



ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

*«Στατιστική ανάλυση της ποιότητας και διαχείρισης υδατικών πόρων στη λεκάνη της
Μεσογείου με χρήση ανοιχτών ευρωπαϊκών δεδομένων»*

ΤΖΗΜΑΣ ΣΤΕΦΑΝΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΑΛΕΒΙΖΑΚΟΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ

ΠΑΤΡΑ 2026

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

“Θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και τον καθηγητή μου κ. Βασίλειο
Αλεβιζάκο για την υποστήριξη”.

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία διερευνά, με στατιστική προσέγγιση, την ποιότητα και τη διαχείριση υδατικών πόρων σε επιλεγμένες χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης με μεσογειακή/παράκτια συνάφεια. Αξιοποιούνται ανοιχτά ευρωπαϊκά δεδομένα από το Eurostat και τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Περιβάλλοντος (European Environment Agency - EEA), καθώς και συμπληρωματικές πληροφορίες από το CopernicusMarineService, με στόχο την παραγωγή ενός συνεκτικού και αναπαραγωγίμου πλαισίου σύγκρισης μεταξύ χωρών. Η μεθοδολογική προσέγγιση δομείται γύρω από έναν πυρήνα δεικτών που αποτυπώνουν (α) την υδατική πίεση/εκμετάλλευση (ενδεικτικά, WaterExploitationIndexplus – WEI+) και (β) την κατάσταση/ποιότητα υδάτων μέσω συγκεντρωτικών δεικτών και βάσεων παρακολούθησης. Περιγράφεται αναλυτικά η διαδικασία συλλογής, ενοποίησης και προεπεξεργασίας δεδομένων, με έμφαση στη διαφάνεια, στους ελέγχους ποιότητας, στη διαχείριση ελλিপών τιμών και στην τεκμηρίωση μεταδεδομένων. Τέλος, αναλύονται οι βασικοί περιορισμοί (χωρική ετερογένεια, ασυνέχειες χρονοσειρών, διαφοροποιήσεις ορισμών και μεθοδολογιών) και οι παραδοχές που οριοθετούν την ερμηνεία των αποτελεσμάτων, ώστε τα συμπεράσματα να παραμείνουν επιστημονικά τεκμηριωμένα και συμβατά με το ευρωπαϊκό θεσμικό πλαίσιο για τα ύδατα.

Λέξεις-κλειδιά: υδατικοί πόροι, ποιότητα νερού, Eurostat, Water Framework Directive, στατιστική ανάλυση.

Abstract

This thesis investigates, through a statistical approach, water resource quality and management across selected European Union countries with Mediterranean and/or coastal relevance. It leverages open European data from Eurostat and the European Environment Agency (EEA), complemented by information from the Copernicus Marine Service, aiming to develop a coherent and reproducible framework for cross-country comparison. The methodological design is built around a core set of indicators capturing (a) water pressure and exploitation (indicatively, the Water Exploitation Index plus—WEI+) and (b) water status/quality through aggregated indicators and monitoring databases. The thesis provides a detailed description of data acquisition, harmonization, and preprocessing, with emphasis on transparency, quality assurance checks, handling of missing values, and systematic documentation of metadata. Finally, it discusses key limitations (spatial heterogeneity, discontinuities in time series, and differences in definitions and methodologies) and the main assumptions that guide interpretation, ensuring that conclusions remain scientifically robust and aligned with the EU policy framework for water.

Keywords: water resources, water quality, Eurostat, Water Framework Directive, statistical analysis.

Περιεχόμενα

Περίληψη	iv
Abstract.....	v
Εισαγωγή	1
Κεφάλαιο 1 ^ο Θεωρητικό και θεσμικό πλαίσιο διαχείρισης υδατικών πόρων στη Μεσόγειο.....	3
1.1 Σημασία των υδατικών πόρων και σύγχρονες προκλήσεις στη Μεσόγειο	3
1.2 Υδατικοί πόροι, ποιότητα νερού και βιώσιμη ανάπτυξη	6
1.2.1 Η ποιότητα του νερού ως περιοριστικός παράγοντας ανάπτυξης	6
1.2.2 Βιώσιμη ανάπτυξη και υδατική διακυβέρνηση	7
1.2.3 Το «νερό» ως κόμβος: η λογική του Water–Energy–FoodNexus	8
1.2.4 Δείκτες και μετρησιμότητα	8
1.2.5 Πρόληψη, αποκατάσταση και κυκλικότητα.....	9
1.3 Ευρωπαϊκή διάσταση και θεσμικό πλαίσιο για το νερό	10
1.3.1 Η Οδηγία Πλαίσιο για τα Ύδατα.....	10
1.3.2 Διαχείριση σε επίπεδο λεκάνης απορροής και κύκλοι σχεδιασμού	11
1.3.3 Συμπληρωματικές ευρωπαϊκές πολιτικές που επηρεάζουν το νερό	12
1.3.4 Ρόλος ευρωπαϊκών οργανισμών και ανοιχτών δεδομένων	13
1.3.5 Η ευρωπαϊκή διάσταση ως «πλεονέκτημα» της μελέτης.....	14
1.4 Σκοπιμότητα της μελέτης και ερευνητική κατεύθυνση	15
1.4.1 Συγκριτική προσέγγιση σε χώρες της ΕΕ.....	15
1.4.2 Ανοιχτά ευρωπαϊκά δεδομένα.....	16
1.4.3 Ερευνητική κατεύθυνση.....	17
1.5 Σκοπός της εργασίας.....	18
1.6 Ερευνητικοί στόχοι.....	19
1.7 Ερευνητικά ερωτήματα	20
1.8 Συμβολή της μελέτης	22
Κεφάλαιο 2 ^ο Μεθοδολογικό πλαίσιο, επιλογή δεικτών και πηγές δεδομένων	23
2.1 Βασικές έννοιες διαχείρισης υδατικών πόρων.....	23
2.2 Υδατικοί πόροι και υδατικό σύστημα	23
2.3 Ποιότητα νερού και δείκτες αξιολόγησης: έννοιες, παράμετροι και προσεγγίσεις μέτρησης.....	27

2.4 Κατηγορίες παραμέτρων ποιότητας νερού	29
2.5 Κριτήρια επιλογής δεικτών για διακρατική στατιστική ανάλυση.....	31
2.6 Επιλογή και οριστικοποίηση δεικτών για την παρούσα μελέτη	32
2.7 Επιλογή πηγών και λογική χρήσης τους	35
2.8 Περιορισμοί δεδομένων και μεθοδολογικές παραδοχές.....	38
Κεφάλαιο 3 ^ο Στατιστική αποτύπωση και ανάλυση των αποτελεσμάτων	42
3.1 Εισαγωγή στο αναλυτικό μέρος.....	42
3.2 Περιγραφική ανάλυση του δείκτη WEI+	43
3.3 Ανάλυση νιτρικών στα υπόγεια ύδατα	46
3.4 Αφαίρεση νερού και ανανεώσιμοι υδατικοί πόροι	48
3.5 Διερεύνηση σχέσεων μεταξύ βασικών δεικτών	51
3.6 Συνολική αποτύπωση διαφοροποιήσεων μεταξύ χωρών.....	53
Κεφάλαιο 4 ^ο Συζήτηση των αποτελεσμάτων και στατιστική ερμηνεία	56
4.1 Σκοπός και λογική της συζήτησης	56
4.2 Ποσοτική υδατική πίεση και διαφοροποίηση χωρών	57
4.3 Ρόλος της φυσικής διαθεσιμότητας και των ανανεώσιμων υδατικών πόρων... ..	59
4.4 Τομεακή ζήτηση και γεωργική αφαίρεση νερού	61
4.5 Ποιότητα υπόγειων υδάτων και νιτρικά	63
4.6 Ερμηνεία υπό το πρίσμα της ευρωπαϊκής πολιτικής για τα ύδατα	65
4.7 Περιορισμοί της στατιστικής ερμηνείας	66
4.8 Συνολική σύνθεση συζήτησης.....	68
Κεφάλαιο 5 ^ο Συμπεράσματα, Περιορισμοί και Προτάσεις.....	69
5.1 Εισαγωγικές παρατηρήσεις.....	69
5.2 Απαντήσεις στα ερευνητικά ερωτήματα	69
5.3 Συνοπτικός πίνακας βασικών εμπειρικών ευρημάτων	72
5.4 Μεθοδολογικοί περιορισμοί και παραδοχές	74
5.5 Κατευθύνσεις διαχείρισης και πολιτικής	75
5.6 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα	76
5.7 Τελικό συμπέρασμα	77
Βιβλιογραφία	79

Παράρτημα Εικόνων

ΕΙΚΟΝΑ 1 ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ WEI+ ΑΝΑ ΧΩΡΑ, 2010-2023.	58
ΕΙΚΟΝΑ 2 ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑ WEI+ ΣΤΙΣ ΧΩΡΕΣ ΤΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ, 2010-2023.	59
ΕΙΚΟΝΑ 3 ΣΧΕΣΗ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΜΕΣΗΣ ΤΙΜΗΣ WEI+.	60
ΕΙΚΟΝΑ 4 ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΚΑΙ ΓΕΩΡΓΙΚΗ ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΝΕΡΟΥ ΑΝΑ ΚΑΤΟΙΚΟ.	62
ΕΙΚΟΝΑ 5 ΜΕΣΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΝΙΤΡΙΚΩΝ ΣΤΑ ΥΠΟΓΕΙΑ ΥΔΑΤΑ.	63
ΕΙΚΟΝΑ 6 ΔΙΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΣΧΕΣΗ ΜΕΣΟΥ WEI+ ΚΑΙ ΜΕΣΗΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΝΙΤΡΙΚΩΝ. ..	64

Παράρτημα Πινάκων

ΠΙΝΑΚΑΣ 1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ WEI+ ΑΝΑ ΧΩΡΑ, 2010-2023.....	44
ΠΙΝΑΚΑΣ 2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΝΙΤΡΙΚΩΝ ΣΤΑ ΥΠΟΓΕΙΑ ΥΔΑΤΑ, 2010-2023.....	47
ΠΙΝΑΚΑΣ 3 ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΝΕΡΟΥ ΑΝΑ ΚΑΤΟΙΚΟ, 2010-2023	49
ΠΙΝΑΚΑΣ 4 ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΝΕΡΟΥ ΑΠΟ ΓΕΩΡΓΙΑ, ΔΑΣΟΚΟΜΙΑ ΚΑΙ ΑΛΙΕΙΑ, 2010-2023	50
ΠΙΝΑΚΑΣ 5 ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΟΙ ΥΔΑΤΙΚΟΙ ΠΟΡΟΙ ΑΝΑ ΚΑΤΟΙΚΟ, 2010-2023.....	50
ΠΙΝΑΚΑΣ 6 ΔΙΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΜΕΤΑΞΥ WEI+ ΚΑΙ ΝΙΤΡΙΚΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΑΤΩΝ	52
ΠΙΝΑΚΑΣ 7 ΣΥΝΟΠΤΙΚΑ ΕΜΠΕΙΡΙΚΑ ΕΥΡΗΜΑΤΑ ΑΝΑ ΧΩΡΑ	72

Εισαγωγή

Η διαχείριση των υδατικών πόρων αποτελεί σήμερα ένα από τα πλέον κρίσιμα πεδία περιβαλλοντικής πολιτικής και τεχνικοεπιστημονικής εφαρμογής στην Ευρώπη, καθώς συνδέεται άμεσα με τη δημόσια υγεία, την επισιτιστική παραγωγή, την οικονομική δραστηριότητα και τη διατήρηση της οικολογικής λειτουργίας των υδάτινων οικοσυστημάτων. Στον μεσογειακό χώρο, οι προκλήσεις της υδατικής διαχείρισης εντείνονται λόγω της έντονης εποχικότητας, της συχνής σύμπτωσης περιόδων μειωμένης αναπλήρωσης με αυξημένη ζήτηση (ιδίως για άρδευση και τουρισμό), καθώς και της αυξανόμενης πολυπλοκότητας των πιέσεων που σχετίζονται με την αστικοποίηση και τις μεταβολές χρήσεων γης. Το ενδιαφέρον της επιστημονικής και θεσμικής συζήτησης μετατοπίζεται, συνεπώς, από την απλή επάρκεια ποσοτήτων προς ένα ευρύτερο πλαίσιο «υδατικής ασφάλειας» και ανθεκτικότητας, όπου η ποσότητα, η ποιότητα, η αξιοπιστία παροχής και η αποτελεσματικότητα των συστημάτων διαχείρισης αντιμετωπίζονται ως αλληλένδετες παράμετροι (Lelieveld et al., 2012; Fader et al., 2016; Savenije et al., 2014).

Παράλληλα, η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θεμελιώσει ένα συνεκτικό πλαίσιο προστασίας και ορθολογικής χρήσης του νερού, με σημείο αναφοράς την Οδηγία-Πλαίσιο για τα Ύδατα (2000/60/EK) και τις συναφείς ρυθμίσεις για την προστασία των υπόγειων υδάτων και τη διαχείριση πιέσεων από αστικά λύματα. Το πλαίσιο αυτό συνοδεύεται από μηχανισμούς παρακολούθησης, αξιολόγησης και αναφοράς, οι οποίοι υποστηρίζονται από ευρωπαϊκές βάσεις δεδομένων και δείκτες. Η διεύρυνση της διαθεσιμότητας ανοιχτών δεδομένων από ευρωπαϊκούς φορείς δημιουργεί πλέον τη δυνατότητα συστηματικών, διακρατικών συγκρίσεων, οι οποίες δεν περιορίζονται σε περιγραφικές διατυπώσεις, αλλά μπορούν να αναδείξουν πρότυπα, διαφοροποιήσεις και σχέσεις μεταξύ δεικτών πίεσης, διαχείρισης και κατάστασης των υδάτων (European Environment Agency, 2024; Eurostat, 2024d).

Στο πλαίσιο αυτό, η παρούσα διπλωματική εργασία εστιάζει στη στατιστική διερεύνηση της ποιότητας και της διαχείρισης υδατικών πόρων σε επιλεγμένες χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης με μεσογειακή ή/και παράκτια συνάφεια. Η προσέγγιση στηρίζεται στην αξιοποίηση ανοιχτών ευρωπαϊκών δεδομένων, κυρίως από το

Eurostat και τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Περιβάλλοντος (ΕΕΑ), καθώς και σε συμπληρωματική πληροφορία από ευρωπαϊκές υπηρεσίες παρακολούθησης θαλάσσιου περιβάλλοντος, με στόχο τη διαμόρφωση ενός συνεκτικού πλαισίου σύγκρισης σε επίπεδο χώρας. Η επιλογή χωρών εντός ΕΕ εξασφαλίζει κοινό θεσμικό υπόβαθρο και, στον βαθμό που αυτό είναι εφικτό, μεγαλύτερη συγκρισιμότητα ως προς τους ορισμούς, τη μεθοδολογία συλλογής και την πρακτική αναφοράς δεδομένων.

Κεντρική επιδίωξη της εργασίας είναι να αποτυπωθεί, μέσω κατάλληλων δεικτών, η ένταση της υδατικής πίεσης και εκμετάλλευσης και να εξεταστεί η συνύπαρξή της με ενδείξεις ποιότητας ή/και οικολογικής κατάστασης υδάτων. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στην τεκμηριωμένη επιλογή ενός πυρήνα δεικτών, στην ορθολογική οργάνωση των δεδομένων και στη διαφανή περιγραφή της διαδικασίας συλλογής, ενοποίησης και προεπεξεργασίας, ώστε το αναλυτικό σκέλος που ακολουθεί να είναι αναπαραγώγιμο και μεθοδολογικά ελεγχόμενο. Παράλληλα, αναγνωρίζεται ότι η διακρατική ανάλυση σε εθνικό επίπεδο ενσωματώνει εγγενείς περιορισμούς, καθώς η χωρική ετερογένεια, η ασυνέχεια χρονοσειρών και οι διαφοροποιήσεις στη λεπτομέρεια παρακολούθησης μπορούν να επηρεάσουν την ερμηνεία. Για τον λόγο αυτό, η εργασία υιοθετεί ρητές παραδοχές και οριοθετεί τον χαρακτήρα των συμπερασμάτων, διατηρώντας σαφή διάκριση μεταξύ στατιστικής συσχέτισης και αιτιολογικής τεκμηρίωσης.

Η δομή της εργασίας οργανώνεται έτσι ώστε να προχωρά από το θεωρητικό και θεσμικό υπόβαθρο προς τον σχεδιασμό της συγκριτικής ανάλυσης. Αρχικά αναπτύσσονται οι βασικές έννοιες που αφορούν τη διαθεσιμότητα, την πίεση και την ποιότητα των υδάτων, καθώς και τα κριτήρια επιλογής δεικτών και χωρών. Στη συνέχεια περιγράφεται αναλυτικά η διαδικασία συγκρότησης του dataset, συμπεριλαμβανομένων των κανόνων ενοποίησης, των μετασχηματισμών για ενίσχυση της συγκρισιμότητας και των ελέγχων ποιότητας. Τέλος, καταγράφονται οι βασικοί περιορισμοί και οι μεθοδολογικές παραδοχές που πλαισιώνουν την ερμηνεία των αποτελεσμάτων. Με τον τρόπο αυτό, το πρώτο μέρος της διπλωματικής εργασίας συγκροτεί ένα σαφές και ακαδημαϊκά τεκμηριωμένο θεμέλιο για την εφαρμοσμένη στατιστική ανάλυση και τη συζήτηση που θα ακολουθήσουν στο επόμενο στάδιο της εργασίας.

Κεφάλαιο 1^ο Θεωρητικό και θεσμικό πλαίσιο διαχείρισης υδατικών πόρων στη Μεσόγειο

1.1 Σημασία των υδατικών πόρων και σύγχρονες προκλήσεις στη Μεσόγειο

Οι υδατικοί πόροι αποτελούν κρίσιμο θεμέλιο για τη δημόσια υγεία, την επισιτιστική ασφάλεια, την οικονομική δραστηριότητα και τη διατήρηση της βιοποικιλότητας. Το νερό δεν λειτουργεί μόνο ως φυσικός πόρος αλλά και ως «υποδομή» του φυσικού περιβάλλοντος: ρυθμίζει οικοσυστήματα, υποστηρίζει γεωργικές και βιομηχανικές διεργασίες, διαμορφώνει τοπία και παράκτια συστήματα, ενώ συνδέεται άμεσα με τις κοινωνικές ανισότητες και την περιφερειακή ανάπτυξη. Στο πλαίσιο αυτό, η διαχείριση των υδατικών πόρων δεν περιορίζεται στην ποσότητα (διαθεσιμότητα), αλλά επεκτείνεται στην ποιότητα, την προσβασιμότητα, την ανθεκτικότητα των συστημάτων ύδρευσης-άρδευσης και, ιδίως, στη μακροπρόθεσμη βιωσιμότητα των υδατικών οικοσυστημάτων (Savenije et al., 2014; Katusiime & Schütt, 2020).

Η περιοχή της Μεσογείου αποτελεί χαρακτηριστική περίπτωση όπου η ένταση των υδατικών πιέσεων συναντά υψηλή χωρική και χρονική μεταβλητότητα. Το μεσογειακό κλίμα χαρακτηρίζεται από έντονες εποχικές διακυμάνσεις, με συγκέντρωση των βροχοπτώσεων στους ψυχρότερους μήνες και ξηρές, θερμές περιόδους το καλοκαίρι. Η εποχικότητα αυτή, σε συνδυασμό με τη γεωμορφολογία πολλών λεκανών απορροής, οδηγεί σε αυξημένη πιθανότητα τόσο ξηρασίας όσο και πλημμυρικών επεισοδίων, συχνά στο ίδιο υδρολογικό έτος (Lelieveld et al., 2012; Hoerling et al., 2012). Σημαντικό στοιχείο είναι ότι η ίδια η «φυσική διαθεσιμότητα» νερού δεν μεταφράζεται αυτομάτως σε «ωφέλιμη διαθεσιμότητα»: οι υποδομές αποθήκευσης, η ικανότητα ταμείωσης, οι απώλειες δικτύων, η ποιότητα και οι περιορισμοί χρήσεων καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό το πραγματικό ισοζύγιο (Rocha et al., 2020).

Στις σύγχρονες κοινωνίες, οι πιέσεις στους υδατικούς πόρους προκύπτουν από τον συνδυασμό φυσικών διεργασιών και ανθρωπογενών δραστηριοτήτων. Στη Μεσόγειο, η γεωργία και ιδίως η αρδευόμενη γεωργία, αποτελεί έναν από τους βασικότερους παράγοντες κατανάλωσης γλυκού νερού, με διαφοροποιήσεις ανά χώρα και ανά υδρολογική λεκάνη. Η ζήτηση κορυφώνεται συχνά τους θερινούς μήνες, όταν η

φυσική αναπλήρωση είναι περιορισμένη (Daccache et al., 2014; Fader et al., 2016; Iglesias et al., 2011). Παράλληλα, η τουριστική δραστηριότητα, ιδιαίτερα σε παράκτιες ζώνες και νησιωτικές περιοχές, δημιουργεί εποχική αύξηση πληθυσμού και αιχμές κατανάλωσης, αυξάνοντας το φορτίο σε υδατικές υποδομές και εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων. Επιπλέον, η αστικοποίηση, οι μεταβολές στην εκμετάλλευση της γης και η βιομηχανική δραστηριότητα (όπου υφίσταται) επηρεάζουν τόσο την ποσότητα όσο και την ποιότητα του διαθέσιμου νερού (Markantonis et al., 2019; de Roo et al., 2021).

Ένα κρίσιμο ζήτημα για πολλές μεσογειακές περιοχές είναι η υπερεκμετάλλευση υπόγειων υδροφορέων. Οι υπόγειοι πόροι λειτουργούν συχνά ως «στρατηγικό απόθεμα» σε περιόδους μειωμένων βροχοπτώσεων, ωστόσο η συστηματική άντληση μπορεί να υπερβαίνει τον ρυθμό φυσικής αναπλήρωσης, οδηγώντας σε πτώση στάθμης, υποβάθμιση οικοσυστημάτων που εξαρτώνται από υπόγεια νερά και, στις παράκτιες ζώνες, σε υφαλμύριση λόγω θαλάσσιας διείσδυσης. Η υφαλμύριση αποτελεί ιδιαίτερα σημαντική απειλή για νησιωτικά και παράκτια συστήματα, διότι μπορεί να καταστήσει μη αξιοποιήσιμους υδροφορείς για ύδρευση ή άρδευση, αυξάνοντας την εξάρτηση από αφαλάτωση ή μεταφορές νερού—λύσεις που ενδέχεται να έχουν οικονομικό και περιβαλλοντικό κόστος (Pulido-Velázquez et al., 2015; de Roo et al., 2021).

