



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΣΧΟΛΗ ΑΝΘΡΩΠΙΣΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΚΟΙΝΩΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΙΧΘΥΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΑΤΙΝΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟ ΤΜΗΜΑ ΕΙΔΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ

Δ.Π.Μ.Σ. «Εκπαίδευση για την Αειφορία και το Περιβάλλον»

«Οι επιπτώσεις της κλιματικής κρίσης στην ξηρασία: ποσοτικοποίηση μέσω δεικτών»

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

της

Τουτουνοπούλου Ιωάννας

Επιβλέπων: Σακελλαρίου Σταύρος

Δρίτσας Σοφοκλής

Ακαδημαϊκό έτος: 2023-2024, Βόλος

ΒΕΒΑΙΩΣΗ ΕΚΠΟΝΗΣΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Δηλώνω υπεύθυνα ότι η διπλωματική εργασία για τη λήψη του μεταπτυχιακού τίτλου σπουδών στο Διατμηματικό Πρόγραμμα Σπουδών «Εκπαίδευση για την αειφορία και το περιβάλλον» έχει συγγραφεί από εμένα αποκλειστικά. Δεν έχει υποβληθεί ούτε εγκριθεί στο πλαίσιο κάποιου άλλου μεταπτυχιακού προγράμματος ή προπτυχιακού τίτλου σπουδών στην Ελλάδα ή το εξωτερικό, ούτε αφορά σε εργασία ή τμήμα εργασίας ακαδημαϊκού ή επαγγελματικού χαρακτήρα.

Δηλώνω επίσης υπεύθυνα ότι οι πηγές, στις οποίες ανέτρεξα για την εκπόνηση της συγκεκριμένης εργασίας αναφέρονται στο σύνολό τους, κάνοντας πλήρη αναφορά στους/στις συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου.

Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία με θέμα «Οι επιπτώσεις της κλιματικής κρίσης στη ξηρασία: Ποσοτικοποίηση μέσω χρήσης δεικτών» πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο της φοίτησής μου στο Διατμηματικό Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών «Εκπαίδευση για την Αειφορία και το Περιβάλλον».

Στο σημείο αυτό με την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς ευχαριστίες μου στους ανθρώπους που συνέβαλαν στην προσπάθεια αυτή. Πρώτα απ' όλα ευχαριστώ τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Σακελλαρίου Σταύρο, Δρ. τμήματος Μηχανικών Χωροταξίας, Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης, Π.Θ., για τη συνεχή καθοδήγηση και την υποστήριξη του καθ' όλη τη διάρκεια της φοίτησής μου στο Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα καθώς και στον συνεπιβλέποντα κ. Δρίτσα Σοφοκλή Δρ., Ε.ΔΙ.Π., βαθμίδα Α', τμήματος Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος Π.Θ.

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	6
Abstract	7
1. Εισαγωγή.....	8
1.1 Θεματικό πλαίσιο	8
1.2 Σκοπός έρευνας	10
1.3 Ερευνητικά ερωτήματα	12
1.4 Σημασία παρούσας μελέτης	13
2. Μεθοδολογία	16
2.1 Ερευνητική προσέγγιση	16
2.1.1 Αναζήτηση βιβλιογραφίας.....	17
2.1.2 Αξιολόγηση των πηγών	17
2.1.3 Σύνθεση των ευρημάτων.....	18
2.1.4 Προσδιορισμός ερευνητικών κενών.....	18
2.2 Ανάλυση δεδομένων.....	19
2.2.1 Σύνθεση των ευρημάτων.....	20
2.2.2 Συγκριτική ανάλυση.....	21
2.2.3 Κριτική αξιολόγηση και εντοπισμός κενών	22
2.3 Ηθικοί περιορισμοί.....	23
3. Βιβλιογραφική ανασκόπηση	26
3.1 Ορισμός των βασικών εννοιών	26
3.1.1 Κλιματική κρίση.....	26
3.1.2 Ξηρασία.....	26
3.1.3 Περιφερειακές διαφοροποιήσεις	27
3.2 Η κλιματική κρίση: Παγκόσμια επισκόπηση	27
3.2.1 Αέρια του θερμοκηπίου και ο ρόλος τους στην κλιματική κρίση	28
3.2.2 Η υπερθέρμανση του πλανήτη	29
3.2.3 Επιπτώσεις στα καιρικά πρότυπα.....	30
3.3 Κατανόηση της ξηρασίας	31
3.3.1 Ορισμός και τύποι ξηρασίας	32
3.3.2 Ιστορικές προοπτικές και τάσεις εμφάνισης ξηρασίας	33
3.4 Δείκτες κλιματικής αλλαγής και ξηρασίας.....	35
3.4.1 Δείκτες κλιματικής αλλαγής.....	36
3.4.2 Δείκτες για την ποσοτικοποίηση της ξηρασίας	37
3.4.3 Συγκριτική ανάλυση των δεικτών ξηρασίας	39
3.5 Περιφερειακές διαφοροποιήσεις	40
3.5.1 Κλιματικοί παράγοντες σε διάφορες περιοχές	41
3.5.2 Γεωγραφικοί παράγοντες και ο ρόλος τους στις διακυμάνσεις της ξηρασίας	43
3.5.3 Κοινωνικοοικονομικοί παράγοντες και ευπάθεια στην ξηρασία	44
3.6 Ανάπτυξη στρατηγικών προσαρμογής	46
3.7 Τι λένε οι δείκτες για την Ελλάδα.....	50
PDSI Χάρτης (Palmer Drought Severity Index)	50
SPI Χάρτης (Standardized Precipitation Index - Σύντομη Περίοδος)	50
Γραφική Παράσταση και Κλίμακα Τυποποιημένου Δείκτη Εξατμισοδιαπνοής Βροχοπτώσεων- SPEI (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index). 51	
4. Αποτελέσματα	53

4.1 Ανασκόπηση αποτελεσμάτων.....	53
4.2 Ερμηνεία των αποτελεσμάτων	56
5. Συζήτηση.....	61
5.1 Η επιρροή της κλιματικής αλλαγής στην ξηρασία.....	61
5.2 Η αποτελεσματικότητα των δεικτών.....	63
5.3 Επιπτώσεις στην πολιτική	64
6. Συμπεράσματα	68
6.1 Βασικά σημεία.....	68
6.2 Σύνδεση ερευνητικών ερωτημάτων με αποτελέσματα	69
6.3 Συνεισφορά μελέτης.....	72
6.3.1 Προτάσεις για Πολιτική	73
6.4 Περιορισμοί μελέτης.....	74
6.5 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα	76
6.5.1 Περιφερειακές μελέτες.....	76
6.5.2 Διαχρονικές μελέτες και κλιματική μοντελοποίηση	77
6.5.3 Διεπιστημονική έρευνα	77
6.5.4 Επιπτώσεις μη γραμμικών κλιματικών γεγονότων	78
6.5.5 Ενσωμάτωση της αυτόχθονης και τοπικής γνώσης	78
6.5.6 Έρευνα πολιτικής και διακυβέρνησης	79
Βιβλιογραφία.....	81
Ελληνόγλωσση	81
Ξενόγλωσση	82
Χρήσιμοι σύνδεσμοι.....	91
Παράρτημα.....	92
Πίνακας 1	92
<i>Πίνακας σταθεροποίησης συγκέντρωσης θερμοκηπιακών αερίων με μέτρα μετριάσμου (SPEI)</i>	<i>92</i>
Πίνακας 2	93
<i>Πίνακας σταθεροποίησης συγκέντρωσης θερμοκηπιακών αερίων χωρίς μέτρα μετριάσμου (SPEI)</i>	<i>93</i>
Πίνακας 3	94
<i>Δείκτης PSDI Ελλάδας 2024- Ιούλιος 2024.....</i>	<i>94</i>
Πίνακας 4	95
<i>Δείκτης SPI Ελλάδας Οκτώβριος 2024.....</i>	<i>95</i>

Περίληψη

Η παρούσα μελέτη εξετάζει τον αντίκτυπο της κλιματικής κρίσης στα πρότυπα ξηρασίας, εστιάζοντας στις περιφερειακές διαφοροποιήσεις που επηρεάζονται από τοπικούς κλιματικούς, γεωγραφικούς και κοινωνικοοικονομικούς παράγοντες. Χρησιμοποιώντας μια ολοκληρωμένη μεθοδολογία βιβλιογραφικής ανασκόπησης, η έρευνα στοχεύει να δημιουργήσει μια σαφή σύνδεση μεταξύ της ευρύτερης κλιματικής κρίσης και συγκεκριμένων αλλαγών στα πρότυπα ξηρασίας. Οι βασικοί στόχοι περιλαμβάνουν την ανάλυση ιστορικών κλιματικών δεδομένων για να κατανοηθεί πώς η άνοδος της θερμοκρασίας και η μετατόπιση των προτύπων βροχόπτωσης επιδεινώνουν τις συνθήκες ξηρασίας, την κριτική αξιολόγηση των δεικτών ξηρασίας και τη διερεύνηση της περιφερειακής μεταβλητότητας στις επιπτώσεις της ξηρασίας. Η μελέτη τονίζει επίσης τη σημασία των τοπικών στρατηγικών για τη διαχείριση της ξηρασίας και την προσαρμογή, λαμβάνοντας υπόψη τις μοναδικές προκλήσεις που αντιμετωπίζουν οι διάφορες περιοχές. Τα ευρήματα συμβάλλουν στον παγκόσμιο διάλογο για την ανθεκτικότητα στην κλιματική αλλαγή, παρέχοντας γνώσεις που μπορούν να καθοδηγήσουν τους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής στην ανάπτυξη στοχευμένων στρατηγικών προσαρμογής, στην ενίσχυση της διαχείρισης των υδάτινων πόρων και στη διασφάλιση της γεωργικής παραγωγικότητας σε ευάλωτες περιοχές. Η έρευνα αυτή υπογραμμίζει την ανάγκη διεπιστημονικών προσεγγίσεων για την πλήρη κατανόηση των πολύπλοκων αλληλεπιδράσεων μεταξύ της κλιματικής αλλαγής και της ξηρασίας, καθώς και για την ενημέρωση για αποτελεσματικές πολιτικές απαντήσεις.

Λέξεις- κλειδιά: Κλιματική κρίση, πρότυπα ξηρασίας, περιφερειακή μεταβλητότητα, προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή, διαχείριση υδάτινων πόρων.

Abstract

This study examines the impact of the climate crisis on drought patterns, focusing on regional variations influenced by local climatic, geographical and socio-economic factors. Utilizing a comprehensive literature review methodology, the research aims to establish a clear connection between the broader climate crisis and specific changes in drought patterns. Key objectives include analyzing historical climate data to understand how rising temperatures and shifting precipitation patterns exacerbate drought conditions, critically evaluating drought indices, and exploring regional variability in drought impacts. The study also emphasizes the importance of localized strategies for drought management and adaptation, considering the unique challenges faced by different regions. The findings contribute to the global discourse on climate change resilience by providing insights that can guide policymakers in developing targeted adaptation strategies, enhancing water resource management, and safeguarding agricultural productivity in vulnerable areas. This research underscores the need for interdisciplinary approaches to fully grasp the complex interactions between climate change and drought, and to inform effective policy responses.

Keywords: Climate crisis, drought patterns, regional variability, climate change adaptation, water resource management.

1. Εισαγωγή

1.1 Θεματικό πλαίσιο

Η κλιματική κρίση είναι μία από τις πιο πιεστικές παγκόσμιες προκλήσεις του 21ου αιώνα, η οποία χαρακτηρίζεται από πρωτοφανείς αλλαγές στα καιρικά φαινόμενα, άνοδο της παγκόσμιας θερμοκρασίας και αύξηση των ακραίων καιρικών φαινομένων. Κατά τη διάρκεια του περασμένου αιώνα, η μέση θερμοκρασία της Γης αυξήθηκε κατά περίπου 1,2°C πάνω από τα προβιομηχανικά επίπεδα, κυρίως λόγω της συσσώρευσης των αερίων του θερμοκηπίου (GHGs) στην ατμόσφαιρα (Forster et al., 2024). Αυτή η τάση αύξησης της θερμοκρασίας, η οποία οφείλεται κυρίως σε ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως η καύση ορυκτών καυσίμων, η αποψίλωση των δασών και οι βιομηχανικές διεργασίες, έχει εκτεταμένες επιπτώσεις στα φυσικά οικοσυστήματα, τις ανθρώπινες κοινωνίες και την παγκόσμια οικονομία.

Οι παγκόσμιες επιπτώσεις της κλιματικής κρίσης είναι βαθιές και πολύπλευρες. Η άνοδος της θερμοκρασίας συμβάλλει στο λιώσιμο των πολικών πάγων και των παγετώνων, οδηγώντας σε άνοδο της στάθμης της θάλασσας, η οποία απειλεί τις παράκτιες κοινότητες και τα οικοσυστήματα (Zamrsky et al., 2024). Επιπλέον, οι αλλαγές στα πρότυπα βροχόπτωσης έχουν οδηγήσει σε συχνότερα και σοβαρότερα καιρικά φαινόμενα, όπως τυφώνες, πλημμύρες και ξηρασίες (Forster et al., 2024). Τα γεγονότα αυτά όχι μόνο διαταράσσουν τις τοπικές οικονομίες και τα μέσα διαβίωσης, αλλά θέτουν επίσης σημαντικές προκλήσεις για την παγκόσμια επισιτιστική ασφάλεια, τη δημόσια υγεία και τα πρότυπα μετανάστευσης (Triandafyllidou, 2024). Η διασύνδεση αυτών των ζητημάτων αναδεικνύει τον πολύπλοκο και συστημικό χαρακτήρα της κλιματικής κρίσης, γεγονός που καθιστά αναγκαίες τις συντονισμένες παγκόσμιες προσπάθειες για τον μετριασμό των επιπτώσεών της και την προσαρμογή στις συνέπειές της.

Μεταξύ των διαφόρων επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής, η ξηρασία αναδεικνύεται ως ένα από τα πιο κρίσιμα και δύσκολα ζητήματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν. Οι ξηρασίες είναι παρατεταμένες περίοδοι ασυνήθιστα χαμηλών βροχοπτώσεων που οδηγούν σε έλλειψη νερού, επηρεάζοντας αρνητικά τη γεωργία, τα οικοσυστήματα και τους ανθρώπινους οικισμούς (Yu et al., 2024). Όσο η κλιματική κρίση εντείνεται, η συχνότητα, η διάρκεια και η σοβαρότητα των ξηρασιών αναμένεται να αυξηθούν, ιδίως στις ήδη άνυδρες και ημιάνυδρες περιοχές (Li et al., 2024). Αυτή η επιδείνωση των συνθηκών ξηρασίας εγκυμονεί σημαντικούς κινδύνους για την επισιτιστική και υδατική ασφάλεια, με πιθανές συνέπειες για την κοινωνική σταθερότητα και την οικονομική ανάπτυξη.

Η κατανόηση και η αντιμετώπιση της ξηρασίας ως συνέπεια της κλιματικής αλλαγής είναι υψίστης σημασίας για διάφορους λόγους. Πρώτον, οι ξηρασίες έχουν άμεσες και έμμεσες επιπτώσεις στην παραγωγή τροφίμων, ιδίως σε περιοχές που εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τη βροχογενή γεωργία (Toromade et al., 2024). Οι αποτυχίες των καλλιεργειών και η μειωμένη γεωργική παραγωγικότητα μπορούν να οδηγήσουν σε ελλείψεις τροφίμων, αύξηση των τιμών των τροφίμων και αυξημένη επισιτιστική ανασφάλεια, ιδίως στις αναπτυσσόμενες χώρες όπου οι γεωργικοί τομείς είναι λιγότερο ανθεκτικοί στους κλιματικούς κλυδωνισμούς (FAO, 2018). Δεύτερον, οι ξηρασίες συμβάλλουν στην υποβάθμιση των φυσικών οικοσυστημάτων, μειώνοντας τη βιοποικιλότητα και τις οικοσυστημικές υπηρεσίες που είναι σημαντικές για την ανθρώπινη ευημερία (van Vliet et al., 2016). Τρίτον, οι κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις των ξηρασιών, συμπεριλαμβανομένων των εκτοπίσεων, της απώλειας μέσων διαβίωσης και του αυξημένου ανταγωνισμού για τους υδάτινους πόρους, μπορούν να επιδεινώσουν τις κοινωνικές ανισότητες και να πυροδοτήσουν συγκρούσεις, ιδίως σε περιοχές που ήδη βιώνουν πολιτική και οικονομική αστάθεια (Kelley et al., 2015).

1.2 Σκοπός έρευνας

Σκοπός της παρούσας έρευνας είναι να διερευνήσει και να ποσοτικοποιήσει τον αντίκτυπο της κλιματικής κρίσης στα φαινόμενα ξηρασίας, χρησιμοποιώντας μία σειρά δεικτών για τη μέτρηση και την αξιολόγηση των αλλαγών στα πρότυπα ξηρασίας με την πάροδο του χρόνου. Όσο το παγκόσμιο κλίμα συνεχίζει να θερμαίνεται, η συχνότητα, η ένταση και η διάρκεια των ξηρασιών προβλέπεται να αυξηθούν, θέτοντας σημαντικούς κινδύνους για τα οικοσυστήματα, τη γεωργία, τους υδάτινους πόρους και τα ανθρώπινα μέσα διαβίωσης. Η κατανόηση αυτών των αλλαγών πρέπει να ληφθεί υπόψη σε ό,τι αφορά την ανάπτυξη αποτελεσματικών στρατηγικών προσαρμογής και μετριασμού για τη διαχείριση των δυσμενών επιπτώσεων της ξηρασίας, ιδίως στις περιοχές που είναι πιο ευάλωτες στις κλιματικές αλλαγές.

Η παρούσα έρευνα αποσκοπεί στην επίτευξη διαφόρων βασικών στόχων. Πρώτον, επιδιώκει να διερευνήσει τη σύνδεση μεταξύ της ευρύτερης κλιματικής κρίσης και των συγκεκριμένων αλλαγών στα πρότυπα ξηρασίας. Αναλύοντας ιστορικά κλιματικά δεδομένα και τάσεις, η μελέτη θα διερευνήσει πώς η άνοδος της θερμοκρασίας, τα μεταβαλλόμενα πρότυπα βροχόπτωσης και άλλοι κλιματικοί παράγοντες συμβάλλουν στην εμφάνιση και την επιδείνωση των συνθηκών ξηρασίας. Αυτό θα συμβάλει στη διαλεύκανση των μηχανισμών μέσω των οποίων η κλιματική κρίση επηρεάζει την ξηρασία και θα παράσχει μία επιστημονική βάση για την πρόβλεψη μελλοντικών κινδύνων ξηρασίας υπό διαφορετικά κλιματικά σενάρια.

Δεύτερον, η έρευνα θα επικεντρωθεί στην επιλογή και εφαρμογή κατάλληλων δεικτών για την ποσοτικοποίηση της ξηρασίας στο πλαίσιο της κλιματικής αλλαγής. Δείκτες, όπως ο Τυποποιημένος Δείκτης Βροχόπτωσης (SPI), ο Δείκτης Δριμύτητας Ξηρασίας Palmer (PDSI) και ο Τυποποιημένος Δείκτης Εξατμισοδιαπνοής Βροχόπτωσης

(SPEI) χρησιμοποιούνται συνήθως για τη μέτρηση διαφόρων πτυχών της ξηρασίας, συμπεριλαμβανομένης της έντασης, της διάρκειας και της χωρικής της έκτασης. Η παρούσα μελέτη θα αξιολογήσει κριτικά την αποτελεσματικότητα αυτών των δεικτών όσον αφορά την καταγραφή των πολύπλοκων αλληλεπιδράσεων μεταξύ των κλιματικών μεταβλητών και της ξηρασίας και την παροχή ακριβών και εφαρμόσιμων πληροφοριών για τους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων (Soulé & Knapp, 2024).

Τρίτον, η έρευνα αποσκοπεί στην παροχή πληροφοριών σχετικά με την περιφερειακή μεταβλητότητα των επιπτώσεων της ξηρασίας, αναγνωρίζοντας ότι διαφορετικές περιοχές μπορεί να βιώνουν την ξηρασία με διαφορετικό τρόπο ανάλογα με τους τοπικούς κλιματικούς, γεωγραφικούς και κοινωνικοοικονομικούς παράγοντες. Με την εξέταση περιπτώσιολογικών μελετών ή περιφερειακών αναλύσεων, η μελέτη θα αναδείξει τον τρόπο με τον οποίο η κλιματική κρίση εκδηλώνεται σε διαφορετικά πλαίσια, προσφέροντας προσαρμοσμένες συστάσεις για τη διαχείριση της ξηρασίας και τις παρεμβάσεις πολιτικής.

Τέλος, η παρούσα έρευνα σκοπεύει να συμβάλει στην ευρύτερη συζήτηση για την ανθεκτικότητα στην κλιματική αλλαγή, προσφέροντας πρακτικές συνέπειες για την πολιτική και την πρακτική. Τα ευρήματα θα είναι σημαντικά για τους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής, τους περιβαλλοντολόγους και άλλους ενδιαφερόμενους που συμμετέχουν στις προσπάθειες προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή. Βελτιώνοντας την κατανόηση της δυναμικής της ξηρασίας σε ένα μεταβαλλόμενο κλίμα, η έρευνα αυτή θα υποστηρίξει την ανάπτυξη αποτελεσματικότερων στρατηγικών για τη διαφύλαξη των υδάτινων πόρων, την προστασία της γεωργικής παραγωγικότητας και την ενίσχυση της ανθεκτικότητας των κοινοτήτων και των οικοσυστημάτων σε μελλοντικά φαινόμενα ξηρασίας.

1.3 Ερευνητικά ερωτήματα

1. Ποια είναι η σχέση μεταξύ της παγκόσμιας κλιματικής κρίσης και των αλλαγών όσον αφορά τη ξηρασία κατά τις τελευταίες δεκαετίες;

Το ερώτημα αυτό αποσκοπεί στη διερεύνηση του τρόπου με τον οποίο η άνοδος της παγκόσμιας θερμοκρασίας, τα μεταβαλλόμενα πρότυπα βροχόπτωσης και άλλες κλιματικές αλλαγές που συνδέονται με την κλιματική κρίση έχουν επηρεάσει τη συχνότητα, την ένταση και τη διάρκεια των ξηρασιών.

2. Πόσο αποτελεσματικοί είναι οι διάφοροι δείκτες ξηρασίας, όπως ο τυποποιημένος δείκτης βροχόπτωσης (SPI), ο Δείκτης Σοβαρότητας Ξηρασίας Palmer (PDSI) (Ζαΐμης, χ.χ.) και ο τυποποιημένος δείκτης εξατμισοδιαπνοής βροχής (SPEI), στην ποσοτικοποίηση της επίδρασης της κλιματικής αλλαγής στα φαινόμενα ξηρασίας;

Το ερώτημα αυτό εξετάζει την αξιολόγηση των πλεονεκτημάτων και των περιορισμών των διαφόρων δεικτών ξηρασίας στην αποτύπωση των πολύπλοκων αλληλεπιδράσεων μεταξύ των κλιματικών μεταβλητών και των συνθηκών ξηρασίας.

3. Ποιες περιφερειακές διαφοροποιήσεις υπάρχουν στον αντίκτυπο της κλιματικής κρίσης στην ξηρασία και πώς επηρεάζουν τις διαφοροποιήσεις αυτές οι τοπικοί κλιματικοί, γεωγραφικοί και κοινωνικοοικονομικοί παράγοντες;

Το ερώτημα αυτό επικεντρώνεται στην κατανόηση του τρόπου με τον οποίο οι επιπτώσεις της κλιματικής κρίσης στην ξηρασία διαφέρουν από περιοχή σε περιοχή, λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες όπως το τοπικό κλίμα, η γεωγραφία και οι κοινωνικοοικονομικές συνθήκες.

4. Ποιες είναι οι συνέπειες των παρατηρούμενων αλλαγών στα πρότυπα ξηρασίας για τη διαχείριση των υδάτινων πόρων, τη γεωργική παραγωγικότητα και την ανθεκτικότητα των κοινοτήτων, ιδίως στις ευάλωτες περιοχές;

Το ερώτημα αυτό εξετάζει τις πρακτικές συνέπειες των αλλαγών στα πρότυπα ξηρασίας για βασικούς τομείς και διερευνά πώς τα ευρήματα αυτά μπορούν να ενημερώσουν τις πολιτικές και τις στρατηγικές για την ενίσχυση της ανθεκτικότητας σε μελλοντικά φαινόμενα ξηρασίας.

5. Πώς μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι γνώσεις που προκύπτουν από την έρευνα αυτή για την ανάπτυξη αποτελεσματικότερων στρατηγικών προσαρμογής και μετριασμού για τη διαχείριση των κινδύνων ξηρασίας στο πλαίσιο ενός μεταβαλλόμενου κλίματος;

Με αυτό το ερώτημα διερευνάται η εφαρμογή των ερευνητικών ευρημάτων στη διαμόρφωση στρατηγικών που μπορούν να προετοιμάσουν καλύτερα τις κοινότητες, τα οικοσυστήματα και τις οικονομίες για τις προκλήσεις που θέτουν οι αυξανόμενοι κίνδυνοι ξηρασίας λόγω της κλιματικής κρίσης.

1.4 Σημασία παρούσας μελέτης

Η σημασία αυτής της μελέτης έγκειται στη δυνατότητά της να εμβαθύνει στην κατανόηση του τρόπου με τον οποίο η κλιματική κρίση διαμορφώνει τα πρότυπα ξηρασίας σε διάφορες περιοχές και την πολύπλοκη αλληλεπίδραση κλιματικών, γεωγραφικών και κοινωνικοοικονομικών παραγόντων που επηρεάζουν αυτές τις διακυμάνσεις. Γνωρίζοντας ότι η κλιματική κρίση επιταχύνεται, οι ξηρασίες γίνονται όλο και πιο συχνές, σοβαρές και απρόβλεπτες, θέτοντας σημαντικές προκλήσεις για τους υδάτινους πόρους, τη γεωργία, τα οικοσυστήματα και τις ανθρώπινες κοινότητες παγκοσμίως. Με την εξέταση των περιφερειακών διαφορών στις επιπτώσεις της ξηρασίας, η παρούσα μελέτη αποσκοπεί στην παροχή κρίσιμων γνώσεων που είναι απαραίτητες για τη χάραξη αποτελεσματικών

στρατηγικών προσαρμογής και μετριασμού, προσαρμοσμένων στις συγκεκριμένες ανάγκες και ευπάθειες των διαφόρων περιοχών.

Μία από τις βασικές συνεισφορές της παρούσας μελέτης είναι η εστίασή της στις τοπικές επιπτώσεις της κλιματικής κρίσης, οι οποίες συχνά παραβλέπονται στις παγκόσμιες εκτιμήσεις. Παρόλο που τα παγκόσμια μοντέλα και οι προβλέψεις είναι ανεκτίμητα, μπορεί μερικές φορές να αποκρύπτουν τις μοναδικές προκλήσεις που αντιμετωπίζουν συγκεκριμένες περιοχές. Η παρούσα μελέτη αντιμετωπίζει αυτό το κενό τονίζοντας πώς οι τοπικές κλιματικές συνθήκες, όπως οι αλλαγές στη θερμοκρασία και τις βροχοπτώσεις, αλληλοεπιδρούν με γεωγραφικούς παράγοντες όπως η τοπογραφία, τα χαρακτηριστικά του εδάφους και η εγγύτητα σε υδάτινα σώματα, ώστε να επηρεάζουν τη σοβαρότητα και τη συχνότητα της ξηρασίας. Η βαθύτερη αντίληψη αυτών των αλληλεπιδράσεων είναι σημαντική για την πρόβλεψη των μελλοντικών κινδύνων ξηρασίας και την ανάπτυξη αντιδράσεων ανά περιοχή.

