https://www.eumetsat.int/> European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites, Eumetsat
- <https://www.nasa.gov/> National Aeronautics & Space Administration, NASA
- <https://science.nasa.gov/earth/> National Aeronautics & Space Administration, NASA
- <https://climatebook.gr/> Climatebook
- <https://www.copernicus.eu/en/copernicus-services/climate-change> Copernicus Atmosphere Monitoring Service, CAMS
- <https://www.ecmwf.int/> European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF
- <http://www.hnms.gr/emv/el/> EMY
- <https://www.kepe.gr/> Κέντρο Προγραμματισμού και Οικονομικών Ερευνών, ΚΕΠΕ
- <https://unfccc.int/> United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC
- <https://www.esa.int/> European Space Agency, ESA
- <https://www.pik-potsdam.de/en> Potsdam Institute for Climate Impact Research, PIK
- <https://www.metoffice.gov.uk/> UK's national meteorological service, Met office
- <https://www.bankofgreece.gr> Εθνική Τράπεζα της Ελλάδος, ΕΤΕ
- <https://www.cbo.gov/> Congressional Budget Office, USA gov, CBO
- https://commission.europa.eu/index_en European Commission
- <https://www.consilium.europa.eu/el/policies/climate-change/> Συμβούλιο της ΕΕ & Ευρωπαϊκό Συμβούλιο
- <https://wmo.int/> World Meteorological Organisation, WMOBalk
- <https://www.google.com/maps/> Google Maps
- <https://lifeasti.eu/el/arxikh/> LIFE ASTI
- <https://lifesirius.eu/home-el> LIFE SIRIUS

Νομοθεσία

- Υπ' αριθμ. 178581/2017 ΔΕΠΕΑ (ΦΕΚ 2367/Β'/12-07-17) «Έγκριση Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων».
- Υπ' αριθμ. 5106/2024 (ΦΕΚ 623/Α'/01-05-24) Νόμος «Ρυθμίσεις για την αντιμετώπιση των πολυεπίπεδων επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στους τομείς: α) της διαχείρισης υδάτων, β) της διαχείρισης και προστασίας των δασών, γ) της αστικής ανθεκτικότητας και πολιτικής, δ) της καταπολέμησης της αυθαίρετης δόμησης».
- Περιφερειακό Σχέδιο για την Προσαρμογή στην Κλιματική Αλλαγή, ΠεΣΠΚΑ, Περιφέρειας Κεντρικής Μακεδονίας, 2023.
- Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα, ΕΣΕΚ, 2024.