Πέρα από τη διαθεσιμότητα, η ποιότητα των υδατικών σωμάτων αποτελεί καθοριστική διάσταση, δεδομένου ότι η υποβάθμιση της ποιότητας περιορίζει τις δυνητικές χρήσεις και αυξάνει το κόστος επεξεργασίας. Στη Μεσόγειο, συχνές πιέσεις στην ποιότητα σχετίζονται με τη διάχυτη ρύπανση από γεωργικές δραστηριότητες (θρεπτικά, φυτοπροστατευτικά), τις σημειακές εκροές από αστικά λύματα και βιομηχανικές εγκαταστάσεις, τις υδρομορφολογικές αλλοιώσεις (φράγματα, εκτροπές, εγκαθισμοί), και τους αναδυόμενους ρύπους (π.χ. φαρμακευτικές ουσίες), των οποίων η παρακολούθηση εξελίσσεται (Singh & Craswell, 2021; Musacchio et al., 2020; van Grinsven et al., 2012). Τα φαινόμενα ευτροφισμού σε λιμναία και παράκτια συστήματα, ιδίως σε περιοχές με υψηλές εισροές θρεπτικών και περιορισμένη ανανέωση νερού, αποτελούν ενδεικτικό παράδειγμα της αλληλεπίδρασης ανθρώπινων πιέσεων και φυσικών διεργασιών.

Στο πλαίσιο της κλιματικής αλλαγής, οι υδατικοί πόροι της Μεσογείου θεωρούνται από τη διεθνή βιβλιογραφία ιδιαίτερα ευάλωτοι. Αναμένονται μεταβολές στο υδρολογικό καθεστώς μέσω αύξησης της θερμοκρασίας, αύξησης της εξατμισοδιαπνοής, μετατόπισης του εποχικού προτύπου βροχοπτώσεων και ενδεχόμενης αύξησης της συχνότητας/διάρκειας ξηρασιών (Lelieveld et al., 2012; Hoerling et al., 2012; Rocha et al., 2020). Ταυτόχρονα, η πιθανότητα έντονων βροχοπτώσεων σε σύντομα χρονικά διαστήματα μπορεί να αυξάνει τον κίνδυνο πλημμυρών, διάβρωσης εδαφών και μεταφοράς ρυπαντικών φορτίων σε υδάτινους αποδέκτες. Σημειώνεται ότι οι κλιματικές πιέσεις δεν λειτουργούν απομονωμένα, αλλά αλληλεπιδρούν με την υπάρχουσα υπερεκμετάλλευση και τη ρύπανση, επιτείνοντας την ευθραυστότητα των υδατικών συστημάτων. Έτσι, η ανθεκτικότητα (resilience) στη διαχείριση του νερού προϋποθέτει όχι μόνο τεχνικές παρεμβάσεις, αλλά και θεσμικές–οργανωτικές μεταρρυθμίσεις, καθώς και πρακτικές εξοικονόμησης και επαναχρησιμοποίησης (Katusiime & Schütt, 2020; de Roo et al., 2021).

Οι παραπάνω προκλήσεις αναδεικνύουν ότι η διαχείριση υδατικών πόρων στη Μεσόγειο είναι κατεξοχήν πολυπαραγοντικό ζήτημα: περιλαμβάνει υδρολογία, οικολογία, οικονομία, κοινωνική πολιτική και θεσμική διακυβέρνηση. Σε επίπεδο πολιτικής, το ζητούμενο δεν είναι μόνο η «επάρκεια νερού», αλλά η ισορροπία μεταξύ ανταγωνιστικών χρήσεων (ύδρευση, άρδευση, βιομηχανία, οικοσυστήματα), η προστασία των υδάτινων σωμάτων και η διασφάλιση ότι οι παρεμβάσεις είναι συμβατές με τις αρχές της βιώσιμης ανάπτυξης. Ειδικά εντός της Ευρωπαϊκής Ένωσης η σύγκριση χωρών μπορεί να προσφέρει χρήσιμες ενδείξεις για τη σχέση μεταξύ πολιτικών επιλογών, διαχειριστικής πρακτικής και περιβαλλοντικών αποτελεσμάτων.

Συνεπώς, η επιστημονική τεκμηρίωση μέσω συγκρίσιμων δεικτών (διαθεσιμότητας, εκμετάλλευσης και ποιότητας) και η αξιοποίηση ανοιχτών ευρωπαϊκών δεδομένων αποκτούν ιδιαίτερη σημασία. Η χρήση τέτοιων δεδομένων επιτρέπει την ανάπτυξη ενός κοινού πλαισίου αξιολόγησης, μειώνοντας τον βαθμό υποκειμενικότητας και ενισχύοντας τη διαφάνεια. Παράλληλα, η στατιστική ανάλυση μπορεί να αποκαλύψει πρότυπα και συσχετίσεις που δεν είναι άμεσα ορατά σε περιγραφικές προσεγγίσεις, προσφέροντας βάση για στοχευμένη συζήτηση πολιτικής και προτάσεις βελτίωσης.

1.2 Υδατικοί πόροι, ποιότητα νερού και βιώσιμη ανάπτυξη

Η έννοια των υδατικών πόρων, στον πυρήνα της, υπερβαίνει την αντίληψη του νερού ως απλού «αποθέματος» προς κατανάλωση. Στη σύγχρονη περιβαλλοντική επιστήμη και πολιτική, το νερό αντιμετωπίζεται ως σύνθετος φυσικός πόρος με πολλαπλές λειτουργίες: υποστηρίζει οικοσυστήματα, τροφοδοτεί παραγωγικές δραστηριότητες, εξασφαλίζει κοινωνικές ανάγκες και συμβάλλει στη σταθερότητα των φυσικών και ανθρωπογενών συστημάτων. Από αυτή την οπτική, η βιώσιμη ανάπτυξη συνδέεται άμεσα με τη διαθεσιμότητα, την ποιότητα και τη δίκαιη κατανομή του νερού, καθώς και με την ανθεκτικότητα των υδατικών συστημάτων απέναντι σε πιέσεις και αβεβαιότητες (π.χ. κλιματική μεταβλητότητα) (Savenije et al., 2014; Katusiime & Schütt, 2020).

1.2.1 Η ποιότητα του νερού ως περιοριστικός παράγοντας ανάπτυξης

Η ποιότητα του νερού καθορίζει ουσιαστικά τη δυνατότητα αξιοποίησης των υδατικών πόρων. Ακόμη και σε περιοχές όπου η ποσότητα νερού φαίνεται επαρκής σε ετήσια βάση, η υποβάθμιση της ποιότητας μπορεί να περιορίσει σημαντικά τις επιτρεπτές χρήσεις (ύδρευση, άρδευση, βιομηχανική χρήση, αναψυχή), να αυξήσει το κόστος επεξεργασίας και να επιβαρύνει την υγεία των οικοσυστημάτων. Η ποιότητα, με τη σειρά της, επηρεάζεται από ένα πλέγμα πιέσεων: σημειακές εκροές (αστικά λύματα, βιομηχανικές απορρίψεις), διάχυτη ρύπανση (γεωργικές εισροές θρεπτικών και φυτοπροστατευτικών), υδρομορφολογικές παρεμβάσεις (φράγματα, ευθυγραμμίσεις κοίτης, αποξηράνσεις) και αναδυόμενους ρύπους (μικρορύποι, φαρμακευτικές ουσίες, μικροπλαστικά), των οποίων η παρακολούθηση και ρύθμιση εξελίσσεται διεθνώς (Singh & Craswell, 2021; Musacchio et al., 2020).

Στο ευρωπαϊκό πλαίσιο, η αξιολόγηση της ποιότητας δεν περιορίζεται σε μεμονωμένες χημικές συγκεντρώσεις, αλλά ενσωματώνει και την οικολογική διάσταση: η κατάσταση ενός υδατικού σώματος αποτιμάται μέσω συνδυασμού χημικών, βιολογικών και υδρομορφολογικών στοιχείων (European Parliament and Council, 2000). Η προσέγγιση αυτή είναι κρίσιμη για τη Μεσόγειο, καθώς πολλά

υδάτινα οικοσυστήματα είναι ευαίσθητα σε μεταβολές παροχών, σε αυξημένες θερμοκρασίες και σε υψηλά φορτία θρεπτικών. Έτσι, φαινόμενα όπως ο ευτροφισμός και η απώλεια οικολογικής λειτουργίας δεν αποτελούν μόνο «περιβαλλοντικό πρόβλημα», αλλά μεταφράζονται σε κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις (π.χ. υποβάθμιση ποιότητας ζωής, πλήγμα σε τουρισμό/αναψυχή, αύξηση δαπανών διαχείρισης).

1.2.2 Βιώσιμη ανάπτυξη και υδατική διακυβέρνηση

Η βιώσιμη ανάπτυξη προϋποθέτει ισορροπία μεταξύ τριών διαστάσεων περιβαλλοντικής, της προστασίας, της οικονομικής αποδοτικότητας και της κοινωνικής δικαιοσύνης. Στο πεδίο του νερού, η ισορροπία αυτή αποτυπώνεται με ιδιαίτερη ένταση, καθώς οι χρήσεις είναι συχνά ανταγωνιστικές. Η γεωργία μπορεί να απαιτεί μεγάλες ποσότητες νερού σε περιόδους χαμηλής διαθεσιμότητας, οι αστικές ανάγκες ύδρευσης απαιτούν υψηλή ποιότητα και ασφάλεια, η βιομηχανία και η ενέργεια έχουν συγκεκριμένες απαιτήσεις σε παροχές και σταθερότητα, ενώ τα οικοσυστήματα χρειάζονται επαρκείς περιβαλλοντικές ροές και λειτουργικότητα για να διατηρήσουν τις υπηρεσίες οικοσυστήματος που παρέχουν (Savenije et al., 2014; de Roo et al., 2021).

Η διακυβέρνηση του νερού (watergovernance) αφορά τον τρόπο με τον οποίο οι κοινωνίες οργανώνουν θεσμούς, κανόνες, μηχανισμούς εποπτείας και συμμετοχής ώστε να επιτυγχάνεται αποτελεσματική και δίκαιη διαχείριση. Στην ευρωπαϊκή πραγματικότητα, το θεσμικό πλαίσιο επιχειρεί να μετακινήσει τη διαχείριση από αποσπασματικές παρεμβάσεις προς ολοκληρωμένες πολιτικές σε επίπεδο λεκάνης απορροής. Αυτό είναι ιδιαίτερα κρίσιμο στη Μεσόγειο, όπου οι υδατικοί πόροι συχνά είναι κατακερματισμένοι σε μικρές λεκάνες, νησιωτικά συμπλέγματα και έντονα μεταβαλλόμενα υδρολογικά καθεστώτα. Η ολοκληρωμένη προσέγγιση επιτρέπει να αντιμετωπίζονται συνδυαστικά η ποσοτική πίεση, η ρύπανση, οι υποδομές, καθώς και οι κοινωνικές και οικονομικές ανάγκες (Medema et al., 2008; Saravanan et al., 2009; Katusiime & Schütt, 2020).

1.2.3 Το «νερό» ως κόμβος: η λογική του Water–Energy–FoodNexus

Η επιστημονική και πολιτική συζήτηση αναδεικνύει ολοένα περισσότερο τη λογική του «κόμβου» (nexus) μεταξύ νερού–ενέργειας–τροφίμων. Στη Μεσόγειο, αυτή η σύνδεση είναι ιδιαίτερα εμφανής. Η γεωργική παραγωγή εξαρτάται από την άρδευση, ιδίως σε ξηροθερμικές περιόδους, ενώ η επιλογή καλλιεργειών και πρακτικών άρδευσης επηρεάζει την κατανάλωση νερού και τη διάχυτη ρύπανση. Η παραγωγή ενέργειας (π.χ. υδροηλεκτρική, ψύξη θερμικών μονάδων, ακόμη και η λειτουργία εγκαταστάσεων αφαλάτωσης) έχει υδατικό αποτύπωμα, ενώ η ίδια η διαχείριση και μεταφορά νερού απαιτεί ενέργεια (άντληση, επεξεργασία, διανομή). Συνεπώς, πολιτικές που εστιάζουν αποκλειστικά σε έναν τομέα (π.χ. αύξηση άρδευσης χωρίς έλεγχο) μπορεί να προκαλέσουν μη αναμενόμενες επιπτώσεις σε άλλους (π.χ. αύξηση ενεργειακής κατανάλωσης ή επιβάρυνση ποιότητας) (Markantonis et al., 2019; Daccache et al., 2014; de Roo et al., 2021).

Η προσέγγιση nexus λειτουργεί ως θεωρητική βάση για να ερμηνευθούν διαφοροποιήσεις μεταξύ χωρών: διαφορετικά παραγωγικά προφίλ, διαφορετικές τεχνολογικές επιλογές και διαφορετικές πολιτικές εξοικονόμησης/τιμολόγησης μπορούν να οδηγούν σε διαφορετικά επίπεδα εκμετάλλευσης υδατικών πόρων και διαφορετικές πιέσεις στην ποιότητα. Με αυτό το σκεπτικό, η συγκριτική στατιστική ανάλυση μεταξύ μεσογειακών χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης μπορεί να αποδώσει χρήσιμες ενδείξεις για το πώς «μεταφράζονται» οι πολιτικές επιλογές σε μετρήσιμες εκβάσεις (Markantonis et al., 2019; de Roo et al., 2021).

1.2.4 Δείκτες και μετρησιμότητα

Για να είναι λειτουργική μια μελέτη στο πλαίσιο της βιώσιμης ανάπτυξης, απαιτείται μετατροπή σύνθετων εννοιών σε μετρήσιμα μεγέθη. Στην περίπτωση των υδατικών πόρων, αυτό σημαίνει επιλογή δεικτών που αποτυπώνουν (α) τη διαθεσιμότητα και πίεση, (β) την εκμετάλλευση και τη ζήτηση ανά τομέα, και (γ) την ποιότητα/κατάσταση. Η διεθνής πρακτική έχει αναπτύξει δείκτες όπως ο δείκτης εκμετάλλευσης (π.χ. WEI+), δείκτες άντλησης/αφαίρεσης νερού ανά τομέα καθώς και

δείκτες ποιότητας που σχετίζονται με θρεπτικά, οργανικό φορτίο ή οικολογική κατάσταση. Στην ευρωπαϊκή διάσταση, η ύπαρξη κοινών ορισμών, συγκρίσιμων μεθοδολογιών και ανοιχτών δεδομένων δημιουργεί ένα πλαίσιο όπου οι συγκρίσεις μεταξύ κρατών-μελών μπορούν να πραγματοποιηθούν με σχετική συνέπεια (Casadei et al., 2020; European Environment Agency, 2024; Eurostat, 2024d).

Ωστόσο, η χρήση δεικτών απαιτεί προσοχή. Οι δείκτες απλοποιούν την πραγματικότητα, και ως εκ τούτου ενδέχεται να αποκρύπτουν τοπικές ιδιαιτερότητες (π.χ. χωρικές ανισότητες εντός χώρας, διαφορές λεκάνης απορροής). Επιπλέον, η ποιότητα των δεδομένων, η χρονική κάλυψη και οι διαφορές στη συχνότητα παρακολούθησης επηρεάζουν την αξιοπιστία των συγκρίσεων. Για τον λόγο αυτό, η επιλογή δεικτών και η ερμηνεία των αποτελεσμάτων πρέπει να συνοδεύονται από σαφή παραδοχές και αναφορά σε περιορισμούς. Η διαφάνεια στη μεθοδολογική τεκμηρίωση αποτελεί ουσιώδες στοιχείο επιστημονικής αξιοπιστίας, ιδίως όταν τα αποτελέσματα συνδέονται με αξιολογήσεις πολιτικής.

1.2.5 Πρόληψη, αποκατάσταση και κυκλικότητα

Η βιώσιμη διαχείριση υδατικών πόρων δεν εξαντλείται στη διάγνωση προβλημάτων, αλλά στοχεύει σε πολιτικές πρόληψης, αποκατάστασης και προσαρμογής. Στον μεσογειακό χώρο, οι στρατηγικές αυτές περιλαμβάνουν μέτρα εξοικονόμησης και αποδοτικότερης χρήσης (ιδίως στην άρδευση), βελτίωση υποδομών μείωσης απωλειών (δίκτυα ύδρευσης), αναβάθμιση επεξεργασίας λυμάτων και εφαρμογή πρακτικών μείωσης διάχυτης ρύπανσης. Ταυτόχρονα, η λογική της κυκλικής οικονομίας ενισχύει λύσεις όπως η επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υδάτων, υπό σαφές θεσμικό και υγειονομικό πλαίσιο, καθώς και η αξιοποίηση φυσικών λύσεων (nature-based solutions) για τη βελτίωση της ποιότητας και την ενίσχυση της υδατικής ανθεκτικότητας (Fader et al., 2016; Nikolaou et al., 2020; de Roo et al., 2021).

Οι παραπάνω κατευθύνσεις αποκτούν ιδιαίτερο ενδιαφέρον όταν εξετάζονται σε ευρωπαϊκό συγκριτικό πλαίσιο. Εφόσον οι χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης λειτουργούν υπό κοινές θεσμικές δεσμεύσεις, οι διαφοροποιήσεις που παρατηρούνται σε δείκτες εκμετάλλευσης και ποιότητας μπορούν να αποτελέσουν αφετηρία για

συζήτηση σχετικά με την αποτελεσματικότητα εφαρμογής πολιτικών, την επάρκεια μέτρων και τις δυνατότητες βελτίωσης. Με τον τρόπο αυτό, η παρούσα μελέτη εντάσσει την έννοια της βιώσιμης ανάπτυξης σε ένα συγκεκριμένο πλαίσιο αξιολόγησης: από τη μία, ποσοτικοποιεί πιέσεις και καταστάσεις μέσω δεικτών, και από την άλλη, δημιουργεί βάση για ερμηνεία σε συνάρτηση με ευρωπαϊκές κατευθύνσεις και πρακτικές διαχείρισης (European Parliament and Council, 2000; European Environment Agency, 2024).

Κλείνοντας, η σύνδεση υδατικών πόρων, ποιότητας νερού και βιώσιμης ανάπτυξης αποτελεί τον εννοιολογικό κορμό της εργασίας: αναδεικνύει γιατί η ανάλυση δεν μπορεί να είναι μονοδιάστατη και γιατί η συγκριτική, στατιστική προσέγγιση σε επίπεδο χωρών της ΕΕ έχει προστιθέμενη αξία.

1.3 Ευρωπαϊκή διάσταση και θεσμικό πλαίσιο για το νερό

Η διαχείριση των υδατικών πόρων στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης δεν αποτελεί αποκλειστικά εθνική υπόθεση, αλλά εντάσσεται σε ένα κοινό θεσμικό πλαίσιο που διαμορφώνει στόχους, αρχές και απαιτήσεις παρακολούθησης. Η ευρωπαϊκή προσέγγιση έχει ιδιαίτερη σημασία για τις μεσογειακές χώρες, καθώς αντιμετωπίζουν παρόμοιες πιέσεις (ξηρασίες, εποχικότητα, έντονη ζήτηση σε παράκτιες ζώνες), ενώ παράλληλα καλούνται να εφαρμόζουν ενιαίες δεσμεύσεις πολιτικής. Αυτό δημιουργεί μια σπάνια “βάση σύγκρισης”: όταν οι χώρες λειτουργούν υπό κοινές αρχές, οι διαφορές που παρατηρούνται σε δείκτες εκμετάλλευσης και ποιότητας μπορούν να συζητηθούν σε όρους εφαρμογής πολιτικών, διαχειριστικής ικανότητας και αποτελεσματικότητας μέτρων, και όχι μόνο σε όρους φυσικών διαφορών (European Parliament and Council, 2000; European Environment Agency, 2024).

1.3.1 Η Οδηγία Πλαίσιο για τα Ύδατα

Κεντρικός πυλώνας της ευρωπαϊκής πολιτικής για το νερό είναι η Οδηγία-Πλαίσιο για τα Ύδατα (Water Framework Directive – 2000/60/EK). Η Οδηγία εισήγαγε μια ενιαία, ολοκληρωμένη λογική διαχείρισης, μετατοπίζοντας το κέντρο βάρους από

αποσπασματικές παρεμβάσεις σε ένα συνεκτικό πλαίσιο: διαχείριση ανά λεκάνη απορροής, κατάρτιση Σχεδίων Διαχείρισης Λεκάνης Απορροής (RBMPs), συστηματική παρακολούθηση, και θέσπιση προγραμμάτων μέτρων. Στόχος είναι η προστασία και βελτίωση των υδάτων με τρόπο που να ενσωματώνει ποσοτικές και ποιοτικές διαστάσεις, αλλά και οικολογικές παραμέτρους, αναγνωρίζοντας ότι το νερό είναι ταυτόχρονα φυσικός πόρος και οικοσύστημα (European Parliament and Council, 2000).

Σημαντικό στοιχείο της Οδηγίας είναι η έννοια της «καλής κατάστασης» για τα επιφανειακά και υπόγεια ύδατα (οικολογική και χημική κατάσταση για επιφανειακά, χημική και ποσοτική για υπόγεια). Η επιλογή αυτής της πολυδιάστατης αξιολόγησης έχει ιδιαίτερη βαρύτητα στη Μεσόγειο, όπου οι πιέσεις συχνά εκδηλώνονται ταυτόχρονα (π.χ. μειωμένες παροχές και αυξημένα ρυπαντικά φορτία). Η “καλή κατάσταση” λειτουργεί ως κοινός στόχος πολιτικής: θεωρητικά, όλες οι χώρες καλούνται να προσεγγίσουν έναν συγκρίσιμο βαθμό προστασίας και αποκατάστασης, ανεξάρτητα από εθνικές διαφορές σε οικονομία ή παραγωγικό προφίλ (European Parliament and Council, 2000).