Επιπλέον, η έμφαση που δίνει η μελέτη στους κοινωνικοοικονομικούς παράγοντες προσθέτει μία σημαντική διάσταση στην ανάλυση. Η ξηρασία δεν συμβαίνει στο κενό- οι επιπτώσεις της είναι βαθιά συνυφασμένες με τα κοινωνικά, οικονομικά και πολιτικά πλαίσια των περιοχών που πλήττονται. Με τη διερεύνηση του τρόπου με τον οποίο παράγοντες όπως η γεωργική εξάρτηση, οι υποδομές διαχείρισης των υδάτων, η ποιότητα της διακυβέρνησης και η κοινωνική ανισότητα επηρεάζουν την περιφερειακή ευπάθεια στην ξηρασία, η μελέτη αυτή παρέχει μία πιο ολιστική κατανόηση του ζητήματος. Η προσέγγιση αυτή συμβάλλει στον εντοπισμό των πιο ευάλωτων πληθυσμών και περιοχών, επιτρέποντας στους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής να δώσουν προτεραιότητα στις παρεμβάσεις εκεί που χρειάζονται περισσότερο.

Οι γνώσεις που αποκομίζονται από τη μελέτη αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντικές για την ενημέρωση των πολιτικών αποφάσεων τόσο σε εθνικό όσο και σε τοπικό επίπεδο.

Αξίζει να υπογραμμίσουμε ότι αφού οι κυβερνήσεις και οι οργανισμοί παλεύουν με τις προκλήσεις που θέτει η κλιματική αλλαγή, υπάρχει επείγουσα ανάγκη για τεκμηριωμένες στρατηγικές που να αντιμετωπίζουν τους συγκεκριμένους κινδύνους και τις ευκαιρίες που παρουσιάζουν οι περιφερειακές διακυμάνσεις της ξηρασίας.

Επιπλέον, η μελέτη αυτή έχει ευρύτερες επιπτώσεις στις παγκόσμιες προσπάθειες για την αντιμετώπιση της κλιματικής κρίσης. Συμβάλλοντας σε μία πιο διαφοροποιημένη κατανόηση του τρόπου με τον οποίο εξελίσσονται οι ξηρασίες σε διάφορα μέρη του κόσμου, υποστηρίζει την παγκόσμια συζήτηση για την προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή και την ανθεκτικότητα. Τα ευρήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ενημέρωση της διεθνούς συνεργασίας και της ανταλλαγής γνώσεων, βοηθώντας τις περιφέρειες να μάθουν από τις εμπειρίες και τις βέλτιστες πρακτικές των άλλων στη διαχείριση του κινδύνου ξηρασίας.

2. Μεθοδολογία

2.1 Ερευνητική προσέγγιση

Το παρόν δοκίμιο χρησιμοποιεί τη βιβλιογραφική ανασκόπηση ως κύρια ερευνητική προσέγγιση, για να διερευνήσει τον αντίκτυπο της κλιματικής κρίσης στην ξηρασία, εστιάζοντας στις περιφερειακές διαφοροποιήσεις και την επίδραση των τοπικών κλιματικών, γεωγραφικών και κοινωνικοοικονομικών παραγόντων. Η βιβλιογραφική ανασκόπηση είναι μία ουσιαστική μέθοδος για τη σύνθεση της υπάρχουσας γνώσης σχετικά με ένα θέμα, τον εντοπισμό κενών στη βιβλιογραφία και τη δημιουργία βάσεων για περαιτέρω έρευνα (Paul & Criado, 2020). Με τη συστηματική ανασκόπηση και ανάλυση των σχετικών μελετών, το παρόν δοκίμιο στοχεύει να παράσχει μία ολοκληρωμένη κατανόηση του τρόπου με τον οποίο η κλιματική κρίση επηρεάζει την ξηρασία σε διάφορες περιοχές και να διερευνήσει τους παράγοντες που συμβάλλουν σε αυτές τις διακυμάνσεις.

Προκειμένου να εξασφαλιστεί μία ολοκληρωμένη και εστιασμένη βιβλιογραφική ανασκόπηση, καθορίστηκαν συγκεκριμένα κριτήρια για την επιλογή των μελετών που περιλαμβάνονται στο παρόν δοκίμιο. Το πεδίο εφαρμογής της ανασκόπησης καλύπτει ερευνητικά άρθρα, εκθέσεις και άλλες επιστημονικές εργασίες που δημοσιεύθηκαν τις τελευταίες δύο δεκαετίες, με λίγες εξαιρέσεις για θεμελιώδεις εργασίες που επηρέασαν σημαντικά τον τομέα. Το χρονικό αυτό πλαίσιο επιλέχθηκε, προκειμένου να καταγραφούν οι πιο πρόσφατες εξελίξεις και γνώσεις, ιδίως στο πλαίσιο της επιταχυνόμενης κλιματικής κρίσης.

Τα κριτήρια επιλογής των μελετών που συμπεριλήφθηκαν στην ανασκόπηση βασίστηκαν στη συνάφεια, τη μεθοδολογική αυστηρότητα και τη συμβολή στην κατανόηση των περιφερειακών διαφορών στις επιπτώσεις της ξηρασίας. Οι μελέτες επιλέχθηκαν

ανάλογα με το αν ερεύνησαν άμεσα με τη σχέση μεταξύ της κλιματικής αλλαγής και της ξηρασίας, παρείχαν εμπειρικά δεδομένα ή ισχυρά θεωρητικά πλαίσια και προσέφεραν πληροφορίες σχετικά με τις περιφερειακές διαφορές στη σοβαρότητα και τη συχνότητα της ξηρασίας. Επιπλέον, δόθηκε προτεραιότητα σε μελέτες που διερευνούσαν το ρόλο των τοπικών κλιματικών, γεωγραφικών και κοινωνικοοικονομικών παραγόντων στη διαμόρφωση των επιπτώσεων της ξηρασίας.

Η μεθοδολογία της βιβλιογραφικής ανασκόπησης περιελάμβανε διάφορα βασικά βήματα: αναζήτηση βιβλιογραφίας, αξιολόγηση των πηγών, σύνθεση των ευρημάτων και εντοπισμός ερευνητικών κενών.

2.1.1 Αναζήτηση βιβλιογραφίας

Το πρώτο βήμα περιελάμβανε τη διεξαγωγή μιας ολοκληρωμένης αναζήτησης σε ακαδημαϊκές βάσεις δεδομένων, συμπεριλαμβανομένων των Google Scholar, Web of Science και Scopus, για τον εντοπισμό σχετικών μελετών. Για τον εντοπισμό άρθρων και εκθέσεων χρησιμοποιήθηκαν λέξεις-κλειδιά όπως «κλιματική αλλαγή», «ξηρασία», «περιφερειακές διακυμάνσεις», «κλιματικοί παράγοντες», «γεωγραφικοί παράγοντες» και «κοινωνικοοικονομικοί παράγοντες». Χρησιμοποιήθηκαν τελεστές Boolean (AND, OR, NOT) για να βελτιωθεί η αναζήτηση και να διασφαλιστεί ότι ανακτήθηκαν οι πιο σχετικές μελέτες. Εκτός από τις αναζητήσεις σε βάσεις δεδομένων, εξετάστηκαν οι αναφορές των βασικών άρθρων για τον εντοπισμό πρόσθετων πηγών που ενδέχεται να μην είχαν καταγραφεί κατά την αρχική αναζήτηση (Denney & Tewksbury, 2013).

2.1.2 Αξιολόγηση των πηγών

Εφόσον εντοπίστηκαν οι σχετικές μελέτες, αξιολογήθηκαν για συμπερίληψη με βάση τα κριτήρια επιλογής που αναφέρθηκαν προηγουμένως. Η διαδικασία αξιολόγησης περιελάμβανε την εξέταση των περιλήψεων, των μεθοδολογιών και των ευρημάτων κάθε

μελέτης για τον προσδιορισμό της συνάφειας και της ποιότητάς τους. Προτιμήθηκαν οι μελέτες που χρησιμοποιούσαν ισχυρούς ερευνητικούς σχεδιασμούς, όπως διαχρονικές μελέτες, μετα-αναλύσεις ή εμπειρικές αναλύσεις μεγάλης κλίμακας. Προτεραιότητα δόθηκε επίσης σε άρθρα που παρείχαν σαφείς εξηγήσεις για τις μεθοδολογίες τους και περιλάμβαναν συζητήσεις σχετικά με τους περιορισμούς και τις επιπτώσεις των ευρημάτων τους (Denney & Tewksbury, 2013).

2.1.3 Σύνθεση των ευρημάτων

Οι επιλεγμένες μελέτες συντέθηκαν στη συνέχεια για να αναδειχθούν βασικά θέματα, πρότυπα και ιδέες. Η διαδικασία σύνθεσης περιλάμβανε την οργάνωση των μελετών σε θεματικές κατηγορίες με βάση τα ερευνητικά ερωτήματα που καθοδηγούσαν την ανασκόπηση. Οι κατηγορίες αυτές περιλάμβαναν τη σχέση μεταξύ κλιματικής αλλαγής και ξηρασίας, τις περιφερειακές διαφορές στις επιπτώσεις της ξηρασίας, το ρόλο των τοπικών κλιματικών παραγόντων, την επίδραση των γεωγραφικών χαρακτηριστικών και τον αντίκτυπο των κοινωνικοοικονομικών συνθηκών. Σε κάθε κατηγορία, τα ευρήματα των επιμέρους μελετών συγκρίθηκαν και αντιπαρατέθηκαν, για να εντοπιστούν περιοχές συναίνεσης, αποκλίσεων και αναδυόμενων τάσεων (Denney & Tewksbury, 2013).

2.1.4 Προσδιορισμός ερευνητικών κενών

Μετά τη σύνθεση των ευρημάτων, η ανασκόπηση επικεντρώθηκε στον εντοπισμό κενών στην υπάρχουσα βιβλιογραφία. Αυτό περιλάμβανε την εξέταση των περιορισμών προηγούμενων μελετών, όπως το μικρό μέγεθος του δείγματος, η περιορισμένη γεωγραφική εστίαση ή η έλλειψη εξέτασης ορισμένων μεταβλητών (Denney & Tewksbury, 2013). Η ανασκόπηση εξέτασε, επίσης, τους τομείς στους οποίους η έρευνα βρίσκεται ακόμη σε αρχικό στάδιο ή όπου τα αντικρουόμενα αποτελέσματα υποδηλώνουν την ανάγκη περαιτέρω διερεύνησης. Ο εντοπισμός αυτών των κενών είναι εξαιρετικής σημασίας για

την καθοδήγηση των μελλοντικών ερευνητικών προσπαθειών και τη διασφάλιση ότι οι επόμενες μελέτες θα αντιμετωπίσουν τις πιο πιεστικές και ανεξερεύνητες πτυχές της σχέσης μεταξύ κλίματος και ξηρασίας.

2.2 Ανάλυση δεδομένων

Σε μία βιβλιογραφική ανασκόπηση, η ανάλυση δεδομένων λαμβάνει διαφορετική μορφή σε σύγκριση με τις εμπειρικές μελέτες. Αντί της ανάλυσης ακατέργαστων δεδομένων που συλλέγονται μέσω πειραμάτων ή ερευνών, η ανάλυση σε μία βιβλιογραφική ανασκόπηση περιλαμβάνει τη σύνθεση, τη σύγκριση και την κριτική αξιολόγηση των ευρημάτων από τις υπάρχουσες έρευνες. Ο στόχος είναι να εντοπιστούν μοτίβα, τάσεις και κενά στη βιβλιογραφία και να εξαχθούν συμπεράσματα με βάση τις συλλογικές γνώσεις που παρέχουν οι διάφορες μελέτες. Η παρούσα ενότητα περιγράφει τη διαδικασία ανάλυσης δεδομένων που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα βιβλιογραφική ανασκόπηση, η οποία εξετάζει τον αντίκτυπο της κλιματικής κρίσης στην ξηρασία, με ιδιαίτερη έμφαση στις περιφερειακές διακυμάνσεις και τον ρόλο των τοπικών κλιματικών, γεωγραφικών και κοινωνικοοικονομικών παραγόντων.

Το πρώτο βήμα στη διαδικασία ανάλυσης δεδομένων ήταν η δημιουργία ενός πλαισίου που θα καθοδηγούσε τη σύνθεση και την αξιολόγηση της βιβλιογραφίας. Το πλαίσιο αυτό αναπτύχθηκε με βάση τα ερευνητικά ερωτήματα και τους στόχους της μελέτης. Περιελάμβανε την κατηγοριοποίηση της βιβλιογραφίας σε θεματικούς τομείς, όπως η σχέση μεταξύ κλιματικής αλλαγής και ξηρασίας, οι περιφερειακές διαφορές στις επιπτώσεις της ξηρασίας και η επίδραση συγκεκριμένων παραγόντων όπως το κλίμα, η γεωγραφία και η κοινωνικοοικονομία. Με την οργάνωση της βιβλιογραφίας με αυτόν τον τρόπο, έγινε ευκολότερη η συστηματική σύγκριση και αντιπαραβολή των ευρημάτων μεταξύ των διαφόρων μελετών.

Το πλαίσιο περιλάμβανε επίσης κριτήρια για την αξιολόγηση της ποιότητας και της συνάφειας των μελετών. Τα κριτήρια αυτά βασίστηκαν σε παράγοντες όπως ο ερευνητικός σχεδιασμός, το μέγεθος του δείγματος, η γεωγραφική εστίαση και η ευρωστία των μεθοδολογιών που χρησιμοποιήθηκαν στις μελέτες. Για παράδειγμα, οι μελέτες που χρησιμοποιούσαν μακροχρόνια σύνολα δεδομένων, εξελιγμένα κλιματικά μοντέλα ή ολοκληρωμένες στατιστικές αναλύσεις είχαν μεγαλύτερη βαρύτητα στη σύνθεση. Η προσέγγιση αυτή διασφάλισε ότι τα συμπεράσματα που εξήχθησαν από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση βασίζονταν στα πιο αξιόπιστα και συναφή στοιχεία.

2.2.1 Σύνθεση των ευρημάτων

Ο πυρήνας της ανάλυσης δεδομένων στην παρούσα βιβλιογραφική ανασκόπηση περιλάμβανε τη σύνθεση των ευρημάτων από τις επιλεγμένες μελέτες. Αυτή η διαδικασία σύνθεσης ήταν τόσο περιγραφική όσο και αναλυτική (Πατελάρου & Μπροκαλάκη, 2010). Περιγραφικά, η σύνθεση περιλάμβανε τη σύνοψη των κύριων ευρημάτων κάθε μελέτης, συμπεριλαμβανομένου του τρόπου με τον οποίο η κλιματική αλλαγή επηρεάζει την ξηρασία, τις συγκεκριμένες περιφερειακές επιπτώσεις που παρατηρήθηκαν και τους παράγοντες που συμβάλλουν σε αυτές τις επιπτώσεις. Αναλυτικά, η σύνθεση επικεντρώθηκε στον εντοπισμό μοτίβων και τάσεων μεταξύ των διαφόρων μελετών, όπως τα κοινά σημεία στον τρόπο με τον οποίο εκδηλώνεται η ξηρασία σε διάφορες περιοχές ή τα συνεπή ευρήματα σχετικά με το ρόλο της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης στη δυναμική της ξηρασίας.

Για παράδειγμα, η βιβλιογραφία αποκάλυψε ένα σταθερό πρότυπο αύξησης της συχνότητας και της σοβαρότητας της ξηρασίας σε περιοχές, όπως η Μεσόγειος, η δυτική Βόρεια Αμερική και τμήματα της υποσαχάριας Αφρικής (Dai, 2013). Τα ευρήματα αυτά συνδέθηκαν συχνά με την άνοδο της θερμοκρασίας και την αλλαγή των προτύπων

βροχόπτωσης, τα οποία επηρεάζονται άμεσα από την παγκόσμια κλιματική αλλαγή. Η σύνθεση ανέδειξε επίσης περιφερειακές διαφορές στις επιπτώσεις της ξηρασίας, με ορισμένες περιοχές να βιώνουν πιο έντονες γεωργικές ξηρασίες λόγω ελλείψεων εδαφικής υγρασίας, ενώ άλλες αντιμετώπισαν υδρολογικές ξηρασίες που χαρακτηρίζονται από μειωμένη στάθμη νερού σε ποτάμια και ταμειυτήρες (Porenoe et al., 2021).

Η διαδικασία σύνθεσης περιλάμβανε, επίσης, τον εντοπισμό ακραίων ή αντιφατικών ευρημάτων. Για παράδειγμα, ενώ οι περισσότερες μελέτες συμφώνησαν ως προς τη γενική τάση αύξησης της ξηρασίας στο πλαίσιο της κλιματικής αλλαγής, ορισμένες μελέτες διαπίστωσαν ότι ορισμένες περιοχές, όπως τμήματα της Νοτιοανατολικής Ασίας, ενδέχεται να βιώσουν πιο σύνθετα μοτίβα υγρών και ξηρών περιόδων και όχι μία απλή αύξηση της συχνότητας της ξηρασίας (Porenoe et al., 2021). Αυτές οι ακραίες τιμές εξετάστηκαν κριτικά για να γίνει κατανοητό αν αντανακλούν μοναδικές περιφερειακές συνθήκες, μεθοδολογικές διαφορές ή αναδυόμενες τάσεις που απαιτούν περαιτέρω διερεύνηση.

2.2.2 Συγκριτική ανάλυση

Ένα σημαντικό μέρος της ανάλυσης των δεδομένων περιλάμβανε συγκριτική ανάλυση, όπου συγκρίθηκαν ευρήματα από διαφορετικές περιοχές και πλαίσια, για να αποκαλυφθούν ευρύτερες γνώσεις σχετικά με τη σχέση μεταξύ κλιματικής αλλαγής και ξηρασίας. Αυτή η συγκριτική προσέγγιση ήταν ουσιαστική για την κατανόηση του τρόπου με τον οποίο οι τοπικοί κλιματικοί, γεωγραφικοί και κοινωνικοοικονομικοί παράγοντες επηρεάζουν την εκδήλωση της ξηρασίας σε διαφορετικές περιοχές.

Για παράδειγμα, η ανάλυση αποκάλυψε ότι τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά, όπως το υψόμετρο και η εγγύτητα σε υδάτινα σώματα, διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη διαμεσολάβηση για τον αντίκτυπο της ξηρασίας. Οι ορεινές περιοχές που εξαρτώνται από

τη χιονοστιβάδα για την παροχή νερού, όπως οι Άνδεις και τα Ιμαλάια, είναι ιδιαίτερα ευάλωτες στις αλλαγές στα πρότυπα τήξης του χιονιού λόγω της υπερθέρμανσης του πλανήτη. Αντίθετα, οι παράκτιες περιοχές μπορεί να αντιμετωπίσουν λιγότερο σοβαρές επιπτώσεις από την ξηρασία λόγω της πιο σταθερής διαθεσιμότητας υγρασίας, αλλά αντιμετωπίζουν άλλες προκλήσεις που σχετίζονται με το κλίμα, όπως η άνοδος της στάθμης της θάλασσας και η διείσδυση αλμυρού νερού (Πατελάρου & Μπροκαλάκη, 2010).

Η συγκριτική ανάλυση διερεύνησε επίσης πώς οι κοινωνικοοικονομικοί παράγοντες επηρεάζουν την ευπάθεια στην ξηρασία. Διαπιστώθηκε ότι περιοχές με προηγμένες υποδομές διαχείρισης υδάτων, όπως το Ισραήλ, είναι πιο ανθεκτικές στην ξηρασία, παρά το γεγονός ότι βιώνουν παρόμοιες κλιματικές συνθήκες με γειτονικές περιοχές με λιγότερο ανεπτυγμένες υποδομές (Tal, 2017). Ομοίως, η ανάλυση έδειξε ότι περιοχές με υψηλά επίπεδα φτώχειας και κοινωνικής ανισότητας, όπως τμήματα της υποσαχάριας Αφρικής, είναι πιθανότερο να βιώσουν σοβαρές κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις από την ξηρασία, συμπεριλαμβανομένης της επισιτιστικής ανασφάλειας και της εκτόπισης (Πατελάρου & Μπροκαλάκη, 2010).

2.2.3 Κριτική αξιολόγηση και εντοπισμός κενών

Το τελικό στάδιο της ανάλυσης δεδομένων περιελάμβανε την κριτική αξιολόγηση της βιβλιογραφίας για τον εντοπισμό κενών και τομέων για μελλοντική έρευνα. Αυτή η κριτική αξιολόγηση βασίστηκε στη σύνθεση και τη συγκριτική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε προηγουμένως, εστιάζοντας στους περιορισμούς και τις προκλήσεις που αντιμετωπίζουν οι υπάρχουσες μελέτες.

Ένα από τα βασικά κενά που εντοπίστηκαν ήταν η ανάγκη για περισσότερη έρευνα ανά περιοχή που να λαμβάνει υπόψη τις μοναδικές κλιματικές, γεωγραφικές και κοινωνικοοικονομικές συνθήκες των διαφόρων περιοχών. Αν και υπάρχει σημαντική

έρευνα για την ξηρασία σε περιοχές όπως η Βόρεια Αμερική και η Ευρώπη, άλλες περιοχές, ιδίως στον Παγκόσμιο Νότο, υποεκπροσωπούνται στη βιβλιογραφία. Αυτή η έλλειψη έρευνας περιορίζει τη δυνατότητα ανάπτυξης στοχευμένων στρατηγικών προσαρμογής για τις περιοχές αυτές.

Ένα άλλο κενό που εντοπίστηκε ήταν η ανάγκη για περισσότερες διεπιστημονικές μελέτες που ενσωματώνουν την κλιματική επιστήμη με την κοινωνικοοικονομική ανάλυση. Πολλές μελέτες επικεντρώνονται στις φυσικές πτυχές της ξηρασίας, όπως η θερμοκρασία και η βροχόπτωση, ενώ λιγότερες μελέτες εξετάζουν τους κοινωνικούς και οικονομικούς παράγοντες που επηρεάζουν την ευπάθεια και την ανθεκτικότητα στην ξηρασία. Η αντιμετώπιση αυτού του κενού θα παρείχε μία πιο ολιστική κατανόηση της ξηρασίας και θα ενημέρωνε για πιο ολοκληρωμένες πολιτικές απαντήσεις (Πατελάρου & Μπροκαλάκη, 2010).

Επιπλέον, η ανασκόπηση υπογράμμισε την ανάγκη για περισσότερη έρευνα σχετικά με το ενδεχόμενο μη γραμμικών και απροσδόκητων αλλαγών στα πρότυπα ξηρασίας στο πλαίσιο της κλιματικής αλλαγής. Έτσι, αν και πολλές μελέτες υποθέτουν μία γραμμική σχέση μεταξύ της αύξησης της θερμοκρασίας και της συχνότητας της ξηρασίας, η αναδυόμενη έρευνα υποδηλώνει ότι τα σημεία καμπής και οι βρόχοι ανατροφοδότησης θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε πιο απότομες και σοβαρές αλλαγές στις συνθήκες ξηρασίας (Lenton et al., 2019). Η διερεύνηση αυτών των πιθανοτήτων είναι εποικοδομητική για τη βελτίωση της ακρίβειας των προβλέψεων ξηρασίας και την προετοιμασία για τα χειρότερα σενάρια.

2.3 Ηθικοί περιορισμοί

Η διενέργεια βιβλιογραφικής ανασκόπησης σχετικά με τον αντίκτυπο της κλιματικής κρίσης στην ξηρασία παρουσιάζει αρκετές προκλήσεις και περιορισμούς. Μία

από τις πρωταρχικές προκλήσεις είναι ο ευρύς και διεπιστημονικός χαρακτήρας του θέματος. Η διασταύρωση της επιστήμης του κλίματος, της υδρολογίας, της γεωγραφίας τις κοινωνικές και οικονομικές επιστήμες σημαίνει ότι οι σχετικές μελέτες διαχέονται σε διάφορα πεδία, το καθένα με τις δικές του μεθοδολογίες και ορολογίες. Αυτή η ποικιλομορφία μπορεί να καταστήσει δύσκολη την ενσωμάτωση των ευρημάτων και την εξαγωγή γενικών συμπερασμάτων.

Μια άλλη πρόκληση είναι η ποικιλομορφία της ποιότητας και του πεδίου εφαρμογής των διαθέσιμων μελετών. Μολονότι ορισμένες περιοχές και πτυχές της σχέσης κλίματος-ξηρασίας είναι καλά μελετημένες, άλλες είναι λιγότερο, γεγονός που οδηγεί σε πιθανές μεροληψίες στην ανασκόπηση. Για παράδειγμα, υπάρχει πληθώρα ερευνών σχετικά με τις ξηρασίες στη Βόρεια Αμερική και την Ευρώπη, αλλά λιγότερες μελέτες επικεντρώνονται στην Αφρική ή τη Νοτιοανατολική Ασία, όπου οι επιπτώσεις της ξηρασίας μπορεί να είναι πιο σοβαρές.

Πρέπει επίσης να αναγνωριστούν οι περιορισμοί της ίδιας της προσέγγισης της βιβλιογραφικής ανασκόπησης. Ως μέθοδος δευτερογενούς έρευνας, η βιβλιογραφική ανασκόπηση εξαρτάται από τη διαθεσιμότητα και την ποιότητα των υφιστάμενων μελετών. Δεν παράγει νέα εμπειρικά δεδομένα, πράγμα που σημαίνει ότι τα ευρήματα και τα συμπεράσματα του παρόντος δοκιμίου εξαρτώνται από την έρευνα που διεξάγεται από άλλους. Επιπλέον, οι βιβλιογραφικές ανασκοπήσεις υπόκεινται στην ερμηνεία και τη σύνθεση των ευρημάτων από τον ερευνητή, γεγονός που μπορεί να εισάγει μεροληψία.

Παρά τις προκλήσεις αυτές, η προσέγγιση της βιβλιογραφικής ανασκόπησης είναι ιδιαίτερα κατάλληλη για τους στόχους της παρούσας μελέτης. Συνθέτοντας ένα ευρύ φάσμα μελετών, η ανασκόπηση παρέχει μία ολοκληρωμένη επισκόπηση της τρέχουσας κατάστασης των γνώσεων σχετικά με τον αντίκτυπο της κλιματικής κρίσης στην ξηρασία. Επιτρέπει τον εντοπισμό μοτίβων και τάσεων σε διάφορες περιοχές και πλαίσια,

συμβάλλοντας σε μία πιο διαφοροποιημένη κατανόηση του ζητήματος. Επιπλέον, επισημαίνοντας τα κενά στη βιβλιογραφία, η ανασκόπηση προσφέρει πολύτιμες πληροφορίες για το πού θα πρέπει να κατευθυνθούν οι μελλοντικές ερευνητικές προσπάθειες.

Η βιβλιογραφική ανασκόπηση έχει, επίσης, πρακτική σημασία. Οι γνώσεις που προκύπτουν από τη σύνθεση των υφιστάμενων μελετών μπορούν να ενημερώσουν τους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής, τους διαχειριστές περιβάλλοντος και τους ερευνητές σχετικά με τις πιο αποτελεσματικές στρατηγικές για τον μετριασμό και την προσαρμογή στην ξηρασία στο πλαίσιο της κλιματικής αλλαγής. Παρέχοντας μία ενοποιημένη βάση γνώσεων, η ανασκόπηση υποστηρίζει τη λήψη αποφάσεων βάσει στοιχείων και συμβάλλει στη διασφάλιση ότι οι παρεμβάσεις βασίζονται στην καλύτερη δυνατή επιστημονική τεκμηρίωση.