1.3.2 Διαχείριση σε επίπεδο λεκάνης απορροής και κύκλοι σχεδιασμού

Η ευρωπαϊκή προσέγγιση δίνει έμφαση στη λεκάνη απορροής ως φυσική μονάδα διαχείρισης, καθώς οι υδρολογικές διεργασίες δεν ακολουθούν διοικητικά όρια. Η λογική αυτή είναι κρίσιμη ειδικά σε διασυνοριακά συστήματα ή σε περιοχές όπου οι πιέσεις μεταφέρονται κατάντη (ρύπανση, αλλαγές παροχής, υδρομορφολογικές μεταβολές). Οι κύκλοι σχεδιασμού (με περιοδική αναθεώρηση σχεδίων και μέτρων) δημιουργούν έναν μηχανισμό συνεχούς βελτίωσης αρχικά η αξιολόγηση κατάστασης, έπειτα ο σχεδιασμός μέτρων, η εφαρμογή και τέλος η επαναξιολόγηση. Η σταθερή αυτή δομή προσφέρει πλαίσιο και για επιστημονική αποτίμηση μέσα από συγκρίσιμους δείκτες και δεδομένα, μπορεί να διερευνηθεί εάν οι τάσεις (π.χ. σε δείκτες εκμετάλλευσης ή σε παραμέτρους ποιότητας) κινούνται προς την επιθυμητή κατεύθυνση (European Parliament and Council, 2000; Medema et al., 2008).

Ταυτόχρονα, είναι σημαντικό να αναγνωριστεί ότι η ύπαρξη πλαισίου δεν εγγυάται αυτόματα και ισότιμη εφαρμογή. Διαφορές σε διοικητική ικανότητα, τεχνική

υποστήριξη, χρηματοδότηση έργων, καθώς και σε προτεραιότητες πολιτικής, μπορούν να οδηγούν σε αποκλίσεις. Εδώ ακριβώς προκύπτει η αξία της συγκριτικής ανάλυσης όπου οι διαφοροποιήσεις μεταξύ χωρών της ΕΕ μπορούν να αποτελέσουν αφετηρία για τεκμηριωμένη συζήτηση σχετικά με την αποτελεσματικότητα των πολιτικών επιλογών και τη λειτουργικότητα των μέτρων σε διαφορετικά κοινωνικο-οικονομικά πλαίσια (Saravanan et al., 2009; Katusiime & Schütt, 2020).

1.3.3 Συμπληρωματικές ευρωπαϊκές πολιτικές που επηρεάζουν το νερό

Παρότι η Οδηγία-Πλαίσιο λειτουργεί ως «ομπρέλα», η διαχείριση υδατικών πόρων στην ΕΕ υποστηρίζεται από ένα πλέγμα συμπληρωματικών νομοθεσιών και πολιτικών που συνδέονται άμεσα με τις πιέσεις που εξετάζει η παρούσα μελέτη:

- **Ρύπανση από γεωργία:** πολιτικές και κανονιστικές απαιτήσεις που στοχεύουν στη μείωση διάχυτης ρύπανσης (ιδίως νιτρικών/θρεπτικών), κρίσιμες για τον έλεγχο ευτροφισμού και για την προστασία υπόγειων υδάτων.
- **Αστικά λύματα και σημειακές εκροές:** απαιτήσεις για συλλογή και επεξεργασία λυμάτων, που επηρεάζουν άμεσα την ποιότητα επιφανειακών υδάτων και παράκτιων αποδεκτών.
- **Πλημμυρικός κίνδυνος:** η αντιμετώπιση πλημμυρών ως παράμετρος διαχείρισης κινδύνου συνδέεται με υδρομορφολογία, χρήσεις γης και κλιματική μεταβλητότητα.
- **Ποιότητα πόσιμου νερού και προστασία υγείας:** πλαίσιο που συνδέει ποιότητα, κόστος επεξεργασίας και εμπιστοσύνη του κοινού στις υποδομές ύδρευσης.
- **Θαλάσσιο περιβάλλον:** για μεσογειακές χώρες, η κατάσταση παράκτιων υδάτων και η σχέση ποτάμιων εκφορτίσεων με θαλάσσια ποιότητα αποκτούν ιδιαίτερη σημασία.

Η συνδυαστική αυτή πολιτική αρχιτεκτονική δείχνει ότι το νερό, στην ευρωπαϊκή προσέγγιση, αντιμετωπίζεται ως ζήτημα περιβαλλοντικής προστασίας, δημόσιας υγείας και διαχείρισης κινδύνου. Για τον λόγο αυτό, η αξιολόγηση της ποιότητας και

της διαχείρισης υδατικών πόρων δεν είναι απλώς τεχνικό ζήτημα, αλλά συνδέεται με τον σχεδιασμό πολιτικών που επηρεάζουν την οικονομία και την κοινωνία (Council of the European Communities, 1991; European Parliament and Council, 2000; European Parliament and Council, 2006).

1.3.4 Ρόλος ευρωπαϊκών οργανισμών και ανοιχτών δεδομένων

Η ευρωπαϊκή διάσταση δεν περιορίζεται στη νομοθεσία, αλλά περιλαμβάνει και την υποδομή πληροφόρησης. Ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος (ΕΕΑ) διαδραματίζει κομβικό ρόλο ως φορέας που συγκεντρώνει, οργανώνει και παρουσιάζει δεδομένα και αξιολογήσεις για την κατάσταση του περιβάλλοντος, συμπεριλαμβανομένων των υδάτων. Παράλληλα, η Eurostat παρέχει στατιστικά σύνολα δεδομένων που επιτρέπουν συγκρίσεις μεταξύ χωρών σε θέματα όπως η αφαίρεση/κατανάλωση νερού, η πίεση στους πόρους και συναφείς κοινωνικο-οικονομικές μεταβλητές. Επιπλέον, η αξιοποίηση δορυφορικών υπηρεσιών, όπως εκείνες που σχετίζονται με το Copernicus, ενισχύει την ικανότητα παρακολούθησης περιβαλλοντικών μεταβλητών σε μεγάλη κλίμακα (π.χ. ενδείξεις θαλάσσιας ποιότητας, χλωροφύλλη, θερμοκρασιακά πεδία), προσφέροντας μια συμπληρωματική πηγή πληροφόρησης, ειδικά σε περιοχές ή χρονικές περιόδους όπου οι επιτόπιες μετρήσεις είναι περιορισμένες (European Commission, 2024).

Η ύπαρξη ανοιχτών δεδομένων έχει δύο ιδιαίτερα σημαντικές συνέπειες για την παρούσα εργασία. Πρώτον, επιτρέπει την αναπαραγωγικότητα (reproducibility) όπου άλλοι ερευνητές ή φορείς μπορούν να επαναλάβουν την ανάλυση με τα ίδια δεδομένα και να επαληθεύσουν συμπεράσματα. Δεύτερον, δημιουργεί ένα κοινό πλαίσιο συγκρισιμότητας, καθώς οι ορισμοί και οι μεθοδολογικές σημειώσεις (metadata) παρέχουν βάση για συνεκτική ερμηνεία. Αυτό είναι κρίσιμο όταν πραγματοποιούνται διακρατικές συγκρίσεις, όπου ο κίνδυνος παρερμηνείας αυξάνει αν δεν είναι σαφείς οι ορισμοί και οι περιορισμοί των δεικτών (Eurostat, 2024a; Eurostat, 2024b; Eurostat, 2024c; Eurostat, 2024d).

1.3.5 Ευρωπαϊκή διάσταση ως «πλεονέκτημα» της μελέτης

Η παρούσα εργασία, εστιάζοντας σε μεσογειακές χώρες της ΕΕ, αξιοποιεί ένα σημαντικό επιστημονικό πλεονέκτημα: τη συνύπαρξη κοινών θεσμικών δεσμεύσεων και συγκρίσιμων δεδομένων. Η επιλογή αυτή περιορίζει την αβεβαιότητα που θα υπήρχε σε μια ευρύτερη σύγκριση χωρών με τελείως διαφορετικά κανονιστικά πλαίσια, καθώς στην ΕΕ οι βασικές αρχές προστασίας, οι στόχοι “καλής κατάστασης” και οι απαιτήσεις παρακολούθησης συγκλίνουν. Επομένως, όταν παρατηρούνται αποκλίσεις, αυτές μπορούν να συζητηθούν πιο τεκμηριωμένα ως αποτέλεσμα διαφορών στην εφαρμογή, στην ικανότητα διαχείρισης, στη διάρθρωση της ζήτησης (π.χ. αγροτική ένταση) ή/και σε γεωγραφικές ιδιαιτερότητες (European Parliament and Council, 2000; European Environment Agency, 2024).

Με βάση τα παραπάνω, η ευρωπαϊκή διάσταση δεν λειτουργεί απλώς ως θεωρητικό υπόβαθρο, αλλά ως πλαίσιο μέσα στο οποίο η στατιστική ανάλυση αποκτά ερμηνευτική αξία.

1.4 Σκοπιμότητα της μελέτης και ερευνητική κατεύθυνση

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονείται σε ένα πλαίσιο όπου οι υδατικοί πόροι αναδεικνύονται σε κρίσιμο πεδίο πολιτικής και τεχνικής διαχείρισης για την Ευρωπαϊκή Ένωση, ιδίως για τις μεσογειακές χώρες. Η σκοπιμότητα της μελέτης προκύπτει από τρεις αλληλένδετες παρατηρήσεις, αρχική η Μεσόγειος συγκεντρώνει εντεινόμενες πιέσεις διαθεσιμότητας και ποιότητας, έπειτα η ΕΕ διαθέτει κοινό θεσμικό πλαίσιο και μηχανισμούς παρακολούθησης. Τέλος η ύπαρξη ανοιχτών δεδομένων επιτρέπει συγκρίσιμη και αναπαραγώγιμη ανάλυση σε επίπεδο κρατών-μελών. Με άλλα λόγια, υπάρχει ταυτόχρονα πρόβλημα υψηλής σημασίας και διαθέσιμο εργαλείο υπόβαθρο (δείκτες/δεδομένα) για τεκμηριωμένη αξιολόγηση (Lelieveld et al., 2012; European Parliament and Council, 2000; European Environment Agency, 2024).

Η εργασία δεν στοχεύει στην περιγραφική παρουσίαση της κατάστασης του νερού, αλλά στην ανάπτυξη ενός συνεκτικού πλαισίου στατιστικής διερεύνησης που να επιτρέπει τις συγκρίσεις μεταξύ χωρών, τη διερεύνηση σχέσεων μεταξύ διαχείρισης/εκμετάλλευσης και ποιοτικής κατάστασης και την ερμηνεία των αποτελεσμάτων υπό το πρίσμα των ευρωπαϊκών κατευθύνσεων και της βιώσιμης ανάπτυξης. Η επιλογή αυτή υπηρετεί μια βασική αρχή της ακαδημαϊκής έρευνας δηλαδή να μετατρέπει ένα σύνθετο περιβαλλοντικό ζήτημα σε ερευνητικό ερώτημα που μπορεί να εξεταστεί με δεδομένα και να οδηγήσει σε τεκμηριωμένα συμπεράσματα (Casadei et al., 2020; Savenije et al., 2014).

1.4.1 Συγκριτική προσέγγιση σε χώρες της ΕΕ

Η επιλογή να περιοριστεί η ανάλυση σε μεσογειακές χώρες της ΕΕ (και όχι στο σύνολο της Μεσογείου) αποτελεί συνειδητή ερευνητική απόφαση. Η ΕΕ παρέχει ένα κοινό πλαίσιο στόχων και υποχρεώσεων (π.χ. «καλή κατάσταση» υδάτων, σχεδιασμός σε επίπεδο λεκάνης απορροής, προγράμματα μέτρων), ενώ οι χώρες της Μεσογείου μοιράζονται σε μεγάλο βαθμό παρόμοιες κλιματικές και υδρολογικές πιέσεις. Αυτό σημαίνει ότι η σύγκριση γίνεται σε ένα «σχετικά ελεγχόμενο» θεσμικό περιβάλλον όπου οι αποκλίσεις σε δείκτες εκμετάλλευσης και ποιότητας μπορούν να συνδεθούν

πιο πειστικά με διαφορές στη διαχείριση, στη διάρθρωση ζήτησης (π.χ. ένταση άρδευσης), στην αποτελεσματικότητα μέτρων, ή/και σε γεωγραφικές ιδιαιτερότητες, αντί να συγχέονται με θεσμικές ασυμβατότητες.

1.4.2 Ανοιχτά ευρωπαϊκά δεδομένα

Η αξιοποίηση ανοιχτών ευρωπαϊκών δεδομένων (EEA, Eurostat, Copernicus) προσδίδει στη μελέτη δύο βασικά πλεονεκτήματα: διαφάνεια και αναπαραγωγιμότητα. Διαφάνεια, διότι οι πηγές είναι δημόσια διαθέσιμες και τεκμηριωμένες. Αναπαραγωγιμότητα, διότι η διαδικασία συλλογής και επεξεργασίας μπορεί να περιγραφεί με σαφήνεια και να επαναληφθεί από τρίτους. Σε ένα πεδίο όπως η περιβαλλοντική διαχείριση όπου τα συμπεράσματα συχνά τροφοδοτούν πολιτικές επιλογές η δυνατότητα επαλήθευσης της μεθοδολογίας αποτελεί ουσιώδες στοιχείο επιστημονικής αξιοπιστίας (Eurostat, 2024a; Eurostat, 2024b; Eurostat, 2024c; Eurostat, 2024d; European Environment Agency, 2024).

Η στατιστική προσέγγιση επιλέγεται επειδή επιτρέπει να υπερβούμε την απλή περιγραφή. Στην πράξη, τα ζητήματα νερού δεν αποτυπώνονται σε μία μεταβλητή: η πίεση (π.χ. εκμετάλλευση), η διαθεσιμότητα, οι ποιοτικές παράμετροι και οι κοινωνικο-οικονομικοί παράγοντες συνυπάρχουν και αλληλεπιδρούν. Η στατιστική ανάλυση παρέχει εργαλεία για την περιγραφική αποτύπωση (μέσοι όροι, διασπορά, τάσεις), συγκρίσεις (μεταξύ χωρών ή ομάδων χωρών), διερεύνηση συσχετίσεων (π.χ. μεταξύ δεικτών πίεσης και δεικτών ποιότητας) και ανάδειξη προτύπων που δεν είναι άμεσα ορατά σε ποιοτικές αφηγήσεις (Savenije et al., 2014; Casadei et al., 2020).

Σημαντικό είναι ότι η στατιστική διερεύνηση δεν αντιμετωπίζεται ως αυτοσκοπός. Τα αποτελέσματα αποκτούν αξία μόνο όταν ερμηνεύονται μέσα στο θεσμικό και περιβαλλοντικό πλαίσιο. Επομένως, η εργασία ακολουθεί μια λογική ακολουθία κατά την οποία ορίζεται το πλαίσιο, μετά οι δείκτες/δεδομένα, έπειτα γίνεται η στατιστική αποτύπωση και η ερμηνεία και στο τέλος εξάγονται τα συμπεράσματα.

1.4.3 Ερευνητική κατεύθυνση

Η ερευνητική κατεύθυνση της μελέτης οργανώνεται γύρω από ένα σύνολο δεικτών που καλύπτουν τρεις διαστάσεις:

1. **Πίεση/εκμετάλλευση υδατικών πόρων**, με έμφαση σε δείκτες που αποτυπώνουν την ένταση χρήσης σε σχέση με τη διαθέσιμη ανανεώσιμη ποσότητα.
2. **Ποιότητα/κατάσταση υδάτων**, μέσω δεικτών που συνδέονται με τη χημική ή/και οικολογική διάσταση. Η επιλογή θα γίνει με κριτήριο (α) τη συγκρισιμότητα μεταξύ χωρών, (β) τη διαθεσιμότητα χρονικών σειρών, και (γ) τη συνάφεια με μεσογειακές πιέσεις (π.χ. θρεπτικά/ευτροφισμός, παράμετροι οργανικού φορτίου, ή συνοπτικοί δείκτες κατάστασης όπου παρέχονται).
3. **Συμπληρωματικές μεταβλητές ερμηνείας**, δηλαδή μεταβλητές που βοηθούν να κατανοηθούν οι διαφορές (π.χ. πληθυσμιακές/οικονομικές μεταβλητές, ένταση γεωργικής δραστηριότητας).

Οι τρεις αυτές διαστάσεις επιτρέπουν τη σύνδεση της ποσοτικής πίεσης, της ποιοτικής κατάστασης και των ερμηνευτικών μεταβλητών σε ένα ενιαίο συγκριτικό πλαίσιο (Casadei et al., 2020; Eurostat, 2024c; Eurostat, 2024d).

Με βάση τα παραπάνω, η εργασία θα οδηγηθεί σε συγκεκριμένα ερευνητικά ερωτήματα, ενδεικτικά:

- Πώς διαφοροποιούνται οι μεσογειακές χώρες της ΕΕ ως προς την εκμετάλλευση υδατικών πόρων;
- Εμφανίζονται συστηματικές σχέσεις μεταξύ δεικτών πίεσης/εκμετάλλευσης και δεικτών ποιότητας;
- Μπορούν να αναγνωριστούν ομάδες χωρών με κοινά χαρακτηριστικά (π.χ. υψηλή πίεση- υποβαθμισμένη ποιότητα έναντι χαμηλότερης πίεσης- καλύτερης κατάστασης);
- Ποιες ερμηνείες προκύπτουν σε σχέση με τις ευρωπαϊκές κατευθύνσεις για το νερό και τη βιώσιμη ανάπτυξη;

Η στατιστική συσχέτιση δεν ισοδυναμεί αυτομάτως με αιτιότητα. Για τον λόγο αυτό, η εργασία θα διαχωρίζει σαφώς τα ευρήματα από την ερμηνεία και θα συνοδεύει τα συμπεράσματα από λογικές παραδοχές και περιορισμούς (Abbaspour et al., 2015; Savenije et al., 2014).

Συνολικά, η σκοπιμότητα της παρούσας μελέτης εδράζεται στην ανάγκη για τεκμηριωμένη αποτίμηση της διαχείρισης και ποιότητας υδατικών πόρων στη Μεσόγειο, μέσα στο ενιαίο θεσμικό πλαίσιο της ΕΕ. Η ερευνητική κατεύθυνση μεταφράζει το πλαίσιο αυτό σε ένα σαφές σχέδιο: επιλογή χωρών και δεικτών, συγκέντρωση ανοιχτών δεδομένων, στατιστική αποτύπωση διαφορών/συσχετίσεων και ερμηνεία με όρους βιώσιμης ανάπτυξης και ευρωπαϊκής πολιτικής.

1.5 Σκοπός της εργασίας

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η στατιστική διερεύνηση της κατάστασης των υδατικών πόρων σε μεσογειακές χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, με έμφαση στη σύνδεση μεταξύ (α) πίεσης/εκμετάλλευσης υδατικών πόρων και (β) δεικτών που αποτυπώνουν την ποιότητα ή/και την περιβαλλοντική κατάσταση των υδάτων. Η εργασία στηρίζεται σε ανοιχτά ευρωπαϊκά δεδομένα και στοχεύει να μετατρέψει ένα σύνθετο περιβαλλοντικό ζήτημα, τη διαθεσιμότητα και την ποιότητα του νερού υπό μεσογειακές πιέσεις σε μετρήσιμο ερευνητικό αντικείμενο με σαφώς ορισμένες μεταβλητές, συγκρίσιμες μεταξύ χωρών.

Η μελέτη τοποθετείται στο πλαίσιο της ευρωπαϊκής διακυβέρνησης νερού, όπως αυτή διαμορφώνεται από την Οδηγία- Πλαίσιο για τα Ύδατα και συναφείς πολιτικές, θεωρώντας ότι η ύπαρξη κοινού θεσμικού πλαισίου δημιουργεί μια αξιόπιστη βάση για συγκριτική αποτίμηση. Με άλλα λόγια, ενώ τα υδρολογικά και γεωγραφικά χαρακτηριστικά κάθε χώρας διαφέρουν, η κοινή κανονιστική “ομπρέλα” επιτρέπει να διερευνηθεί κατά πόσο οι διαφορές που παρατηρούνται σε δείκτες διαχείρισης και ποιότητας συνδέονται με την ένταση χρήσης, με παραγωγικές δομές (π.χ. άρδευση), ή/και με τη διαχειριστική αποτελεσματικότητα.

Η εργασία δεν επιδιώκει να αποδώσει αιτιώδεις σχέσεις με την αυστηρή έννοια (cause-effect), καθώς οι περιβαλλοντικοί μηχανισμοί είναι πολυπαραγοντικοί και απαιτούν συχνά λεπτομερή υδρολογική/χημική μοντελοποίηση ή δεδομένα υψηλής

χωρικής ανάλυσης. Αντιθέτως, επιδιώκει να παράξει τεκμηριωμένες ενδείξεις μέσα από στατιστικές συσχετίσεις, συγκρίσεις, πρότυπα και ομάδες χωρών, οι οποίες μπορούν να υποστηρίξουν την ερμηνεία πολιτικής και να αποτελέσουν βάση για περαιτέρω έρευνα ή στοχευμένη διερεύνηση σε επίπεδο λεκανών απορροής (Abbaspour et al., 2015; Pulido-Velázquez et al., 2015).

1.6 Ερευνητικοί στόχοι

Για την επίτευξη του παραπάνω σκοπού, τίθενται οι ακόλουθοι ερευνητικοί στόχοι, οργανωμένοι σε διακριτά στάδια που αντανakλούν την ερευνητική διαδικασία:

1. **Οριοθέτηση πεδίου εφαρμογής (scope) και επιλογή χωρών:** Να καθοριστεί το σύνολο των μεσογειακών χωρών της ΕΕ που θα περιληφθούν στη μελέτη, με τεκμηρίωση των κριτηρίων επιλογής (γεωγραφικά, θεσμικά κριτήρια).
2. **Εντοπισμός, συλλογή και ενοποίηση δεδομένων** από επίσημες ευρωπαϊκές πηγές: Να συγκεντρωθούν δεδομένα για δείκτες πίεσης/εκμετάλλευσης και για δείκτες ποιότητας/κατάστασης, καθώς και να καταγραφούν οι χρονικές περίοδοι κάλυψης και οι απαιτήσεις προεπεξεργασίας.
3. **Τεκμηρίωση ορισμών και μεταβλητών:** Να αποτυπωθούν σαφώς οι ορισμοί των δεικτών, οι μονάδες, οι υπολογιστικές παραδοχές (όπου υπάρχουν), καθώς και οι περιορισμοί συγκρισιμότητας. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στο ότι οι δείκτες δεν “σημαίνουν” το ίδιο πράγμα αν αλλάζουν οι ορισμοί τους ή αν διαφέρουν ουσιαδώς οι μεθοδολογίες παρακολούθησης.
4. **Καθαρισμός δεδομένων και έλεγχοι συνέπειας:** Να εφαρμοστούν διαδικασίες ελέγχου πληρότητας, αντιμετώπισης ελλειπών τιμών, ενοποίησης χρονικών σειρών και ομογενοποίησης μορφής, ώστε το τελικό dataset να είναι κατάλληλο για συγκριτική στατιστική ανάλυση.
5. **Περιγραφική στατιστική αποτύπωση:** Να παρουσιαστεί η βασική εικόνα ανά χώρα (μέσοι όροι, διάμεσοι, διασπορά, εύρος τιμών, πιθανές τάσεις), ώστε να τεθούν τα πρώτα συμπεράσματα σχετικά με τα επίπεδα πίεσης και την κατάσταση/ποιότητα.

6. **Συγκριτική ανάλυση μεταξύ χωρών:** Να αναδειχθούν διαφορές και ομοιότητες μέσω συγκρίσεων, με ερμηνεία που λαμβάνει υπόψη τη μεσογειακή ιδιαιτερότητα και τις διαφορετικές παραγωγικές δομές.
7. **Διερεύνηση συσχετίσεων και προτύπων:** Να εξεταστούν πιθανές σχέσεις μεταξύ δεικτών εκμετάλλευσης/πίεσης και δεικτών ποιότητας/κατάστασης, με σαφή διάκριση μεταξύ στατιστικής συσχέτισης και αιτιότητας, και με έλεγχο για πιθανές στρεβλώσεις (π.χ. χρονική υστέρηση, ετερογένεια δεδομένων).
8. **Ερμηνεία ευρημάτων στο πλαίσιο ευρωπαϊκής πολιτικής:** Να συζητηθούν τα αποτελέσματα με αναφορά στο ευρωπαϊκό θεσμικό πλαίσιο, στη λογική της βιώσιμης ανάπτυξης και στις σύγχρονες ανάγκες «υδατικής ανθεκτικότητας», επισημαίνοντας τι υποδηλώνουν οι δείκτες ως προς τη διαχείριση.
9. **Διατύπωση συμπερασμάτων και προτάσεων:** Να εξαχθούν συνοπτικά συμπεράσματα που να προκύπτουν άμεσα από τα ευρήματα και να προταθούν κατευθύνσεις πολιτικής/διαχείρισης ή μελλοντικής έρευνας, με ρεαλιστική αποτίμηση των περιορισμών.

Οι παραπάνω στόχοι συγκροτούν ένα συνεκτικό πλαίσιο ανάλυσης, το οποίο συνδυάζει δείκτες ποσοτικής πίεσης, ποιότητας υδάτων, ανοιχτά ευρωπαϊκά δεδομένα και ερμηνεία υπό το πρίσμα της ευρωπαϊκής πολιτικής για τα ύδατα (Casadei et al., 2020; Eurostat, 2024a; Eurostat, 2024c; Eurostat, 2024d; European Environment Agency, 2024).

1.7 Ερευνητικά ερωτήματα

Τα ερευνητικά ερωτήματα καθορίζουν ποια δεδομένα συλλέγονται, ποια ανάλυση πραγματοποιείται και πώς ερμηνεύονται τα αποτελέσματα. Με βάση τον σκοπό της μελέτης, διατυπώνονται τα ακόλουθα:

ΕΕ1. Διαφοροποίηση ως προς την πίεση/εκμετάλλευση

Πώς διαφοροποιούνται οι μεσογειακές χώρες της ΕΕ ως προς την ένταση εκμετάλλευσης των υδατικών πόρων, όπως αποτυπώνεται από διαθέσιμους δείκτες πίεσης;

ΕΕ2. Εικόνα ως προς την ποιότητα/κατάσταση υδάτων

Ποια εικόνα προκύπτει για τις ίδιες χώρες ως προς δείκτες ποιότητας ή/και περιβαλλοντικής κατάστασης των υδάτων, σύμφωνα με τα διαθέσιμα ανοιχτά ευρωπαϊκά δεδομένα;

ΕΕ3. Σχέσεις μεταξύ πίεσης και ποιότητας/κατάστασης

Υφίστανται συνεπείς στατιστικές σχέσεις μεταξύ δεικτών πίεσης/εκμετάλλευσης και δεικτών ποιότητας/κατάστασης; Εάν ναι, είναι οι σχέσεις αυτές ομοιόμορφες ή διαφοροποιούνται ανά χώρα/ομάδα χωρών;

ΕΕ4. Αναγνώριση τυπολογιών χωρών

Μπορούν να εντοπιστούν τυπολογίες ή ομάδες χωρών με κοινά χαρακτηριστικά (π.χ. υψηλή πίεση- δυσμενέστερη εικόνα ποιότητας έναντι χαμηλότερης πίεσης), και πώς ερμηνεύονται αυτές οι ομάδες;

ΕΕ5. Ερμηνεία υπό το πρίσμα πολιτικής και βιώσιμης ανάπτυξης

Πώς μπορούν να ερμηνευθούν τα ευρήματα σε σχέση με τις ευρωπαϊκές κατευθύνσεις για το νερό και τις αρχές βιώσιμης ανάπτυξης;

Ποιες προτεραιότητες ή κατευθύνσεις πολιτικής/διαχείρισης αναδεικνύονται ως πιο κρίσιμες για τον μεσογειακό χώρο;

ΕΕ6. Περιορισμοί και αξιοπιστία συμπερασμάτων

Ποιοι περιορισμοί απορρέουν από τη διαθεσιμότητα και την ετερογένεια των δεδομένων, και πώς επηρεάζουν την ισχύ των συγκρίσεων και των συμπερασμάτων της εργασίας;

Με τον τρόπο αυτό, τα ερευνητικά ερωτήματα συνδέουν τη στατιστική αποτύπωση με την ευρύτερη συζήτηση για βιώσιμη και θεσμικά τεκμηριωμένη διαχείριση υδατικών πόρων (Savenije et al., 2014; European Parliament and Council, 2000).

Με τον τρόπο αυτό, τα ερευνητικά ερωτήματα συνδέουν τη στατιστική αποτύπωση με την ευρύτερη συζήτηση για βιώσιμη και θεσμικά τεκμηριωμένη διαχείριση υδατικών πόρων (Savenije et al., 2014; European Parliament and Council, 2000).

1.8 Συμβολή της μελέτης

Η συμβολή της παρούσας εργασίας αναμένεται να είναι μεθοδολογική, εμπειρική και ερμηνευτική.

Μεθοδολογική συμβολή:

Η εργασία συγκροτεί ένα σαφές και αναπαραγώγιμο πλαίσιο επεξεργασίας ανοιχτών ευρωπαϊκών δεδομένων για το νερό, με αναλυτική τεκμηρίωση ορισμών, χρονικής κάλυψης και περιορισμών.

Εμπειρική συμβολή:

Σε επίπεδο αποτελεσμάτων, η εργασία αναμένεται να αποδώσει μια συγκρίσιμη εικόνα μεταξύ μεσογειακών χωρών της ΕΕ ως προς την ένταση εκμετάλλευσης/πίεσης επί των υδατικών πόρων, την εικόνα ποιότητας/κατάστασης (στο βαθμό που τα δεδομένα είναι συγκρίσιμα) και την πιθανή συνύπαρξη συγκεκριμένων προτύπων (π.χ. συνδυασμοί υψηλής πίεσης με δυσμενέστερους δείκτες).

Ερμηνευτική συμβολή:

Η εργασία επιδιώκει να γεφυρώσει τη στατιστική αποτύπωση με την ευρωπαϊκή πολιτική για τα ύδατα. Τα ευρήματα μπορούν να αξιοποιηθούν ως τεκμηριωμένο σημείο εκκίνησης για συζήτηση σχετικά με την αποτελεσματικότητα και την εφαρμογή μέτρων σε διαφορετικά εθνικά πλαίσια καθώς και την ανάγκη ενίσχυσης της υδατικής ανθεκτικότητας σε μεσογειακές περιοχές.

Οι παραπάνω διαστάσεις ενισχύουν τη συμβολή της εργασίας στη συζήτηση για υδατική ανθεκτικότητα, συγκρίσιμη αξιολόγηση και τεκμηριωμένη χάραξη πολιτικής στις μεσογειακές χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Katusiime & Schütt, 2020; de Roo et al., 2021; European Environment Agency, 2024).

Κεφάλαιο 2^ο Μεθοδολογικό πλαίσιο, επιλογή δεικτών και πηγές δεδομένων

2.1 Βασικές έννοιες διαχείρισης υδατικών πόρων

Η διαχείριση υδατικών πόρων αποτελεί ένα πεδίο στο οποίο συναντώνται η φυσική επιστήμη (υδρολογία, υδρογεωλογία, οικολογία), η τεχνολογία υποδομών (ύδρευση–άρδευση–αποχέτευση), η οικονομική ανάλυση και η δημόσια πολιτική. Στην πράξη, ο όρος «διαχείριση» δεν αναφέρεται απλώς στην κατανομή ποσοτήτων νερού, αλλά στη συστηματική οργάνωση αποφάσεων και μέτρων που εξασφαλίζουν ότι οι υδατικοί πόροι παραμένουν διαθέσιμοι και κατάλληλοι για χρήση, χωρίς να υποβαθμίζονται τα υδατικά οικοσυστήματα και οι υπηρεσίες που παρέχουν. Η πολυπλοκότητα του πεδίου είναι ιδιαίτερα εμφανής στον μεσογειακό χώρο, όπου οι πιέσεις είναι έντονες, η εποχικότητα ισχυρή, και οι ανταγωνιστικές χρήσεις (αγροτική παραγωγή, αστική ζήτηση, τουρισμός, οικοσυστήματα) συχνά συγκρούονται (Savenije et al., 2014; Medema et al., 2008; Katusiime & Schütt, 2020).

2.2 Υδατικοί πόροι και υδατικό σύστημα

Οι υδατικοί πόροι διακρίνονται, σε γενικές γραμμές, σε επιφανειακά ύδατα (ποταμοί, λίμνες, ταμιευτήρες), υπόγεια ύδατα (υδροφορείς) και στο ευρύτερο περιβαλλοντικό πλαίσιο, σε μεταβατικά και παράκτια ύδατα, τα οποία επηρεάζονται τόσο από τις χερσαίες απορροές όσο και από θαλάσσιες διεργασίες. Η διάκριση αυτή δεν είναι μόνο τυπική, κάθε κατηγορία υδάτων έχει διαφορετική δυναμική ανανέωσης, διαφορετική τρωτότητα στη ρύπανση και διαφορετικές απαιτήσεις παρακολούθησης (European Parliament and Council, 2000).

Ιδιαίτερα κρίσιμη είναι η διάσταση των υπόγειων υδάτων, τα οποία λειτουργούν συχνά ως «αποθηκευτικός μηχανισμός» και ως πηγή ασφάλειας σε περιόδους μειωμένων βροχοπτώσεων. Ωστόσο, η υπεράντληση μπορεί να επιφέρει μη γραμμικές και συχνά μη αναστρέψιμες επιπτώσεις, όπως πτώση στάθμης, υποβάθμιση εξαρτώμενων οικοσυστημάτων και, σε παράκτιες περιοχές, υφαλμύριση. Η

υφαλμύριση αποτελεί χαρακτηριστικό κίνδυνο μεσογειακών συστημάτων, διότι επηρεάζει άμεσα την καταλληλότητα του νερού για ύδρευση και άρδευση και μπορεί να οδηγήσει σε υψηλότερο κόστος διαχείρισης (π.χ. αφαλάτωση ή μεταφορά νερού) (Pulido-Velázquez et al., 2015; European Parliament and Council, 2006).

Ένα βασικό σημείο που συχνά παρερμηνεύεται στη δημόσια συζήτηση είναι η διάκριση μεταξύ φυσικής διαθεσιμότητας και ωφέλιμης προσφοράς. Η φυσική διαθεσιμότητα σχετίζεται με τις εισροές στο σύστημα (βροχοπτώσεις, επιφανειακή απορροή, υπόγεια ανανέωση), ενώ η πραγματική προσφορά καθορίζεται από την ικανότητα του συστήματος να αποθηκεύει, να μεταφέρει και να παρέχει νερό με κατάλληλη ποιότητα τη στιγμή που χρειάζεται. Στην πράξη, η αποθήκευση (ταμιευτήρες, φυσική αποθήκευση), οι απώλειες δικτύων, η ποιότητα, αλλά και οι θεσμικοί περιορισμοί χρήσης (π.χ. προστατευόμενες περιοχές) διαμορφώνουν το ισοζύγιο προσφοράς.

Η έννοια του υδατικού ισοζυγίου αποτελεί εργαλείο-κλειδί για να κατανοηθεί το παραπάνω, στο απλούστερο σχήμα, το ισοζύγιο αποτυπώνει εισροές, εκροές και μεταβολές αποθήκευσης. Παρότι η παρούσα εργασία δεν εκπονεί υδρολογική μοντελοποίηση, η κατανόηση της λογικής του ισοζυγίου είναι απαραίτητη για την ερμηνεία δεικτών πίεσης/εκμετάλλευσης. Ένας δείκτης «υψηλής εκμετάλλευσης» έχει διαφορετικό νόημα σε ένα σύστημα με υψηλή ανανέωση και επαρκή αποθήκευση, σε σχέση με ένα σύστημα με χαμηλή ανανέωση και περιορισμένη δυνατότητα αποθήκευσης (Rocha et al., 2020; Casadei et al., 2020).

Η ζήτηση νερού διαρθρώνεται ανά τομέα και διαφοροποιείται έντονα μεταξύ χωρών, ανάλογα με το παραγωγικό μοντέλο, την ένταση της άρδευσης και τον βαθμό αστικοποίησης. Σε μεσογειακές χώρες, η γεωργία αποτελεί συχνά τον σημαντικότερο καταναλωτή, ιδιαίτερα όπου η άρδευση καλύπτει μεγάλο μέρος της παραγωγής. Η ζήτηση αυτή έχει και έντονη εποχική κορύφωση, η οποία συμπίπτει με την περίοδο χαμηλής φυσικής αναπλήρωσης. Η ύδρευση (αστική και αγροτική) απαιτεί αυξημένες προδιαγραφές ποιότητας και ασφάλειας, ενώ οι βιομηχανικές χρήσεις ενδέχεται να επιβαρύνουν την ποιότητα μέσω σημειακών φορτίων, αν δεν υπάρχει επαρκής επεξεργασία και έλεγχος (Daccache et al., 2014; Fader et al., 2016; Iglesias et al., 2011).

Ο τουρισμός αποτελεί ιδιαίτερη περίπτωση για τη Μεσόγειο, καθώς δημιουργεί εποχικές αιχμές που δεν αντανakλώνται πάντα σε ετήσιους μέσους όρους. Σε νησιωτικές και παράκτιες ζώνες, η αύξηση πληθυσμού τους θερινούς μήνες μπορεί να πολλαπλασιάσει τη ζήτηση, πιέζοντας υποδομές ύδρευσης και επεξεργασίας λυμάτων. Τέλος, οι οικολογικές ανάγκες (περιβαλλοντικές ροές, διατήρηση υγρατόπων, λειτουργία ποτάμιων και λιμναίων οικοσυστημάτων) αποτελούν κρίσιμη παράμετρο. Η διαχείριση δεν πρέπει να εξαντλείται στις ανθρώπινες χρήσεις, αλλά να εξασφαλίζει τη στοιχειώδη λειτουργικότητα των οικοσυστημάτων που υποστηρίζουν την ποιότητα και τη μακροχρόνια ανθεκτικότητα (de Roo et al., 2021; Markantonis et al., 2019).

Στη βιβλιογραφία και στην πολιτική διαχείριση χρησιμοποιούνται συχνά όροι που μοιάζουν συγγενείς, αλλά δεν είναι ταυτόσημοι. Η σπανιότητα νερού (waterscarcity) αναφέρεται στη δομική ανεπάρκεια διαθέσιμου νερού σε σχέση με τη ζήτηση, συνήθως σε μεσο-μακροχρόνιο ορίζοντα. Η ξηρασία (drought) είναι κυρίως φυσικό φαινόμενο που αφορά περίοδο μειωμένων βροχοπτώσεων/ανανέωσης σε σχέση με το κανονικό, αν και οι επιπτώσεις της εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την ανθρώπινη χρήση και τις υποδομές. Το υδατικό στρες (waterstress) συχνά περιγράφει την κατάσταση κατά την οποία η ζήτηση πλησιάζει ή υπερβαίνει τη διαθέσιμη ανανεώσιμη ποσότητα, δημιουργώντας αυξημένο κίνδυνο ελλείψεων και υποβάθμισης (Hoerling et al., 2012; Casadei et al., 2020; European Environment Agency, 2024)

Η διάκριση έχει πρακτική σημασία για την ανάλυση δεικτών: ένας δείκτης υψηλής πίεσης μπορεί να αντανakλά είτε δομική σπανιότητα είτε αυξημένη ζήτηση λόγω τομεακής δομής (π.χ. εντατική άρδευση), ενώ μια περίοδος ξηρασίας μπορεί να εντείνει προσωρινά τον δείκτη χωρίς να σημαίνει ότι το σύστημα είναι μόνιμα ελλειμματικό. Συνεπώς, η ερμηνεία των αριθμών απαιτεί προσοχή και όπου είναι δυνατό- συνδυασμό με χρονικές σειρές και περιγραφική ανάλυση τάσεων.

Τα τελευταία χρόνια η «επάρκεια νερού» τείνει να υποκαθίσταται από την ευρύτερη έννοια της υδατικής ασφάλειας (watersecurity), η οποία περιλαμβάνει: αξιοπιστία παροχής, ποιότητα, προστασία από κινδύνους (ξηρασίες, πλημμύρες), λειτουργικότητα υποδομών και θεσμική ικανότητα διαχείρισης. Συμπληρωματικά, η ανθεκτικότητα (resilience) αφορά την ικανότητα ενός συστήματος να απορροφά

διαταραχές και να ανακάμπτει, είτε μέσω υποδομών (αποθήκευση, εναλλακτικές πηγές) είτε μέσω διακυβέρνησης (σχέδια έκτακτης ανάγκης, προσαρμοστικά μέτρα, τιμολόγηση/κίνητρα εξοικονόμησης).

Οι έννοιες αυτές λειτουργούν ως ερμηνευτικό πλαίσιο, όταν μια χώρα εμφανίζει σταθερά υψηλή πίεση ή δυσμενείς δείκτες, το ερώτημα δεν είναι μόνο «πόσο νερό έχει», αλλά «πόσο ανθεκτικό είναι το σύστημα διαχείρισης» και «πόσο αξιόπιστα προστατεύεται η ποιότητα και η οικολογική λειτουργία». Αυτό αποκτά ιδιαίτερη σημασία στη Μεσόγειο, όπου οι κλιματικές μεταβολές μπορούν να ενισχύσουν την αβεβαιότητα και την ένταση ακραίων φαινομένων (Savenije et al., 2014; Katusiime & Schütt, 2020; European Environment Agency, 2024).

Η Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Πόρων (Integrated Water Resources Management – IWRM) αποτελεί ένα ευρέως αποδεκτό πλαίσιο που προτείνει συντονισμένη ανάπτυξη και διαχείριση νερού, γης και συναφών πόρων, με στόχο τη μεγιστοποίηση της κοινωνικοοικονομικής ευημερίας χωρίς υποβάθμιση των οικοσυστημάτων. Η IWRM δεν είναι μία “μέθοδος” με την αυστηρή έννοια, αλλά ένας τρόπος σκέψης που αναγνωρίζει ότι οι υδατικές αποφάσεις είναι διατομεακές, μια επιλογή στην άρδευση επηρεάζει υπόγεια νερά, ποιότητα, ενεργειακή κατανάλωση, ακόμη και παράκτια συστήματα μέσω φορτίων και απορροών (Global Water Partnership Technical Committee, 2000; Medema et al., 2008; Saravanan et al., 2009).

Στο ευρωπαϊκό πλαίσιο, η λογική της IWRM συνδέεται άμεσα με τη διαχείριση ανά λεκάνη απορροής και με την ανάγκη συνδυασμού ποσοτικών και ποιοτικών μέτρων. Για την παρούσα εργασία, η έννοια είναι σημαντική επειδή δικαιολογεί την επιλογή δεικτών που δεν εστιάζουν μόνο στην “ποσότητα”, αλλά επιχειρούν να περιγράψουν την πίεση και την κατάσταση του συστήματος με τρόπο πιο συστηματικό και συγκρίσιμο.

Η διαχείριση υδατικών πόρων προϋποθέτει θεσμική οργάνωση, κανόνες κατανομής, σύστημα ελέγχων, παρακολούθηση, μηχανισμούς επιβολής, καθώς και συμμετοχικές διαδικασίες. Η ποιότητα και η αξιοπιστία ενός συστήματος διαχείρισης εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τη διοικητική ικανότητα, την επάρκεια δεδομένων και την κοινωνική αποδοχή των μέτρων (π.χ. περιορισμοί άντλησης, τιμολόγηση, αναβαθμίσεις υποδομών). Σε αυτό το σημείο, η ευρωπαϊκή διάσταση αποκτά

πρακτικό περιεχόμενο, οι κοινές θεσμικές δεσμεύσεις δεν σημαίνουν αναγκαστικά κοινό επίπεδο εφαρμογής.

Η αναγνώριση του θεσμικού στοιχείου είναι κρίσιμη για την ερμηνεία διαφορών μεταξύ χωρών. Για παράδειγμα, δύο χώρες μπορεί να έχουν παρόμοια κλιματικά χαρακτηριστικά, αλλά να παρουσιάζουν διαφορετική εικόνα σε δείκτες πίεσης ή ποιότητας, λόγω διαφορών σε πολιτικές εξοικονόμησης, ελέγχου ρύπανσης ή επενδύσεων σε υποδομές (Saravanan et al., 2009; Katusiime & Schütt, 2020).