Εν κατακλείδι, η προσέγγιση της βιβλιογραφικής ανασκόπησης που χρησιμοποιήθηκε στο παρόν δοκίμιο χρησιμεύει ως ένα ισχυρό εργαλείο για τη διερεύνηση της πολύπλοκης σχέσης μεταξύ της κλιματικής κρίσης και της ξηρασίας. Επιτρέπει την ενσωμάτωση διαφορετικών προοπτικών και ευρημάτων, προσφέροντας μία ολοκληρωμένη και κριτική εξέταση του τρόπου με τον οποίο οι περιφερειακές διακυμάνσεις της ξηρασίας διαμορφώνονται από τοπικούς κλιματικούς, γεωγραφικούς και κοινωνικοοικονομικούς παράγοντες. Η ανασκόπηση όχι μόνο προάγει την ακαδημαϊκή κατανόηση, αλλά έχει και πρακτικές συνέπειες για την αντιμετώπιση μίας από τις πιο πιεστικές προκλήσεις της εποχής μας.

3. Βιβλιογραφική ανασκόπηση

3.1 Ορισμός των βασικών εννοιών

3.1.1 Κλιματική κρίση

Η κλιματική αλλαγή αναφέρεται σε μακροχρόνιες αλλαγές και μεταβολές της θερμοκρασίας και των καιρικών συνθηκών, που οφείλονται κυρίως στις ανθρώπινες δραστηριότητες. Ο σημαντικότερος παράγοντας της πρόσφατης κλιματικής αλλαγής είναι η αύξηση των αερίων του θερμοκηπίου (GHGs) στην ατμόσφαιρα της Γης, ιδίως του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), του μεθανίου (CH₄) και του οξειδίου του αζώτου (N₂O), που προκύπτουν από δραστηριότητες όπως η καύση ορυκτών καυσίμων, η αποψίλωση των δασών και οι βιομηχανικές διεργασίες (IPCC, 2021). Αυτά τα αέρια παγιδεύουν θερμότητα στην ατμόσφαιρα, οδηγώντας σε υπερθέρμανση του πλανήτη, η οποία με τη σειρά της προκαλεί αλλαγές στα πρότυπα βροχόπτωσης, άνοδο της στάθμης της θάλασσας και συχνότερα και σοβαρότερα ακραία καιρικά φαινόμενα (Τσούλου, 2010). Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής είναι εκτεταμένες, επηρεάζοντας τα φυσικά οικοσυστήματα, τις ανθρώπινες κοινωνίες και τις παγκόσμιες οικονομίες.

3.1.2 Ξηρασία

Η ξηρασία είναι ένας σύνθετος και πολύπλευρος φυσικός κίνδυνος που χαρακτηρίζεται από μία παρατεταμένη περίοδο ανεπαρκών βροχοπτώσεων, με αποτέλεσμα την έλλειψη νερού που μπορεί να επηρεάσει σημαντικά τη γεωργία, την παροχή νερού, τα οικοσυστήματα και τις οικονομίες (Dai, 2011).

3.1.3 Περιφερειακές διαφοροποιήσεις

Οι περιφερειακές διαφοροποιήσεις αναφέρονται στις διαφορές στον τρόπο με τον οποίο η κλιματική κρίση επηρεάζει τις διάφορες γεωγραφικές περιοχές, ιδίως όσον αφορά τη σοβαρότητα και τη συχνότητα της ξηρασίας. Οι διαφοροποιήσεις αυτές επηρεάζονται από ένα συνδυασμό τοπικών κλιματικών συνθηκών, γεωγραφικών χαρακτηριστικών όπως η τοπογραφία και ο τύπος του εδάφους και κοινωνικοοικονομικών παραγόντων, συμπεριλαμβανομένων των πρακτικών διαχείρισης του νερού, της γεωργικής εξάρτησης και των δομών διακυβέρνησης (Σκολαρίκης, 2021). Η κατανόηση αυτών των περιφερειακών διαφορών είναι ουσιώδης για την ανάπτυξη στοχευμένων στρατηγικών για τον μετριασμό των επιπτώσεων της ξηρασίας και την ενίσχυση της ανθεκτικότητας σε συγκεκριμένες περιοχές.

3.2 Η κλιματική κρίση: Παγκόσμια επισκόπηση

Η κλιματική κρίση είναι μία υπαρκτή πρόκληση που αντιμετωπίζει σήμερα ο κόσμος, η οποία χαρακτηρίζεται από σημαντικές μεταβολές στο κλιματικό σύστημα της Γης λόγω των ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Κεντρικό ρόλο στην κρίση αυτή παίζει η αύξηση των αερίων του θερμοκηπίου (GHGs) στην ατμόσφαιρα, κυρίως του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), του μεθανίου (CH₄) και του οξειδίου του αζώτου (N₂O), τα οποία παγιδεύουν τη θερμότητα και οδηγούν στην υπερθέρμανση του πλανήτη. Η παρούσα ενότητα παρέχει μία λεπτομερή συζήτηση σχετικά με τους βασικούς παράγοντες που οδηγούν στην κλιματική κρίση, εστιάζοντας στο ρόλο των αερίων του θερμοκηπίου, την επακόλουθη υπερθέρμανση του πλανήτη και τις επακόλουθες επιπτώσεις στα καιρικά πρότυπα και τα παγκόσμια οικοσυστήματα.

3.2.1 Αέρια του θερμοκηπίου και ο ρόλος τους στην κλιματική κρίση

Τα αέρια του θερμοκηπίου είναι οι κύριοι παράγοντες της κλιματικής κρίσης. Τα αέρια αυτά απορροφούν την υπέρυθη ακτινοβολία που εκπέμπεται από την επιφάνεια της Γης και την επανεκπέμπουν, δημιουργώντας ένα φαινόμενο θέρμανσης γνωστό ως φαινόμενο του θερμοκηπίου (Health Effects Institute, 2024). Αν και το φαινόμενο αυτό είναι φυσικό και απαραίτητο για τη διατήρηση της θερμοκρασίας της Γης σε κατοικήσιμο επίπεδο, η υπερβολική συγκέντρωση των αερίων του θερμοκηπίου λόγω των ανθρώπινων δραστηριοτήτων έχει εντείνει το φαινόμενο αυτό, οδηγώντας στην υπερθέρμανση του πλανήτη.

Το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) είναι το σημαντικότερο αέριο του θερμοκηπίου, συμβάλλοντας περίπου στο 76% των συνολικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Προέρχεται κυρίως από την καύση ορυκτών καυσίμων, την αποψίλωση των δασών και διάφορες βιομηχανικές διεργασίες (Πρόγραμμα των Ηνωμένων Εθνών για το Περιβάλλον [UNEP], 2023). Το μεθάνιο (CH_4), που αντιπροσωπεύει περίπου το 16% των παγκόσμιων εκπομπών, απελευθερώνεται κατά την παραγωγή και τη μεταφορά άνθρακα, πετρελαίου και φυσικού αερίου, καθώς και από την κτηνοτροφία και άλλες γεωργικές πρακτικές (Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή [IPCC], 2021). Το υποξείδιο του αζώτου (N_2O), το οποίο αποτελεί περίπου το 6% των εκπομπών, προέρχεται από γεωργικές και βιομηχανικές δραστηριότητες, συμπεριλαμβανομένης της χρήσης συνθετικών λιπασμάτων (EPA, 2024).

Η συγκέντρωση αυτών των αερίων έχει αυξηθεί δραματικά μετά τη βιομηχανική επανάσταση. Για παράδειγμα, τα επίπεδα του ατμοσφαιρικού CO_2 έχουν αυξηθεί από περίπου 280 μέρη ανά εκατομμύριο (ppm) στην προβιομηχανική εποχή σε πάνω από 410 ppm σήμερα, μία συγκέντρωση που δεν έχει παρατηρηθεί εδώ και τουλάχιστον 800.000

χρόνια (Sitch et al., 2024). Αυτή η απότομη αύξηση συνδέεται άμεσα με τις ανθρώπινες δραστηριότητες, ιδίως με την καύση ορυκτών καυσίμων για την ενέργεια και τις μεταφορές, οι οποίες αποτελούν τις μεγαλύτερες πηγές εκπομπών CO₂.

3.2.2 Η υπερθέρμανση του πλανήτη

Η υπερθέρμανση του πλανήτη αναφέρεται στη μακροχρόνια αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του κλιματικού συστήματος της Γης, άμεση συνέπεια των αυξημένων συγκεντρώσεων αερίων του θερμοκηπίου. Σύμφωνα με την Health Effects Institute. (2024), η μέση επιφανειακή θερμοκρασία της Γης έχει αυξηθεί κατά περίπου 1,2°C από τα τέλη του 19ου αιώνα, με την τελευταία δεκαετία (2011-2020) να είναι η θερμότερη που έχει καταγραφεί ποτέ.

Αυτή η τάση αύξησης της θερμοκρασίας δεν είναι ομοιόμορφα κατανεμημένη σε ολόκληρο τον πλανήτη. Η Αρκτική, για παράδειγμα, θερμαίνεται με ρυθμό υπερδιπλάσιο του παγκόσμιου μέσου όρου, ένα φαινόμενο γνωστό ως ενίσχυση της Αρκτικής (Screen & Simmonds, 2010). Αυτό έχει οδηγήσει στο γρήγορο λιώσιμο των πάγων και των παγετώνων, συμβάλλοντας στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας και στην απώλεια των πολικών ενδιαιτημάτων. Αντίθετα, ορισμένες περιοχές μπορεί να παρουσιάσουν μικρότερη αύξηση της θερμοκρασίας ή ακόμη και προσωρινή ψύξη λόγω παραγόντων όπως τα ωκεάνια ρεύματα και οι εκπομπές αερολυμάτων (Health Effects Institute, 2024).

Οι συνέπειες της υπερθέρμανσης του πλανήτη είναι βαθιές και εκτεταμένες. Οι υψηλότερες θερμοκρασίες συμβάλλουν σε συχνότερους και σοβαρότερους καύσωνες, οι οποίοι μπορεί να οδηγήσουν σε αυξημένη θνησιμότητα, ιδίως μεταξύ των ευάλωτων πληθυσμών (Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας [ΠΟΥ], 2018). Επιπλέον, η αύξηση της θερμοκρασίας των ωκεανών έχει οδηγήσει σε πιο έντονους και καταστροφικούς τυφώνες και τυφώνες, καθώς τα θερμότερα νερά παρέχουν περισσότερη ενέργεια για τις καταιγίδες

αυτές (Bolivar, 2024). Αυτά τα ακραία καιρικά φαινόμενα δεν προκαλούν μόνο άμεση ζημία, αλλά έχουν επίσης μακροπρόθεσμες οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις, ιδίως στις αναπτυσσόμενες χώρες με λιγότερη ανθεκτικότητα σε τέτοιου είδους κλυδωνισμούς.

3.2.3 Επιπτώσεις στα καιρικά πρότυπα

Ο αντίκτυπος της κλιματικής κρίσης στα παγκόσμια καιρικά πρότυπα είναι μία από τις σημαντικότερες και αμεσότερες επιπτώσεις της. Όταν η ατμόσφαιρα της Γης θερμαίνεται, μεταβάλλει τα φυσικά πρότυπα του καιρού, οδηγώντας σε αλλαγές στις βροχοπτώσεις, στα πρότυπα των ανέμων και στη συχνότητα και την ένταση των ακραίων καιρικών φαινομένων (Βαγγελάτος et al., 2021). Μία από τις πιο κρίσιμες αλλαγές είναι στα πρότυπα βροχόπτωσης. Οι θερμότερες θερμοκρασίες αυξάνουν τον ρυθμό εξάτμισης από τη γη και τους ωκεανούς, οδηγώντας σε περισσότερη υγρασία στην ατμόσφαιρα. Αυτό, με τη σειρά του, μπορεί να οδηγήσει σε πιο έντονες και συχνές βροχοπτώσεις σε ορισμένες περιοχές, οδηγώντας σε αυξημένο κίνδυνο πλημμυρών (Trenberth, 2011). Ωστόσο, η κατανομή αυτών των βροχοπτώσεων είναι άνιση, με ορισμένες περιοχές να βιώνουν πιο παρατεταμένες περιόδους ξηρασίας λόγω μειωμένων βροχοπτώσεων. Αυτή η διπλή απειλή πλημμυρών και ξηρασίας αναδεικνύει την πολυπλοκότητα των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στους υδάτινους πόρους και τη γεωργία.

Οι αλλαγές στα πρότυπα των ανέμων είναι μία άλλη σημαντική επίδραση της υπερθέρμανσης του πλανήτη. Το ρεύμα τζετ, ένα ρεύμα αέρα που κινείται σε μεγάλο ύψος και επηρεάζει γρήγορα τον καιρό στο βόρειο ημισφαίριο, έχει παρατηρηθεί ότι αποδυναμώνεται και γίνεται πιο ασταθές λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας της Αρκτικής (Francis & Vavrus, 2012). Αυτή η αποδυνάμωση μπορεί να προκαλέσει την καθυστέρηση των καιρικών συστημάτων, οδηγώντας σε παρατεταμένες περιόδους ακραίων

καιρικών συνθηκών, όπως οι καύσωνες και οι ψυχρές περίοδοι που παρατηρήθηκαν τα τελευταία χρόνια στη Βόρεια Αμερική και την Ευρώπη.

Επιπλέον, η συχνότητα και η ένταση των ακραίων καιρικών φαινομένων, όπως οι τυφώνες και οι πυρκαγιές, έχουν αυξηθεί σε πολλά μέρη του κόσμου. Η θερμότερη ατμόσφαιρα μπορεί να συγκρατήσει περισσότερη υγρασία, η οποία όχι μόνο τροφοδοτεί τις καταιγίδες, αλλά και οδηγεί σε πιο έντονες και παρατεταμένες νεροποντές όταν αυτές εκδηλώνονται (Bolívar, 2024). Ομοίως, οι υψηλότερες θερμοκρασίες και οι παρατεταμένες ξηρασίες έχουν συμβάλει στην αύξηση της συχνότητας και της σοβαρότητας των πυρκαγιών, όπως παρατηρήθηκε τα τελευταία χρόνια σε περιοχές όπως η Καλιφόρνια και η Αυστραλία (Abatzoglou & Williams, 2016).

Αυτές οι αλλαγές στα καιρικά πρότυπα έχουν σημαντικές επιπτώσεις στα οικοσυστήματα, τη γεωργία και τους ανθρώπινους οικισμούς. Για παράδειγμα, τα μεταβαλλόμενα πρότυπα βροχόπτωσης μπορούν να διαταράξουν τους γεωργικούς κύκλους, επηρεάζοντας τις αποδόσεις των καλλιεργειών και την επισιτιστική ασφάλεια, ιδίως σε περιοχές που είναι ήδη ευάλωτες στην έλλειψη τροφίμων (Gerber et al., 2024). Ομοίως, η αυξημένη συχνότητα ακραίων καιρικών φαινομένων μπορεί να επιβαρύνει τις υποδομές, να οδηγήσει σε οικονομικές απώλειες και να αναγκάσει τις κοινότητες να μετακινηθούν, επιδεινώνοντας τις κοινωνικές και οικονομικές ανισότητες (UNEP, 2023).

3.3 Κατανόηση της ξηρασίας

Η ξηρασία είναι ένα σύνθετο και πολύπλευρο φαινόμενο που επηρεάζει σημαντικά τα οικοσυστήματα, τη γεωργία και τις ανθρώπινες κοινωνίες. Η κατανόηση της ξηρασίας απαιτεί σαφή ορισμό των διαφόρων τύπων της και εξέταση των ιστορικών τάσεων και περιστατικών. Η παρούσα ενότητα παρέχει μία επισκόπηση των διαφόρων τύπων ξηρασίας

-μετεωρολογική, γεωργική, υδρολογική και κοινωνικοοικονομική- και στη συνέχεια μία συζήτηση των ιστορικών προοπτικών και τάσεων στα περιστατικά ξηρασίας.

3.3.1 Ορισμός και τύποι ξηρασίας

Δεν υπάρχει ακριβής ορισμός για την ξηρασία, ωστόσο, είναι συνήθως μία παρατεταμένη περίοδος ασυνήθιστα χαμηλών βροχοπτώσεων, που οδηγεί σε έλλειψη νερού (Δασακλής, et al., 2012). Ωστόσο, αυτός ο ευρύς ορισμός περιλαμβάνει διάφορους διακριτούς τύπους ξηρασίας, καθένας από τους οποίους έχει τα δικά του ιδιαίτερα χαρακτηριστικά και επιπτώσεις.

3.3.1.1 Μετεωρολογική ξηρασία

Η μετεωρολογική ξηρασία αναφέρεται σε μία σημαντική μείωση των βροχοπτώσεων σε σχέση με τα κανονικά επίπεδα που αναμένονται σε μία συγκεκριμένη περιοχή για μία συγκεκριμένη περίοδο (Dai, 2011). Αυτός ο τύπος ξηρασίας είναι συχνά ο πρώτος δείκτης πιθανών συνθηκών ξηρασίας και μπορεί να ποικίλλει σε μεγάλο βαθμό ανάλογα με το κλίμα της περιοχής. Για παράδειγμα, μερικές εβδομάδες βροχοπτώσεων κάτω του μέσου όρου μπορεί να συνιστούν μετεωρολογική ξηρασία σε μία υγρή περιοχή, ενώ σε άγονες περιοχές μπορεί να απαιτούνται μεγαλύτερες περίοδοι ανεπαρκών βροχοπτώσεων για να προκληθούν συνθήκες ξηρασίας. Η μετεωρολογική ξηρασία είναι η απλούστερη μορφή ορισμού και μέτρησης, καθώς βασίζεται κυρίως σε δεδομένα βροχόπτωσης, αλλά δεν λαμβάνει άμεσα υπόψη τη διαθεσιμότητα ή τη χρήση νερού (Δασακλής, et al., 2012).

3.3.1.2 Γεωργική ξηρασία

Η γεωργική ξηρασία εμφανίζεται όταν δεν υπάρχει επαρκής εδαφική υγρασία για να καλύψει τις ανάγκες των καλλιεργειών σε διάφορα στάδια ανάπτυξης, οδηγώντας σε μειωμένη γεωργική παραγωγικότητα (Mishra & Singh, 2010). Αυτός ο τύπος ξηρασίας

συνδέεται στενά με τη μετεωρολογική ξηρασία, αλλά εξαρτάται επίσης από παράγοντες όπως οι ιδιότητες του εδάφους, οι τύποι των καλλιεργειών και οι γεωργικές πρακτικές. Η γεωργική ξηρασία μπορεί να αναπτυχθεί ακόμη και όταν υπάρχει επαρκής βροχόπτωση, εάν η εδαφική υγρασία δεν συγκρατείται σωστά ή εάν οι απαιτήσεις των καλλιεργειών σε νερό είναι ασυνήθιστα υψηλές. Οι επιπτώσεις της γεωργικής ξηρασίας είναι ιδιαίτερα σοβαρές σε περιοχές που εξαρτώνται από τη βροχογενή γεωργία, όπου η έλλειψη υποδομών άρδευσης καθιστά τις καλλιέργειες πιο ευάλωτες στις διακυμάνσεις των βροχοπτώσεων (Δασακλής, et al., 2012).

3.3.1.3 Υδρολογική ξηρασία

Η υδρολογική ξηρασία ορίζεται από τη μειωμένη διαθεσιμότητα υδάτινων πόρων σε ποτάμια, λίμνες, ταμιευτήρες και υπόγεια ύδατα (Van Loon, 2015). Αυτός ο τύπος ξηρασίας εμφανίζεται όταν παρατεταμένες μετεωρολογικές ξηρασίες μειώνουν τα επίπεδα νερού σε επιφανειακά και υπόγεια υδάτινα σώματα, επηρεάζοντας την παροχή νερού για πόση, βιομηχανική χρήση και παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας. Οι υδρολογικές ξηρασίες συχνά αναπτύσσονται και ανακάμπτουν πιο αργά από τις μετεωρολογικές και τις γεωργικές ξηρασίες, επειδή εξαρτώνται από την αναπλήρωση των υδάτινων σωμάτων, η οποία μπορεί να διαρκέσει μήνες ή και χρόνια. Οι επιπτώσεις της υδρολογικής ξηρασίας μπορεί να είναι εκτεταμένες, επηρεάζοντας πολλούς τομείς και οδηγώντας συχνά σε σοβαρές οικονομικές απώλειες και περιβαλλοντική υποβάθμιση (Van Loon, 2015).

3.3.2 Ιστορικές προοπτικές και τάσεις εμφάνισης ξηρασίας

Οι ξηρασίες αποτελούν επαναλαμβανόμενο χαρακτηριστικό του κλιματικού συστήματος της Γης σε όλη τη διάρκεια της ιστορίας, με σημαντικές κοινωνικές, οικονομικές και περιβαλλοντικές συνέπειες. Τα ιστορικά αρχεία και τα παλαιοκλιματικά στοιχεία δείχνουν ότι οι ξηρασίες συνέβαλαν στην κατάρρευση πολιτισμών, όπως η

αυτοκρατορία των Ακκάδων γύρω στο 2200 π.Χ. και ο πολιτισμός των Μάγια κατά τον 9ο αιώνα μ.Χ., οι οποίοι βίωσαν παρατεταμένες περιόδους σοβαρής ξηρασίας (Weiss, 2017-Kennett et al., 2012).

Στην πιο πρόσφατη ιστορία, οι αξιοσημείωτες ξηρασίες περιλαμβάνουν την περίοδο Dust Bowl της δεκαετίας του 1930 στις Ηνωμένες Πολιτείες, μία περίοδο σοβαρών καταιγίδων σκόνης και γεωργικής κατάρρευσης που προκλήθηκε τόσο από φυσικούς όσο και από ανθρωπογενείς παράγοντες (Middleton, 2024). Ομοίως, οι ξηρασίες του Σαχέλ στις δεκαετίες του 1970 και 1980 στην Αφρική οδήγησαν σε εκτεταμένη πείνα και εκτοπισμό, επιδεινώνοντας τις υφιστάμενες κοινωνικοοικονομικές ευπάθειες στην περιοχή (Nicholson, 2013). Τα γεγονότα αυτά αναδεικνύουν τις βαθιές επιπτώσεις που μπορεί να έχουν οι ξηρασίες, ιδίως σε περιοχές όπου οι κοινωνίες εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τη γεωργία και όπου τα συστήματα διαχείρισης των υδάτων είναι ανεπαρκή.

Κατά τη διάρκεια του περασμένου αιώνα, η συχνότητα, η διάρκεια και η ένταση των ξηρασιών έχουν παρουσιάσει αξιοσημείωτες τάσεις, οι οποίες επηρεάζονται τόσο από τη φυσική κλιματική μεταβλητότητα όσο και από την ανθρωπογενή κλιματική αλλαγή. Ο 20ός αιώνας ήταν μάρτυρας αρκετών σοβαρών ξηρασιών, αλλά υπήρξε αξιοσημείωτη αύξηση της σοβαρότητας και της συχνότητας της ξηρασίας στα τέλη του 20ού και στις αρχές του 21ου αιώνα, ιδίως σε περιοχές όπως η Μεσόγειος, τμήματα της Αφρικής και η Αυστραλία (Li et al., 2024).

Η κλιματική αλλαγή αναμένεται να επιδεινώσει αυτές τις τάσεις, οδηγώντας σε συχνότερες και σοβαρότερες ξηρασίες σε πολλές περιοχές του κόσμου. Η αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας συμβάλλει στην αύξηση των ρυθμών εξάτμισης, μεταβάλλοντας τα πρότυπα βροχόπτωσης και μειώνοντας τη χιονόστρωση στις ορεινές περιοχές, γεγονός που με τη σειρά του επηρεάζει τη διαθεσιμότητα νερού κατά τη διάρκεια των ξηρών περιόδων (EPA, 2024). Επιπλέον, τα κλιματικά μοντέλα προβλέπουν ότι οι περιοχές που

είναι ήδη επιρρεπείς στην ξηρασία, όπως η Μεσόγειος, η δυτική Βόρεια Αμερική και η νότια Αφρική, θα βιώσουν ακόμη πιο ξηρές συνθήκες τις επόμενες δεκαετίες (Seneviratne et al., 2012).

Μία από τις βασικές προκλήσεις για την αξιολόγηση των τάσεων της ξηρασίας είναι η πολυπλοκότητα των παραγόντων που συμβάλλουν στην ξηρασία. Σε αυτούς περιλαμβάνονται φυσικά κλιματικά φαινόμενα όπως το Ελ Νίνιο και η Ελ Νίνια, τα οποία μπορούν να οδηγήσουν σε σημαντικές διακυμάνσεις στα πρότυπα βροχόπτωσης και θερμοκρασίας σε παγκόσμια κλίμακα (Trenberth, 2011). Οι ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως οι αλλαγές στις χρήσεις γης, η αποψίλωση των δασών και η υπερεκμετάλλευση των υδάτινων πόρων, διαδραματίζουν επίσης κρίσιμο ρόλο στην επιδείνωση των συνθηκών ξηρασίας. Για παράδειγμα, η αποψίλωση των δασών μειώνει την ικανότητα της γης να συγκρατεί την υγρασία, οδηγώντας σε ξηρότερες συνθήκες, ενώ η υπερβολική χρήση των υπόγειων υδάτων μπορεί να εξαντλήσει τους υδροφόρους ορίζοντες, καθιστώντας τις περιοχές πιο ευάλωτες σε υδρολογικές ξηρασίες (Scanlon et al., 2012).

3.4 Δείκτες κλιματικής αλλαγής και ξηρασίας

Η μέτρηση και ο ποσοτικός προσδιορισμός της κλιματικής αλλαγής και των επιπτώσεών της, ιδίως της ξηρασίας, καθίστανται σημαντικά για την κατανόηση των συνεχιζόμενων μεταβολών στο κλιματικό σύστημα της Γης και για την ανάπτυξη αποτελεσματικών στρατηγικών προσαρμογής. Οι δείκτες χρησιμεύουν ως βασικά εργαλεία για την παρακολούθηση αυτών των αλλαγών, παρέχοντας δεδομένα που μπορούν να αναλυθούν για την αποκάλυψη τάσεων και την ενημέρωση για πολιτικές αποφάσεις. Στην παρούσα ενότητα εξετάζονται οι βασικοί δείκτες που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της κλιματικής αλλαγής, όπως η θερμοκρασία και τα πρότυπα βροχόπτωσης, και συζητούνται συγκεκριμένοι δείκτες που χρησιμοποιούνται για την ποσοτικοποίηση της ξηρασίας,

συμπεριλαμβανομένων του τυποποιημένου δείκτη βροχόπτωσης (SPI), του δείκτη σοβαρότητας ξηρασίας Palmer (PDSI) και του τυποποιημένου δείκτη εξατμισοδιαπνοής της βροχής (SPEI) (Soulé & Knapp, 2024).

3.4.1 Δείκτες κλιματικής αλλαγής

Οι δείκτες της κλιματικής αλλαγής είναι απαραίτητοι για την παρακολούθηση της έκτασης και του ρυθμού των παγκόσμιων κλιματικών μεταβολών. Μεταξύ των πιο κρίσιμων δεικτών είναι η θερμοκρασία και τα πρότυπα βροχόπτωσης, τα οποία επηρεάζουν άμεσα ένα ευρύ φάσμα περιβαλλοντικών και κοινωνικοοικονομικών συστημάτων.