Τα παραπάνω δεν παρατίθενται ως θεωρητική “επένδυση” χωρίς εφαρμογή. Αντίθετα, αποτελούν το εννοιολογικό υπόβαθρο πάνω στο οποίο θα στηριχθεί η επιλογή δεικτών και η ερμηνεία αποτελεσμάτων. Η εργασία επιδιώκει να μεταφράσει βασικές έννοιες όπως πίεση, εκμετάλλευση, σπανιότητα και ποιότητα σε συγκρίσιμες μεταβλητές, χρησιμοποιώντας ανοιχτά ευρωπαϊκά δεδομένα. Ωστόσο, η μετάφραση αυτή έχει όρια, οι δείκτες δεν αποτυπώνουν όλες τις τοπικές ιδιαιτερότητες, ούτε μπορούν να υποκαταστήσουν ανάλυση σε επίπεδο λεκάνης απορροής. Γι’ αυτό, η παρούσα εργασία υιοθετεί μια ισορροπημένη προσέγγιση, αξιοποιεί τη δύναμη των συγκρίσιμων δεδομένων για να αναδείξει πρότυπα και διαφοροποιήσεις, αλλά διατηρεί μεθοδολογική προσοχή ως προς την ερμηνεία.

2.3 Ποιότητα νερού και δείκτες αξιολόγησης: έννοιες, παράμετροι και προσεγγίσεις μέτρησης

Η ποιότητα του νερού αποτελεί κεντρική μεταβλητή για την επιστημονική αξιολόγηση των υδατικών πόρων και, ταυτόχρονα, βασικό πεδίο παρέμβασης δημόσιας πολιτικής. Σε αντίθεση με την ποσότητα η οποία, έστω και με αβεβαιότητες, μπορεί να περιγραφεί σχετικά άμεσα μέσω παροχών, αποθεμάτων ή ισοζυγίων η ποιότητα είναι εγγενώς πολυδιάστατη: αφορά χημικές συγκεντρώσεις, βιολογικές αποκρίσεις, φυσικές παραμέτρους, ακόμη και υδρομορφολογικά χαρακτηριστικά που επηρεάζουν τη λειτουργία των οικοσυστημάτων. Η πολυδιάστατη αυτή φύση δημιουργεί μια ουσιαστική πρόκληση για κάθε συγκριτική ανάλυση: ο ερευνητής καλείται να επιλέξει δείκτες που αφενός αποτυπώνουν την πραγματική περιβαλλοντική κατάσταση και αφετέρου είναι συγκρίσιμοι και

διαθέσιμοι μεταξύ χωρών (European Parliament and Council, 2000; Singh & Craswell, 2021).

Στην ευρωπαϊκή προσέγγιση, η ποιότητα του νερού δεν αντιμετωπίζεται ως “λίστα επιτρεπόμενων ορίων” μόνο. Αντιθέτως, εντάσσεται σε μια λογική κατάστασης υδατικών σωμάτων, όπου η χημική διάσταση συνδέεται με την οικολογική λειτουργία. Αυτός ο τρόπος σκέψης είναι ιδιαίτερα κρίσιμος για μεσογειακά συστήματα, όπου οι φυσικές μεταβολές (εποχικότητα παροχών, θερμοκρασιακές αυξήσεις) μπορούν να εντείνουν ή να τροποποιήσουν την απόκριση των υδάτων σε ρυπαντικά φορτία. Συνεπώς, η επιλογή δεικτών ποιότητας στην παρούσα εργασία δεν αποτελεί τυπική διαδικασία, αλλά επιστημονική επιλογή με σαφείς παραδοχές και στόχο τη λειτουργική ερμηνεία των αποτελεσμάτων.

Ο όρος «ποιότητα νερού» χρησιμοποιείται συχνά ως γενική έννοια, όμως στην περιβαλλοντική αξιολόγηση χρειάζεται αποσαφήνιση. Από χημικής άποψης, η ποιότητα σχετίζεται με την παρουσία ουσιών που επηρεάζουν την καταλληλότητα του νερού (π.χ. θρεπτικά, βαρέα μέταλλα, οργανικοί ρύποι). Από οικολογικής άποψης, σχετίζεται με το κατά πόσο το υδάτινο σώμα διατηρεί δομή και λειτουργία που προσεγγίζει τη φυσική του κατάσταση, γεγονός που συνδέεται με βιολογικά στοιχεία (π.χ. φυτοπλαγκτόν) και υδρομορφολογικά χαρακτηριστικά. Από λειτουργικής άποψης, η ποιότητα συνδέεται με τις χρήσεις: ένα νερό μπορεί να είναι κατάλληλο για άρδευση αλλά όχι για ύδρευση, ή να φαίνεται «χημικά αποδεκτό» αλλά να υποστηρίζει υποβαθμισμένη οικολογική λειτουργία (European Parliament and Council, 2000; Singh & Craswell, 2021).

Η πολυδιάστατη αυτή πραγματικότητα οδηγεί σε μια βασική επιστημονική ανάγκη: η ποιότητα πρέπει να εκφράζεται με δείκτες που είναι τόσο επεξηγηματικοί όσο και συγκρίσιμοι. Για τον λόγο αυτό, πολλές προσεγγίσεις δεν περιορίζονται σε μία παράμετρο, αλλά χρησιμοποιούν ομάδες παραμέτρων ή σύνθετους δείκτες (composite indicators). Παράλληλα, η επιλογή παραμέτρων οφείλει να λαμβάνει υπόψη τη διαθεσιμότητα δεδομένων σε επίπεδο χώρας, ώστε η ανάλυση να παραμένει συνεκτική (Casadei et al., 2020; European Environment Agency, 2024).

2.4 Κατηγορίες παραμέτρων ποιότητας νερού

Στην πράξη, οι παράμετροι ποιότητας οργανώνονται σε κατηγορίες που αντανακλούν τον τύπο πίεσης και τον μηχανισμό επίδρασης.

(α) Φυσικοχημικές παράμετροι γενικής κατάστασης

Περιλαμβάνουν μεταβλητές όπως pH, διαλυμένο οξυγόνο, αγωγιμότητα, θερμοκρασία και αιωρούμενα στερεά. Αυτές οι παράμετροι λειτουργούν συχνά ως “συνοδευτικές” πληροφορίες, καθώς επηρεάζουν χημικές ισορροπίες και βιολογικές διεργασίες. Για μεσογειακά συστήματα, η θερμοκρασία είναι ιδιαίτερα σημαντική, επειδή επηρεάζει τη διαλυτότητα οξυγόνου και τον ρυθμό βιοαποδόμησης οργανικού φορτίου. Η αγωγιμότητα, επίσης, μπορεί να λειτουργεί ως ένδειξη αλατότητας ή υφαλμύρινσης σε παράκτιες περιοχές (European Parliament and Council, 2000).

(β) Θρεπτικά και ευτροφισμός

Τα θρεπτικά (κυρίως άζωτο και φωσφόρος) αποτελούν μία από τις κρίσιμότερες ομάδες παραμέτρων, επειδή συνδέονται άμεσα με τον ευτροφισμό, δηλαδή την υπερβολική ανάπτυξη βιομάζας (π.χ. φυτοπλαγκτόν, άλγες) και την επακόλουθη υποβάθμιση της οικολογικής ισορροπίας. Η σημασία τους στη Μεσόγειο είναι διττή: αφενός, οι γεωργικές πιέσεις είναι συχνά έντονες, αφετέρου, οι υψηλές θερμοκρασίες και οι χαμηλές ροές σε καλοκαιρινές περιόδους μπορούν να επιδεινώνουν την εμφάνιση φαινομένων άνθισης και υποξίας σε συγκεκριμένα συστήματα. Σε συγκριτικό επίπεδο, δείκτες που σχετίζονται με νιτρικά στα υπόγεια ύδατα ή με συγκεντρώσεις θρεπτικών συστατικών σε επιφανειακά ύδατα είναι ιδιαίτερα χρήσιμοι, εφόσον παρέχονται με συγκρίσιμη μεθοδολογία (Singh & Craswell, 2021; van Grinsven et al., 2012).

(γ) Οργανικό φορτίο και δείκτες οξυγόνωσης (BOD/COD)

Οι δείκτες οργανικού φορτίου BOD- BiochemicalOxygenDemand(Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο)και COD- Chemical Oxygen Demand (Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο) συνδέονται με απορρίψεις αστικών λυμάτων και βιομηχανικών εκροών, καθώς και με απορροές που μεταφέρουν οργανική ύλη. Η υπερφόρτωση μπορεί να μειώσει το διαλυμένο οξυγόνο και να προκαλέσει δυσμενείς επιπτώσεις στα υδρόβια οικοσυστήματα. Αν και οι δείκτες αυτοί είναι κλασικοί και “καθαροί” από

μεθοδολογική άποψη, δεν είναι πάντοτε διαθέσιμοι σε ενοποιημένη μορφή για διακρατικές συγκρίσεις. Όπου είναι διαθέσιμοι, μπορούν να λειτουργήσουν ως συμπληρωματική ένδειξη, ειδικά όταν εξετάζεται η σχέση διαχείρισης (π.χ. επεξεργασία λυμάτων) και ποιότητας (European Parliament and Council, 2000).

(δ) Επικίνδυνες ουσίες και μικρορύποι

Περιλαμβάνουν βαρέα μέταλλα, φυτοφάρμακα, βιομηχανικές χημικές ουσίες και αναδυόμενους ρύπους (φαρμακευτικά κατάλοιπα, PFAS κ.λπ.). Παρότι περιβαλλοντικά κρίσιμες, αυτές οι παράμετροι παρουσιάζουν συχνά περιορισμούς στη συγκρισιμότητα: διαφορές στα όρια ανίχνευσης, στη συχνότητα δειγματοληψίας και στις επιλογές ουσιών που παρακολουθούνται. Για τον λόγο αυτό, σε μια διακρατική στατιστική ανάλυση, η ένταξή τους χρειάζεται αυστηρά κριτήρια διαθεσιμότητας και ομοιομορφίας (European Environment Agency, 2024).

(ε) Μικροβιολογικοί δείκτες

Χρησιμοποιούνται κυρίως για αξιολόγηση καταλληλότητας ύδατος για ύδρευση ή αναψυχή (π.χ. κολυμβητικά ύδατα). Είναι σημαντικοί για δημόσια υγεία, αλλά συχνά αφορούν εξειδικευμένες κατηγορίες χρήσης. Μπορούν να αξιοποιηθούν συμπληρωματικά, ιδίως σε παράκτιες ζώνες, ωστόσο η παρούσα εργασία έχει ως κύριο στόχο την αποτύπωση ποιότητας σε σχέση με διαχείριση/πίεση σε πιο γενικό επίπεδο.

Σε ευρωπαϊκό επίπεδο, χρησιμοποιούνται συχνά σύνθετες αξιολογήσεις κατάστασης, οι οποίες συνοψίζουν πολλαπλές μετρήσεις σε κατηγορίες (π.χ. καλή, μέτρια, κακή). Το πλεονέκτημα τέτοιων δεικτών είναι ότι επιτρέπουν συνοπτική σύγκριση και επικοινωνία αποτελεσμάτων, ειδικά όταν το ενδιαφέρον αφορά πολιτικές ή στρατηγικές επιλογές. Το μειονέκτημα είναι ότι η συνοπτικότητα μπορεί να “κρύψει” την αιτία της υποβάθμισης: δύο συστήματα μπορεί να καταλήγουν στην ίδια κατηγορία, αλλά για διαφορετικούς λόγους (π.χ. θρεπτικά έναντι υδρομορφολογικών πιέσεων).

Για τη μελέτη αυτή η χρήση σύνθετων δεικτών είναι ελκυστική προσφέρει συγκρισιμότητα σε επίπεδο χώρας. Ωστόσο, απαιτεί προσοχή στην ερμηνεία και, όπου είναι δυνατό, συμπλήρωση με πιο συγκεκριμένες παραμέτρους (π.χ. νιτρικά/θρεπτικά ή άλλες διαθέσιμες μεταβλητές), ώστε να μην περιοριστεί η

ανάλυση (European Parliament and Council, 2000; European Environment Agency, 2024).

Η μεσογειακή ιδιαιτερότητα συνδέεται στενά με την παράκτια ζώνη. Πολλές κοινωνικοοικονομικές δραστηριότητες (τουρισμός, αστική ανάπτυξη, λιμάνια) συγκεντρώνονται στα παράλια, ενώ οι εκροές λεκανών απορροής καταλήγουν συχνά σε κλειστά ή ημίκλειστα συστήματα με περιορισμένη ανανέωση. Αυτό σημαίνει ότι η ποιοτική επιβάρυνση μπορεί να έχει άμεσες επιπτώσεις σε οικοσυστήματα και οικονομικές δραστηριότητες.

Στο πλαίσιο αυτό, οι υπηρεσίες δορυφορικής παρακολούθησης (όπως εκείνες που παρέχονται από ευρωπαϊκές πλατφόρμες) μπορούν να λειτουργήσουν ως συμπληρωματική πηγή πληροφοριών, ιδίως για παραμέτρους όπως η χλωροφύλλη (ως ένδειξη φυτοπλαγκτονικής βιομάζας) ή άλλες οπτικές ιδιότητες που σχετίζονται με την ποιότητα. Παρά τα πλεονεκτήματα, η χρήση δορυφορικών προϊόντων απαιτεί σαφείς ορισμούς και κατανόηση του τι ακριβώς μετρά κάθε προϊόν, ώστε να μην γίνεται υπερερμηνεία. Για τον λόγο αυτό, στην παρούσα εργασία τέτοιου είδους δεδομένα μπορούν να χρησιμοποιηθούν κυρίως ως υποστηρικτικό πλαίσιο ή ως ένδειξη τάσεων, παρά ως αποκλειστική βάση αξιολόγησης (European Commission, 2024).

2.5 Κριτήρια επιλογής δεικτών για διακρατική στατιστική ανάλυση

Στη διακρατική στατιστική ανάλυση, το βασικό ερώτημα δεν είναι «ποιος δείκτης είναι ο πιο πλήρης», αλλά «ποιος δείκτης είναι ταυτόχρονα επιστημονικά ουσιαστικός και πρακτικά διαθέσιμος». Με βάση αυτό, τα κριτήρια επιλογής δεικτών ποιότητας για την παρούσα εργασία διατυπώνονται ως εξής:

1. **Συγκρισιμότητα:** ο δείκτης να βασίζεται σε κοινό ορισμό/μεθοδολογία.
2. **Χρονική κάλυψη:** προτίμηση σε δείκτες με χρονική σειρά.
3. **Κάλυψη χωρών:** να υπάρχει επαρκής κάλυψη για τις χώρες που περιλαμβάνει η μελέτη, διαφορετικά η ανάλυση θα διασπάται σε επιμέρους υποσύνολα.

4. **Ερμηνευτική αξία:** ο δείκτης να μπορεί να συνδεθεί λογικά με πιέσεις και διαχείριση (π.χ. θρεπτικά ↔ γεωργία, BOD ↔ λύματα, νιτρικά υπόγειων ↔ γεωργικές πιέσεις/ρύπανση).
5. **Στατιστική καταλληλότητα:** τα δεδομένα να επιτρέπουν συγκρίσεις (π.χ. παρόμοια κλίμακα, αντιμετωπίσιμη ετερογένεια, δυνατότητα κανονικοποίησης ή μετασχηματισμού όπου χρειάζεται).

Με βάση τα παραπάνω, για μια πρακτική και ρεαλιστική ανάλυση σε επίπεδο χώρας, οι πιο “ασφαλείς” επιλογές είναι συνήθως δείκτες που παρέχονται ως ενοποιημένες σειρές από ευρωπαϊκούς φορείς (π.χ. συνοπτικοί δείκτες κατάστασης ή δείκτες ποιότητας που ήδη έχουν ελεγχθεί ως προς την εναρμόνιση). Παράμετροι υψηλής εξειδίκευσης (π.χ. συγκεκριμένοι μικρορύποι) μπορούν να μείνουν εκτός κύριας ανάλυσης και να αξιοποιηθούν, εφόσον υπάρχει υλικό, ως συμπληρωματικό σημείο συζήτησης (Casadei et al., 2020; Eurostat, 2024a; Eurostat, 2024c; Eurostat, 2024d).

Το ζητούμενο, μετά την εννοιολογική χαρτογράφηση της ποιότητας, είναι να επιλεγεί ένα σύνολο δεικτών που θα λειτουργήσει ως “γέφυρα” προς τη μεθοδολογία. Σε αυτό το σημείο, η παρούσα εργασία θα καταλήξει σε έναν πρακτικό πυρήνα δεικτών ποιότητας/κατάστασης, οι οποίοι θα συνδυαστούν με δείκτες πίεσης/εκμετάλλευσης. Η σύνδεση αυτή είναι η βάση του αναλυτικού σκέλους: η εργασία δεν εξετάζει απλώς την ποιότητα ως μεμονωμένο χαρακτηριστικό, αλλά διερευνά πώς η πίεση στους πόρους συνυπάρχει με συγκεκριμένα ποιοτικά χαρακτηριστικά σε επίπεδο χώρας.

2.6 Επιλογή και οριστικοποίηση δεικτών για την παρούσα μελέτη

Στην παρούσα εργασία, η επιλογή δεικτών γίνεται με βάση τι μπορεί να μετρηθεί αξιόπιστα και συγκρίσιμα σε επίπεδο χωρών της ΕΕ, αξιοποιώντας ανοιχτά ευρωπαϊκά δεδομένα. Επειδή η ποιότητα νερού είναι πολυδιάστατη και η κάλυψη δεδομένων διαφέρει ανά χώρα και ανά έτος, η μελέτη υιοθετεί μια δομή πυρήνα (core indicators) και συμπληρωματικών (supplementary indicators), ώστε το κύριο αναλυτικό σκέλος να παραμείνει σταθερό και συγκρίσιμο, ενώ παράλληλα να υπάρχει χώρος για εμπλουτισμό όπου τα δεδομένα το επιτρέπουν (Eurostat, 2024a; Eurostat, 2024b; Eurostat, 2024c; Eurostat, 2024d; European Environment Agency, 2024).

Η τελική επιλογή οργανώνεται σε τέσσερις κατηγορίες:

1. Δείκτες πίεσης/εκμετάλλευσης (ποσοτική διάσταση)
2. Δείκτες ποιότητας/κατάστασης (ποιοτική-περιβαλλοντική διάσταση)
3. Δείκτες διαχείρισης/υποδομών (ικανότητα συστήματος και πολιτικές εφαρμογής)
4. Συμπληρωματικοί δείκτες παράκτιου/θαλάσσιου περιβάλλοντος (όπου είναι εφικτό)

Παρακάτω παρουσιάζονται οι δείκτες που επιλέγονται, μαζί με τον ρόλο τους και τον τρόπο με τον οποίο θα μετατραπούν σε συγκρίσιμες μεταβλητές για τη στατιστική ανάλυση.

Δείκτες πίεσης και εκμετάλλευσης υδατικών πόρων

(Α) Δείκτης Εκμετάλλευσης Νερού (Water Exploitation Index Plus – WEI+: αποτυπώνει την ένταση με την οποία χρησιμοποιείται το διαθέσιμο νερό (πίεση επί των πόρων). Επιλέγεται διότι είναι ένας από τους πιο κατάλληλους δείκτες για διακρατική σύγκριση, καθώς εκφράζει πίεση σε σχέση με διαθεσιμότητα και όχι μόνο απόλυτες ποσότητες.

(Β) Αφαίρεση/Υδροληψία νερού (Water abstraction) – συνολικά και ανά τομέα: αποτυπώνει το “μέγεθος” της ζήτησης που ασκείται στο σύστημα και επιλέγεται γιατί επιτρέπει την ερμηνεία του WEI+ και αποκαλύπτει αν η πίεση οφείλεται κυρίως σε γεωργία, ύδρευση ή βιομηχανία.

Δείκτες ποιότητας και κατάστασης υδάτων

Η επιλογή δεικτών ποιότητας ακολουθεί αυστηρό κριτήριο: να μπορούν να συγκεντρωθούν σε επίπεδο χώρας.

Πυρήνας ποιότητας (με υψηλή πιθανότητα συγκρισιμότητας)

(Α) Νιτρικά στα υπόγεια ύδατα (Ground water nitrates / nitrate concentration indicator): αποτυπώνει τις πιέσεις διάχυτης ρύπανσης, κυρίως γεωργικής προέλευσης, και ευρύτερα την ευπάθεια των υπόγειων συστημάτων. Επιλέγεται γιατί είναι δείκτης με σαφή περιβαλλοντική ερμηνεία και συχνά χρησιμοποιείται σε ευρωπαϊκές αξιολογήσεις.

(B) Θρεπτικά σε επιφανειακά ύδατα (Nitrates/Phosphates in rivers/lakes – όπου παρέχονται συγκεντρωτικά): αποτυπώνουν τον κίνδυνο ευτροφισμού και χημική επιβάρυνση και επιλέγεται σαν δείκτης γιατί συνδέεται άμεσα με πίεση χρήσεων γης και με την αποτελεσματικότητα μέτρων ελέγχου.

Δείκτες διαχείρισης και υποδομών

Αν ο στόχος της εργασίας είναι να συνδέσει αριθμούς με διαχείριση, τότε χρειάζεται ένα “παράθυρο” στην ικανότητα του συστήματος. Εδώ δεν εξετάζεται η ποιότητα ως χημικό γεγονός μόνο, αλλά ως αποτέλεσμα διακυβέρνησης και υποδομών.

(A) Πληθυσμός που εξυπηρετείται από επεξεργασία αστικών λυμάτων (Wastewater treatment coverage / level of treatment): αποτυπώνει τον βαθμό θωράκισης από σημειακές πιέσεις (λύματα) και επιλέγεται γιατί λειτουργεί ως εξηγητική μεταβλητή για οργανικό φορτίο/θρεπτικά σε επιφανειακά ύδατα, ιδίως σε περιοχές με έντονη αστική/τουριστική πίεση.