3.4.1.1 Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία αποτελεί θεμελιώδη δείκτη της κλιματικής αλλαγής. Η παγκόσμια μέση επιφανειακή θερμοκρασία αυξάνεται σταθερά από τα τέλη του 19ου αιώνα, ενώ τις τελευταίες δεκαετίες παρατηρείται επιταχυνόμενη αύξηση της θερμοκρασίας (EPA, 2024). Αυτή η αύξηση της θερμοκρασίας αποδίδεται κυρίως στις αυξημένες συγκεντρώσεις αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα, όπως το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) και το μεθάνιο (CH₄), τα οποία ενισχύουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου παγιδεύοντας θερμότητα. Οι τάσεις της θερμοκρασίας μετρώνται συχνά με τη χρήση μακροχρόνιων κλιματικών καταγραφών από μετεωρολογικούς σταθμούς, δορυφορικών δεδομένων και κλιματικών μοντέλων. Τα δεδομένα αυτά είναι βασικά για τον εντοπισμό προτύπων αύξησης της θερμοκρασίας σε διάφορες γεωγραφικές κλίμακες και για την αξιολόγηση των πιθανών επιπτώσεων στα οικοσυστήματα, τα καιρικά πρότυπα και την ανθρώπινη υγεία (Clark et al., 2024).

3.4.1.2 Πρότυπα βροχοπτώσεων

Οι αλλαγές στα πρότυπα βροχόπτωσης είναι ένας άλλος κρίσιμος δείκτης της κλιματικής αλλαγής. Η υπερθέρμανση του πλανήτη επηρεάζει τον υδρολογικό κύκλο, οδηγώντας σε μεταβολές στην ένταση, τη συχνότητα και την κατανομή των βροχοπτώσεων. Ορισμένες περιοχές μπορεί να αντιμετωπίσουν πιο έντονες βροχοπτώσεις και αυξημένο κίνδυνο πλημμυρών, ενώ άλλες μπορεί να αντιμετωπίσουν παρατεταμένες ξηρές περιόδους και αυξημένη συχνότητα ξηρασίας (Trenberth, 2011). Η βροχόπτωση μετράται μέσω επίγειων βροχομέτρων, συστημάτων ραντάρ και δορυφορικών παρατηρήσεων, παρέχοντας δεδομένα που είναι απαραίτητα για την κατανόηση των περιφερειακών διαφορών στις κλιματικές επιπτώσεις και για την πρόβλεψη της μελλοντικής διαθεσιμότητας υδάτινων πόρων (Kuang et al., 2024).

3.4.1.3 Άνοδος της στάθμης της θάλασσας

Η άνοδος της στάθμης της θάλασσας αποτελεί σημαντικό δείκτη της κλιματικής αλλαγής, που προκύπτει από τη θερμική διαστολή του θαλασσινού νερού, καθώς θερμαίνεται και από το λιώσιμο των παγετώνων και των πολικών πάγων. Ο δείκτης αυτός έχει βαθιές επιπτώσεις στις παράκτιες περιοχές, όπου η άνοδος της στάθμης της θάλασσας μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένες πλημμύρες, διάβρωση και διείσδυση αλμυρού νερού σε συστήματα γλυκού νερού (Thiéblemont et al., 2024). Οι μετρήσεις της στάθμης της θάλασσας λαμβάνονται από παλιρροιογράφους και δορυφορική αλτιμετρία, προσφέροντας πληροφορίες για τις μακροπρόθεσμες επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στις παγκόσμιες ακτές.

3.4.2 Δείκτες για την ποσοτικοποίηση της ξηρασίας

Οι δείκτες ξηρασίας είναι εξειδικευμένα εργαλεία που ποσοτικοποιούν την ένταση, τη διάρκεια και τη χωρική έκταση της ξηρασίας. Οι δείκτες αυτοί ενσωματώνουν διάφορες κλιματικές και υδρολογικές μεταβλητές, για να παρέχουν μία ολοκληρωμένη εικόνα των

συνθηκών ξηρασίας. Μεταξύ των πιο ευρέως χρησιμοποιούμενων δεικτών ξηρασίας είναι ο Τυποποιημένος Δείκτης Βροχόπτωσης (SPI- Standardized Precipitation Index)(Παράρτημα: Πίνακας 1,2: σελ. 96¹), ο Δείκτης Σοβαρότητας Ξηρασίας Palmer (PDSI- Palmer Drought Severity Index)(Πίνακας 3: σελ.95²) και ο Τυποποιημένος Δείκτης Εξατμισοδιαπνοής Βροχόπτωσης (SPEI- Standardized Precipitation Evapotranspiration Index)(Πίνακας 4: σελ.93-94³) (Soulé & Knapp, 2024).

3.4.2.1 Τυποποιημένος δείκτης βροχόπτωσης (SPI)

Ο SPI είναι ένας από τους πιο συχνά χρησιμοποιούμενους δείκτες για την αξιολόγηση των συνθηκών ξηρασίας. Χρησιμοποιήθηκε, επίσης, από τους Zaniolo et al. (2024), ο SPI μετρά την απόκλιση της βροχόπτωσης από τον μακροπρόθεσμο μέσο όρο για μία συγκεκριμένη τοποθεσία και χρονική περίοδο. Ο δείκτης είναι τυποποιημένος, επιτρέποντας τη σύγκριση των συνθηκών ξηρασίας σε διαφορετικές περιοχές και κλίματα. Οι τιμές του δείκτη SPI υποδεικνύουν τη σοβαρότητα της ξηρασίας, με αρνητικές τιμές που αντιπροσωπεύουν ξηρότερες από τις κανονικές συνθήκες και θετικές τιμές που υποδεικνύουν υγρότερες συνθήκες. Η ευελιξία του SPI στην ανάλυση της ξηρασίας σε διαφορετικές χρονικές κλίμακες (π.χ. 1 μήνα, 3 μήνες, 12 μήνες) τον καθιστά ιδιαίτερα χρήσιμο για την παρακολούθηση τόσο των βραχυπρόθεσμων γεωργικών ξηρασιών όσο και των μακροπρόθεσμων υδρολογικών ξηρασιών (King et al., 2024).

3.4.2.2 Δείκτης σοβαρότητας ξηρασίας Palmer (PDSI)

Ο PDSI, που αναπτύχθηκε από τον Palmer το 1965, είναι ένας άλλος ευρέως χρησιμοποιούμενος δείκτης ξηρασίας που λαμβάνει υπόψη όχι μόνο τις βροχοπτώσεις αλλά και τη θερμοκρασία και τις συνθήκες εδαφικής υγρασίας. Ο PDSI έχει σχεδιαστεί, για να

¹ <https://drought.emergency.copernicus.eu/tumbo/edo/map/>

² <https://drought.emergency.copernicus.eu/tumbo/edo/map/>

³ <https://tool.urbanproof.eu/urbanproof/?module=spei&lang=el>

μετρά τη σωρευτική επίδραση του ελλείμματος ή του πλεονάσματος υγρασίας με την πάροδο του χρόνου, παρέχοντας μία πιο ολοκληρωμένη αξιολόγηση των συνθηκών ξηρασίας (Soulé & Knapp, 2024). Είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικός στην ανίχνευση μακροχρόνιων ξηρασιών και χρησιμοποιείται συνήθως για την ανάλυση ιστορικών ξηρασιών. Ωστόσο, ο PDSI έχει ορισμένους περιορισμούς, συμπεριλαμβανομένης της ευαισθησίας του στην περίοδο βαθμονόμησης και της παραδοχής μίας σταθερής σχέσης μεταξύ θερμοκρασίας και εξατμισοδιαπνοής, η οποία ενδέχεται να μην ισχύει υπό μεταβαλλόμενες κλιματικές συνθήκες (Dai, 2011).

3.4.2.3 Τυποποιημένος δείκτης εξατμισοδιαπνοής βροχόπτωσης (SPEI)

Ο SPEI είναι ένας πιο πρόσφατος δείκτης ξηρασίας που συνδυάζει τα πλεονεκτήματα του SPI με εκτιμήσεις της θερμοκρασίας, καθιστώντας τον πιο ευαίσθητο στις επιπτώσεις της υπερθέρμανσης του πλανήτη (Ji et al., 2024). Ο SPEI βασίζεται στη διαφορά μεταξύ της βροχόπτωσης και της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής, η οποία υπολογίζεται χρησιμοποιώντας δεδομένα θερμοκρασίας. Ο δείκτης αυτός παρέχει ένα πιο δυναμικό μέτρο της ξηρασίας, καθώς λαμβάνει υπόψη του τους αυξημένους ρυθμούς εξατμισοδιαπνοής που συνδέονται με τις υψηλότερες θερμοκρασίες, οι οποίες αποτελούν άμεση συνέπεια της κλιματικής αλλαγής. Ο SPEI μπορεί να υπολογιστεί σε διάφορες χρονικές κλίμακες, παρόμοια με τον SPI, επιτρέποντάς του να καταγράφει διαφορετικούς τύπους ξηρασίας, συμπεριλαμβανομένων των μετεωρολογικών, γεωργικών και υδρολογικών ξηρασιών (Lee et al., 2024).

3.4.3 Συγκριτική ανάλυση των δεικτών ξηρασίας

Παρόλο που κάθε δείκτης ξηρασίας έχει τα δυνατά του σημεία, η αποτελεσματικότητά τους ποικίλλει ανάλογα με το πλαίσιο και τους ειδικούς στόχους της ανάλυσης. Ο δείκτης SPI εκτιμάται ευρέως για την απλότητα και την ευελιξία του στην

παρακολούθηση της ξηρασίας σε διαφορετικές κλιματικές περιοχές και χρονικές κλίμακες. Ωστόσο, η εξάρτησή του αποκλειστικά από δεδομένα βροχόπτωσης σημαίνει ότι δεν λαμβάνει υπόψη τις επιπτώσεις της θερμοκρασίας και της εξατμισοδιαπνοής, οι οποίες είναι κρίσιμες σε συνθήκες υπερθέρμανσης του πλανήτη.

Ο PDSI προσφέρει μία πιο ολοκληρωμένη προσέγγιση, συμπεριλαμβάνοντας στον υπολογισμό του τη θερμοκρασία και την υγρασία του εδάφους. Αυτό τον καθιστά καταλληλότερο για την αξιολόγηση μακροχρόνιων ξηρασιών και την κατανόηση των σωρευτικών επιπτώσεων των ελλειμμάτων υγρασίας. Ωστόσο, οι περιορισμοί του PDSI, ιδίως η εξάρτηση από τη βαθμονόμησή του και η σταθερή σχέση μεταξύ θερμοκρασίας και εξατμισοδιαπνοής, το καθιστούν λιγότερο προσαρμόσιμο στις μεταβαλλόμενες κλιματικές συνθήκες.

Ο SPEI, με την εξέταση τόσο της βροχόπτωσης όσο και της θερμοκρασίας, αντιμετωπίζει ορισμένους από τους περιορισμούς του SPI και του PDSI, καθιστώντας το ένα πιο αξιόπιστο εργαλείο για την παρακολούθηση της ξηρασίας στο πλαίσιο της κλιματικής αλλαγής. Η ικανότητα του SPEI να καταγράφει τις επιπτώσεις της αύξησης της θερμοκρασίας στην εξατμισοδιαπνοή παρέχει μία πιο ακριβή απεικόνιση των συνθηκών ξηρασίας σε έναν κόσμο που θερμαίνεται. Επιπλέον, η ευελιξία του SPEI όσον αφορά τις χρονικές κλίμακες επιτρέπει τη χρήση του για ένα ευρύ φάσμα αξιολογήσεων της ξηρασίας, από τις βραχυπρόθεσμες γεωργικές επιπτώσεις έως τα μακροπρόθεσμα υδρολογικά ελλείμματα (Ji et al., 2024).

3.5 Περιφερειακές διαφοροποιήσεις

Η κλιματική κρίση δεν είναι ένα ομοιόμορφο φαινόμενο- οι επιπτώσεις της διαφέρουν σημαντικά σε διάφορες περιοχές, ιδίως όσον αφορά την ξηρασία. Η κατανόηση αυτών των περιφερειακών διαφορών στην ξηρασία είναι σημαντική για την ανάπτυξη

στοχευμένων στρατηγικών προσαρμογής και μετριασμού που λαμβάνουν υπόψη τα μοναδικά κλιματικά, γεωγραφικά και κοινωνικοοικονομικά πλαίσια κάθε περιοχής. Στην παρούσα ενότητα διερευνάται πώς η κλιματική κρίση επηρεάζει διαφορετικά την ξηρασία σε διάφορες περιοχές και εξετάζεται ο ρόλος των τοπικών παραγόντων στη διαμόρφωση αυτών των επιπτώσεων.

3.5.1 Κλιματικοί παράγοντες σε διάφορες περιοχές

Η επίδραση της κλιματικής κρίσης στην ξηρασία διαμεσολαβείται κυρίως από τις αλλαγές στις τοπικές κλιματικές συνθήκες, συμπεριλαμβανομένης της θερμοκρασίας, των προτύπων βροχόπτωσης και των ρυθμών εξατμισοδιαπνοής. Αυτοί οι κλιματικοί παράγοντες διαφέρουν σημαντικά από περιοχή σε περιοχή, οδηγώντας σε διαφορετική δυναμική της ξηρασίας (Sakellariou et al., 2024).

3.5.1.1 Ξηρασία και περιοχές

Ένας από τους βασικούς τρόπους με τους οποίους η κλιματική κρίση επιδεινώνει την ξηρασία είναι μέσω της αύξησης της θερμοκρασίας, η οποία αυξάνει την εξατμισοδιαπνοή- τη διαδικασία με την οποία το νερό μεταφέρεται από το έδαφος στην ατμόσφαιρα μέσω της εξάτμισης και της διαπνοής των φυτών. Περιοχές που είναι ήδη θερμές και ξηρές, όπως τμήματα της Μέσης Ανατολής, της Βόρειας Αφρικής και της Αυστραλίας, είναι ιδιαίτερα ευάλωτες στην αυξημένη εξατμισοδιαπνοή, η οποία εντείνει τη λειψυδρία (IPCC, 2021). Σε αυτές τις περιοχές, ακόμη και μικρές αυξήσεις της θερμοκρασίας μπορούν να οδηγήσουν σε σημαντική μείωση της εδαφικής υγρασίας και της διαθεσιμότητας νερού, επιδεινώνοντας έτσι τις συνθήκες ξηρασίας (Ji et al., 2024).

3.5.1.2 Βροχόπτωση και περιοχές

Οι αλλαγές στα πρότυπα βροχόπτωσης είναι ένας άλλος κρίσιμος παράγοντας που επηρεάζει τις περιφερειακές διακυμάνσεις της ξηρασίας. Η κλιματική κρίση έχει οδηγήσει

σε πιο ακανόνιστη και άνιση κατανομή των βροχοπτώσεων, με ορισμένες περιοχές να βιώνουν πιο έντονες και συχνές βροχοπτώσεις, ενώ άλλες να υποφέρουν από παρατεταμένες περιόδους ξηρασίας (Trenberth, 2011). Για παράδειγμα, στην περιοχή της Μεσογείου παρατηρήθηκε σημαντική μείωση των ετήσιων βροχοπτώσεων, γεγονός που συνέβαλε σε συχνότερες και σοβαρότερες ξηρασίες (Graus et al., 2024). Αντίθετα, περιοχές όπως η Νοτιοανατολική Ασία έχουν βιώσει αύξηση της έντασης των βροχοπτώσεων, αλλά με μεγαλύτερη μεταβλητότητα, οδηγώντας σε βραχυπρόθεσμες πλημμύρες που ακολουθούνται από συνθήκες ξηρασίας λόγω της κακής κατακράτησης και διαχείρισης του νερού (Zain et al., 2024).

3.5.1.3 Φυσική μεταβλητότητα του κλίματος και περιοχές

Η αλληλεπίδραση μεταξύ της ανθρωπογενούς κλιματικής αλλαγής και της φυσικής κλιματικής μεταβλητότητας διαδραματίζει επίσης κρίσιμο ρόλο στα περιφερειακά πρότυπα ξηρασίας. Φαινόμενα όπως το Ελ Νίνιο και η Λα Νίνια επηρεάζουν σημαντικά τις συνθήκες ξηρασίας σε ολόκληρο τον κόσμο. Για παράδειγμα, τα φαινόμενα Ελ Νίνιο (ωκεάνιο φαινόμενο όπου τα κεντρικά και ανατολικά νερά του Ειρηνικού Ωκεανού κοντά στον Ισημερινό είναι θερμότερα σε σχέση με άλλες περιοχές) συνδέονται συχνά με σοβαρές ξηρασίες στην Αυστραλία, τη Νοτιοανατολική Ασία και σε τμήματα της Αφρικής, καθώς οδηγούν σε μειωμένες βροχοπτώσεις στις περιοχές αυτές (Cai et al., 2014). Η Λα Νίνια αποτελεί ένα ωκεάνιο φαινόμενο κατά το οποίο η θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας στο ανατολικό ισημερινό τμήμα του κεντρικού Ειρηνικού Ωκεανού είναι χαμηλότερη από την κανονική κατά 3–5°C (Hashemi, M. (2021).

Η αλληλεπίδραση μεταξύ αυτών των φυσικών κύκλων και της γενικότερης τάσης της υπερθέρμανσης του πλανήτη περιπλέκει την προβλεψιμότητα των ξηρασιών και επιδεινώνει τις επιπτώσεις τους σε ορισμένες περιοχές.

3.5.2 Γεωγραφικοί παράγοντες και ο ρόλος τους στις διακυμάνσεις της ξηρασίας

Οι γεωγραφικοί παράγοντες, συμπεριλαμβανομένης της τοπογραφίας, της εγγύτητας σε υδάτινα σώματα και των χαρακτηριστικών του εδάφους, διαδραματίζουν επίσης σημαντικό ρόλο στον καθορισμό του τρόπου με τον οποίο η κλιματική κρίση επηρεάζει την ξηρασία σε διάφορες περιοχές.

3.5.2.1 Τοπογραφία και υψόμετρο

Το φυσικό τοπίο μίας περιοχής, συμπεριλαμβανομένης της τοπογραφίας και του υψομέτρου της, μπορεί να επηρεάσει τόσο την εμφάνιση όσο και τη σοβαρότητα της ξηρασίας. Οι ορεινές περιοχές, για παράδειγμα, συχνά βασίζονται στο χιονόστρωμα ως κρίσιμη πηγή νερού κατά τη διάρκεια της ξηρής περιόδου. Ωστόσο, η άνοδος της θερμοκρασίας λόγω της κλιματικής κρίσης οδηγεί σε μείωση της χιονοστρωμής και πρόωρη τήξη του χιονιού, με αποτέλεσμα την έλλειψη νερού κατά τους καλοκαιρινούς μήνες (Huang et al., 2024). Οι δυτικές Ηνωμένες Πολιτείες και οι Άνδεις στη Νότια Αμερική είναι παραδείγματα περιοχών όπου οι αλλαγές αυτές έχουν οδηγήσει σε αυξημένο κίνδυνο ξηρασίας (Hale et al., 2023).

3.5.2.2 Εγγύτητα σε υδάτινα σώματα

Οι περιοχές που βρίσκονται κοντά σε μεγάλες υδάτινες μάζες, όπως ωκεανοί, λίμνες ή ποτάμια, ενδέχεται να παρουσιάζουν διαφορετική δυναμική ξηρασίας σε σύγκριση με τις περιοχές της ενδοχώρας. Οι παράκτιες περιοχές μπορεί να είναι λιγότερο επιρρεπείς στην ξηρασία λόγω των υψηλότερων επιπέδων υγρασίας και των πιο σταθερών κατακρημνισμάτων. Ωστόσο, δεν είναι απρόσβλητες, καθώς η άνοδος της στάθμης της θάλασσας και η διείσδυση αλμυρού νερού μπορούν να υποβαθμίσουν τους πόρους γλυκού νερού, δημιουργώντας ουσιαστικά μία μορφή υδρολογικής ξηρασίας (Thiéblemont et al.,

2024). Αντίθετα, οι εσωτερικές περιοχές, ιδίως εκείνες που βρίσκονται στο εσωτερικό των ηπειρωτικών περιοχών ή σε περιοχές με βροχοσκιά (δηλαδή δέχεται ελάχιστο ύψος βροχής) (Στάθης, 2015), είναι πιο ευάλωτες στην ξηρασία, επειδή λαμβάνουν λιγότερες βροχοπτώσεις και επηρεάζονται περισσότερο από τα ηπειρωτικά κλιματικά πρότυπα (Dai, 2013).

3.5.2.3 Χαρακτηριστικά εδάφους

Ο τύπος και η δομή του εδάφους είναι καθοριστικής σημασίας για τον προσδιορισμό της ανθεκτικότητας μίας περιοχής στην ξηρασία. Οι περιοχές με αμμώδη εδάφη, τα οποία έχουν χαμηλή ικανότητα συγκράτησης νερού, είναι πιο επιρρεπείς σε ξηρασίες, καθώς δεν μπορούν να συγκρατήσουν την υγρασία κατά τη διάρκεια ξηρών περιόδων. Αντίθετα, οι περιοχές με εδάφη πλούσια σε άργιλο μπορούν να συγκρατούν την υγρασία για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, παρέχοντας ένα μαξιλάρι προστασίας από τις βραχυπρόθεσμες ξηρασίες. Ωστόσο, αυτά τα εδάφη, μπορούν επίσης, να ραγίσουν και να υποβαθμιστούν υπό παρατεταμένες συνθήκες ξηρασίας, οδηγώντας σε μακροπρόθεσμα προβλήματα υγείας του εδάφους και μειωμένη γεωργική παραγωγικότητα (Schilling et al., 2008).

3.5.3 Κοινωνικοοικονομικοί παράγοντες και ευπάθεια στην ξηρασία

Αν και οι κλιματικοί και γεωγραφικοί παράγοντες καθορίζουν τη φυσική εμφάνιση των ξηρασιών, οι κοινωνικοοικονομικοί παράγοντες παίζουν σημαντικό ρόλο στην ευπάθεια και την ανθεκτικότητα των διαφόρων περιοχών στις επιπτώσεις της ξηρασίας.

3.5.3.1 Γεωργική εξάρτηση

Οι περιοχές που εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τη γεωργία, ιδίως από τη βροχερή γεωργία, είναι πιο ευάλωτες στις επιπτώσεις της ξηρασίας. Η υποσαχάρια Αφρική, για παράδειγμα, είναι ιδιαίτερα ευάλωτη στην ξηρασία, επειδή μεγάλο μέρος του πληθυσμού

της εξαρτάται από τη γεωργία για τα προς το ζην και η περιοχή δεν διαθέτει επαρκείς υποδομές άρδευσης (FAO, 2018). Σε αυτές τις περιοχές, ακόμη και μία βραχυπρόθεσμη ξηρασία μπορεί να έχει καταστροφικές επιπτώσεις στην επισιτιστική ασφάλεια, τα επίπεδα εισοδήματος και τη συνολική οικονομική σταθερότητα.

3.5.3.2 Διαχείριση των υδάτων και υποδομές

Η παρουσία ή η απουσία αποτελεσματικών συστημάτων διαχείρισης υδάτων επηρεάζει σημαντικά την ικανότητα μίας περιοχής να αντιμετωπίσει την ξηρασία. Περιφέρειες με προηγμένες υποδομές νερού, όπως ταμιευτήρες, αρδευτικά συστήματα και μονάδες αφαλάτωσης, είναι καλύτερα εξοπλισμένες για τη διαχείριση των υδάτινων πόρων κατά τη διάρκεια ξηρασίας (Lipscomb, 2024). Για παράδειγμα, οι επενδύσεις του Ισραήλ στην τεχνολογία του νερού του επέτρεψαν να μετριάσει τις επιπτώσεις της ξηρασίας πιο αποτελεσματικά από ό,τι γειτονικές περιοχές με λιγότερο ανεπτυγμένες υποδομές (Tal, 2017). Αντίθετα, περιοχές με κακή διαχείριση των υδάτων και πεπαλαιωμένες υποδομές, όπως τμήματα της Νότιας Ασίας, δυσκολεύονται να αντιμετωπίσουν ακόμη και μέτριες ξηρασίες, οδηγώντας σε σοβαρές ελλείψεις νερού και κοινωνικοοικονομική πίεση (Muller et al., 2024).

3.5.2.3 Οικονομική ανάπτυξη και διακυβέρνηση

Το επίπεδο της οικονομικής ανάπτυξης και η ποιότητα της διακυβέρνησης αποτελούν κρίσιμους παράγοντες για τον καθορισμό του πόσο καλά μπορεί μία περιοχή να ανταποκριθεί στην ξηρασία. Οι πλουσιότερες περιοχές με ισχυρές δομές διακυβέρνησης μπορούν να κινητοποιήσουν αποτελεσματικότερα τους πόρους, να εφαρμόσουν στρατηγικές μετριασμού της ξηρασίας και να στηρίξουν τους πληγέντες πληθυσμούς μέσω δικτύων κοινωνικής ασφάλειας (Bernatchez et al., 2024). Αντίθετα, οι περιφέρειες χαμηλού εισοδήματος με αδύναμη διακυβέρνηση είναι συχνά λιγότερο προετοιμασμένες για τις

ξηρασίες, οδηγώντας σε υψηλότερα επίπεδα ευπάθειας και βραδύτερη ανάκαμψη (Serdeczny et al., 2024). Για παράδειγμα, η ξηρασία του 2011 στο Κέρας της Αφρικής είχε καταστροφικές συνέπειες λόγω της φτώχειας, της πολιτικής αστάθειας και της έλλειψης αποτελεσματικής διακυβέρνησης στην περιοχή, με αποτέλεσμα να προκληθεί εκτεταμένη πείνα και εκτοπισμός (Tefera, 2024).

3.5.2.4 Κοινωνική ανισότητα και ευάλωτοι πληθυσμοί

Οι κοινωνικές ανισότητες, συμπεριλαμβανομένων των ανισοτήτων στο εισόδημα, την πρόσβαση σε πόρους και το κοινωνικό κεφάλαιο, επιδεινώνουν περαιτέρω τις επιπτώσεις της ξηρασίας στις διάφορες περιοχές. Οι περιθωριοποιημένες κοινότητες, όπως οι αυτόχθονες πληθυσμοί, οι γυναίκες και τα νοικοκυριά με χαμηλό εισόδημα, συχνά δεν διαθέτουν τους πόρους που απαιτούνται για την προσαρμογή στις συνθήκες ξηρασίας (Ribot, 2013). Οι ομάδες αυτές είναι πιο πιθανό να βιώσουν τις δυσμενείς επιπτώσεις της ξηρασίας, συμπεριλαμβανομένης της επισιτιστικής και υδατικής ανασφάλειας, της απώλειας μέσων διαβίωσης και των επιπτώσεων στην υγεία. Η περίπτωση της περιοχής Σαχέλ στην Αφρική αναδεικνύει πώς η κοινωνική ανισότητα και η φτώχεια αυξάνουν την ευπάθεια στην ξηρασία, οδηγώντας σε επαναλαμβανόμενες κρίσεις παρά τις προσπάθειες για τη βελτίωση της ανθεκτικότητας (Parodi et al., 2024).

3.6 Ανάπτυξη στρατηγικών προσαρμογής

Οι γνώσεις που αποκτήθηκαν από τη βιβλιογραφική έρευνα αυτή παρέχουν κρίσιμες πληροφορίες που μπορούν να αξιοποιηθούν για την ανάπτυξη αποτελεσματικότερων στρατηγικών προσαρμογής και μετριασμού για τη διαχείριση των κινδύνων ξηρασίας στο πλαίσιο ενός μεταβαλλόμενου κλίματος. Όσο οι ξηρασίες γίνονται συχνότερες και σοβαρότερες λόγω της παγκόσμιας κλιματικής αλλαγής, είναι σημαντικό να χρησιμοποιηθούν τα ευρήματα της παρούσας έρευνας για την ενημέρωση και την

καθοδήγηση της ανάπτυξης στοχευμένων αντιδράσεων που θα αντιμετωπίζουν τις συγκεκριμένες ευπάθειες και ανάγκες των διαφόρων περιοχών.