Για να είναι πρακτικά εφαρμόσιμη η ανάλυση, ορίζεται το ακόλουθο τελικό σχήμα:

1. WEI+ (πίεση/εκμετάλλευση)
2. Συνολική αφαίρεση νερού και/ή ανά τομέα (όπου είναι διαθέσιμο)
3. Ανανεώσιμοι πόροι γλυκού νερού (πλαίσιο διαθεσιμότητας)
4. Νιτρικά υπόγειων (ή άλλος συγκρίσιμος δείκτης διάχυτης ρύπανσης)
5. Ποσοστό “καλής οικολογικής κατάστασης” (ή ισοδύναμος συνοπτικός δείκτης κατάστασης)
6. Θρεπτικά σε ποτάμια/λίμνες (νιτρικά/φωσφορικά)

Για να μπορούν οι δείκτες να συγκριθούν και να χρησιμοποιηθούν σε συσχετίσεις και ομαδοποιήσεις, εφαρμόζονται συγκεκριμένοι κανόνες. Αρχικά η χρονική ενοποίηση όπου υπάρχουν ετήσιες τιμές, χρησιμοποιείται κοινή περίοδος (π.χ. 2010–2023). Αν δεν υπάρχει πλήρης περίοδος, χρησιμοποιείται πολυετής μέσος όρος με ρητή αναφορά του αριθμού ετών ανά χώρα. Η κανονικοποίηση μεγέθους για απόλυτες ποσότητες, υπολογίζονται και ανά κάτοικο τιμές. Η αντιμετώπιση ακραίων τιμών κατά την οποία προβλέπεται έλεγχος ακραίων τιμών και όπου χρειάζεται χρήση διάμεσου ή λογαριθμικού μετασχηματισμού (με πλήρη αιτιολόγηση). Οι δείκτες κατηγοριών αν χρησιμοποιηθεί κατηγοριοποιημένη “κατάσταση”

(καλή/μέτρια/κακή), προτιμάται ποσοστό (%) ανά κατηγορία. Μετατροπή σε αριθμητική κλίμακα γίνεται μόνο αν εξυπηρετεί σαφή αναλυτικό σκοπό και δεν δημιουργεί ψευδαίσθηση ακρίβειας.

Η αξιοπιστία μιας διακρατικής στατιστικής ανάλυσης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό όχι μόνο από το “τι” αναλύεται, αλλά από το “πώς” συγκεντρώνονται, καθαρίζονται και ενοποιούνται τα δεδομένα. Στην παρούσα εργασία, η διαδικασία σχεδιάζεται ώστε να είναι διαφανής, αναπαραγώγιμη και όσο γίνεται συγκρίσιμη μεταξύ χωρών, με δεδομένο ότι οι εθνικές αναφορές και οι πρακτικές παρακολούθησης δεν είναι πάντοτε απολύτως ομοιογενείς. Για τον λόγο αυτό, η μεθοδολογία συλλογής και προεπεξεργασίας οργανώνεται σε στάδια και συνοδεύεται από σαφείς κανόνες ένταξης/απόρριψης δεδομένων.

2.7 Επιλογή πηγών και λογική χρήσης τους

Η εργασία στηρίζεται σε τρεις βασικούς “πυλώνες” ανοιχτών ευρωπαϊκών δεδομένων:

1. Eurostat (ποσοτικοί δείκτες διαχείρισης/χρήσης νερού)

Χρησιμοποιείται κυρίως για δείκτες πίεσης και διαχείρισης όπως ο WEI+ (όπου διαθέσιμος), στοιχεία αφαίρεσης/χρήσεων νερού και συναφείς μεταβλητές πλαισίου (π.χ. πληθυσμός για κανονικοποίηση ανά κάτοικο). Η επιλογή Eurostat εξυπηρετεί τη συγκρισιμότητα, καθώς παρέχει δομημένα σύνολα δεδομένων με σαφή μεταδεδομένα (metadata) και τυποποιημένη μορφή (Eurostat, 2024a; Eurostat, 2024b; Eurostat, 2024c; Eurostat, 2024d).

Αρχικά γίνεται η επιλογή dataset (π.χ. WEI+, water abstraction, renewable fresh water resources, population). Έπειτα ακολουθεί το φιλτράρισμα σε χώρες του δείγματος, κοινή χρονική περίοδο (όπου είναι εφικτό), σωστές μονάδες και κατάλληλες κατηγορίες (π.χ. συνολικές/ανά τομέα αφαίρεσης). Στη συνέχεια γίνεται εξαγωγή σε μορφή CSV/TSV (κατά προτίμηση), ώστε να είναι ευκολότερη η εισαγωγή στο Excel και να διατηρούνται οι κωδικοποιήσεις μεταβλητών. Τέλος γίνεται η καταγραφή τα των

μεταδεδομένων του dataset (ορισμοί, σημειώσεις, πιθανές αλλαγές μεθοδολογίας).

2. European Environment Agency – EEA / WISE–Water (δείκτες ποιότητας - κατάστασης και βάσεις παρακολούθησης)

Αξιοποιείται για δείκτες ποιότητας/κατάστασης (π.χ. συγκεντρωτικούς δείκτες ή/και βάσεις παρατηρήσεων όπως Water base- Water Quality ICM, όπου χρειάζεται). Η EEA είναι κρίσιμη επειδή συνδέει την παρακολούθηση με το ευρωπαϊκό πλαίσιο για τα ύδατα και παρέχει δεδομένα που ερμηνεύονται σε περιβαλλοντικούς όρους, όχι μόνο ως αριθμητικές χρονοσειρές (European Environment Agency, 2024).

Αρχικά επιλέγονται η βάση/δείκτης που αντιστοιχεί στον πυρήνα ποιότητας (π.χ. νιτρικά υπόγειων ή συγκεντρωτικός δείκτης κατάστασης). Έπειτα γίνεται έλεγχος του τύπου δεδομένων, της χωρικής κάλυψης (εθνικό/περιφερειακό επίπεδο), της χρονικής πληρότητας και των πεδίων ποιότητας (QA flags). Στη συνέχεια γίνεται εξαγωγή σε μορφή CSV ή, όπου παρέχεται, χρήση τυποποιημένων εξαγωγών. Για βάσεις τύπου Waterbase (με πολλές εγγραφές ανά σταθμό/έτος), ορίζεται διαδικασία συγκεντροποίησης (aggregation) ώστε να προκύψει μεταβλητή σε επίπεδο χώρας και έτους.

3. Copernicus (συμπληρωματικά δορυφορικά προϊόντα, κυρίως για θαλάσσια/παράκτια διάσταση)

Χρησιμοποιείται επικουρικά, κυρίως όταν επιδιώκεται να δοθεί μεσογειακή εμβάθυνση μέσω ενδείξεων. Επειδή τα δορυφορικά προϊόντα έχουν διαφορετική “φύση” από τα διοικητικά στατιστικά (Eurostat) και τις βάσεις παρακολούθησης (EEA), εντάσσονται προσεκτικά, με σαφή οριοθέτηση του ρόλου τους (European Commission, 2024).

Για να διασφαλιστεί η αναπαραγωγιμότητα, η εργασία υιοθετεί πρακτική “ερευνητικού φακέλου” (research folder), όπου κάθε dataset συνοδεύεται από βασικές πληροφορίες όπως την ημερομηνία λήψης (download date), την έκδοση/ενημέρωση (όπου δηλώνεται από την πλατφόρμα), την περιγραφή μεταβλητών (variable

definitions), τις μονάδες μέτρησης, την κάλυψη χωρών και χρονικής περιόδου και τέλος σημειώσεις καθαρισμού (τι αφαιρέθηκε, τι συμπληρώθηκε, τι μετατράπηκε).

Μετά τη συλλογή, εφαρμόζεται ενιαία ακολουθία επεξεργασίας. Όλα τα αρχεία εισάγονται με κοινή κωδικοποίηση και ενοποιείται η μορφή ημερομηνίας/έτους και η χρήση δεκαδικών (ώστε να αποφεύγονται σφάλματα λόγω τοπικών ρυθμίσεων). Για κάθε dataset ορίζεται το “κλειδί” εγγραφής. Ελέγχεται αν υπάρχουν διπλοεγγραφές και, αν ναι, τεκμηριώνεται ο λόγος (π.χ. πολλαπλές κατηγορίες/τομείς). Καταγράφεται ποσοστό missing values ανά μεταβλητή και χώρα. Αν τα κενά είναι εκτεταμένα σε κρίσιμο δείκτη, η χώρα/μεταβλητή μετακινείται σε δευτερεύουσα ανάλυση, αντί να “αναγκαστεί” σε συμπλήρωση που θα αλλοίωνε τα συμπεράσματα. Για αφαίρεση νερού και ποσότητες, εξετάζεται η ανάγκη μετατροπής σε κοινές μονάδες, υπολογισμού ανά κάτοικο (χρήση πληθυσμού), υπολογισμού λόγων/δεικτών που βελτιώνουν τη συγκρισιμότητα. Επισημαίνονται ακραίες τιμές και διερευνάται αν πρόκειται για πραγματικό φαινόμενο (π.χ. έτος ξηρασίας), σφάλμα εισαγωγής, αλλαγή μεθοδολογίας. Τέλος καταγράφεται η απόφαση χειρισμού (διατήρηση/ εξαίρεση/ μετασχηματισμός).

Το τελικό core dataset κατασκευάζεται έτσι ώστε κάθε γραμμή να αντιστοιχεί σε Χώρα- Έτος (ή Χώρα- Περίοδος, αν επιλεγούν πολυετείς μέσοι όροι). Η διαδικασία περιλαμβάνει τη δημιουργία πίνακα-σκελετού όπου δημιουργείται φύλλο με όλες τις χώρες του δείγματος και όλα τα έτη της κοινής περιόδου. Τη σύνδεση μεταβλητών όπου κάθε μεταβλητή εισάγεται με κοινό κλειδί (Country-Year) και κάθε ένωση ελέγχεται ώστε να επιβεβαιωθεί ότι δεν χάνονται εγγραφές. Τη συγκεντροποίηση για βάσεις τύπου (όταν υπάρχουν πολλαπλές μετρήσεις). Αν οι τιμές υπάρχουν ανά σταθμό/δειγματοληψία, ορίζεται σαφής κανόνας. Πρώτα υπολογισμός ετήσιου δείκτη ανά σταθμό (π.χ. μέσος/διάμεσος) και έπειτα εθνικός δείκτης ως μέσος ή διάμεσος των σταθμών (με αιτιολόγηση επιλογής). Προτιμάται η διάμεσος όταν υπάρχουν πολλές ακραίες τιμές ή ασύμμετρες κατανομές, επειδή είναι πιο ανθεκτική (robust) σε outliers. Τη χρονική εξομάλυνση όπου για να μειωθεί ο θόρυβος ενός “τυχαίου έτους”, εξετάζεται η χρήση πολυετούς μέσου (π.χ. 5ετία) για ορισμένους δείκτες, ή κύριας περιόδου 2010–2023 (ενδεικτικά), ανάλογα με τη διαθεσιμότητα.

Μετά τη δημιουργία του core dataset, εφαρμόζεται έλεγχος επάρκειας όπου μια χώρα εντάσσεται στην κύρια ανάλυση εφόσον διαθέτει WEI+ (ή ισοδύναμο δείκτη πίεσης) για επαρκή αριθμό ετών, τουλάχιστον έναν δείκτη ποιότητας/κατάστασης με συγκρίσιμη κάλυψη και βασική μεταβλητή κανονικοποίησης (π.χ. πληθυσμό για ανά- κάτοικο υπολογισμού).

2.8 Περιορισμοί δεδομένων και μεθοδολογικές παραδοχές

Η χρήση ανοιχτών ευρωπαϊκών δεδομένων προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα ιδίως ως προς τη διαφάνεια, την πρόσβαση και τη δυνατότητα συγκρίσεων ωστόσο συνοδεύεται από περιορισμούς που πρέπει να αναγνωριστούν ρητά, ώστε η ερμηνεία των αποτελεσμάτων να είναι επιστημονικά ορθή. Η παρούσα εργασία αντιμετωπίζει τους περιορισμούς αυτούς ως αναπόσπαστο μέρος μιας υπεύθυνης ερευνητικής διαδικασίας, η οποία οριοθετεί με σαφήνεια το είδος και το εύρος των συμπερασμάτων που είναι εφικτό να εξαχθούν.

Σε αρκετούς δείκτες, η χρονική κάλυψη μπορεί να διαφέρει σημαντικά ανά χώρα. Ορισμένες χώρες διαθέτουν συνεχείς ετήσιες χρονοσειρές, ενώ άλλες εμφανίζουν κενά, είτε λόγω αλλαγών στη διαδικασία αναφοράς είτε λόγω περιορισμένης παρακολούθησης. Αυτό μπορεί να επηρεάσει την αξιοπιστία συγκρίσεων όταν χρησιμοποιούνται απλοί μέσοι όροι ή όταν επιχειρείται ανάλυση τάσεων. Για τον λόγο αυτό, η εργασία υιοθετεί πρακτικές όπως η χρήση κοινής περιόδου όπου είναι δυνατό ή η χρήση πολυετών μέσων τιμών με ρητή δήλωση της χρονικής βάσης κάθε χώρας.

Ακόμη και όταν ένας δείκτης είναι διαθέσιμος σε θεσμικό επίπεδο, δεν είναι αυτονόητο ότι η κάλυψή του είναι πλήρης για όλα τα κράτη μέλη ή για όλες τις επιθυμητές χρονικές περιόδους. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε υποσύνολα χωρών για επιμέρους αναλύσεις, γεγονός που μειώνει τη δυνατότητα συνολικής ομαδοποίησης. Η παρούσα εργασία αντιμετωπίζει το ζήτημα αυτό με τη διάκριση “core” και “supplementary” δεικτών και με ρητή δήλωση του δείγματος που χρησιμοποιείται σε κάθε αναλυτικό σκέλος.

Οι δείκτες που παρέχονται σε επίπεδο χώρας (national level) συνοψίζουν πληροφορία που στην πραγματικότητα παράγεται και διαφοροποιείται χωρικά. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για χώρες με μεγάλη υδροκλιματική ποικιλία (π.χ. η Γαλλία) ή με έντονη περιφερειακή διαφοροποίηση (π.χ. νησιωτικές- ηπειρωτικές ζώνες). Επομένως, τα εθνικά δεδομένα ενδέχεται να “εξομαλύνουν” τοπικές κρίσιμες πιέσεις ή προβλήματα ποιότητας. Η εργασία αναγνωρίζει ότι το επίπεδο χώρας είναι κατάλληλο για συγκρίσεις υψηλού επιπέδου, όχι όμως για λεπτομερή διάγνωση σε επίπεδο λεκανών απορροής.

Παρότι οι ευρωπαϊκές πηγές επιδιώκουν εναρμόνιση, οι δείκτες ενδέχεται να περιλαμβάνουν διαφοροποιήσεις ως προς τον τρόπο ταξινόμησης (π.χ. κατηγορίες χρήσης νερού, επίπεδα επεξεργασίας λυμάτων) ή ως προς το τι θεωρείται επιλέξιμο δεδομένο.

Σε διαχρονικά datasets, είναι δυνατόν να υπάρχουν αλλαγές στη μεθοδολογία συλλογής, αναφοράς ή επεξεργασίας που μπορούν να δημιουργήσουν “τεχνητές” μεταβολές. Για παράδειγμα, μια βελτίωση στο σύστημα παρακολούθησης μπορεί να αυξήσει τον αριθμό μετρήσεων και να μεταβάλει το εθνικό συγκεντρωτικό αποτέλεσμα, χωρίς να σημαίνει ότι μεταβλήθηκε η πραγματική περιβαλλοντική κατάσταση. Η εργασία μειώνει αυτόν τον κίνδυνο με έλεγχο outliers, χρήση πολυετών μέσων όπου χρειάζεται και διασταύρωση ερμηνείας με πληροφορίες μεταδεδομένων.

Ωστόσο υπάρχουν περιορισμοί που σχετίζονται με τη φύση των δεικτών ποιότητας και τον τρόπο ερμηνείας τους. Δείκτες όπως το ποσοστό υδατικών σωμάτων σε “καλή οικολογική κατάσταση” είναι χρήσιμοι για σύγκριση πολιτικής και συνολικής εικόνας, αλλά αποτελούν συμπίκνωση πολλών στοιχείων (βιολογικών, φυσικοχημικών, υδρομορφολογικών). Αυτό σημαίνει ότι δεν αποκαλύπτουν άμεσα την αιτία υποβάθμισης. Επομένως, ακόμη και όταν ο δείκτης δείχνει δυσμενή εικόνα, δεν είναι επιστημονικά ασφαλές να αποδοθεί η αιτία σε έναν συγκεκριμένο τομέα πίεσης χωρίς πρόσθετες πληροφορίες.

Ορισμένες παράμετροι (π.χ. νιτρικά) είναι ισχυρές ενδείξεις πίεσης, αλλά η πραγματική επίδραση εξαρτάται από υδρολογικές συνθήκες, χρόνο παραμονής, εποχικότητα, καθώς και από τον βαθμό αυτοκαθαρισμού. Συνεπώς, η στατιστική συσχέτιση μεταξύ πίεσης και συγκέντρωσης δεν πρέπει να ερμηνεύεται ως πλήρης

αιτιολογική εξήγηση. Η εργασία αντιμετωπίζει τις σχέσεις αυτές ως ενδείξεις που απαιτούν περαιτέρω διερεύνηση.

Η Μεσόγειος χαρακτηρίζεται από έντονη εποχικότητα, τόσο ως προς τη φυσική αναπλήρωση όσο και ως προς τη ζήτηση (π.χ. θερινή αιχμή σε τουρισμό και άρδευση). Οι ετήσιες τιμές ή οι πολυετείς μέσοι όροι μπορούν να αποκρύψουν ακραίες συνθήκες που είναι καθοριστικές για τη διαχείριση (π.χ. θερινό υδατικό στρες). Εφόσον τα διαθέσιμα δεδομένα είναι κυρίως ετήσια, η εργασία αναγνωρίζει ότι τα αποτελέσματα περιγράφουν “μέση” εικόνα και όχι κατ’ ανάγκη την κρισιμότητα σε περιόδους αιχμής.

Για να επιτευχθεί συνεκτική ανάλυση, υιοθετούνται ορισμένες βασικές παραδοχές. Αρχικά γίνεται ανάλυση σε εθνικό επίπεδο ως αποδεκτή κλίμακα σύγκρισης. Το επίπεδο χώρας είναι κατάλληλο για συγκριτικές προσεγγίσεις υψηλού επιπέδου, με επίγνωση ότι δεν αντικαθιστά ανάλυση σε επίπεδο λεκανών απορροής. Έπειτα ακολουθείται κοινό θεσμικό πλαίσιο ως ενισχυτικός παράγοντας συγκρισιμότητας. Η εστίαση σε χώρες της ΕΕ προϋποθέτει ότι οι βασικές έννοιες και οι μηχανισμοί παρακολούθησης είναι, σε γενικές γραμμές, εναρμονισμένοι. Η παραδοχή αυτή δεν σημαίνει πλήρη ομοιομορφία εφαρμογής, αλλά υποστηρίζει ότι οι δείκτες είναι πιο συγκρίσιμοι από ό,τι σε ένα δείγμα διεθνώς ετερογενών χωρών. Επίσης υιοθετείται η χρήση πυρήνα δεικτών για διατήρηση συνοχής. Ένας μικρός αριθμός δεικτών, με υψηλή πιθανότητα πληρότητας, είναι προτιμότερος από ένα μεγάλο σύνολο δεικτών με αποσπασματικά δεδομένα. Η επιλογή αυτή προστατεύει την ανάλυση από στατιστικές στρεβλώσεις λόγω άνισης κάλυψης. Στη συνέχεια θεμελιώδης παραδοχή είναι ότι τα στατιστικά αποτελέσματα που θα προκύψουν περιγράφουν σχέσεις και πρότυπα, όχι αιτιώδεις μηχανισμούς. Κάθε συμπέρασμα θα διατυπώνεται με τρόπο που να αποφεύγει αιτιολογικές βεβαιότητες χωρίς πρόσθετη τεκμηρίωση. Τέλος εφόσον χρησιμοποιηθούν δεδομένα αυτά θα αντιμετωπίζονται ως ενισχυτική ένδειξη και όχι ως κύρια βάση τεκμηρίωσης ποιότητας. Η παραδοχή αυτή είναι αναγκαία λόγω διαφορετικής φύσης μετρήσεων και πιθανών διαφορών στη χωρική/χρονική σύνοψη.

Οι παραπάνω περιορισμοί και παραδοχές καθορίζουν το είδος των συμπερασμάτων που μπορεί να υποστηρίξει η παρούσα εργασία. Συγκεκριμένα, τα αποτελέσματα αναμένεται να είναι ισχυρότερα ως προς την ανάδειξη διαφοροποιήσεων μεταξύ

χωρών, την αναγνώριση προτύπων και ομάδων χωρών με παρόμοιο προφίλ πίεσης-κατάστασης και την τεκμηριωμένη συζήτηση πολιτικής σε επίπεδο ΕΕ. Αντίθετα, η εργασία δεν αποσκοπεί στην πλήρη αιτιολογική εξήγηση των παρατηρούμενων διαφορών σε επίπεδο μηχανισμών, ούτε στην υποκατάσταση εξειδικευμένων υδρολογικών ή οικολογικών μελετών σε επίπεδο λεκανών.

Κεφάλαιο 3^ο Στατιστική αποτύπωση και ανάλυση των αποτελεσμάτων

3.1 Εισαγωγή στο αναλυτικό μέρος

Το παρόν κεφάλαιο αποτελεί το εφαρμοσμένο τμήμα της εργασίας και συνδέεται άμεσα με τη μεθοδολογική προσέγγιση που αναπτύχθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Στα προηγούμενα μέρη τεκμηριώθηκε ότι η διαχείριση των υδατικών πόρων στη Μεσόγειο δεν μπορεί να εξεταστεί μονοδιάστατα. Η ποσοτική πίεση, η φυσική διαθεσιμότητα, η ποιότητα των υδάτων, οι παραγωγικές χρήσεις και το θεσμικό πλαίσιο λειτουργούν ταυτόχρονα και επηρεάζουν το τελικό επίπεδο υδατικής ασφάλειας κάθε χώρας.

Για τον λόγο αυτό, η παρούσα ανάλυση δεν περιορίζεται σε μια γενική περιγραφή της κατάστασης των υδάτων. Αντίθετα, επιχειρεί να αποτυπώσει, με βάση συγκεκριμένους δείκτες, τις διαφοροποιήσεις που εμφανίζονται μεταξύ των χωρών του δείγματος. Η χρήση στατιστικών μεγεθών επιτρέπει μια πιο συστηματική ανάγνωση των δεδομένων και βοηθά ώστε τα συμπεράσματα να στηρίζονται σε μετρήσιμες παρατηρήσεις και όχι μόνο σε γενικές διαπιστώσεις.