Ένας από τους κύριους τρόπους με τους οποίους μπορεί να αξιοποιηθεί αυτή η γνώση είναι η ενίσχυση των συστημάτων έγκαιρης προειδοποίησης και της παρακολούθησης της ξηρασίας. Η έρευνα υπογραμμίζει τη σημασία της χρήσης ισχυρών δεικτών ξηρασίας, όπως ο τυποποιημένος δείκτης βροχόπτωσης-εξατμισοδιαπνοής (SPEI), ο οποίος λαμβάνει υπόψη τόσο τη θερμοκρασία όσο και τη βροχόπτωση, γεγονός που τον καθιστά ιδιαίτερα σημαντικό σε έναν κόσμο που θερμαίνεται (Ji et al., 2024). Με την ενσωμάτωση τέτοιων δεικτών στα συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης, οι κυβερνήσεις και οι οργανισμοί μπορούν να βελτιώσουν την ακρίβεια και την επικαιρότητα των προβλέψεων ξηρασίας, επιτρέποντας πιο προληπτικές αντιδράσεις. Αυτό θα μπορούσε να περιλαμβάνει την ανάπτυξη φυτικών εκτάσεων σε ευάλωτες περιοχές πριν οι ξηρασίες φθάσουν στην κορύφωσή τους, ελαχιστοποιώντας έτσι τις επιπτώσεις στη γεωργία, την παροχή νερού και τα μέσα διαβίωσης.

Επιπλέον, τα ευρήματα υπογραμμίζουν την ανάγκη για στρατηγικές προσαρμογής ανά περιοχή που να λαμβάνουν υπόψη τους τοπικούς κλιματικούς, γεωγραφικούς και κοινωνικοοικονομικούς παράγοντες. Για παράδειγμα, σε περιοχές όπως η Μεσόγειος και η Δυτική Βόρεια Αμερική, όπου οι ξηρασίες συνδέονται στενά με την άνοδο της θερμοκρασίας και τη μείωση της χιονοστρωμνής, οι στρατηγικές προσαρμογής θα μπορούσαν να επικεντρωθούν στην ενίσχυση των υποδομών αποθήκευσης νερού, όπως η κατασκευή περισσότερων ταμιευτήρων και η βελτίωση της αποτελεσματικότητας των συστημάτων διανομής νερού (Hale et al., 2023; Huang et al., 2024). Αντίθετα, σε περιοχές όπως η υποσαχάρια Αφρική, όπου οι ξηρασίες επιδεινώνονται από τις κοινωνικοοικονομικές προκλήσεις, οι στρατηγικές θα μπορούσαν να περιλαμβάνουν τη βελτίωση της πρόσβασης στην άρδευση, τη διαφοροποίηση των καλλιεργειών για την

αύξηση της ανθεκτικότητας στην ξηρασία και την ενίσχυση των πρακτικών διαχείρισης των πόρων με βάση την κοινότητα (Nicholson, 2013).

Η έρευνα υπογραμμίζει, επίσης, τη σημασία της ενσωμάτωσης κοινωνικοοικονομικών εκτιμήσεων στις στρατηγικές διαχείρισης της ξηρασίας. Περιφέρειες με προηγμένες υποδομές διαχείρισης υδάτων, όπως το Ισραήλ, αποδεικνύουν την αποτελεσματικότητα των τεχνολογικών λύσεων και των λύσεων υποδομής στον μετριασμό των επιπτώσεων της ξηρασίας (Tal, 2017). Ωστόσο, για τις περιοχές με λιγότερο αναπτυγμένες υποδομές, η έρευνα υποδεικνύει ότι η ενίσχυση της διακυβέρνησης και της δέσμευσης της κοινότητας θα μπορούσε να είναι εξίσου κρίσιμη. Για παράδειγμα, η εφαρμογή πολιτικών που προωθούν τη δίκαιη διανομή νερού και η επένδυση σε δίκτυα κοινωνικής ασφάλειας μπορούν να βοηθήσουν τους ευάλωτους πληθυσμούς να αντιμετωπίσουν καλύτερα τις διαταραχές που σχετίζονται με την ξηρασία (Seneviratne et al., 2012).

Επιπλέον, η συγκριτική ανάλυση διαφορετικών περιοχών αναδεικνύει την αξία της ανταλλαγής γνώσεων και της ανάπτυξης ικανοτήτων. Με την ανταλλαγή βέλτιστων πρακτικών και διδαγμάτων από επιτυχημένες στρατηγικές διαχείρισης της ξηρασίας, οι περιοχές που είναι λιγότερο εξοπλισμένες για την αντιμετώπιση της ξηρασίας μπορούν να επωφεληθούν από τις εμπειρίες εκείνων που έχουν αναπτύξει αποτελεσματικά μέτρα προσαρμογής. Αυτό θα μπορούσε να περιλαμβάνει διεθνή συνεργασία και συμπράξεις με στόχο τη μεταφορά τεχνολογίας, την ανάπτυξη τοπικών ικανοτήτων και την υποστήριξη της ανάπτυξης λύσεων για συγκεκριμένες περιοχές (Muller et al., 2024).

Εκτός από τις στρατηγικές προσαρμογής, η έρευνα παρέχει, ακόμα, πληροφορίες για τις προσπάθειες μετριασμού που αποσκοπούν στην αντιμετώπιση των βαθύτερων αιτιών της αυξημένης συχνότητας και σοβαρότητας της ξηρασίας. Τα ευρήματα υποδηλώνουν ότι η μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου επηρεάζει την

επιβράδυνση του ρυθμού της υπερθέρμανσης του πλανήτη και, κατά συνέπεια, της εντατικοποίησης των ξηρασιών. Οι πολιτικές που προωθούν τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, την ενεργειακή απόδοση και τις βιώσιμες πρακτικές χρήσης γης μπορούν να συμβάλουν στις παγκόσμιες προσπάθειες για τον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής και τη μείωση του μακροπρόθεσμου κινδύνου ξηρασίας (IPCC, 2021). Συνδέοντας τις τοπικές προσπάθειες προσαρμογής με ευρύτερες στρατηγικές μετριασμού, οι υπεύθυνοι χάραξης πολιτικής μπορούν να αναπτύξουν πιο ολοκληρωμένες προσεγγίσεις που αντιμετωπίζουν τόσο τα συμπτώματα όσο και τις αιτίες της ξηρασίας στο πλαίσιο της κλιματικής αλλαγής.

Τέλος, η έρευνα υπογραμμίζει την ανάγκη για συνεχή παρακολούθηση και αξιολόγηση των στρατηγικών διαχείρισης της ξηρασίας. Εφόσον οι κλιματικές συνθήκες συνεχίζουν να εξελίσσονται, είναι σημαντικό να αξιολογείται τακτικά η αποτελεσματικότητα των μέτρων προσαρμογής και μετριασμού, κάνοντας προσαρμογές ανάλογα με τις ανάγκες για την αντιμετώπιση νέων προκλήσεων και αναδυόμενων τάσεων. Αυτή η δυναμική προσέγγιση διασφαλίζει ότι οι στρατηγικές παραμένουν σχετικές και αποτελεσματικές ενόψει ενός ολοένα και πιο απρόβλεπτου κλίματος.

3.7 Τι λένε οι δείκτες για την Ελλάδα

Μελετώντας του δείκτες ξηρασίας PDSI, SPI και SPEI στην Ελλάδα, μπορούμε να αξιολογήσουμε τη λειψυδρία και την ξηρασία στην Ελλάδα αναφορικά με το έτος 2024 και συγκεκριμένα από τον μήνα Ιούλιο έως και τον μήνα Οκτώβριο.

PDSI Χάρτης (Palmer Drought Severity Index)

Ο χάρτης (Πίνακας 3, Παράρτημα: σελ.95) αυτός δείχνει την κατάσταση της ξηρασίας στην περιοχή των Βαλκανίων για τον Ιούλιο του 2024. Ο PDSI δείχνει την ένταση της υγρασίας ή ξηρασίας, με τιμές που κυμαίνονται από “Chuva extrema”⁴ (έντονη υγρασία ≥ 4.0) έως “Seca extrema” (έντονη ξηρασία ≤ -4.0). Στον Πίνακα παρατηρούνται διαβαθμίσεις υγρασίας και ξηρασίας σε διάφορες περιοχές, όπως “seca fraca” (ασθενής ξηρασία) και “seca extrema” (έντονη ξηρασία) υποδεικνύοντας περιφερειακές διαφορές στις συνθήκες ξηρασίας.

Ο χρωματισμός στον χάρτη γύρω από την Ελλάδα είναι ουδέτερος, υποδηλώνοντας ότι οι συνθήκες ήταν περίπου κανονικές τον συγκεκριμένο μήνα, με περιορισμένα φαινόμενα ξηρασίας ή υγρασίας.

SPI Χάρτης (Standardized Precipitation Index - Σύντομη Περίοδος)

Ο χάρτης δείχνει τον δείκτη SPI για τον μήνα Οκτώβριο 2024, ο οποίος χρησιμοποιείται για την εκτίμηση των βραχυπρόθεσμων συνθηκών υγρασίας. Σημαντικές περιοχές στην περιοχή Βαλκανίων παρουσιάζουν θετικά και αρνητικά πρόσημα του δείκτη SPI, που υποδηλώνουν υγρές ή ξηρές συνθήκες αντίστοιχα. Οι περιοχές με κίτρινο χρώμα δείχνουν μέτρια ξηρασία, ενώ οι περιοχές με έντονο κόκκινο δείχνουν σοβαρή ξηρασία.

⁴ Τα δεδομένα είναι γραμμένα στα Π ορθογώνια, καθώς προέρχονται από τη χώρα παρατήρησης και καταγραφής της.

Στον SPI χάρτη για τον Οκτώβριο 2024, οι περισσότερες περιοχές της Ελλάδας δείχνουν ουδέτερες τιμές, χωρίς εμφανή έντονα φαινόμενα ξηρασίας ή υγρασίας, καθώς δεν υπάρχουν διακριτά χρώματα σε αυτή την περιοχή.

Αυτό σημαίνει ότι η Ελλάδα είχε κανονικές συνθήκες υγρασίας κατά τη συγκεκριμένη περίοδο, χωρίς ακραία ξηρασία ή υγρασία, σύμφωνα με τον δείκτη SPI (Πίνακας 4, Παράρτημα: σελ.96).

Γραφική Παράσταση και Κλίμακα Τυποποιημένου Δείκτη

Εξατμισοδιαπνοής Βροχοπτώσεων- SPEI (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index)

Η γραφική παράσταση παρουσιάζει την εξέλιξη του δείκτη SPEI υπό το σενάριο RCP 8.5 από το 1980 έως το 2100. Οι κατηγορίες του δείκτη SPEI (π.χ., ακραία υγρασία για τιμές ≥ 2 και ακραία ξηρασία για τιμές ≤ -2) αντιπροσωπεύουν τις συνθήκες υγρασίας και ξηρασίας. Η γραφική παράσταση δείχνει αυξημένες διακυμάνσεις με πιθανή αύξηση ακραίων ξηρασιών και υγρών περιόδων στο μέλλον, υποδεικνύοντας μεγαλύτερη αστάθεια του κλίματος λόγω κλιματικής αλλαγής..

Οι προβλέψεις δείχνουν ότι η περιοχή της Μεσογείου, συμπεριλαμβανομένης της Ελλάδας, θα μπορούσε να βιώσει περισσότερες ξηρασίες και ακραία φαινόμενα υγρασίας, ειδικά μετά το 2050, με τον δείκτη να παρουσιάζει όλο και συχνότερα ακραίες τιμές (θετικές και αρνητικές). Συγκεκριμένα, με την αύξηση της θερμοκρασίας και της εξάτμισης λόγω κλιματικής αλλαγής, η Ελλάδα θα μπορούσε να αντιμετωπίσει αυξημένο κίνδυνο ακραίας ξηρασίας, κυρίως προς το τέλος του αιώνα, εάν δεν ληφθούν μέτρα μετριασμού (Πίνακας 1&2, Παράρτημα: σελ.93-94).

Οι δύο γραφικές παραστάσεις (Πίνακας 1,2, Παράρτημα: σελ.93-94) απεικονίζουν τη μεταβολή του δείκτη SPEI (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index) για την Ελλάδα σε δύο σενάρια.

Το ένα σενάριο υποθέτει υψηλές εκπομπές θερμοκηπιακών αερίων χωρίς μέτρα μετριασμού, οδηγώντας σε μεγαλύτερες κλιματικές αλλαγές. Παρατηρούμε έντονες διακυμάνσεις του δείκτη SPEI, με αρκετά έντονες ξηρασίες (αρνητικές τιμές SPEI) αλλά και υγρές περιόδους. Κατά την περίοδο μετά το 2050, οι ξηρασίες φαίνεται να αυξάνονται σε συχνότητα και ένταση, υποδεικνύοντας πιθανή εντατικοποίηση των συνθηκών ξηρασίας.

Το δεύτερο σενάριο αντλεί μειωμένες εκπομπές λόγω μέτρων μετριασμού. Οι διακυμάνσεις του δείκτη είναι παρόμοιες, αλλά με λιγότερες ακραίες ξηρασίες σε σύγκριση με το RCP 8.5. Οι ξηρασίες είναι ακόμα παρούσες, αλλά η συχνότητα και έντασή τους είναι ηπιότερες. Μετά το 2050, παρατηρούμε μια πιο σταθερή κατανομή χωρίς σημαντική αύξηση των ακραίων ξηρασιών.

4. Αποτελέσματα

4.1 Ανασκόπηση αποτελεσμάτων

Η παρούσα διπλωματική εργασία περιγράφει μία λεπτομερή ανάλυση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στα πρότυπα ξηρασίας, τονίζοντας τη σημασία της κατανόησης των περιφερειακών παραλλαγών που επηρεάζονται από τοπικούς κλιματικούς, γεωγραφικούς και κοινωνικοοικονομικούς παράγοντες. Η μελέτη βασίζεται μεθοδολογικά σε μία ολοκληρωμένη βιβλιογραφική ανασκόπηση, η οποία συνθέτει την υπάρχουσα έρευνα για να αναδείξει τάσεις, κενά και αναδυόμενα ζητήματα στη σχέση μεταξύ κλιματικής αλλαγής και ξηρασίας.

Η μελέτη ξεκινά με τον ορισμό των βασικών εννοιών, ιδίως της κλιματικής αλλαγής και της ξηρασίας, και εξηγεί τις πολύπλοκες αλληλεπιδράσεις που συμβάλλουν στην εμφάνιση ξηρασίας. Κάνει διάκριση μεταξύ διαφορετικών τύπων ξηρασίας - μετεωρολογικών, γεωργικών και υδρολογικών- και συζητά τον τρόπο με τον οποίο κάθε τύπος επηρεάζει διάφορες πτυχές του περιβάλλοντος και της ανθρώπινης κοινωνίας. Αυτή η ενότητα θέτει τις βάσεις για μία βαθύτερη διερεύνηση του τρόπου με τον οποίο η υπερθέρμανση του πλανήτη, η οποία οφείλεται στην αύξηση των αερίων του θερμοκηπίου, όπως το CO₂, το CH₄ και το N₂O, μεταβάλλει τα καιρικά πρότυπα, οδηγώντας σε συχνότερες και σοβαρότερες ξηρασίες σε ορισμένες περιοχές.

Η έρευνα υπογραμμίζει την άνιση κατανομή των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής, σημειώνοντας ότι ορισμένες περιοχές, όπως η Μεσόγειος, η δυτική Βόρεια Αμερική και τμήματα της υποσαχάριας Αφρικής, είναι ιδιαίτερα ευάλωτες στην αύξηση της συχνότητας και της σοβαρότητας της ξηρασίας. Η ευπάθεια αυτή συχνά επιδεινώνεται από τοπικούς παράγοντες όπως η γεωγραφία, το υψόμετρο και οι κοινωνικοοικονομικές

συνθήκες. Για παράδειγμα, οι ορεινές περιοχές που βασίζονται στην τήξη του χιονιού για την παροχή νερού, όπως οι Άνδεις και τα Ιμαλάια, κινδυνεύουν όλο και περισσότερο λόγω των αλλαγών στις χιονοπτώσεις και τα πρότυπα τήξης του χιονιού. Αντίθετα, οι παράκτιες περιοχές ενδέχεται να αντιμετωπίσουν διαφορετικές προκλήσεις, όπως η αλάτωση των υδάτινων πόρων λόγω της ανόδου της στάθμης της θάλασσας.

Η μεθοδολογική προσέγγιση της μελέτης είναι μία συστηματική βιβλιογραφική ανασκόπηση, η οποία περιλαμβάνει την αναζήτηση, αξιολόγηση και σύνθεση ερευνών από διάφορους κλάδους για τη δημιουργία μιας ολοκληρωμένης κατανόησης του τρόπου με τον οποίο η κλιματική αλλαγή επηρεάζει την ξηρασία. Η προσέγγιση αυτή επιτρέπει στη μελέτη να εντοπίσει συνεπή πρότυπα σε διάφορες μελέτες, αναγνωρίζοντας παράλληλα τις περιφερειακές διαφοροποιήσεις. Για παράδειγμα, ενώ οι περισσότερες μελέτες δείχνουν μία γενική τάση προς την αύξηση της σοβαρότητας της ξηρασίας λόγω της υπερθέρμανσης του πλανήτη, ορισμένες έρευνες δείχνουν ότι ορισμένες περιοχές μπορεί να εμφανίζουν πιο σύνθετα πρότυπα, όπως εναλλασσόμενες περιόδους ξηρασίας και ισχυρών βροχοπτώσεων.

Ένα σημαντικό μέρος της ανάλυσης επικεντρώνεται στην αποτελεσματικότητα διαφόρων δεικτών ξηρασίας, όπως ο τυποποιημένος δείκτης βροχόπτωσης (SPI), ο δείκτης σοβαρότητας ξηρασίας Palmer (PDSI) και ο τυποποιημένος δείκτης εξατμισοδιαπνοής βροχής (SPEI). Οι δείκτες αυτοί χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση και την ποσοτικοποίηση των συνθηκών ξηρασίας, με κάθε δείκτη να προσφέρει διαφορετικά πλεονεκτήματα και περιορισμούς στην αποτύπωση της πολύπλευρης φύσης της ξηρασίας. Η μελέτη αξιολογεί κριτικά αυτά τα εργαλεία, τονίζοντας τη χρησιμότητά τους σε διαφορετικά πλαίσια και τη δυνατότητά τους να ενημερώσουν για αποφάσεις πολιτικής (Soulé & Knapp, 2024).

Ωστόσο, στην Ελλάδα παρατηρούνται κανονικές συνθήκες υγρασίας κατά τη συγκεκριμένη περίοδο, χωρίς ακραία ξηρασία ή υγρασία για την περίοδο Ιουλίου - Οκτωβρίου 2024.

Επιπλέον, η μελέτη διερευνά τις κοινωνικοοικονομικές διαστάσεις της τρωτότητας της ξηρασίας, τονίζοντας ότι η ξηρασία δεν εμφανίζεται μεμονωμένα, αλλά είναι βαθιά συνυφασμένη με τα κοινωνικά, οικονομικά και πολιτικά πλαίσια. Περιοχές με προηγμένες υποδομές διαχείρισης υδάτων, όπως το Ισραήλ, αποδεικνύονται πιο ανθεκτικές στην ξηρασία, ενώ περιοχές με υψηλά επίπεδα φτώχειας και ανεπαρκείς υποδομές, όπως τμήματα της υποσαχάριας Αφρικής, είναι πιθανότερο να βιώσουν σοβαρές κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις, συμπεριλαμβανομένης της επισιτιστικής ανασφάλειας και της εκτόπισης.

Τα ευρήματα υπογραμμίζουν τη σημασία των περιφερειακών μελετών που λαμβάνουν υπόψη τις μοναδικές κλιματικές, γεωγραφικές και κοινωνικοοικονομικές συνθήκες των διαφόρων περιοχών. Η εν λόγω περιφερειακή εστίαση είναι εξαιρετικά σημαντική για την ανάπτυξη στοχευμένων στρατηγικών προσαρμογής και μετριασμού που θα καλύπτουν τις ειδικές ανάγκες και ευπάθειες κάθε περιοχής. Για παράδειγμα, η μελέτη υποδεικνύει ότι απαιτείται περισσότερη έρευνα σε υποεκπροσωπούμενες περιοχές, ιδίως στον Παγκόσμιο Νότο, για την καλύτερη κατανόηση και αντιμετώπιση των μοναδικών προκλήσεων που αντιμετωπίζουν.

Εν κατακλείδι, η μελέτη συμβάλλει στην ευρύτερη συζήτηση για την ανθεκτικότητα στην κλιματική αλλαγή παρέχοντας πολύτιμες πληροφορίες για το πώς είναι πιθανό να εξελιχθούν οι ξηρασίες σε έναν κόσμο που θερμαίνεται. Υπογραμμίζει την ανάγκη για τοπικές προσεγγίσεις στη διαχείριση της ξηρασίας, οι οποίες θα ενημερώνονται από την ενδελεχή κατανόηση της περιφερειακής κλιματικής δυναμικής και του κοινωνικοοικονομικού πλαισίου. Η μελέτη προσδιορίζει, επίσης, διάφορους τομείς για μελλοντική έρευνα, συμπεριλαμβανομένης της ανάγκης για περισσότερες διεπιστημονικές μελέτες που ενσωματώνουν την κλιματική επιστήμη με την κοινωνικοοικονομική ανάλυση

και τη διερεύνηση μη γραμμικών και απροσδόκητων αλλαγών στα πρότυπα ξηρασίας λόγω της κλιματικής αλλαγής.

Αυτή η ολοκληρωμένη ανάλυση προσφέρει μία σταθερή βάση για τους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής, τους διαχειριστές περιβάλλοντος και τους ερευνητές ώστε να αναπτύξουν αποτελεσματικότερες στρατηγικές για τον μετριασμό της ξηρασίας και την προσαρμογή σε αυτήν, διασφαλίζοντας ότι οι παρεμβάσεις βασίζονται στα καλύτερα διαθέσιμα επιστημονικά στοιχεία και προσαρμόζονται στις ειδικές συνθήκες των διαφόρων περιοχών. Η μελέτη όχι μόνο προάγει την ακαδημαϊκή κατανόηση, αλλά έχει επίσης πρακτικές επιπτώσεις για την αντιμετώπιση μιας από τις πιο πιεστικές προκλήσεις της εποχής μας - τη διαχείριση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στους υδάτινους πόρους και τα ανθρώπινα μέσα διαβίωσης.

Οι αναφορές που χρησιμοποιούνται στο έγγραφο περιλαμβάνουν μελέτες και εκθέσεις από έγκυρες πηγές όπως η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC), το Περιβαλλοντικό Πρόγραμμα των Ηνωμένων Εθνών (UNEP) και διάφορα άρθρα με κριτές για την κλιματική επιστήμη και τους δείκτες ξηρασίας. Οι αναφορές αυτές παρέχουν μία ισχυρή βάση για τα συμπεράσματα και τις συστάσεις της μελέτης.

4.2 Ερμηνεία των αποτελεσμάτων

Η ερμηνεία των αποτελεσμάτων που παρουσιάζονται στην παρούσα μελέτη υπογραμμίζει την πολύπλοκη σχέση μεταξύ της κλιματικής αλλαγής και της ξηρασίας, όπως διερευνάται μέσω διαφόρων δεικτών ξηρασίας και περιφερειακών περιπτώσιολογικών μελετών. Οι επιπτώσεις αυτών των ευρημάτων σε σχέση με τα ερευνητικά ερωτήματα είναι βαθιές, ιδίως όσον αφορά την κατανόηση του τρόπου με τον οποίο η υπερθέρμανση του πλανήτη εντείνει τις συνθήκες ξηρασίας σε διάφορες περιοχές

και την αποτελεσματικότητα των σημερινών δεικτών στην αποτύπωση αυτής της δυναμικής.

Τα αποτελέσματα της μελέτης καταδεικνύουν μία σαφή σύνδεση μεταξύ της αύξησης της παγκόσμιας θερμοκρασίας και της αυξημένης συχνότητας και σοβαρότητας των ξηρασιών, ιδίως σε περιοχές όπως η Μεσόγειος, η δυτική Βόρεια Αμερική και τμήματα της υποσαχάριας Αφρικής. Τα ευρήματα αυτά ευθυγραμμίζονται με την υπάρχουσα βιβλιογραφία, η οποία δείχνει σταθερά ότι οι περιοχές που είναι ήδη επιρρεπείς στην ξηρασία γίνονται πιο ευάλωτες καθώς η κλιματική αλλαγή επιδεινώνει τις συνθήκες που οδηγούν στην ξηρασία (Dai, 2011). Οι συνέπειες αυτού του γεγονότος είναι σημαντικές για τους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής και τους διαχειριστές του περιβάλλοντος, καθώς υποδηλώνουν την επείγουσα ανάγκη για προσαρμοσμένες στρατηγικές μετριασμού της ξηρασίας και προσαρμογής που να λαμβάνουν υπόψη τις περιφερειακές ιδιαιτερότητες.

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα με την υπάρχουσα βιβλιογραφία, η μελέτη αυτή επιβεβαιώνει και επεκτείνει προηγούμενες έρευνες που έχουν τεκμηριώσει τον άνισο αντίκτυπο της κλιματικής αλλαγής στα πρότυπα ξηρασίας. Για παράδειγμα, οι μελέτες των Forster κ.ά. (2024) και Li κ.ά. (2024) έχουν τονίσει ότι, ενώ η υπερθέρμανση του πλανήτη οδηγεί σε συνολικά ξηρότερες συνθήκες σε πολλές περιοχές, όπως η Νότια Αμερική, ο ακριβής αντίκτυπος ποικίλλει σημαντικά ανάλογα με τους τοπικούς κλιματικούς, γεωγραφικούς και κοινωνικοοικονομικούς παράγοντες. Η παρούσα μελέτη συμβάλλει σε αυτή τη συζήτηση παρέχοντας μία πιο αποχρωματισμένη κατανόηση αυτών των διακυμάνσεων, ιδίως μέσω της εφαρμογής δεικτών ξηρασίας όπως ο τυποποιημένος δείκτης βροχόπτωσης (SPI) και ο δείκτης σοβαρότητας ξηρασίας Palmer (PDSI). Τα εργαλεία αυτά, αν και χρήσιμα, έχει αποδειχθεί ότι έχουν περιορισμούς, ιδίως όσον αφορά την ικανότητά τους να αποτυπώνουν πλήρως την πολυπλοκότητα της δυναμικής της ξηρασίας σε περιοχές με μοναδικές κλιματικές συνθήκες (Mishra & Singh, 2010).

Επιπλέον, τα ευρήματα της μελέτης σχετικά με την περιφερειακή διακύμανση των επιπτώσεων της ξηρασίας υπογραμμίζουν τη σημασία των τοπικών μελετών και παρεμβάσεων. Αυτό συνάδει με την έρευνα των Hale κ.ά. (2023), οι οποίοι σημείωσαν σημαντική μείωση της αποθήκευσης νερού στο χιόνι στη δυτική Βόρεια Αμερική, γεγονός που οδηγεί σε μεγαλύτερες και σοβαρότερες ξηρασίες. Τέτοιες γνώσεις είναι βαρύνουσες για την ανάπτυξη στρατηγικών προσαρμογής ανά περιοχή που μπορούν να μετριάσουν τις δυσμενείς επιπτώσεις αυτών των αλλαγών.

Η σύγκριση με την υπάρχουσα βιβλιογραφία αναδεικνύει επίσης τις κοινωνικοοικονομικές διαστάσεις της τρωτότητας στην ξηρασία, έναν βασικό τομέα στον οποίο η παρούσα μελέτη συμβάλλει σημαντικά. Οι προηγούμενες έρευνες συχνά επικεντρώνονταν στις φυσικές πτυχές της ξηρασίας, όπως οι αλλαγές στη θερμοκρασία και τις βροχοπτώσεις, αλλά η παρούσα μελέτη διευρύνει την οπτική γωνία ενσωματώνοντας κοινωνικοοικονομικούς παράγοντες, όπως οι υποδομές διαχείρισης των υδάτων και η ποιότητα της διακυβέρνησης. Αντίθετα, περιοχές με ανεπαρκείς υποδομές και υψηλά επίπεδα φτώχειας, όπως τμήματα της υποσαχάριας Αφρικής, φαίνεται ότι διατρέχουν μεγαλύτερο κίνδυνο σοβαρών κοινωνικοοικονομικών επιπτώσεων από την ξηρασία, συμπεριλαμβανομένης της επισιτιστικής ανασφάλειας και της εκτόπισης. Αυτό συνάδει με τα ευρήματα του Ribot (2013), ο οποίος υποστήριξε ότι η ευπάθεια στις κλιματικές επιπτώσεις είναι εξίσου συνάρτηση των κοινωνικών και οικονομικών συνθηκών όσο και των περιβαλλοντικών παραγόντων.

Μία από τις κρίσιμες συνέπειες αυτών των αποτελεσμάτων είναι η ανάγκη για πιο ολοκληρωμένους και προσαρμοσμένους σε περιφερειακό επίπεδο δείκτες ξηρασίας που θα μπορούν να αποτυπώνουν καλύτερα την πολύπλοκη αλληλεπίδραση των παραγόντων που επηρεάζουν τη σοβαρότητα και τη συχνότητα της ξηρασίας. Παρά το ότι οι υπάρχοντες δείκτες παρέχουν πολύτιμες πληροφορίες, οι περιορισμοί τους σε ορισμένα πλαίσια

υποδηλώνουν ότι μπορεί να μην επαρκούν για την καθοδήγηση της πολιτικής σε όλες τις περιοχές. Τα ευρήματα της μελέτης υποδηλώνουν ότι η ενσωμάτωση πρόσθετων μεταβλητών, όπως οι κοινωνικοοικονομικές συνθήκες και οι τοπικές κλιματικές ιδιαιτερότητες, σε αυτούς τους δείκτες θα μπορούσε να ενισχύσει τη χρησιμότητά τους για τη λήψη αποφάσεων.

Συμπερασματικά, η ερμηνεία των αποτελεσμάτων της μελέτης ενισχύει την κρίσιμη ανάγκη για τοπικές και πολύπλευρες προσεγγίσεις στη διαχείριση της ξηρασίας στο πλαίσιο της κλιματικής αλλαγής. Τα ευρήματα όχι μόνο επιβεβαιώνουν την υπάρχουσα έρευνα, αλλά και διευρύνουν τα όρια της κατανόησής μας, τονίζοντας τη σημασία των περιφερειακών παραλλαγών και την ενσωμάτωση κοινωνικοοικονομικών παραγόντων στα εργαλεία αξιολόγησης της ξηρασίας. Οι γνώσεις αυτές είναι απαραίτητες για την ανάπτυξη αποτελεσματικών στρατηγικών προσαρμογής που μπορούν να μετριάσουν τις επιπτώσεις της ξηρασίας σε έναν κόσμο που θερμαίνεται, εξασφαλίζοντας την επαρκή προστασία των πιο ευάλωτων περιοχών και πληθυσμών.

Ο αντίκτυπος της παρούσας έρευνας είναι εκτεταμένες και υποδηλώνουν ότι οι μελλοντικές μελέτες θα πρέπει να συνεχίσουν να διερευνούν τις περιφερειακές ιδιαιτερότητες των επιπτώσεων της ξηρασίας, με έμφαση στην ενσωμάτωση κοινωνικοοικονομικών δεδομένων στα μοντέλα ξηρασίας. Μία τέτοια προσέγγιση θα παρέχει μία πιο ολιστική κατανόηση της δυναμικής της ξηρασίας, εξοπλίζοντας καλύτερα τους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής για την αντιμετώπιση των προκλήσεων που θέτει η κλιματική αλλαγή. Όσο το παγκόσμιο κλίμα συνεχίζει να θερμαίνεται, η ικανότητα ακριβούς πρόβλεψης και μετριάσμού της ξηρασίας θα είναι όλο και πιο σημαντικές για τη διασφάλιση των υδάτινων πόρων, της γεωργικής παραγωγικότητας και των ανθρώπινων μέσων διαβίωσης παγκοσμίως.

Ωστόσο, τα μέτρα μετριασμού της ξηρασίας για τον ελλαδικό χώρο βοηθούν στη μείωση των ακραίων ξηρασιών και εξασφαλίζουν σταθερή κατανομή υγρασίας. Επομένως, η μείωση των εκπομπών μπορεί να μετριάσει τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στις συνθήκες ξηρασίας. Αντιθέτως, η έλλειψη μέτρων οδηγεί σε συχνότερες και πιο έντονες περιόδους ξηρασίας, οι οποίες ενδεχομένως να επηρεάσουν αρνητικά τις γεωργικές παραγωγές, τα υδάτινα αποθέματα και την οικολογική ισορροπία στην περιοχή της Ελλάδας.

5. Συζήτηση

5.1 Η επιρροή της κλιματικής αλλαγής στην ξηρασία

Η συζήτηση σχετικά με τον αντίκτυπο της κλιματικής αλλαγής στην ξηρασία είναι σημαντική για την κατανόηση των ευρύτερων επιπτώσεων της υπερθέρμανσης του πλανήτη στους περιφερειακούς και παγκόσμιους υδάτινους πόρους. Εφόσον το παγκόσμιο κλίμα συνεχίζει να θερμαίνεται, παρατηρείται αξιοσημείωτη αύξηση της έντασης και της συχνότητας των ξηρασιών σε διάφορες περιοχές, με σημαντικές διαφοροποιήσεις ανάλογα με τις τοπικές κλιματικές συνθήκες και τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά (Muller et al., 2024).

Ειδικότερα, οι περιφερειακές διακυμάνσεις στην ένταση και τη συχνότητα της ξηρασίας συνδέονται στενά με συγκεκριμένους κλιματικούς και περιβαλλοντικούς παράγοντες. Για παράδειγμα, περιοχές που είναι ήδη ξηρές ή ημίξηρες, όπως τμήματα της Μεσογείου, οι νοτιοδυτικές Ηνωμένες Πολιτείες και περιοχές στην Αφρική και την Αυστραλία, βιώνουν πιο σοβαρές ξηρασίες ως αποτέλεσμα της μειωμένης βροχόπτωσης και της αυξημένης εξάτμισης λόγω των υψηλότερων θερμοκρασιών. Οι περιοχές αυτές είναι επίσης πιο ευάλωτες σε «θερμές ξηρασίες», όπου οι υψηλότερες θερμοκρασίες αυξάνουν σημαντικά τη σοβαρότητα των συνθηκών ξηρασίας, ακόμη και αν τα επίπεδα βροχόπτωσης δε μειωθούν σημαντικά (Graus et al., 2024).

Επιπλέον, οι τάσεις δείχνουν ότι οι ξηρασίες αυτές δεν γίνονται απλώς πιο συχνές αλλά και πιο έντονες, οδηγώντας σε μεγαλύτερες προκλήσεις για τη διαχείριση των υδάτινων πόρων, τη γεωργία και την επισιτιστική ασφάλεια. Οι σύνθετες επιπτώσεις της αύξησης της θερμοκρασίας και των αλλαγών στις βροχοπτώσεις είναι ιδιαίτερα επιζήμιες για τις περιοχές που εξαρτώνται από το λιώσιμο του χιονιού για την παροχή νερού. Όταν οι χιονοστρώσεις μειώνονται και λιώνουν νωρίτερα μέσα στο έτος, η διαθεσιμότητα νερού

κατά τους κρίσιμους καλοκαιρινούς μήνες μειώνεται, επιδεινώνοντας τις συνθήκες ξηρασίας. Η τάση αυτή είναι εμφανής σε περιοχές όπως οι δυτικές Ηνωμένες Πολιτείες, όπου η μειωμένη χιονοστοιβάδα έχει οδηγήσει σε σημαντική μείωση της διαθεσιμότητας νερού κατά τη διάρκεια της ξηρής περιόδου, με επιπτώσεις στη γεωργία, την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας και τη συνολική παροχή νερού (Trenberth, 2011).

Η συζήτηση υπογραμμίζει ότι ο αντίκτυπος της κλιματικής αλλαγής στην ξηρασία δεν είναι ομοιόμορφος, αλλά διαφέρει σημαντικά σε διάφορες περιοχές. Οι διακυμάνσεις αυτές επηρεάζονται από τις τοπικές κλιματικές συνθήκες, τα πρότυπα χρήσης γης και τις πρακτικές διαχείρισης των υδάτων. Σε περιοχές, όπως η κεντρική Ασία και Νότια Αμερική, όπου οι στρατηγικές διαχείρισης των υδάτων είναι ήδη λιγοστές, η πρόσθετη πίεση από τις ξηρασίες που προκαλούνται από το κλίμα θα μπορούσε να οδηγήσει σε συχνότερες ελλείψεις νερού και συγκρούσεις για τους υδάτινους πόρους (Huang et al., 2024)

Συμπερασματικά, ο αντίκτυπος της κλιματικής αλλαγής στην ξηρασία είναι βαθύς και πολύπλευρος, επηρεάζοντας όχι μόνο τη διαθεσιμότητα νερού αλλά και τη βιωσιμότητα των οικοσυστημάτων και των ανθρώπινων μέσων διαβίωσης. Οι περιφερειακές διαφορές στην ένταση και τη συχνότητα της ξηρασίας υπογραμμίζουν την ανάγκη για τοπικές στρατηγικές προσαρμογής που λαμβάνουν υπόψη τις ειδικές κλιματικές και περιβαλλοντικές συνθήκες κάθε περιοχής. Όσο το κλίμα συνεχίζει να αλλάζει, η κατανόηση αυτών των δυναμικών θα είναι ουσιώδης για την ανάπτυξη αποτελεσματικών πρακτικών διαχείρισης των υδάτων και τη διασφάλιση της ανθεκτικότητας των κοινοτήτων και των οικοσυστημάτων σε μελλοντικές ξηρασίες. Τα ευρήματα υποδηλώνουν ότι χωρίς σημαντικές προσπάθειες μετριασμού, ο κόσμος θα συνεχίσει να αντιμετωπίζει όλο και πιο σοβαρές και συχνές ξηρασίες, με εκτεταμένες συνέπειες τόσο για τα φυσικά όσο και για τα ανθρώπινα συστήματα.

5.2 Η αποτελεσματικότητα των δεικτών

Η αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των δεικτών ξηρασίας αποδεικνύεται ουσιαστική και βασική σε ό,τι αφορά την κατανόηση του πόσο καλά τα εργαλεία αυτά αποτυπώνουν την πολυπλοκότητα των φαινομένων ξηρασίας και ενημερώνουν τις διαδικασίες λήψης αποφάσεων. Δείκτες όπως ο Τυποποιημένος Δείκτης Βροχόπτωσης (SPI), ο Δείκτης Σοβαρότητας Ξηρασίας Palmer (PDSI) και ο Τυποποιημένος Δείκτης Εξατμισοδιαπνοής Βροχόπτωσης (SPEI) χρησιμοποιούνται συνήθως για τη μέτρηση διαφόρων πτυχών της ξηρασίας, συμπεριλαμβανομένης της έντασης, της διάρκειας και της χωρικής έκτασης. Καθένας από αυτούς τους δείκτες έχει συγκεκριμένα πλεονεκτήματα και περιορισμούς που επηρεάζουν την αποτελεσματικότητά τους σε διαφορετικά πλαίσια (Ji et al., 2024).

Ο PDSI, από την άλλη πλευρά, ενσωματώνει δεδομένα θερμοκρασίας και εδαφικής υγρασίας, παρέχοντας μία πιο ολοκληρωμένη αξιολόγηση των συνθηκών ξηρασίας. Ωστόσο, η πολύπλοκη μέθοδος υπολογισμού του και η ευαισθησία του στην επιλογή των παραμέτρων μπορεί να περιορίσει την εφαρμογή του σε διάφορες περιοχές και κλίματα. Επιπλέον, το PDSI επικρίνεται συχνά για την αργή απόκρισή του στις μεταβαλλόμενες συνθήκες ξηρασίας, γεγονός που μπορεί να καθυστερήσει την ανίχνευση των αναδυόμενων ξηρασιών (Soulé & Knapp, 2024).

Ο SPEI επεκτείνει τις δυνατότητες του SPI συμπεριλαμβάνοντας τόσο τη βροχόπτωση όσο και τη δυνητική εξατμισοδιαπνοή στους υπολογισμούς του, επιτρέποντάς του να καταγράφει τον αντίκτυπο της θερμοκρασίας στην ξηρασία. Αυτό καθιστά το SPEI ιδιαίτερα χρήσιμο στο πλαίσιο της κλιματικής αλλαγής, όπου η άνοδος της θερμοκρασίας αναμένεται να επιδεινώσει τις συνθήκες ξηρασίας. Ωστόσο, η αποτελεσματικότητά του μπορεί να επηρεαστεί από την επιλογή της μεθόδου εξατμισοδιαπνοής και της

κατανομής πιθανοτήτων που χρησιμοποιείται, γεγονός που μπορεί να επιφέρει μεταβλητότητα στα αποτελέσματα και να επηρεάσει τη συγκρισιμότητα των εκτιμήσεων ξηρασίας σε διάφορες περιοχές (Soulé & Knapp, 2024).

Αν και οι δείκτες αυτοί παρέχουν πολύτιμες πληροφορίες για τις συνθήκες ξηρασίας, οι περιορισμοί τους σε ορισμένα πλαίσια υποδηλώνουν ότι μπορεί να μην επαρκούν για να καθοδηγήσουν τις αποφάσεις πολιτικής σε όλους τους τομείς. Για παράδειγμα, η ενσωμάτωση πρόσθετων μεταβλητών, όπως οι κοινωνικοοικονομικές συνθήκες και οι τοπικές κλιματικές ιδιαιτερότητες, σε αυτούς τους δείκτες θα μπορούσε να ενισχύσει τη χρησιμότητά τους για τη λήψη αποφάσεων. Αυτό θα επέτρεπε μία πιο διαφοροποιημένη κατανόηση των επιπτώσεων της ξηρασίας και θα υποστήριζε την ανάπτυξη πιο στοχευμένων και αποτελεσματικών στρατηγικών προσαρμογής (Zain et al., 2024).

Συμπερασματικά, η αποτελεσματικότητα των δεικτών ξηρασίας ποικίλλει ανάλογα με το πλαίσιο και τους ειδικούς στόχους της ανάλυσης. Εφόσον δείκτες όπως ο SPI, ο PDSI και ο SPEI προσφέρουν χρήσιμα εργαλεία για την ποσοτικοποίηση της ξηρασίας, οι περιορισμοί τους υπογραμμίζουν την ανάγκη για συνεχή αξιολόγηση και προσαρμογή αυτών των εργαλείων ώστε να διασφαλιστεί ότι παραμένουν συναφή ενόψει των μεταβαλλόμενων κλιματικών συνθηκών. Η ενσωμάτωση ενός ευρύτερου φάσματος μεταβλητών και η συνεκτίμηση των περιφερειακών διαφορών στη δυναμική της ξηρασίας μπορούν να βελτιώσουν την ακρίβεια και τη δυνατότητα εφαρμογής αυτών των δεικτών, υποστηρίζοντας τελικά την αποτελεσματικότερη διαχείριση της ξηρασίας και τη χάραξη πολιτικής.

5.3 Επιπτώσεις στην πολιτική

Τα ευρήματα της παρούσας έρευνας έχουν σημαντικές επιπτώσεις για τις πολιτικές διαχείρισης του κλίματος και των υδάτων, ιδίως στο πλαίσιο της προσαρμογής και του

μετριασμού των επιπτώσεων της ξηρασίας σε ένα μεταβαλλόμενο κλίμα. Εφόσον οι ξηρασίες γίνονται πιο συχνές και σοβαρές λόγω της υπερθέρμανσης του πλανήτη, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη για τους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής να ενσωματώσουν τις γνώσεις που αποκομίστηκαν από την παρούσα έρευνα σε αποτελεσματικές στρατηγικές που διασφαλίζουν την ασφάλεια του νερού, προστατεύουν τις ευάλωτες κοινότητες και ενισχύουν τη συνολική ανθεκτικότητα.

Μία από τις βασικές συνέπειες για την πολιτική είναι η ανάγκη να ενσωματωθεί η επιστήμη του κλίματος στις πρακτικές διαχείρισης των υδάτων πιο ολοκληρωμένα. Η έρευνα υπογραμμίζει τη σημασία της χρήσης προηγμένων δεικτών ξηρασίας, όπως ο Τυποποιημένος Δείκτης Βροχόπτωσης-Εξατμισοδιαπνοής (SPEI), ο οποίος λαμβάνει υπόψη τόσο τις μεταβολές της θερμοκρασίας όσο και της βροχόπτωσης, για την ακριβέστερη παρακολούθηση και πρόβλεψη των συνθηκών ξηρασίας (Muller et al., 2024). Με την υιοθέτηση αυτών των δεικτών, οι υπεύθυνοι χάραξης πολιτικής μπορούν να βελτιώσουν την ακρίβεια των συστημάτων έγκαιρης προειδοποίησης και να επιτρέψουν πιο έγκαιρες και στοχευμένες παρεμβάσεις για την πρόληψη ή τον μετριασμό των επιπτώσεων της ξηρασίας.

Επιπλέον, η έρευνα υπογραμμίζει την αναγκαιότητα ανάπτυξης πολιτικών για συγκεκριμένες περιοχές που να λαμβάνουν υπόψη τις μοναδικές κλιματικές, γεωγραφικές και κοινωνικοοικονομικές συνθήκες των διαφόρων περιοχών. Για παράδειγμα, σε περιοχές όπως η Μεσόγειος και η Δυτική Βόρεια Αμερική, όπου οι ξηρασίες συνδέονται στενά με τη μείωση της χιονοστρώσης και την αύξηση της θερμοκρασίας, οι πολιτικές θα πρέπει να επικεντρωθούν στην ενίσχυση των δυνατοτήτων αποθήκευσης νερού, στην προώθηση της χρήσης καλλιεργειών ανθεκτικών στην ξηρασία και στην επένδυση σε προηγμένες τεχνολογίες άρδευσης (Mishra & Singh, 2010). Αντίθετα, οι περιοχές της υποσαχάριας Αφρικής, οι οποίες είναι πιο ευάλωτες λόγω των κοινωνικοοικονομικών προκλήσεων,

ενδέχεται να απαιτούν πολιτικές που δίνουν προτεραιότητα στη βελτίωση της πρόσβασης στο νερό, στην υποστήριξη βιώσιμων γεωργικών πρακτικών και στην ανάπτυξη τοπικών ικανοτήτων για την αποτελεσματική διαχείριση των υδάτινων πόρων (Nicholson, 2013).

Επιπλέον, τα ευρήματα υποδηλώνουν ότι η διακυβέρνηση και τα θεσμικά πλαίσια διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στον καθορισμό της αποτελεσματικότητας των στρατηγικών διαχείρισης της ξηρασίας. Οι πολιτικές που προωθούν την αποκεντρωμένη διαχείριση των υδάτων, ενθαρρύνουν τη συμμετοχή των ενδιαφερομένων και ενισχύουν τις τοπικές δομές διακυβέρνησης μπορούν να ενισχύσουν την ανθεκτικότητα των κοινοτήτων στην ξηρασία (Serdeczny et al., 2024). Για παράδειγμα, η ενδυνάμωση των τοπικών ενώσεων χρηστών νερού για τη διαχείριση των αρδευτικών συστημάτων ή η συμμετοχή των κοινοτήτων στην ανάπτυξη σχεδίων διαχείρισης των υδάτων μπορεί να οδηγήσει σε πιο βιώσιμες και εξειδικευμένες λύσεις.

Η έρευνα επισημαίνει επίσης τη σημασία της ευθυγράμμισης των πολιτικών διαχείρισης της ξηρασίας με τις ευρύτερες προσπάθειες μετριασμού της κλιματικής αλλαγής. Η μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου μέσω πολιτικών που προωθούν τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, την ενεργειακή απόδοση και τη βιώσιμη χρήση γης μπορεί να συμβάλει στην επιβράδυνση της εξέλιξης της κλιματικής αλλαγής και, κατ' επέκταση, στη μείωση της σοβαρότητας και της συχνότητας των ξηρασιών (IPCC, 2021). Επιπλέον, η ενσωμάτωση της διαχείρισης των υδάτων στα εθνικά σχέδια προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή μπορεί να διασφαλίσει ότι η ασφάλεια των υδάτων έχει προτεραιότητα στο πλαίσιο ευρύτερων περιβαλλοντικών και οικονομικών στρατηγικών.

Με βάση αυτά τα ευρήματα, προτείνονται οι ακόλουθες συστάσεις για τους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής:

- Υιοθέτηση προηγμένων δεικτών ξηρασίας: Εφαρμογή της χρήσης δεικτών όπως ο SPEI στα εθνικά και περιφερειακά συστήματα παρακολούθησης της ξηρασίας για τη βελτίωση της ακρίβειας των μηχανισμών έγκαιρης προειδοποίησης και αντιμετώπισης.
- Ανάπτυξη στρατηγικών προσαρμογής για συγκεκριμένες περιοχές: Προσαρμογή της διαχείρισης των υδάτων και των γεωργικών πολιτικών στις συγκεκριμένες κλιματικές, γεωγραφικές και κοινωνικοοικονομικές συνθήκες κάθε περιοχής, διασφαλίζοντας ότι οι στρατηγικές είναι πιο προσαρμόσιμες στις τοπικές συνθήκες και αποτελεσματικές.
- Ενίσχυση της διακυβέρνησης και των τοπικών ικανοτήτων: Προώθηση της αποκεντρωμένης διαχείρισης των υδάτων και συμμετοχή των τοπικών κοινοτήτων στις διαδικασίες λήψης αποφάσεων για την ενίσχυση της βιωσιμότητας και της ανθεκτικότητας των πρακτικών διαχείρισης των υδάτων.
- Ευθυγράμμιση της διαχείρισης της ξηρασίας με τις προσπάθειες μετριασμού του κλίματος: Ενσωμάτωση της διαχείρισης της ξηρασίας στα εθνικά σχέδια προσαρμογής και μετριασμού του κλίματος, διασφαλίζοντας ότι η ασφάλεια των υδάτων εξετάζεται παράλληλα με τις προσπάθειες για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και την προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή.

6. Συμπεράσματα

6.1 Βασικά σημεία

Εν κατακλείδι, η παρούσα μελέτη διερεύνησε διεξοδικά την περίπλοκη σχέση μεταξύ της παγκόσμιας κλιματικής κρίσης και των προτύπων ξηρασίας, με ιδιαίτερη έμφαση στις περιφερειακές διακυμάνσεις και τον αντίκτυπο των τοπικών κλιματικών, γεωγραφικών και κοινωνικοοικονομικών παραγόντων. Τα ευρήματα υπογραμμίζουν την κρίσιμη επιρροή της κλιματικής αλλαγής στην επιδείνωση των συνθηκών ξηρασίας, οι οποίες γίνονται όλο και πιο συχνές και σοβαρές σε διάφορες περιοχές. Η μελέτη υπογραμμίζει τη σημασία της κατανόησης αυτών των περιφερειακών διαφορών, καθώς διαμορφώνονται από μοναδικές τοπικές συνθήκες που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την ανάπτυξη αποτελεσματικών στρατηγικών προσαρμογής και μετριασμού.

Η ανάλυση αποκαλύπτει ότι, ενώ τα παγκόσμια κλιματικά μοντέλα παρέχουν πολύτιμες πληροφορίες, συχνά παραβλέπουν τις ειδικές προκλήσεις που αντιμετωπίζουν οι επιμέρους περιοχές, ιδίως εκείνες του παγκόσμιου Νότου. Οι περιοχές αυτές συχνά υποεκπροσωπούνται στη βιβλιογραφία, παρά το γεγονός ότι είναι ιδιαίτερα ευάλωτες στις δυσμενείς επιπτώσεις της ξηρασίας. Η μελέτη υπογραμμίζει επίσης την ανάγκη για διεπιστημονική έρευνα που ενσωματώνει την κλιματική επιστήμη με την κοινωνικοοικονομική ανάλυση, ώστε να παρέχεται μία πιο ολιστική κατανόηση της ευπάθειας και της ανθεκτικότητας στην ξηρασία.

Επιπλέον, η μελέτη εντοπίζει σημαντικά κενά στην τρέχουσα βιβλιογραφία, ιδίως όσον αφορά τις μη γραμμικές και δυνητικά απροσδόκητες αλλαγές στα πρότυπα ξηρασίας λόγω της συνεχιζόμενης κλιματικής κρίσης. Η αντιμετώπιση αυτών των κενών φαίνεται ουσιώδης για τη βελτίωση της ακρίβειας των προβλέψεων ξηρασίας και την προετοιμασία

για τα χειρότερα σενάρια. Τα ευρήματα της μελέτης έχουν πρακτικές επιπτώσεις για τους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής και τους διαχειριστές του περιβάλλοντος, προσφέροντας τεκμηριωμένες συστάσεις για την ενίσχυση των πρακτικών διαχείρισης των υδάτων, την επένδυση σε ανθεκτικά γεωργικά συστήματα και την ενίσχυση των δικτύων κοινωνικής ασφάλειας για την προστασία των ευάλωτων κοινοτήτων.

Εν τέλει, η έρευνα αυτή συμβάλλει σε μία πιο διαφοροποιημένη κατανόηση της πολύπλοκης δυναμικής της ξηρασίας στο πλαίσιο της κλιματικής αλλαγής, παρέχοντας ουσιαστική γνώση τόσο για τις τοπικές όσο και για τις παγκόσμιες προσπάθειες για την οικοδόμηση ανθεκτικότητας απέναντι σε μία από τις πιο πιεστικές προκλήσεις της εποχής μας.

Επιπλέον, τα μέτρα μετριασμού της ξηρασίας βοηθούν στη μείωση των ακραίων ξηρασιών και εξασφαλίζουν μια πιο σταθερή κατανομή υγρασίας. Αυτό υποδεικνύει ότι μείωση των εκπομπών μπορεί να μετριάσει τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στις συνθήκες ξηρασίας. Από την άλλη, η έλλειψη μέτρων οδηγεί σε συχνότερες και εντονότερες περιόδους ξηρασίας, οι οποίες θα μπορούσαν να επηρεάσουν αρνητικά τις γεωργικές παραγωγές, τα υδάτινα αποθέματα και την οικολογική ισορροπία στην περιοχή.

6.2 Σύνδεση ερευνητικών ερωτημάτων με αποτελέσματα

Τα αποτελέσματα αυτού του δοκιμίου συνδέονται στενά με τα ερευνητικά ερωτήματα που καθοδήγησαν τη μελέτη, παρέχοντας μία ολοκληρωμένη κατανόηση του τρόπου με τον οποίο η κλιματική κρίση επηρεάζει την ξηρασία σε διάφορες περιοχές και τους παράγοντες που επηρεάζουν αυτές τις επιπτώσεις. Με την αντιμετώπιση των ερευνητικών ερωτημάτων, τα αποτελέσματα όχι μόνο φωτίζουν την τρέχουσα κατάσταση της γνώσης, αλλά προσφέρουν επίσης πολύτιμες πληροφορίες για τη μελλοντική έρευνα και τη χάραξη πολιτικής.