Η ανάλυση εστιάζει σε οκτώ χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης με μεσογειακή ή ευρύτερη παράκτια συνάφεια: Κύπρο, Ελλάδα, Ισπανία, Ιταλία, Μάλτα, Πορτογαλία, Σλοβενία και Κροατία. Η επιλογή χωρών που ανήκουν στην Ευρωπαϊκή Ένωση διατηρεί το πλεονέκτημα ενός κοινού θεσμικού πλαισίου. Με αυτόν τον τρόπο, οι χώρες του δείγματος εξετάζονται υπό κοινές βασικές αρχές προστασίας, παρακολούθησης και αναφοράς για τα ύδατα. Αυτό δεν σημαίνει ότι οι χώρες είναι πλήρως ομοιογενείς ως προς τη διαχείριση ή τη μεθοδολογία παρακολούθησης, επιτρέπει όμως μια πιο ασφαλή συγκριτική προσέγγιση.

Η περίοδος αναφοράς για τον βασικό δείκτη ποσοτικής πίεσης, δηλαδή τον WaterExploitationIndexplus (WEI+), είναι το διάστημα 2010-2023. Η περίοδος αυτή είναι επαρκής για την αποτύπωση μιας πρόσφατης εικόνας των χωρών και επιτρέπει τον υπολογισμό βασικών περιγραφικών στατιστικών μεγεθών. Για κάθε χώρα εξετάζονται η μέση τιμή, η τυπική απόκλιση, η διάμεσος, η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή του δείκτη.

Το κεφάλαιο οργανώνεται σταδιακά. Αρχικά παρουσιάζεται η περιγραφική ανάλυση του WEI+, ώστε να αποτυπωθεί η ποσοτική διάσταση της υδατικής πίεσης. Στη συνέχεια εξετάζονται οι διαθέσιμες μεταβλητές που σχετίζονται με ποιοτικές πιέσεις, με έμφαση στα νιτρικά υπόγειων υδάτων. Ακολουθεί η αποτύπωση της αφαίρεσης νερού και των ανανεώσιμων υδατικών πόρων, ώστε η ένταση της πίεσης να ερμηνευθεί σε σχέση με τη ζήτηση και τη φυσική διαθεσιμότητα.

Ιδιαίτερη προσοχή δίνεται στον τρόπο ερμηνείας των αποτελεσμάτων. Η παρούσα εργασία δεν επιδιώκει να αποδώσει αυστηρές αιτιώδεις σχέσεις, καθώς οι περιβαλλοντικοί μηχανισμοί είναι σύνθετοι και πολυπαραγοντικοί. Αντίθετα, στόχος είναι να παραχθούν τεκμηριωμένες ενδείξεις μέσα από περιγραφικά στατιστικά, συγκρίσεις και διερευνητικές σχέσεις μεταξύ δεικτών. Με αυτόν τον τρόπο, τα αποτελέσματα λειτουργούν ως βάση για συζήτηση και όχι ως απόλυτη ερμηνεία της υδατικής κατάστασης κάθε χώρας.

3.2 Περιγραφική ανάλυση του δείκτη WEI+

Ο δείκτης Water Exploitation Index plus (WEI+) χρησιμοποιείται στην παρούσα εργασία ως βασικός δείκτης ποσοτικής υδατικής πίεσης. Ο δείκτης αποτυπώνει τη σχέση ανάμεσα στη χρήση νερού από ανθρώπινες δραστηριότητες και στους διαθέσιμους ανανεώσιμους υδατικούς πόρους μιας χώρας ή περιοχής. Με άλλα λόγια, δεν δείχνει απλώς πόσο νερό χρησιμοποιείται συνολικά, αλλά πόσο έντονη είναι αυτή η χρήση σε σχέση με το νερό που είναι διαθέσιμο και μπορεί να ανανεωθεί.

Η επιλογή του WEI+ είναι κατάλληλη για τη συγκεκριμένη εργασία, επειδή επιτρέπει τη σύγκριση χωρών με διαφορετικό μέγεθος, διαφορετικό πληθυσμό και διαφορετική φυσική διαθεσιμότητα νερού. Οι απόλυτες ποσότητες υδροληψίας, αν εξεταστούν μόνες τους, μπορεί να οδηγήσουν σε παραπλανητικά συμπεράσματα, καθώς μια μεγάλη χώρα είναι αναμενόμενο να χρησιμοποιεί περισσότερο νερό από μια μικρή. Αντίθετα, ο WEI+ συνδέει τη χρήση με τη διαθέσιμη ανανεώσιμη ποσότητα και

προσφέρει μια πιο ουσιαστική εικόνα της πίεσης που ασκείται στους υδατικούς πόρους.

Σύμφωνα με τη Eurostat και τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Περιβάλλοντος, τιμές WEI+ πάνω από 20% υποδηλώνουν κατάσταση υδατικού στρες, ενώ τιμές ίσες ή μεγαλύτερες από 40% συνδέονται με σοβαρή υδατική σπανιότητα. Τα όρια αυτά δεν πρέπει να αντιμετωπίζονται ως απόλυτες γραμμές διάγνωσης, αλλά ως χρήσιμα κατώφλια ερμηνείας, τα οποία βοηθούν στη συγκριτική αξιολόγηση των χωρών.

Η περιγραφική ανάλυση βασίζεται στα ετήσια δεδομένα του δείκτη WEI+ για την περίοδο 2010-2023. Για κάθε χώρα υπολογίστηκαν η μέση τιμή, η τυπική απόκλιση, η διάμεσος, η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή. Τα μεγέθη αυτά επιτρέπουν όχι μόνο την ταξινόμηση των χωρών ως προς τη μέση υδατική πίεση, αλλά και την κατανόηση της διαχρονικής σταθερότητας ή μεταβλητότητας του δείκτη.

Πίνακας 1 Περιγραφικά στατιστικά του δείκτη WEI+ ανά χώρα, 2010-2023

Χώρα	Μέση τιμή WEI+ (%)	Τυπική απόκλιση	Διάμεσος	Ελάχιστη τιμή	Μέγιστη τιμή	Κατηγορία
Κροατία	0,20	0,06	0,20	0,10	0,34	Κάτω από το όριο υδατικού στρες
Κύπρος	70,58	2,05	71,06	66,74	75,29	Σοβαρή υδατική σπανιότητα
Ελλάδα	11,54	2,29	11,24	8,26	15,22	Κάτω από το όριο υδατικού στρες
Ιταλία	9,11	2,58	8,62	5,39	15,62	Κάτω από το όριο υδατικού στρες
Μάλτα	32,84	4,57	32,54	27,04	42,73	Υδατικό στρες
Πορτογαλία	8,81	2,79	7,96	4,77	14,40	Κάτω από το όριο υδατικού στρες
Σλοβενία	0,55	0,10	0,56	0,34	0,69	Κάτω από το όριο υδατικού στρες
Ισπανία	8,49	2,58	7,44	6,02	13,99	Κάτω από το όριο υδατικού στρες

Πηγή: Eurostat, dataset sdg_06_60 (Water exploitation index plus, WEI+).

Η συνοπτική εικόνα του Πίνακα 1 δείχνει ότι οι χώρες του δείγματος δεν παρουσιάζουν ενιαίο προφίλ ως προς την ποσοτική υδατική πίεση. Αντίθετα, διαμορφώνονται σαφείς διαφοροποιήσεις. Η Κύπρος αποτελεί την πιο ακραία περίπτωση, η Μάλτα εμφανίζει σταθερά αυξημένη πίεση, ενώ οι υπόλοιπες χώρες παραμένουν κάτω από το όριο του 20% σε εθνική ετήσια βάση, με σημαντικές όμως διαφορές μεταξύ τους.

Η Κύπρος παρουσιάζει τον υψηλότερο μέσο WEI+ του δείγματος, με τιμή 70,58%. Η διάμεσος, 71,06%, βρίσκεται πολύ κοντά στη μέση τιμή, γεγονός που δείχνει ότι οι υψηλές τιμές δεν οφείλονται σε λίγα μεμονωμένα έτη, αλλά αποτελούν σταθερό χαρακτηριστικό της περιόδου. Ακόμη και η ελάχιστη τιμή της Κύπρου, 66,74%, παραμένει πολύ πάνω από το όριο του 40%. Αυτό σημαίνει ότι η χώρα βρίσκεται σταθερά σε κατάσταση σοβαρής υδατικής σπανιότητας σε όλη την εξεταζόμενη περίοδο. Η σχετικά χαμηλή τυπική απόκλιση, 2,05, ενισχύει αυτή την ερμηνεία, καθώς δείχνει ότι η πίεση δεν μεταβάλλεται έντονα από έτος σε έτος, αλλά παραμένει συστηματικά υψηλή.

Η Μάλτα αποτελεί τη δεύτερη πιο πιεσμένη περίπτωση. Ο μέσος WEI+ ανέρχεται σε 32,84%, δηλαδή βρίσκεται καθαρά πάνω από το όριο του 20%. Η ελάχιστη τιμή της περιόδου, 27,04%, δείχνει ότι η χώρα δεν υποχωρεί κάτω από το όριο του υδατικού στρες σε κανένα από τα εξεταζόμενα έτη. Παράλληλα, η μέγιστη τιμή φτάνει το 42,73%, υπερβαίνοντας το όριο της σοβαρής υδατικής σπανιότητας. Επομένως, η Μάλτα δεν εμφανίζει το ίδιο σταθερά ακραίο προφίλ με την Κύπρο, αλλά παραμένει σε καθεστώς σημαντικής υδατικής πίεσης σε όλη την περίοδο.

Στην ενδιάμεση ομάδα ανήκουν η Ελλάδα, η Ιταλία, η Πορτογαλία και η Ισπανία. Η Ελλάδα εμφανίζει τον υψηλότερο μέσο όρο αυτής της ομάδας, με 11,54%, και μέγιστη τιμή 15,22%. Η Ιταλία ακολουθεί με μέσο όρο 9,11% και μέγιστη τιμή 15,62%. Η Πορτογαλία και η Ισπανία βρίσκονται σε παρόμοια επίπεδα, με μέσες τιμές 8,81% και 8,49% αντίστοιχα. Οι τέσσερις αυτές χώρες δεν υπερβαίνουν το όριο του 20% σε εθνική ετήσια βάση. Ωστόσο, αυτό δεν σημαίνει ότι απουσιάζουν πιέσεις σε επιμέρους περιοχές ή περιόδους. Ιδίως για χώρες με μεγάλη εσωτερική γεωγραφική διαφοροποίηση, όπως η Ελλάδα, η Ιταλία και η Ισπανία, ο εθνικός μέσος όρος μπορεί να εξομαλύνει τοπικές εντάσεις.

Στον αντίποδα, η Κροατία και η Σλοβενία εμφανίζουν πολύ χαμηλές τιμές WEI+ σε όλη την περίοδο. Η Κροατία έχει μέση τιμή 0,20%, με εύρος από 0,10% έως 0,34%, ενώ η Σλοβενία έχει μέση τιμή 0,55%, με εύρος από 0,34% έως 0,69%. Οι τιμές αυτές είναι σαφώς χαμηλότερες από όλες τις υπόλοιπες χώρες του δείγματος και αποτυπώνουν περιορισμένη ποσοτική πίεση επί των ανανεώσιμων υδατικών πόρων σε εθνικό επίπεδο.

Η εφαρμογή των κατωφλίων $>20\%$ και $\geq 40\%$ οδηγεί σε καθαρή ταξινόμηση. Η Κύπρος εντάσσεται σταθερά στη ζώνη της σοβαρής υδατικής σπανιότητας. Η Μάλτα εντάσσεται στη ζώνη του υδατικού στρες, με τουλάχιστον μία ετήσια τιμή που υπερβαίνει το όριο του 40%. Η Ελλάδα, η Ιταλία, η Πορτογαλία και η Ισπανία παραμένουν κάτω από το όριο του 20% σε εθνικό ετήσιο επίπεδο, ενώ η Κροατία και η Σλοβενία εμφανίζουν εξαιρετικά χαμηλή πίεση.

Ο βασικός περιορισμός της παρούσας ανάλυσης είναι η κλίμακα αποτίμησης. Ο WEI+ εξετάζεται εδώ σε εθνική και ετήσια βάση. Αυτό διευκολύνει τη σύγκριση μεταξύ χωρών, αλλά ταυτόχρονα εξομαλύνει σημαντικές χωρικές και εποχικές διαφοροποιήσεις. Στη Μεσόγειο, η ζήτηση νερού συχνά αυξάνεται έντονα κατά τους θερινούς μήνες, λόγω άρδευσης και τουρισμού, ενώ η φυσική αναπλήρωση είναι περιορισμένη. Επομένως, ακόμη και χώρες με εθνικό μέσο WEI+ κάτω από το 20% μπορεί να αντιμετωπίζουν έντονο υδατικό στρες σε συγκεκριμένες λεκάνες απορροής, νησιωτικές περιοχές ή περιόδους αιχμής.

Συνολικά, η περιγραφική ανάλυση του WEI+ δείχνει ότι η μεσογειακή Ευρώπη δεν αποτελεί ενιαία κατηγορία ως προς την ποσοτική υδατική πίεση. Η Κύπρος και η Μάλτα ξεχωρίζουν ως οι πιο πιεσμένες περιπτώσεις, ενώ οι υπόλοιπες χώρες εμφανίζουν χαμηλότερες εθνικές τιμές. Παρόλα αυτά, η ερμηνεία των αποτελεσμάτων πρέπει να παραμείνει προσεκτική, καθώς οι ετήσιες εθνικές τιμές προσφέρουν μια χρήσιμη αλλά συγκεντρωτική εικόνα και δεν αντικαθιστούν την ανάλυση σε εποχική, περιφερειακή ή υδρολογική κλίμακα.

3.3 Ανάλυση νιτρικών στα υπόγεια ύδατα

Μετά την αποτύπωση της ποσοτικής υδατικής πίεσης μέσω του WEI+, η ανάλυση μετακινείται σε έναν δείκτη που συνδέεται περισσότερο με την ποιοτική διάσταση των υδατικών πόρων. Τα νιτρικά στα υπόγεια ύδατα αποτελούν βασικό δείκτη διάχυτης ρύπανσης και χρησιμοποιούνται συχνά σε ευρωπαϊκές αξιολογήσεις για την

παρακολούθηση πιέσεων που σχετίζονται κυρίως με γεωργικές δραστηριότητες, λιπάσματα και κτηνοτροφικά απόβλητα.

Για την παρούσα ανάλυση χρησιμοποιήθηκε το dataset `sdg_06_40` της Eurostat, το οποίο παρέχει ετήσιες συγκεντρώσεις νιτρικών στα υπόγεια ύδατα σε $\text{mg NO}_3/\text{L}$. Τα δεδομένα αυτά προέρχονται από τη βάση Waterbase του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος και επιτρέπουν την αποτύπωση της εξέλιξης των συγκεντρώσεων σε επίπεδο χώρας. Ωστόσο, η κάλυψη δεν είναι πλήρης για όλες τις χώρες του δείγματος. Για την περίοδο 2010-2023, διαθέσιμη πλήρης χρονοσειρά υπάρχει για την Κύπρο, την Ιταλία, την Πορτογαλία, τη Σλοβενία και την Ισπανία. Για την Ελλάδα, τη Μάλτα και την Κροατία δεν υπάρχουν αντίστοιχα πλήρη διαθέσιμα δεδομένα στο συγκεκριμένο σύνολο δεδομένων και, για τον λόγο αυτό, δεν εντάσσονται στον πίνακα της περιγραφικής ανάλυσης.

Πίνακας 2 Περιγραφικά στατιστικά συγκέντρωσης νιτρικών στα υπόγεια ύδατα, 2010-2023

Χώρα	Πλήθος ετών	Μέση τιμή NO_3 (mg/L)	Τυπική απόκλιση	Ελάχιστη τιμή	Μέγιστη τιμή
Κύπρος	14	40,19	18,84	19,31	71,19
Ιταλία	14	20,82	1,31	18,80	23,02
Πορτογαλία	14	15,40	0,49	14,87	16,46
Σλοβενία	14	14,70	0,37	14,35	15,48
Ισπανία	14	34,31	1,41	31,74	36,67

Πηγή: Eurostat, dataset `sdg_06_40` (Nitrate in groundwater).

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η Κύπρος εμφανίζει τη μεγαλύτερη μέση συγκέντρωση νιτρικών μεταξύ των χωρών για τις οποίες υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα, με μέση τιμή $40,19 \text{ mg/L}$. Η μέγιστη τιμή φτάνει τα $71,19 \text{ mg/L}$, δηλαδή υπερβαίνει το όριο των 50 mg/L που χρησιμοποιείται στο ευρωπαϊκό πλαίσιο ως κρίσιμο κατώφλι για τη ρύπανση από νιτρικά. Η υψηλή τυπική απόκλιση, $18,84$, δείχνει επίσης έντονη διακύμανση στη χρονοσειρά.

Η Ισπανία καταγράφει τη δεύτερη υψηλότερη μέση τιμή, με $34,31 \text{ mg/L}$. Η τιμή αυτή βρίσκεται κάτω από το όριο των 50 mg/L , αλλά παραμένει σχετικά αυξημένη σε σχέση με τις υπόλοιπες χώρες του πίνακα. Η μικρή τυπική απόκλιση, $1,41$, δείχνει ότι οι συγκεντρώσεις παραμένουν σχετικά σταθερές μέσα στην περίοδο. Η εικόνα αυτή υποδηλώνει μια επίμονη ποιοτική πίεση, η οποία δεν εμφανίζεται ως μεμονωμένο επεισόδιο, αλλά ως χαρακτηριστικό της χρονοσειράς.

Η Ιταλία εμφανίζει μέση τιμή 20,82 mg/L, με χαμηλή διακύμανση. Η Πορτογαλία και η Σλοβενία καταγράφουν ακόμη χαμηλότερες μέσες τιμές, 15,40 mg/L και 14,70 mg/L αντίστοιχα. Και στις δύο περιπτώσεις, οι τιμές παραμένουν σταθερές και δεν πλησιάζουν το όριο των 50 mg/L. Επομένως, με βάση τον συγκεκριμένο δείκτη και τη διαθέσιμη χρονοσειρά, οι δύο αυτές χώρες εμφανίζουν χαμηλότερη ποιοτική επιβάρυνση ως προς τα νιτρικά στα υπόγεια ύδατα.

Η σύγκριση των χωρών δείχνει ότι η ποιοτική διάσταση δεν ταυτίζεται πλήρως με την ποσοτική υδατική πίεση. Για παράδειγμα, η Κύπρος εμφανίζει ταυτόχρονα υψηλό WEI+ και αυξημένες συγκεντρώσεις νιτρικών, ενώ η Ισπανία έχει σχετικά χαμηλότερο εθνικό WEI+ αλλά αυξημένες συγκεντρώσεις νιτρικών σε σχέση με τις υπόλοιπες χώρες του πίνακα. Αυτό δείχνει ότι η ποιότητα των υπόγειων υδάτων επηρεάζεται από πρόσθετους παράγοντες, όπως οι γεωργικές πρακτικές, οι χρήσεις γης, η υδρογεωλογική ευπάθεια των υδροφορέων και η ένταση παρακολούθησης.

Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι τα νιτρικά δεν αποδεικνύουν από μόνα τους αιτιότητα. Αποτελούν όμως έναν χρήσιμο δείκτη πίεσης, ειδικά σε περιοχές όπου η γεωργία και η κτηνοτροφία ασκούν σημαντική επιβάρυνση στους υπόγειους υδροφορείς. Η ερμηνεία τους πρέπει να γίνεται σε συνδυασμό με το θεσμικό πλαίσιο για τη νιτρορύπανση, αλλά και με τη χωρική κατανομή των δραστηριοτήτων που μπορούν να επηρεάσουν την ποιότητα των υπόγειων νερών.

3.4 Αφαίρεση νερού και ανανεώσιμοι υδατικοί πόροι

Η ανάλυση του WEI+ και των νιτρικών συμπληρώνεται από δύο ακόμη βασικές διαστάσεις: την αφαίρεση νερού και τους ανανεώσιμους υδατικούς πόρους. Η αφαίρεση νερού αποτυπώνει τη ζήτηση, δηλαδή το νερό που αποσύρεται από το φυσικό περιβάλλον για ανθρώπινες χρήσεις. Οι ανανεώσιμοι υδατικοί πόροι, από την άλλη πλευρά, αποτυπώνουν τη φυσική βάση διαθεσιμότητας. Ο συνδυασμός των δύο αυτών μεταβλητών είναι απαραίτητος, γιατί μια χώρα μπορεί να έχει υψηλές υδροληψίες αλλά και υψηλή φυσική διαθεσιμότητα, ή αντίστροφα χαμηλές υδροληψίες αλλά πολύ περιορισμένους διαθέσιμους πόρους.

Για την αφαίρεση νερού χρησιμοποιήθηκε το dataset env_wat_abs της Eurostat, ενώ για τους ανανεώσιμους υδατικούς πόρους χρησιμοποιήθηκε το dataset env_wat_res. Για τη διακρατική σύγκριση προτιμήθηκαν, όπου ήταν διαθέσιμες, οι τιμές ανά κάτοικο σε $\text{m}^3/\text{κάτοικο}/\text{έτος}$, διότι μειώνουν την επίδραση του μεγέθους της χώρας και επιτρέπουν πιο ουσιαστική σύγκριση μεταξύ κρατών. Παράλληλα, πρέπει να σημειωθεί ότι η διαθεσιμότητα δεδομένων δεν είναι ίδια για όλες τις χώρες και όλες τις μεταβλητές.

Πίνακας 3 Συνολική αφαίρεση νερού ανά κάτοικο, 2010-2023

Χώρα	Πλήθος ετών	Μέση τιμή ($\text{m}^3/\text{κάτοικο}/\text{έτος}$)	Τυπική απόκλιση	Ελάχιστη τιμή	Μέγιστη τιμή
Ελλάδα	14	917,07	35,51	841,70	954,41
Ισπανία	11	684,21	49,63	621,75	758,10
Σλοβενία	14	438,39	28,07	379,80	476,54
Κύπρος	14	253,79	21,10	225,81	295,84
Κροατία	14	162,28	13,58	138,10	187,76
Μάλτα	14	91,74	14,72	67,01	111,52

Πηγή: Eurostat, dataset env_wat_abs (Annual freshwater abstraction by source and sector).