Το πρώτο ερευνητικό ερώτημα επικεντρώθηκε στην κατανόηση της σχέσης μεταξύ της παγκόσμιας κλιματικής κρίσης και των αλλαγών στα πρότυπα ξηρασίας. Τα αποτελέσματα καταδεικνύουν σαφώς ότι η κλιματική κρίση οδηγεί σε αύξηση της συχνότητας και της σοβαρότητας των ξηρασιών, ιδίως σε περιοχές όπως η Μεσόγειος, η Δυτική Βόρεια Αμερική και η Υποσαχάρια Αφρική. Τα ευρήματα αυτά ευθυγραμμίζονται με την αρχική υπόθεση ότι η υπερθέρμανση του πλανήτη, η οποία οφείλεται στην αύξηση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, επιδεινώνει τις συνθήκες ξηρασίας παγκοσμίως. Η λεπτομερής ανάλυση των τάσεων της ξηρασίας στις περιοχές αυτές, που υποστηρίζεται από δείκτες όπως ο τυποποιημένος δείκτης βροχόπτωσης-εξατμισοδιαπνοής (SPEI) (Lee et al., 2024), επιβεβαιώνει ότι οι αλλαγές στα πρότυπα θερμοκρασίας και βροχόπτωσης είναι κρίσιμοι παράγοντες που συμβάλλουν σε πιο έντονες και παρατεταμένες ξηρασίες. Αυτή η σύνδεση μεταξύ των ερευνητικών ευρημάτων και του πρώτου ερευνητικού ερωτήματος υπογραμμίζει τη σημασία της κλιματικής αλλαγής ως πρωταρχικού παράγοντα της ξηρασίας, ενισχύοντας την ανάγκη για ισχυρή παρακολούθηση του κλίματος και στρατηγικές προσαρμογής.

Το δεύτερο ερευνητικό ερώτημα αποσκοπούσε στην αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των διαφόρων δεικτών ξηρασίας στην ποσοτικοποίηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στα φαινόμενα ξηρασίας. Τα αποτελέσματα αποκαλύπτουν ότι ενώ οι παραδοσιακοί δείκτες, όπως ο τυποποιημένος δείκτης βροχόπτωσης (SPI) και ο δείκτης σοβαρότητας ξηρασίας Palmer (PDSI), παρέχουν πολύτιμες πληροφορίες, ο δείκτης SPEI, ο οποίος ενσωματώνει δεδομένα τόσο θερμοκρασίας όσο και βροχόπτωσης, προσφέρει μία πιο ακριβή απεικόνιση των συνθηκών ξηρασίας σε έναν θερμαινόμενο κόσμο. Το εύρημα αυτό απαντά άμεσα στο ερευνητικό ερώτημα, αναδεικνύοντας τα πλεονεκτήματα και τους περιορισμούς των διαφόρων δεικτών, υποδεικνύοντας ότι οι μελλοντικές προσπάθειες παρακολούθησης της ξηρασίας θα πρέπει

να δώσουν προτεραιότητα στη χρήση του SPEI σε περιοχές όπου η αύξηση της θερμοκρασίας επηρεάζει σημαντικά τη δυναμική της ξηρασίας. Η σύνδεση μεταξύ αυτού του αποτελέσματος και του ερευνητικού ερωτήματος υπογραμμίζει τη σημασία της επιλογής κατάλληλων δεικτών για τη βελτίωση της ακρίβειας των εκτιμήσεων ξηρασίας και των συστημάτων έγκαιρης προειδοποίησης (Soulé & Knapp, 2024).

Το τρίτο ερευνητικό ερώτημα διερεύνησε τις περιφερειακές διαφορές στις επιπτώσεις της ξηρασίας και τον τρόπο με τον οποίο οι διαφορές αυτές επηρεάζονται από τοπικούς κλιματικούς, γεωγραφικούς και κοινωνικοοικονομικούς παράγοντες. Τα αποτελέσματα παρέχουν μία διαφοροποιημένη κατανόηση αυτών των διακυμάνσεων, δείχνοντας ότι, ενώ η παγκόσμια κλιματική αλλαγή αποτελεί καθολικό παράγοντα, οι συγκεκριμένες επιπτώσεις της ξηρασίας επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από τις τοπικές συνθήκες. Για παράδειγμα, η μελέτη διαπίστωσε ότι οι περιοχές με ορεινή τοπογραφία, όπως οι Άνδεις και τα Ιμαλία, είναι ιδιαίτερα ευάλωτες στην ξηρασία λόγω της μείωσης του χιονιού, ενώ οι παράκτιες περιοχές αντιμετωπίζουν μοναδικές προκλήσεις που σχετίζονται με την άνοδο της στάθμης της θάλασσας και τη διείσδυση αλμυρού νερού. Επιπλέον, κοινωνικοοικονομικοί παράγοντες, όπως το επίπεδο των υποδομών διαχείρισης των υδάτων και η διακυβέρνηση, διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στον καθορισμό της ανθεκτικότητας μιας περιοχής στην ξηρασία. Τα ευρήματα αυτά συνδέονται άμεσα με το τρίτο ερευνητικό ερώτημα, προσφέροντας λεπτομερείς πληροφορίες για το πώς τα περιφερειακά πλαίσια διαμορφώνουν τις επιπτώσεις της ξηρασίας και υπογραμμίζοντας την ανάγκη για προσαρμοσμένες στρατηγικές προσαρμογής.

Τέλος, τα αποτελέσματα εξετάζουν τις ευρύτερες επιπτώσεις αυτών των ευρημάτων για τη χάραξη πολιτικής, όπως τίθενται από τα ερευνητικά ερωτήματα. Τα συμπεράσματα του δοκιμίου υποδηλώνουν ότι η κατανόηση των συγκεκριμένων τρόπων με τους οποίους η κλιματική κρίση επιδεινώνει την ξηρασία σε διάφορες περιοχές μπορεί να δώσει

πληροφορίες για την ανάπτυξη αποτελεσματικότερων στρατηγικών προσαρμογής και μετριασμού. Για παράδειγμα, τα αποτελέσματα συνιστούν στους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής να υιοθετήσουν προσεγγίσεις ανά περιοχή που λαμβάνουν υπόψη τους μοναδικούς κλιματικούς, γεωγραφικούς και κοινωνικοοικονομικούς παράγοντες που παίζουν ρόλο. Η σύνδεση μεταξύ αυτών των συστάσεων πολιτικής και των ερευνητικών ερωτημάτων ενισχύει την πρακτική σημασία της μελέτης, καταδεικνύοντας πώς τα ευρήματα μπορούν να εφαρμοστούν για την ενίσχυση της ανθεκτικότητας στην ξηρασία σε ένα ταχέως μεταβαλλόμενο κλίμα.

6.3 Συνεισφορά μελέτης

Το παρόν δοκίμιο συμβάλλει σημαντικά στο υπάρχον σώμα γνώσεων προσφέροντας μία ολοκληρωμένη ανάλυση της περίπλοκης σχέσης μεταξύ κλιματικής αλλαγής και ξηρασίας, δίνοντας έμφαση στον κρίσιμο ρόλο των περιφερειακών διακυμάνσεων και της διασταύρωσης κλιματικών, γεωγραφικών και κοινωνικοοικονομικών παραγόντων. Συνθέτοντας ένα ευρύ φάσμα μελετών, η έρευνα αυτή ενισχύει την κατανόηση του τρόπου με τον οποίο η παγκόσμια κλιματική αλλαγή επηρεάζει διαφορετικά τα πρότυπα ξηρασίας σε διάφορες περιοχές, υπογραμμίζοντας τη σημασία των τοπικών αντιδράσεων στη διαχείριση της ξηρασίας. Η προσέγγιση του δοκιμίου για την ενσωμάτωση διεπιστημονικών προοπτικών -συνδυάζοντας γνώσεις από την κλιματική επιστήμη, την υδρολογία και την κοινωνικοοικονομική ανάλυση- καλύπτει ένα αξιοσημείωτο κενό στη βιβλιογραφία, όπου συχνά η εστίαση στρέφεται είτε προς τις περιβαλλοντικές είτε προς τις κοινωνικές πτυχές μεμονωμένα.

Επιπλέον, η διερεύνηση στο δοκίμιο των δεικτών ξηρασίας, όπως ο Τυποποιημένος Δείκτης Βροχόπτωσης (SPI) και ο Δείκτης Σοβαρότητας Ξηρασίας Palmer (PDSI), και η αποτελεσματικότητά τους στην αποτύπωση της πολύπλευρης φύσης της ξηρασίας,

προσφέρει μία κριτική αξιολόγηση που είναι σημαντική για τη βελτίωση των προγνωστικών μοντέλων και την ενημέρωση των πολιτικών αποφάσεων (Soulé & Knapp, 2024). Η έρευνα αυτή εντοπίζει και αντιμετωπίζει επίσης σημαντικά κενά στην υπάρχουσα βιβλιογραφία, ιδίως όσον αφορά την υποεκπροσώπηση ορισμένων ευάλωτων περιοχών στις κλιματικές μελέτες, υποστηρίζοντας έτσι πιο δίκαιες ερευνητικές προσπάθειες που μπορούν να καθοδηγήσουν πιο στοχευμένες και αποτελεσματικές στρατηγικές προσαρμογής.

Συμπερασματικά, το δοκίμιο αυτό όχι μόνο προάγει τον ακαδημαϊκό διάλογο παρέχοντας μία πιο διαφοροποιημένη και ολοκληρωμένη κατανόηση της ξηρασίας στο πλαίσιο της κλιματικής αλλαγής, αλλά έχει επίσης πρακτικές επιπτώσεις για τους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής και τους διαχειριστές του περιβάλλοντος. Υποστηρίζει την ανάπτυξη ισχυρότερων, ειδικών για κάθε περιοχή στρατηγικών για τον μετριασμό της ξηρασίας και την προσαρμογή σε αυτήν, συμβάλλοντας τελικά στις παγκόσμιες προσπάθειες για τη διαχείριση μιας από τις πιο πιεστικές περιβαλλοντικές προκλήσεις της εποχής μας.

6.3.1 Προτάσεις για Πολιτική

Όσον αφορά στην Ελλάδα, θα ήταν αναγκαίο να ληφθούν προληπτικά μέτρα, όπως επενδύσεις σε συστήματα διαχείρισης υδάτων και προσαρμογή των γεωργικών πρακτικών για να αντιμετωπιστούν οι συνθήκες ξηρασίας. Επιπλέον, η εφαρμογή και ενίσχυση πολιτικών που στοχεύουν στη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα θα μπορούσε να μειώσει τις κλιματικές μεταβολές και να περιορίσει τις επιπτώσεις που παρατηρούμε στο σενάριο RCP 8.5.

Επομένως, τα δεδομένα δείχνουν ότι η Ελλάδα βιώνει κανονικές συνθήκες μέχρι το 2024, αλλά μελλοντικά προβλέπεται αυξημένη κλιματική αστάθεια με μεγαλύτερη συχνότητα ακραίων φαινομένων.

6.4 Περιορισμοί μελέτης

Η μελέτη αντιμετώπισε αρκετούς περιορισμούς που πρέπει να αναγνωριστούν για να πλαισιώσουν τα ευρήματα και να καθοδηγήσουν τη μελλοντική έρευνα. Ένας από τους πρωταρχικούς περιορισμούς ήταν η στήριξη στη μεθοδολογία της βιβλιογραφικής ανασκόπησης, η οποία, αν και περιεκτική, περιορίζει εγγενώς το πεδίο της ανάλυσης στις υπάρχουσες μελέτες. Η προσέγγιση αυτή σημαίνει ότι τα ευρήματα και τα συμπεράσματα εξαρτώνται από την ποιότητα και το εύρος της διαθέσιμης βιβλιογραφίας, η οποία μπορεί να μην καλύπτει πλήρως την πολυπλοκότητα του θέματος. Συγκεκριμένα, υπήρχαν αξιοσημείωτα κενά στη βιβλιογραφία σχετικά με ορισμένες περιοχές και πλαίσια, ιδίως στον Παγκόσμιο Νότο, όπου οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής και της ξηρασίας συχνά υποεκπροσωπούνται. Αυτή η υποεκπροσώπηση περιορίζει τη δυνατότητα γενίκευσης των ευρημάτων της μελέτης και υπογραμμίζει την ανάγκη για περισσότερη εμπειρική έρευνα σε αυτούς τους τομείς.

Ένας άλλος σημαντικός περιορισμός ήταν ο διεπιστημονικός χαρακτήρας του θέματος, ο οποίος δημιούργησε προκλήσεις στην ενσωμάτωση των ευρημάτων σε διάφορους τομείς, όπως η κλιματική επιστήμη, η υδρολογία και οι κοινωνικοοικονομικές μελέτες. Οι ανομοιογενείς μεθοδολογίες και ορολογίες που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτά τα πεδία καθιστούσαν δύσκολη την εξαγωγή συνεκτικών ~~και συνεκτικών~~ συμπερασμάτων. Επιπλέον, η ποικιλομορφία στην ποιότητα και την εστίαση των μελετών που εξετάστηκαν εισήγαγε πρόσθετες προκλήσεις. Για παράδειγμα, ενώ ορισμένες μελέτες παρείχαν ισχυρά εμπειρικά δεδομένα, άλλες ήταν περισσότερο θεωρητικές ή τοπικοποιημένες, γεγονός που θα μπορούσε να αλλοιώσει τη σύνθεση των ευρημάτων.

Η μελέτη αντιμετώπισε επίσης προκλήσεις που σχετίζονται με τη δυναμική και εξελισσόμενη φύση της επιστήμης του κλίματος. Ο ταχύς ρυθμός αλλαγής των κλιματικών

προτύπων σημαίνει ότι τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν σε ορισμένες από τις μελέτες που εξετάστηκαν μπορεί να είναι ήδη ξεπερασμένα, περιορίζοντας τη συνάφεια ορισμένων συμπερασμάτων. Επιπλέον, η πολυπλοκότητα των κλιματικών συστημάτων και η πιθανότητα μη γραμμικών και απροσδόκητων αλλαγών στα πρότυπα ξηρασίας δεν αποτυπώθηκαν πλήρως στην υπάρχουσα βιβλιογραφία, γεγονός που υποδεικνύει ένα σημαντικό πεδίο για μελλοντική έρευνα. Η έλλειψη διαχρονικών μελετών που παρακολουθούν τις μακροπρόθεσμες επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην ξηρασία αναδείχθηκε επίσης ως περιορισμός, καθώς πολλές μελέτες επικεντρώνονται σε βραχυπρόθεσμες ή τοπικές επιπτώσεις.

Επιπλέον, η εξάρτηση της μελέτης από δευτερογενή δεδομένα σήμαινε ότι δεν μπορούσε να δημιουργήσει νέες εμπειρικές γνώσεις, οι οποίες θα ήταν πολύτιμες για την αντιμετώπιση ορισμένων από τα κενά που εντοπίστηκαν. Αυτός ο περιορισμός είναι ιδιαίτερα σημαντικός, δεδομένης της έκκλησης για περισσότερες μελέτες ανά περιοχή που να λαμβάνουν υπόψη τα μοναδικά κλιματικά, γεωγραφικά και κοινωνικοοικονομικά πλαίσια που διαμορφώνουν την ευπάθεια στην ξηρασία. Η απουσία τέτοιας στοχευμένης έρευνας περιορίζει τη δυνατότητα εφαρμογής των συμπερασμάτων της μελέτης σε διαφορετικές περιοχές και πληθυσμούς.

Τέλος, πρέπει να ληφθούν υπόψη οι πιθανές προκαταλήψεις κατά την ερμηνεία και τη σύνθεση της βιβλιογραφίας που εξετάστηκε. Η διαδικασία επιλογής, κατηγοριοποίησης και ερμηνείας των μελετών είναι εγγενώς υποκειμενική, και ενώ καταβλήθηκαν προσπάθειες για τον μετριασμό της προκατάληψης, είναι αδύνατο να εξαλειφθεί εντελώς. Αυτός ο περιορισμός υπογραμμίζει τη σημασία της διεξαγωγής πρωτογενούς έρευνας για την επικύρωση των ευρημάτων και τη διερεύνηση τομέων που παραμένουν ανεξερευνήτοι στο σημερινό σώμα γνώσεων. Οι μελλοντικές μελέτες θα πρέπει να στοχεύουν στην αντιμετώπιση αυτών των περιορισμών με την ενσωμάτωση πιο ποικίλων και

ολοκληρωμένων πηγών δεδομένων, τη χρήση διαχρονικών και διεπιστημονικών προσεγγίσεων και την εστίαση σε υποεκπροσωπούμενες περιοχές και πληθυσμούς.

6.5 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Τα ευρήματα αυτής της έρευνας παρέχουν πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με τον αντίκτυπο της κλιματικής κρίσης στην ξηρασία, ιδίως όσον αφορά τις περιφερειακές διακυμάνσεις και την επίδραση των τοπικών κλιματικών, γεωγραφικών και κοινωνικοοικονομικών παραγόντων. Ωστόσο, η μελέτη αποκαλύπτει επίσης αρκετά κενά και περιορισμούς που πρέπει να αντιμετωπιστούν σε μελλοντικές έρευνες. Στην παρούσα ενότητα περιγράφονται οι βασικοί τομείς στους οποίους είναι απαραίτητη η περαιτέρω διερεύνηση για την ενίσχυση της κατανόησής μας και τη βελτίωση των στρατηγικών διαχείρισης της ξηρασίας στο πλαίσιο ενός μεταβαλλόμενου κλίματος.

6.5.1 Περιφερειακές μελέτες

Μολονότι η παρούσα έρευνα ανέδειξε τη σημασία των περιφερειακών διαφορών στις επιπτώσεις της ξηρασίας, εξακολουθεί να υπάρχει ανάγκη για πιο εμπεριστατωμένες, ειδικές για κάθε περιοχή μελέτες. Πολλές περιοχές, ιδίως στον Παγκόσμιο Νότο, υποεκπροσωπούνται στην υπάρχουσα βιβλιογραφία. Η μελλοντική έρευνα θα πρέπει να επικεντρωθεί σε αυτές τις περιοχές για την καλύτερη κατανόηση του τρόπου με τον οποίο οι τοπικές κλιματικές και κοινωνικοοικονομικές συνθήκες αλληλεπιδρούν για να επηρεάσουν την ευπάθεια στην ξηρασία. Για παράδειγμα, περιοχές όπως η Νοτιοανατολική Ασία, τμήματα της Νότιας Αμερικής και η Υποσαχάρια Αφρική θα επωφεληθούν από πιο στοχευμένες μελέτες που θα λαμβάνουν υπόψη τις μοναδικές περιβαλλοντικές και κοινωνικοοικονομικές προκλήσεις που αντιμετωπίζουν. Οι μελέτες αυτές θα πρέπει να ενσωματώνουν τις τοπικές γνώσεις και πρακτικές, ώστε να διασφαλίζεται ότι τα ευρήματα είναι συναφή και εφαρμόσιμα στα ειδικά πλαίσια αυτών των περιοχών.

6.5.2 Διαχρονικές μελέτες και κλιματική μοντελοποίηση

Δεδομένης της εξελισσόμενης φύσης της κλιματικής αλλαγής και των επιπτώσεών της στην ξηρασία, υπάρχει επείγουσα ανάγκη για διαχρονικές μελέτες που παρακολουθούν τις αλλαγές για μεγάλες χρονικές περιόδους. Τέτοιες μελέτες θα παρείχαν μία πιο ολοκληρωμένη κατανόηση του τρόπου με τον οποίο τα πρότυπα ξηρασίας μετατοπίζονται ως απάντηση στη συνεχιζόμενη κλιματική αλλαγή. Επιπλέον, η ενσωμάτωση προηγμένων τεχνικών μοντελοποίησης του κλίματος θα μπορούσε να βοηθήσει στην πρόβλεψη μελλοντικών σεναρίων ξηρασίας υπό διαφορετικές πορείες κλιματικής αλλαγής. Τα μοντέλα αυτά θα πρέπει να λαμβάνουν υπόψη όχι μόνο τις μεταβολές της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης αλλά και άλλους παράγοντες όπως οι αλλαγές στη χρήση γης, η αποψίλωση των δασών και η αστικοποίηση, οι οποίοι μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά την τοπική κλιματική δυναμική και τη σοβαρότητα της ξηρασίας.

6.5.3 Διεπιστημονική έρευνα

Η πολύπλοκη αλληλεπίδραση μεταξύ του κλίματος, της γεωγραφίας και των κοινωνικοοικονομικών παραγόντων στη διαμόρφωση των επιπτώσεων της ξηρασίας απαιτεί μία διεπιστημονική ερευνητική προσέγγιση. Οι μελλοντικές μελέτες θα πρέπει να στοχεύουν στη γεφύρωση του χάσματος μεταξύ των φυσικών και των κοινωνικών επιστημών για την παροχή μιας πιο ολιστικής κατανόησης της ξηρασίας. Αυτό θα μπορούσε να περιλαμβάνει συνεργασίες μεταξύ κλιματολόγων, γεωγράφων, οικονομολόγων, κοινωνιολόγων και πολιτικών επιστημόνων για τη διερεύνηση της πολυδιάστατης φύσης της ξηρασίας και την ανάπτυξη ολοκληρωμένων στρατηγικών προσαρμογής και μετριασμού. Για παράδειγμα, η έρευνα που συνδυάζει κλιματικά δεδομένα με κοινωνικοοικονομικές αναλύσεις θα μπορούσε να προσφέρει βαθύτερη κατανόηση του

τρόπου με τον οποίο οι κοινωνικές ανισότητες, οι δομές διακυβέρνησης και οι οικονομικές συνθήκες επηρεάζουν την ευπάθεια και την ανθεκτικότητα στην ξηρασία.

6.5.4 Επιπτώσεις μη γραμμικών κλιματικών γεγονότων

Πρόσφατες έρευνες δείχνουν ότι η κλιματική αλλαγή θα μπορούσε να οδηγήσει σε μη γραμμικές και απότομες αλλαγές στα καιρικά φαινόμενα, συμπεριλαμβανομένων των ξηρασιών. Ωστόσο, ο τομέας αυτός παραμένει σχετικά ανεξερεύνητος. Η μελλοντική έρευνα θα πρέπει να διερευνήσει τις δυνατότητες για σημεία καμψής και βρόχους ανάδρασης στα κλιματικά συστήματα που θα μπορούσαν να προκαλέσουν ξαφνικά και σοβαρά φαινόμενα ξηρασίας. Η εμπέδωση αυτών των δυναμικών κρίνεται ουσιαστική για τη βελτίωση της ακρίβειας των προβλέψεων ξηρασίας και την προετοιμασία για ακραία σενάρια. Επιπλέον, η έρευνα θα πρέπει να διερευνήσει τις επιπτώσεις τέτοιων μη γραμμικών γεγονότων στις πολιτικές διαχείρισης των υδάτων και στις στρατηγικές ετοιμότητας για καταστροφές, διασφαλίζοντας ότι είναι αρκετά ισχυρές ώστε να αντιμετωπίζουν απρόβλεπτες και ακραίες συνθήκες.

6.5.5 Ενσωμάτωση της αυτόχθονης και τοπικής γνώσης

Ο ρόλος της αυτόχθονης και τοπικής γνώσης στη διαχείριση της ξηρασίας και των υδάτινων πόρων είναι ένας άλλος κρίσιμος τομέας για μελλοντική έρευνα. Οι αυτόχθονες κοινότητες έχουν συχνά βαθιά κατανόηση του τοπικού τους περιβάλλοντος και έχουν αναπτύξει πρακτικές που είναι κατάλληλες για την αντιμετώπιση των συνθηκών ξηρασίας. Μελλοντικές μελέτες θα πρέπει να διερευνήσουν πώς αυτά τα συστήματα παραδοσιακής γνώσης μπορούν να ενσωματωθούν με επιστημονικές προσεγγίσεις για τη δημιουργία αποτελεσματικότερων και πολιτισμικά κατάλληλων στρατηγικών διαχείρισης της ξηρασίας. Αυτό θα μπορούσε να περιλαμβάνει μεθόδους συμμετοχικής έρευνας που εμπλέκουν τις

τοπικές κοινότητες στην ερευνητική διαδικασία, εξασφαλίζοντας ότι οι γνώσεις και οι εμπειρίες τους εκτιμώνται και ενσωματώνονται στον σχεδιασμό προσαρμογής.

6.5.6 Έρευνα πολιτικής και διακυβέρνησης

Τέλος, υπάρχει ανάγκη για περισσότερη έρευνα σχετικά με το ρόλο της πολιτικής και της διακυβέρνησης στη διαμόρφωση της ανθεκτικότητας στην ξηρασία. Παρότι η παρούσα μελέτη ανέδειξε τη σημασία της αποτελεσματικής διακυβέρνησης και των θεσμικών πλαισίων, απαιτείται περαιτέρω έρευνα για να κατανοηθεί πώς τα διάφορα μοντέλα διακυβέρνησης και οι παρεμβάσεις πολιτικής επηρεάζουν τα αποτελέσματα της ξηρασίας. Συγκριτικές μελέτες που εξετάζουν την αποτελεσματικότητα διαφόρων προσεγγίσεων διακυβέρνησης σε διάφορες περιοχές θα μπορούσαν να προσφέρουν πολύτιμα διδάγματα για τη βελτίωση της διαχείρισης της ξηρασίας σε παγκόσμιο επίπεδο. Επιπλέον, η έρευνα θα πρέπει να διερευνήσει τα πολιτικά και οικονομικά εμπόδια στην εφαρμογή αποτελεσματικών πολιτικών για την ξηρασία, προσφέροντας λύσεις για την αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων.

Η μελλοντική έρευνα σχετικά με τις επιπτώσεις της κλιματικής κρίσης στην ξηρασία θα πρέπει να επικεντρωθεί σε μελέτες για συγκεκριμένες περιοχές, διαχρονική μοντελοποίηση του κλίματος, διεπιστημονικές προσεγγίσεις, μη γραμμικά κλιματικά γεγονότα, την ενσωμάτωση της γνώσης των αυτοχθόνων και τον ρόλο της πολιτικής και της διακυβέρνησης. Η αντιμετώπιση αυτών των τομέων θα συμβάλει στην κάλυψη των υφιστάμενων κενών στη βιβλιογραφία, θα ενισχύσει την κατανόηση της δυναμικής της ξηρασίας σε έναν κόσμο που θερμαίνεται και θα δώσει πληροφορίες για την ανάπτυξη πιο αποτελεσματικών και δίκαιων στρατηγικών προσαρμογής και μετριασμού. Εφόσον το κλίμα συνεχίζει να αλλάζει, είναι επιτακτική ανάγκη η έρευνα να εξελιχθεί ώστε να

ανταποκριθεί στις προκλήσεις της διασφάλισης της ασφάλειας και της ανθεκτικότητας του νερού για όλες τις κοινότητες, ιδίως για τις πιο ευάλωτες στην ξηρασία.

Βιβλιογραφία

Ελληνόγλωσση

Βαγγελάτος, Θ., Βαρδούλια, Μ., Ψωμά-Διακουμάκου, Μ., Στατήρη, Ρ., & Γιαλλούση, Μ.

(2021). Κλιματική αλλαγή και καθημερινές συνήθειες. *Open Schools Journal for Open Science*, 4(3).

<https://ejournals.epublishing.ekt.gr/index.php/openschoolsjournal/article/download/27024/21654>

Δασακλής, Σ., Σιγαλός, Γ., Λουκαΐδη, Β., Οικονόμου, Κ., Κατσιαμπάνη, Κ., Μαυράκης, Α.,

Φωτόπουλος, Ν. (2012). Χωρική κατανομή των επεισοδίων ξηρασίας στον Ελλαδικό χώρο με χρήση του δείκτη SPI. *ResearchGate*. [Spatial-distribution-of](#)

Ζαΐμης, Γ. (χ.χ). Ξηρασία και Άνθρωπος Στο *Επιπτώσεις των Κύκλων Πλημμυρών και Ξηρασίας στην Διαχείριση Υδάτων*. Διάλεξη. Διεθνές Πανεπιστήμιο Ελλάδας.

[Διάλεξη Διεθνές Πανεπιστήμιο](#)

Πατελάρου, Ε., & Μπροκαλάκη, Η. (2010). Μεθοδολογία της συστηματικής ανασκόπησης

και μετα-ανάλυσης. *Νοσηλευτική*, 49(2), 122-130. http://old-eclass.uop.gr/modules/document/file.php/NRS310/get_pdf-123.pdf

Σκολαρίκης, Ι. (2021). Έρευνα κοινού σχετικά με το βαθμό ευαισθητοποίησης και τις ενέργειες των νοικοκυριών για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής.

<https://polynoe.lib.uniwa.gr/xmlui/bitstream/handle/11400/638/Isaak%20Skolarikis%20147.pdf?sequence=1>

Στάθης, Δ. (2015). Μαθήματα Δασικής Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας. *Kallipos*.

[file:///C:/Users/fl0ra/Downloads/Forest_meteorology_Stathis_BOOK_2015_SOSA_RA%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/fl0ra/Downloads/Forest_meteorology_Stathis_BOOK_2015_SOSA_RA%20(1).pdf)

Τσούλου, Χ. (2010). *Οικονομική κρίση, κλιματική αλλαγή και οι προκλήσεις για την τοπική και περιφερειακή ανάπτυξη* (Master's thesis).
<https://ir.lib.uth.gr/xmlui/bitstream/handle/11615/42216/8261.pdf?sequence>

Ξενόγλωση

Abatzoglou, J. T., & Williams, A. P. (2016). Impact of anthropogenic climate change on wildfire across western US forests. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 113(42), 11770–11775.
<https://doi.org/10.1073/pnas.1607171113>

Bernatchez, L., Ferchaud, A. L., Berger, C. S., Venney, C. J., & Xuereb, A. (2024). Genomics for monitoring and understanding species responses to global climate change. *Nature Reviews Genetics*, 25(3), 165-183.
https://www.researchgate.net/profile/A-L-Ferchaud/publication/374895194_Genomics_for_monitoring_and_understanding_species_responses_to_global_climate_change/links/6537c65c5d51a8012b6d8147/Genomics-for-monitoring-and-understanding-species-responses-to-global

Bolivar, A. (2024). *Landfalling Tropical Cyclones: Directly Simulated vs. Statistically-Dynamically Downscaled*.
https://etda.libraries.psu.edu/files/final_submissions/29402

Cai, W., Borlace, S., Lengaigne, M. et al. (2014). Increasing frequency of extreme El Niño events due to greenhouse warming. *Nature Clim Change* 4, 111–116.
<https://doi.org/10.1038/nclimate2100>

Clark, P. U., Shakun, J. D., Rosenthal, Y., Köhler, P., & Bartlein, P. J. (2024). Global and regional temperature change over the past 4.5 million years. *Science*, 383(6685),

884-890.

https://pure.ulster.ac.uk/files/132776517/Global_and_Regional_Temperature_Change_Over-AAM.pdf

Dai, A. (2011). Drought under global warming: A review. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 2(1), 45-65. <https://www.semanticscholar.org/paper/Drought-under-global-warming%3A-a-review-Dai/c8302b1125d5a0649c905e1b4f44ccee6943d3de>

Denney, A. S., & Tewksbury, R. (2013). How to write a literature review. *Journal of criminal justice education*, 24(2), 218-234. <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=b61b74859e020a6f2a7aa29fef4003284cb23836>

Environmental Protection Agency (EPA). (2024). *Overview of greenhouse gases*. <https://www.epa.gov/ghgemissions/overview-greenhouse-gases>

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2018). *The state of food security and nutrition in the world 2018: Building climate resilience for food security and nutrition*. FAO. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/f5019ab4-0f6a-47e8-85b9-15473c012d6a/content>

Forster, P. M., Smith, C., Walsh, T., Lamb, W. F., Lamboll, R., Hall, B., ... & Zhai, P. (2024). Indicators of Global Climate Change 2023: annual update of key indicators of the state of the climate system and human influence. *Earth System Science Data*, 16(6), 2625-2658. <https://essd.copernicus.org/articles/16/2625/2024/essd-16-2625-2024.html>

- Francis, J. A., & Vavrus, S. J. (2012). Evidence linking Arctic amplification to extreme weather in mid-latitudes. *Geophysical Research Letters*, 39(6).
<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2012GL051000>
- Gerber, J. S., Ray, D. K., Makowski, D., Butler, E. E., Mueller, N. D., West, P. C., ... & Sloat, L. (2024). Global spatially explicit yield gap time trends reveal regions at risk of future crop yield stagnation. *Nature Food*, 5(2), 125-135.
<https://www.nature.com/articles/s43016-023-00913-8.pdf>
- Graus, S., Ferreira, T. M., Vasconcelos, G., & Ortega, J. (2024). Changing conditions: Global warming-related hazards and vulnerable rural populations in Mediterranean Europe. *Urban Science*, 8(2), 42. <https://www.mdpi.com/2413-8851/8/2/42/pdf>
- Hale, K. E., Jennings, K. S., Musselman, K. N., Livneh, B., & Molotch, N. P. (2023). Recent decreases in snow water storage in western North America. *Communications Earth & Environment*, 4(1), 170. <https://www.nature.com/articles/s43247-023-00751-3.pdf>
- Hashemi, M. (2021). Forecasting El Niño and La Niña using spatially and temporally structured predictors and a convolutional neural network. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 14, 3438-3446.
<https://ieeexplore.ieee.org/iel7/4609443/4609444/09376101.pdf>
- Health Effects Institute. (2024). *State of Global Air 2024. Special Report*.
- Health Effects Institute. <https://www.stateofglobalair.org/resources/report/state-global-air-report-2024>
- Huang, Y., Jiang, Y., Jiang, B., Bailey, R. T., Masud, B., Smerdon, B., & Faramarzi, M. (2024). Modelling impacts of climate change on snow drought, groundwater drought, and their feedback mechanism in a snow-dominated watershed in western Canada.

Journal of Hydrology, 636, 131342.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169424007376>

Ji, Y., Fu, J., Liu, B., & Tan, X. (2024). Can limiting global temperature rise to below 2° C warming prevent the emergence of unprecedented drought?. *Agricultural and Forest Meteorology*, 352, 110047.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016819232400162X>

Kelley, C. P., Mohtadi, S., Cane, M. A., Seager, R., & Kushnir, Y. (2015). Climate change in the Fertile Crescent and implications of the recent Syrian drought. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 112(11), 3241–3246. <https://doi.org/10.1073/pnas.1421533112>

Kennett, D. J., Breitenbach, S. F., Aquino, V. V., Asmerom, Y., Awe, J., Baldini, J. U., Bartlein, P., Culleton, B. J., Ebert, C., Jazwa, C., Macri, M. J., Marwan, N., Polyak, V., Prufer, K. M., Ridley, H. E., Sodemann, H., Winterhalder, B., & Haug, G. H. (2012). Development and disintegration of Maya political systems in response to climate change. *Science (New York, N.Y.)*, 338(6108), 788–791. <https://doi.org/10.1126/science.1226299>

King, K. E., Cook, E. R., Anchukaitis, K. J., Cook, B. I., Smerdon, J. E., Seager, R., ... & Spei, B. (2024). Increasing prevalence of hot drought across western North America since the 16th century. *Science Advances*, 10(4), eadj4289. <https://www.science.org/doi/pdf/10.1126/sciadv.adj4289>

Kuang, X., Liu, J., Scanlon, B. R., Jiao, J. J., Jasechko, S., Lancia, M., ... & Zheng, C. (2024). The changing nature of groundwater in the global water cycle. *Science*, 383(6686), eadf0630. <http://www.groundwaterscienceandsustainability.org/uploads/5/6/1/7/56172195/11>

[0. kuang et al. 2024 science the changing nature of groundwater in the global water cycle.pdf](#)

Lee, S., Moriasi, D. N., Mehr, A. D., & Mirchi, A. (2024). Sensitivity of Standardized Precipitation and Evapotranspiration Index (SPEI) to the choice of SPEI probability distribution and evapotranspiration method. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 53, 101761.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/am/pii/S2214581824001095>

Li, Q., Ye, A., Wada, Y., Zhang, Y., & Zhou, J. (2024). Climate change leads to an expansion of global drought-sensitive area. *Journal of Hydrology*, 632, 130874.

<https://www.researchgate.net/profile/Aizhong->

[Ye/publication/378281221_Climate_change_leads_to_an_expansion_of_global_drought-sensitive_area/links/65d493491141586f3f5140c0/Climate-change-leads-to-an-expansion-of-global-drought-sensitive-area.pdf](https://www.researchgate.net/publication/378281221_Climate_change_leads_to_an_expansion_of_global_drought-sensitive_area/links/65d493491141586f3f5140c0/Climate-change-leads-to-an-expansion-of-global-drought-sensitive-area.pdf)

Li, Q., Ye, A., Wada, Y., Zhang, Y., & Zhou, J. (2024). Climate change leads to an expansion of global drought-sensitive area. *Journal of Hydrology*, 632, 130874.

<https://www.researchgate.net/profile/Aizhong->

[Ye/publication/378281221_Climate_change_leads_to_an_expansion_of_global_drought-sensitive_area/links/65d493491141586f3f5140c0/Climate-change-leads-to-an-expansion-of-global-drought-sensitive-area.pdf](https://www.researchgate.net/publication/378281221_Climate_change_leads_to_an_expansion_of_global_drought-sensitive_area/links/65d493491141586f3f5140c0/Climate-change-leads-to-an-expansion-of-global-drought-sensitive-area.pdf)

Lipscomb, B. (2024). Annual Review of Environment and Resources, Volume 48. *Journal of the Botanical Research Institute of Texas*, 18(1), 224-224.

<https://journals.brit.org/jbrit/article/download/1363/1374>

Middleton, N. (2024). Impacts of sand and dust storms on food production. *Environmental Research: Food Systems*. [https://iopscience.iop.org/article/10.1088/2976-](https://iopscience.iop.org/article/10.1088/2976-601X/ad63ac/pdf)

[601X/ad63ac/pdf](https://iopscience.iop.org/article/10.1088/2976-601X/ad63ac/pdf)

- Mishra, A. K., & Singh, V. P. (2010). A review of drought concepts. *Journal of Hydrology*, 391(1-2), 202-216.
https://eclass.emt.ihu.gr/modules/document/file.php/FD104/JOH_A%20review%20of%20drought%20concepts_8_30_10.pdf
- Muller, L. C., Schaafsma, M., Mazzoleni, M., & Van Loon, A. F. (2024). Responding to climate services in the context of drought: A systematic review. *Climate Services*, 35, 100493. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405880724000487>
- Nicholson, S. E. (2013). The West African Sahel: A review of recent studies on the rainfall regime and its interannual variability. *ISRN Meteorology*, 2013. https://www.researchgate.net/publication/258393678_The_West_African_Sahel_A_Review_of_Recent_Studies_on_the_Rainfall_Regime_and_Its_Interannual_Variability
- Parodi, L. S. I., Enenkel, M., Lombardi, N., & Ngaina, J. (2024). Anticipatory action for drought in the Sahel: an innovation for drought risk management or a buzzword?. *Frontiers in Climate*, 6, 1347519. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fclim.2024.1347519/pdf>
- Paul, J., & Criado, A. R. (2020). The art of writing literature review: What do we know and what do we need to know?. *International business review*, 29(4), 101717. <https://drjustinpaul.com/wp-content/uploads/2022/04/IBR-Art-of-Lit.pdf>
- Popenoe, R., Langius-Eklöf, A., Stenwall, E., & Jervaeus, A. (2021). A practical guide to data analysis in general literature reviews. *Nordic journal of nursing research*, 41(4), 175-186. <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/2057158521991949>
- Ribot, J. (2013). Vulnerability does not just fall from the sky: Toward multi-scale pro-poor climate policy. In *Handbook on climate change and human security*. 164-199. Edward Elgar Publishing.

<https://documents.worldbank.org/curated/en/970361468324546268/pdf/520970PUB0EPI11C010disclosed0Dec091.pdf#page=73>

- Sakellariou, S., Spiliotopoulos, M., Alpanakis, N., Faraslis, I., Sidiropoulos, P., Tziatzios, G. A., ... & Dercas, N. (2024). Spatiotemporal Drought Assessment Based on Gridded Standardized Precipitation Index (SPI) in Vulnerable Agroecosystems. *Sustainability*, 16(3), 1240. <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/3/1240/pdf>
- Scanlon, B. R., Faunt, C. C., Longuevergne, L., Reedy, R. C., Alley, W. M., McGuire, V. L., & McMahon, P. B. (2012). Groundwater depletion and sustainability of irrigation in the US High Plains and Central Valley. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 109(24), 9320–9325. <https://doi.org/10.1073/pnas.1200311109>
- Screen, J. A., & Simmonds, I. (2010). The central role of diminishing sea ice in recent Arctic temperature amplification. *Nature*, 464(7293), 1334–1337. <https://doi.org/10.1038/nature09051>
- Seneviratne, S. I., Nicholls, N., Easterling, D., Goodess, C. M., Kanae, S., Kossin, J., ... & Zhang, X. (2012). Changes in climate extremes and their impacts on the natural physical environment. In *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation: Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/SREX-Chap3_FINAL-1.pdf
- Serdeczny, O., Andrijevic, M., Fyson, C., Lissner, T., Menke, I., Schleussner, C. F., ... & Thomas, A. (2024). Climatic risks to adaptive capacity. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 29(1), 10. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s11027-023-10103-3.pdf>

- Sitch, S., O'Sullivan, M., Robertson, E., Friedlingstein, P., Albergel, C., Anthoni, P., ... & Zaehle, S. (2024). Trends and drivers of terrestrial sources and sinks of carbon dioxide: An overview of the TRENDY project. *Global Biogeochemical Cycles*, 38(7), e2024GB008102.
<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdfdirect/10.1029/2024GB008102>
- Soulé, P. T., & Knapp, P. A. (2024). The evolution of “Hot” droughts in Southern California, USA from the 20th to the 21st century. *Journal of Arid Environments*, 220, 105118.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0140196323001891>
- Tal, A. (2017). The evolution of Israeli water management: the elusive search for environmental security. *Water Security in the Middle East*, 125.
<https://library.oapen.org/bitstream/handle/20.500.12657/31608/626411.pdf?sequence=140>
- Tefera, F. F. (2024). Ethiopia's 1984/85 famine and the Red Terror Trials. *Third World Quarterly*, 45(2), 420-438.
<https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/01436597.2023.2170874>
- Thiéblemont, R., Le Cozannet, G., Rohmer, J., Privat, A., Guidez, R., Negulescu, C., ... & Nicholls, R. J. (2024). Sea-level rise induced change in exposure of low-lying coastal land: implications for coastal conservation strategies. *Anthropocene Coasts*, 7(1), 8.
<https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s44218-024-00041-1.pdf>
- Toromade, A. S., Soyombo, D. A., Kupa, E., & Ijomah, T. I. (2024). Reviewing the impact of climate change on global food security: Challenges and solutions. *International Journal of Applied Research in Social Sciences*, 6(7), 1403-1416.
<https://www.fepbl.com/index.php/ijarss/article/view/1300/1532>
- Trenberth, K. E. (2011). Changes in precipitation with climate change. *Climate Research*, 47(1-2), 123-138. https://www.int-res.com/articles/cr_oa/c047p123.pdf

- Triandafyllidou, A. (2024). Migration and globalization: dynamics and contradictions. In *Handbook of Migration and Globalisation*. 1-23. Edward Elgar Publishing.
<https://publications.hse.ru/pubs/share/direct/920987074.pdf>
- United Nations Environment Programme (UNEP). (2023). Emissions Gap Report 2022. UNEP. https://www.unep.org/resources/emissions-gap-report-2022?gad_source=1&gclid=Cj0KCQjwzva1BhD3ARIsADQuPnXfbbEXViicQK_J_wqAUbDeWdHAUR1jJAUQz3jizLJ_FFcv0W2HoLIaAj4EALw_wcB
- Van Loon, A. F. (2015). Hydrological drought explained. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 2(4), 359-392. <https://wires.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/wat2.1085>
- van Vliet, M. T. H., Sheffield, J., Wiberg, D., & Wood, E. F. (2016). Impacts of recent drought and warm years on water resources and electricity supply worldwide. *Environmental Research Letters*, 11(12), Article 124021. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/12/124021>
- Weiss, H. (2017). Megadrought, collapse, and causality. *Oxford Research Encyclopedia of Environmental Science*. <https://academic.oup.com/book/11105/chapter-abstract/159530419?redirectedFrom=fulltext>
- World Health Organization (WHO). (2018). *COP24 special report: Health & climate change*. WHO. <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/276405/9789241514972-eng.pdf>
- Yu, X., Zhang, L., Zhou, T., Zheng, J., & Guan, J. (2024). Higher atmospheric aridity-dominated drought stress contributes to aggravating dryland productivity loss under global warming. *Weather and Climate Extremes*, 44, 100692. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212094724000537>
- Zain, A., Sadarangani, S. P., Shek, L. P. C., & Vasoo, S. (2024). Climate change and its impact on infectious diseases in Asia. *Singapore Medical Journal*, 65(4), 211-219.

https://journals.lww.com/smj/fulltext/2024/04000/climate_change_and_its_impact_on_infectious.3.aspx

Zamrsky, D., Oude Essink, G. H., & Bierkens, M. F. (2024). Global impact of sea level rise on coastal fresh groundwater resources. *Earth's Future*, 12(1), e2023EF003581.
<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdfdirect/10.1029/2023EF003581>

Zaniolo, M., Fletcher, S., & Mauter, M. (2024). FIND: A Synthetic weather generator to control drought Frequency, Intensity, and Duration. *Environmental Modelling & Software*, 172, 105927.
<https://eartharxiv.org/repository/object/5766/download/11290/>

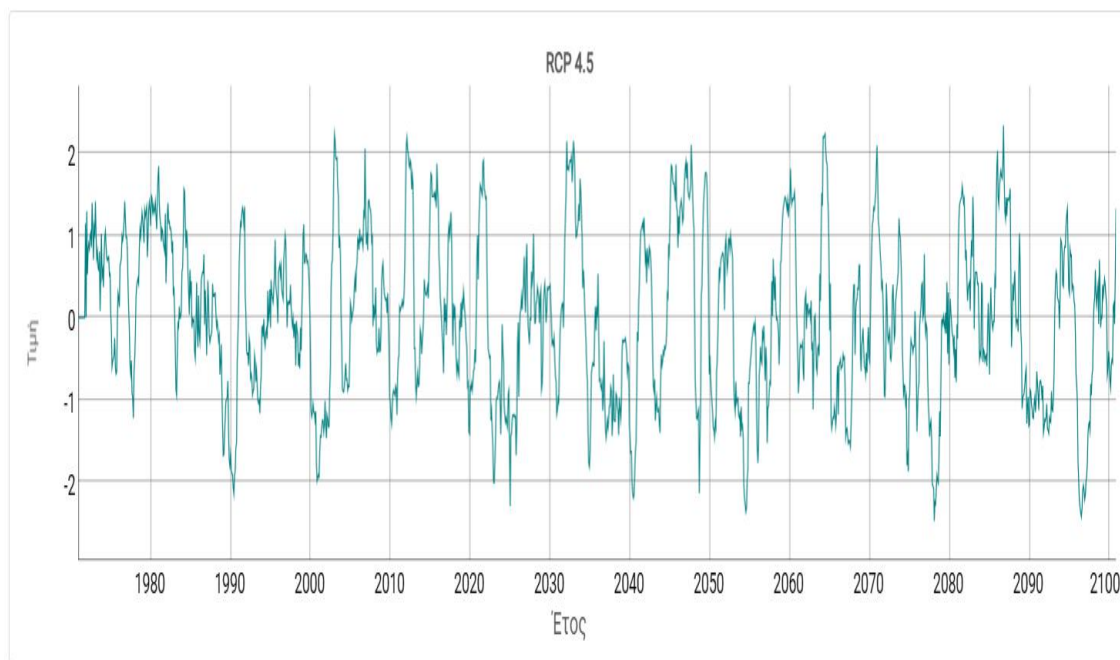
Χρήσιμοι σύνδεσμοι

<https://tool.urbanproof.eu/urbanproof/?module=spei&lang=el>

<https://drought.emergency.copernicus.eu/tumbo/edo/map/>

Παράρτημα

Πίνακας 1



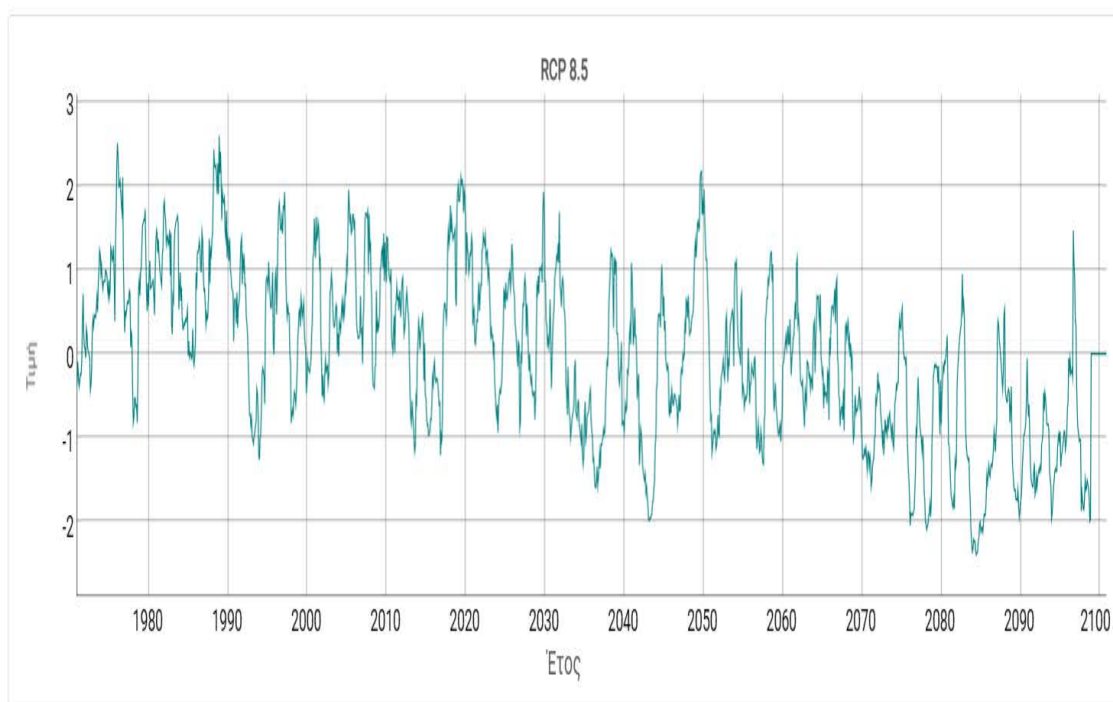
Κλίμακα SPEI

Κατηγορία	Τύπη
Ακραία υγρασία	$SPEI \geq 2$
Έντονη υγρασία	$1.5 \leq SPEI < 2$
Μέτρια υγρασία	$1 \leq SPEI < 1.5$
Μέτρια ξηρασία	$-1.5 < SPEI \leq -1$
Έντονη ξηρασία	$-2 < SPEI \leq -1.5$
Ακραία ξηρασία	$SPEI \leq -2$

Πίνακας σταθεροποίησης συγκέντρωσης θερμοκηπιακών αερίων με μέτρα μετριασμού (SPEI)

Πίνακας 2

Πίνακας σταθεροποίησης συγκέντρωσης θερμοκηπιακών αερίων χωρίς μέτρα μετριασμού (SPEI)

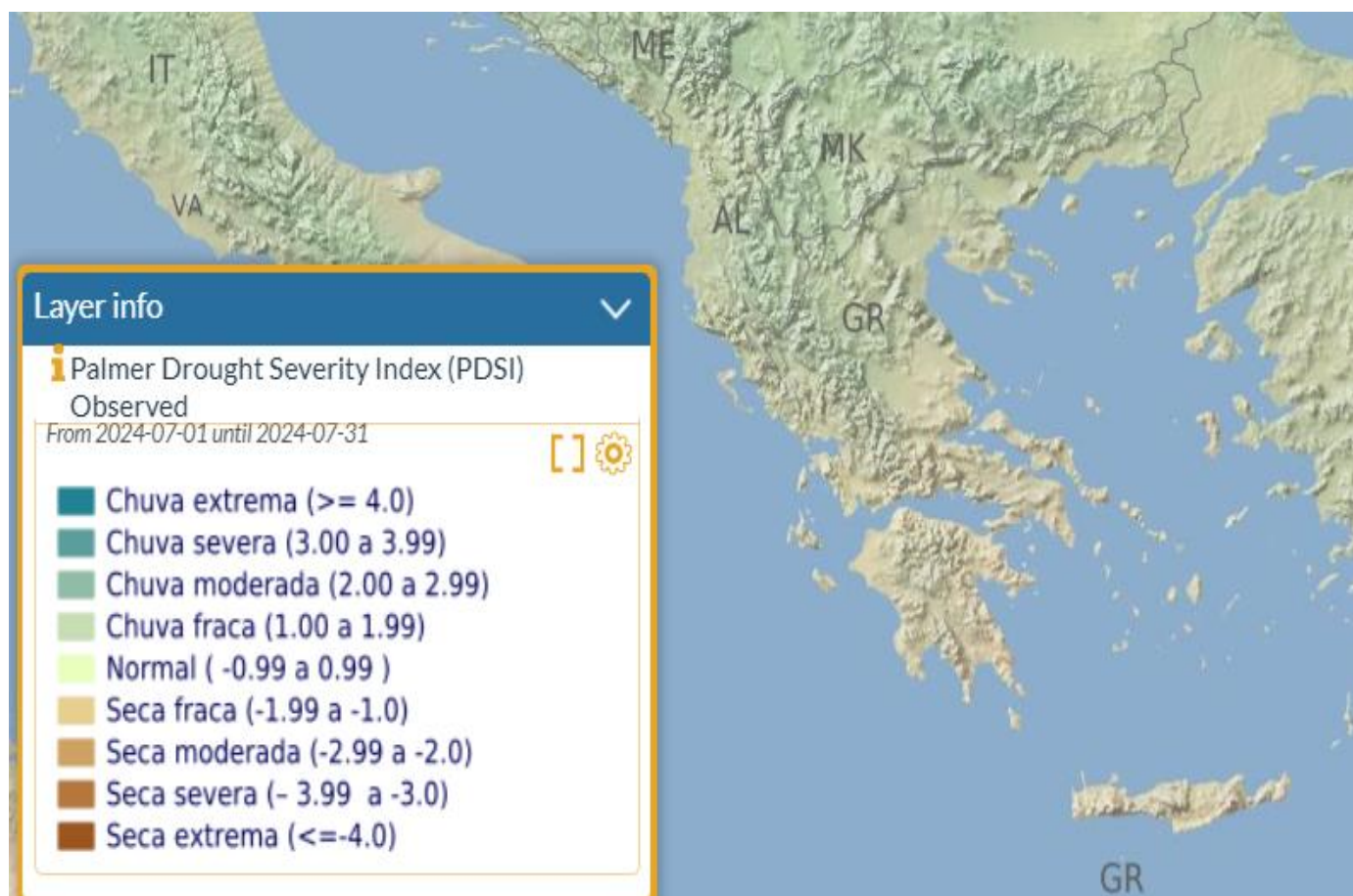


Κλίμακα SPEI

Κατηγορία	Τιμή
Ακραία υγρασία	$SPEI \geq 2$
Έντονη υγρασία	$1.5 \leq SPEI < 2$
Μέτρια υγρασία	$1 \leq SPEI < 1.5$
Μέτρια ξηρασία	$-1.5 < SPEI \leq -1$
Έντονη ξηρασία	$-2 < SPEI \leq -1.5$
Ακραία ξηρασία	$SPEI \leq -2$

Πίνακας 3

Δείκτης PSDI Ελλάδας 2024- Ιούλιος 2024



Πίνακας 4

Δείκτης SPI Ελλάδας Οκτώβριος 2024