Σύμφωνα με τον Πίνακα 3, η Ελλάδα εμφανίζει τη μεγαλύτερη μέση συνολική αφαίρεση νερού ανά κάτοικο, με $917,07 \text{ m}^3/\text{κάτοικο}/\text{έτος}$. Ακολουθεί η Ισπανία με $684,21 \text{ m}^3/\text{κάτοικο}/\text{έτος}$. Οι τιμές αυτές δείχνουν ότι οι δύο χώρες παρουσιάζουν υψηλή ένταση χρήσης νερού σε σχέση με τον πληθυσμό τους. Η Σλοβενία εμφανίζει επίσης σημαντική μέση τιμή, $438,39 \text{ m}^3/\text{κάτοικο}/\text{έτος}$, ενώ η Κύπρος, η Κροατία και η Μάλτα κινούνται σε χαμηλότερα επίπεδα.

Η εικόνα αυτή είναι ιδιαίτερα χρήσιμη όταν συγκριθεί με τον WEI+. Η Ελλάδα και η Ισπανία δεν εμφανίζουν εθνικό ετήσιο WEI+ πάνω από το όριο του υδατικού στρες, αλλά καταγράφουν υψηλές τιμές αφαίρεσης νερού ανά κάτοικο. Αυτό δείχνει ότι η συνολική ζήτηση μπορεί να είναι υψηλή, ακόμη και όταν ο δείκτης WEI+ παραμένει κάτω από το όριο του 20% σε εθνικό επίπεδο. Αντίθετα, η Μάλτα έχει τη χαμηλότερη αφαίρεση νερού ανά κάτοικο, αλλά υψηλό WEI+, γεγονός που υποδηλώνει ότι το πρόβλημα δεν είναι μόνο το ύψος της ζήτησης, αλλά και η πολύ περιορισμένη φυσική διαθεσιμότητα.

Πίνακας 4 Αφαίρεση νερού από γεωργία, δασοκομία και αλιεία, 2010-2023

Χώρα	Πλήθος ετών	Μέση τιμή (m ³ /κάτοικο/έτος)	Τυπική απόκλιση	Ελάχιστη τιμή	Μέγιστη τιμή
Ελλάδα	14	745,60	26,27	684,19	767,05
Ισπανία	11	450,65	38,76	400,34	507,02
Κύπρος	14	182,31	11,32	165,01	197,93
Μάλτα	14	53,86	11,69	35,59	69,95
Κροατία	14	7,38	0,30	6,98	7,78
Σλοβενία	14	1,50	0,38	0,82	2,22

Πηγή: Eurostat, dataset env_wat_abs (Annual freshwater abstraction by source and sector).

Ο Πίνακας 4 αναδεικνύει ακόμη πιο καθαρά τον ρόλο της γεωργικής ζήτησης. Η Ελλάδα παρουσιάζει τη μεγαλύτερη μέση αφαίρεση νερού από γεωργία, δασοκομία και αλιεία, με 745,60 m³/κάτοικο/έτος, ενώ η Ισπανία ακολουθεί με 450,65 m³/κάτοικο/έτος. Οι τιμές αυτές επιβεβαιώνουν ότι η γεωργική χρήση αποτελεί βασικό παράγοντα πίεσης στις δύο χώρες. Η Κύπρος εμφανίζει επίσης σημαντική γεωργική αφαίρεση, με 182,31 m³/κάτοικο/έτος, ενώ η Μάλτα βρίσκεται χαμηλότερα. Η Κροατία και η Σλοβενία έχουν πολύ χαμηλές τιμές γεωργικής αφαίρεσης στο συγκεκριμένο dataset.

Η σημασία του Πίνακα 3.4 είναι ότι βοηθά στην ερμηνεία των διαφορών μεταξύ χωρών. Η ποσοτική υδατική πίεση δεν εξαρτάται μόνο από το συνολικό νερό που αφαιρείται, αλλά και από το ποιοι τομείς το χρησιμοποιούν, τότε το χρησιμοποιούν και σε ποια χωρική κλίμακα. Στις μεσογειακές χώρες, η άρδευση συχνά συμπίπτει χρονικά με τις περιόδους μειωμένης φυσικής αναπλήρωσης. Συνεπώς, ακόμη και όταν οι εθνικοί ετήσιοι δείκτες δεν δείχνουν υπέρβαση των ορίων, η εποχική και τοπική πίεση μπορεί να είναι σημαντική.

Πίνακας 5 Ανανεώσιμοι υδατικοί πόροι ανά κάτοικο, 2010-2023

Χώρα	Πλήθος ετών	Μέση τιμή (m ³ /κάτοικο/έτος)	Τυπική απόκλιση	Ελάχιστη τιμή	Μέγιστη τιμή
Κροατία	14	26.734,85	3.534,94	17.873,07	32.562,77
Σλοβενία	14	15.407,22	3.430,38	9.921,52	22.470,15
Πορτογαλία	5	3.353,49	1.445,77	1.655,77	5.163,47
Ισπανία	14	2.095,28	594,32	1.188,88	3.284,65
Κύπρος	14	335,38	103,14	205,11	548,30
Μάλτα	14	154,42	41,20	99,39	231,70

Πηγή: Eurostat, dataset env_wat_res (Renewable freshwater resources).

Ο Πίνακας 5 αποτυπώνει με σαφήνεια τις μεγάλες διαφοροποιήσεις στη φυσική διαθεσιμότητα νερού. Η Κροατία και η Σλοβενία εμφανίζουν τις υψηλότερες μέσες τιμές ανανεώσιμων υδατικών πόρων ανά κάτοικο, με 26.734,85 και 15.407,22 m³/κάτοικο/έτος αντίστοιχα. Οι τιμές αυτές εξηγούν, σε σημαντικό βαθμό, γιατί οι δύο χώρες εμφανίζουν πολύ χαμηλό WEI+.

Αντίθετα, η Κύπρος και η Μάλτα καταγράφουν τις χαμηλότερες τιμές ανανεώσιμων υδατικών πόρων ανά κάτοικο, με 335,38 και 154,42 m³/κάτοικο/έτος αντίστοιχα. Η σύγκριση αυτή είναι κρίσιμη, διότι δείχνει ότι η υψηλή υδατική πίεση των δύο νησιωτικών χωρών συνδέεται με έναν περιορισμένο φυσικό υδατικό χώρο. Ακόμη και σχετικά χαμηλότερες απόλυτες ή ανά κάτοικο υδροληψίες μπορούν να οδηγήσουν σε υψηλό WEI+, όταν η διαθέσιμη ανανεώσιμη ποσότητα είναι περιορισμένη.

Η Ισπανία και η Πορτογαλία καταλαμβάνουν ενδιάμεση θέση ως προς τους ανανεώσιμους πόρους ανά κάτοικο. Στην περίπτωση της Πορτογαλίας, πρέπει να σημειωθεί ότι το πλήθος των διαθέσιμων ετών είναι μικρότερο, γεγονός που περιορίζει την ισχύ της σύγκρισης. Παρόλα αυτά, η εικόνα των ανανεώσιμων πόρων συμβάλλει στην κατανόηση των διαφορών που παρατηρούνται στον WEI+ και στην αφαίρεση νερού.

Συνολικά, η ανάλυση αφαίρεσης νερού και ανανεώσιμων πόρων δείχνει ότι η υδατική πίεση προκύπτει από τη σχέση ανάμεσα στη ζήτηση και στη φυσική διαθεσιμότητα. Η Ελλάδα και η Ισπανία ξεχωρίζουν λόγω υψηλής αφαίρεσης, κυρίως γεωργικής, ενώ η Κύπρος και η Μάλτα ξεχωρίζουν λόγω περιορισμένης διαθεσιμότητας. Η Κροατία και η Σλοβενία εμφανίζουν μεγαλύτερο υδατικό περιθώριο σε εθνικό επίπεδο, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι δεν μπορεί να υπάρχουν τοπικές ή ποιοτικές πιέσεις.

3.5 Διερεύνηση σχέσεων μεταξύ βασικών δεικτών

Η προηγούμενη ανάλυση έδειξε ότι οι χώρες διαφοροποιούνται ως προς την ποσοτική πίεση, την ποιότητα των υπόγειων υδάτων, την αφαίρεση νερού και τη φυσική διαθεσιμότητα. Στο σημείο αυτό εξετάζεται αν υπάρχουν ενδεικτικές σχέσεις μεταξύ

βασικών μεταβλητών. Ο στόχος δεν είναι η απόδειξη αιτιότητας, αλλά η αναγνώριση στατιστικών σχέσεων που μπορούν να υποστηρίξουν την ερμηνεία των αποτελεσμάτων.

Για τη διερεύνηση χρησιμοποιήθηκε ο συντελεστής συσχέτισης Spearman, καθώς πρόκειται για μη παραμετρικό δείκτη κατάλληλο για μικρά δείγματα και για περιπτώσεις όπου δεν μπορεί να θεωρηθεί δεδομένη η γραμμική σχέση μεταξύ μεταβλητών. Ο μαθηματικός τύπος του συντελεστή Spearman δίνεται από τη σχέση:

$$rs = 1 - \frac{6 \sum di^2}{n(n^2 - 1)}$$

Όπου:

rs: συντελεστής συσχέτισης Spearman

di: η διαφορά μεταξύ των βαθμών (ranks) των δύο μεταβλητών για κάθε παρατήρηση

$\sum di^2$: το άθροισμα των τετραγώνων όλων των διαφορών

n: το πλήθος των ζευγαριών των παρατηρήσεων

Στο διαθέσιμο dataset, η πιο άμεση συσχέτιση αφορά τη σχέση μεταξύ της μέσης τιμής WEI+ και της μέσης συγκέντρωσης νιτρικών στα υπόγεια ύδατα, για τις χώρες όπου υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα και για τις δύο μεταβλητές.

Πίνακας 6 Διερευνητική συσχέτιση μεταξύ WEI+ και νιτρικών υπόγειων υδάτων

Σχέση μεταβλητών	Πλήθος χωρών	Spearmanrho	p-value	Ερμηνεία
Μέσος WEI+ και μέση συγκέντρωση NO3 στα υπόγεια ύδατα	5	0,70	0,188	Θετική σχέση, μη στατιστικά σημαντική

Πηγή: Eurostat datasets sdg_06_60 και sdg_06_40.

Ο συντελεστής Spearman είναι θετικός, με τιμή 0,70. Αυτό υποδηλώνει ότι, στο περιορισμένο υποσύνολο χωρών για το οποίο υπάρχουν πλήρη δεδομένα, υψηλότερες μέσες τιμές WEI+ τείνουν να συνυπάρχουν με υψηλότερες μέσες συγκεντρώσεις νιτρικών. Ωστόσο, η σχέση δεν είναι στατιστικά σημαντική, καθώς το p-value είναι

0,188. Επιπλέον, το δείγμα περιλαμβάνει μόνο πέντε χώρες, γεγονός που περιορίζει σημαντικά τη στατιστική ισχύ της ανάλυσης.

Για τον λόγο αυτό, η συγκεκριμένη συσχέτιση πρέπει να ερμηνευθεί αποκλειστικά ως διερευνητική ένδειξη και όχι ως απόδειξη σχέσης μεταξύ υδατικής πίεσης και νιτρορύπανσης. Η θετική κατεύθυνση της σχέσης είναι περιβαλλοντικά ενδιαφέρουσα, αλλά δεν επιτρέπει αιτιολογικό συμπέρασμα. Η συγκέντρωση νιτρικών στα υπόγεια ύδατα επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες, όπως η ένταση της γεωργικής δραστηριότητας, οι χρήσεις γης, η ευπάθεια των υδροφορέων, η υδρογεωλογία, η συχνότητα δειγματοληψίας και η χρονική υστέρηση μεταξύ πίεσης και παρατηρούμενης συγκέντρωσης.

Η ανάλυση αυτή επιβεβαιώνει έναν βασικό μεθοδολογικό περιορισμό της εργασίας: η διακρατική στατιστική διερεύνηση σε επίπεδο χώρας είναι χρήσιμη για την ανάδειξη προτύπων, αλλά δεν μπορεί να υποκαταστήσει ανάλυση σε επίπεδο λεκάνης απορροής ή υδροφορέα. Επομένως, η συσχέτιση μεταξύ WEI+ και νιτρικών λειτουργεί ως ένδειξη που μπορεί να καθοδηγήσει περαιτέρω διερεύνηση, όχι ως τελικό συμπέρασμα.

3.6 Συνολική αποτύπωση διαφοροποιήσεων μεταξύ χωρών

Η συνδυαστική ανάγνωση των προηγούμενων ενοτήτων δείχνει ότι οι επιλεγμένες μεσογειακές χώρες της ΕΕ δεν συγκροτούν ενιαίο υδατικό πρότυπο. Η ποσοτική πίεση, η φυσική διαθεσιμότητα, η αφαίρεση νερού και οι διαθέσιμες ενδείξεις ποιότητας διαφοροποιούνται σημαντικά μεταξύ των χωρών. Η διαφοροποίηση αυτή επιβεβαιώνει τη μεθοδολογική επιλογή της εργασίας να εξετάσει πολλαπλούς δείκτες και όχι έναν μόνο δείκτη.

Η Κύπρος αναδεικνύεται ως η πιο χαρακτηριστική περίπτωση σοβαρής ποσοτικής πίεσης. Η μέση τιμή WEI+ είναι πολύ υψηλότερη από το όριο σοβαρής υδατικής σπανιότητας, ενώ οι ανανεώσιμοι υδατικοί πόροι ανά κάτοικο είναι περιορισμένοι. Παράλληλα, η χώρα εμφανίζει και την υψηλότερη μέση συγκέντρωση νιτρικών μεταξύ των χωρών με διαθέσιμα δεδομένα, με έντονη διακύμανση στη χρονοσειρά. Η

περίπτωση αυτή δείχνει πώς περιορισμένη φυσική διαθεσιμότητα, υδατική πίεση και ποιοτικές επιβαρύνσεις μπορούν να συνυπάρχουν, χωρίς όμως η στατιστική ανάλυση να επιτρέπει αιτιολογική απόδοση.

Η Μάλτα εμφανίζει επίσης υψηλή ποσοτική πίεση, αν και το προφίλ της διαφέρει από την Κύπρο. Η μέση τιμή WEI+ βρίσκεται στη ζώνη του υδατικού στρες, ενώ η μέγιστη τιμή υπερβαίνει το όριο της σοβαρής υδατικής σπανιότητας. Ταυτόχρονα, οι ανανεώσιμοι υδατικοί πόροι ανά κάτοικο είναι οι χαμηλότεροι μεταξύ των χωρών για τις οποίες υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία στο dataset `env_wat_res`. Η εικόνα αυτή υποδηλώνει ότι η Μάλτα πρέπει να αντιμετωπιστεί ως χώρα με δομικά περιορισμένο υδατικό περιθώριο.

Η Ελλάδα και η Ισπανία παρουσιάζουν διαφορετικό είδος πρόκλησης. Δεν εμφανίζουν εθνικό ετήσιο WEI+ πάνω από το όριο του υδατικού στρες, αλλά καταγράφουν υψηλές τιμές συνολικής και γεωργικής αφαίρεσης νερού ανά κάτοικο. Αυτό σημαίνει ότι η πίεση δεν αποτυπώνεται απαραίτητα ως υπέρβαση του εθνικού WEI+, αλλά υπάρχει έντονη τομεακή ζήτηση, ιδίως από τη γεωργία.

Η Ιταλία και η Πορτογαλία κινούνται επίσης κάτω από το όριο του υδατικού στρες σε εθνική ετήσια βάση, αλλά δεν πρέπει να αντιμετωπιστούν ως υδατικά ουδέτερες περιπτώσεις. Η Ιταλία εμφανίζει μέτριες τιμές WEI+ και διαθέσιμα δεδομένα νιτρικών με μέση συγκέντρωση 20,82 mg/L, ενώ η Πορτογαλία παρουσιάζει χαμηλότερη μέση συγκέντρωση νιτρικών, αλλά περιορισμένη χρονική κάλυψη στα δεδομένα ανανεώσιμων πόρων.

Η Κροατία και η Σλοβενία διαφοροποιούνται σαφώς από τις υπόλοιπες χώρες ως προς την ποσοτική πίεση. Οι τιμές WEI+ είναι εξαιρετικά χαμηλές, ενώ οι ανανεώσιμοι υδατικοί πόροι ανά κάτοικο είναι πολύ υψηλοί. Η εικόνα αυτή δείχνει μεγαλύτερο φυσικό περιθώριο σε σχέση με τις νησιωτικές χώρες του δείγματος. Παρά ταύτα, η χαμηλή ποσοτική πίεση δεν συνεπάγεται αυτόματα απουσία διαχειριστικών ή ποιοτικών προκλήσεων.

Η συνολική αποτύπωση οδηγεί σε ένα βασικό συμπέρασμα: η υδατική κατάσταση των μεσογειακών χωρών της ΕΕ πρέπει να ερμηνεύεται μέσα από συνδυασμό δεικτών. Ο WEI+ προσφέρει την κεντρική εικόνα της ποσοτικής πίεσης, τα νιτρικά

προσθέτουν μια διάσταση χημικής επιβάρυνσης των υπόγειων υδάτων, η αφαίρεση νερού αποτυπώνει την ένταση της ζήτησης και οι ανανεώσιμοι πόροι αποδίδουν τη φυσική βάση διαθεσιμότητας. Καμία από αυτές τις μεταβλητές δεν αρκεί από μόνη της για να αποδώσει πλήρως την υδατική κατάσταση μιας χώρας.

Κεφάλαιο 4^ο Συζήτηση των αποτελεσμάτων και στατιστική ερμηνεία

Το κεφάλαιο αυτό απαντά στο πρώτο επίπεδο των ερευνητικών ερωτημάτων της εργασίας. Οι χώρες διαφοροποιούνται έντονα ως προς την ποσοτική πίεση, με την Κύπρο και τη Μάλτα να συγκροτούν τις πιο πιεσμένες περιπτώσεις, ενώ η Κροατία και η Σλοβενία εμφανίζονται ως χώρες χαμηλής ποσοτικής πίεσης. Η εικόνα της ποιότητας, όπως αποτυπώνεται μέσω των διαθέσιμων δεδομένων νιτρικών, είναι περισσότερο περιορισμένη λόγω ελλιπούς κάλυψης, αλλά δείχνει σημαντικές διαφοροποιήσεις μεταξύ των χωρών.

Επίσης εξετάζεται η σημασία των αποτελεσμάτων υπό το πρίσμα της ευρωπαϊκής πολιτικής για τα ύδατα, της βιώσιμης ανάπτυξης και της ανάγκης ενίσχυσης της υδατικής ανθεκτικότητας στις μεσογειακές χώρες.

4.1 Σκοπός και λογική της συζήτησης

Το προηγούμενο κεφάλαιο παρουσίασε τη στατιστική αποτύπωση των βασικών δεικτών που χρησιμοποιούνται στην παρούσα εργασία: τον δείκτη WEI+ για την ποσοτική υδατική πίεση, τις συγκεντρώσεις νιτρικών στα υπόγεια ύδατα, την αφαίρεση νερού και τους ανανεώσιμους υδατικούς πόρους. Το παρόν κεφάλαιο μετακινείται από την περιγραφή προς την ερμηνεία. Στόχος δεν είναι να επαναληφθούν οι αριθμητικές τιμές, αλλά να συζητηθεί τι υποδηλώνουν για τη διαχείριση υδατικών πόρων στις επιλεγμένες μεσογειακές χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Η συζήτηση οργανώνεται γύρω από τα ερευνητικά ερωτήματα της εργασίας. Εξετάζεται πρώτα η ποσοτική διαφοροποίηση των χωρών ως προς τον WEI+, στη συνέχεια η σχέση μεταξύ υδατικής πίεσης, φυσικής διαθεσιμότητας και αφαίρεσης νερού, και ακολούθως η ποιοτική διάσταση μέσω των νιτρικών υπόγειων υδάτων. Τέλος, τα ευρήματα ερμηνεύονται στο πλαίσιο της ευρωπαϊκής πολιτικής για τα

ύδατα, της βιώσιμης ανάπτυξης και της ανάγκης ενίσχυσης της υδατικής ανθεκτικότητας.

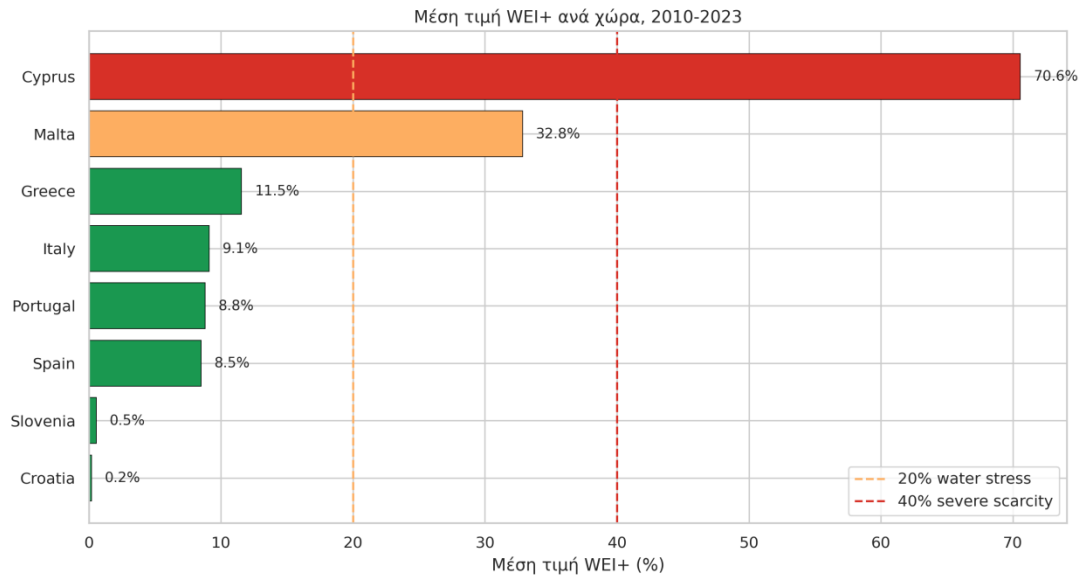
Η ανάλυση παραμένει συνειδητά προσεκτική ως προς τη διατύπωση συμπερασμάτων. Οι διαθέσιμες στατιστικές σχέσεις είναι διερευνητικές και δεν τεκμηριώνουν αιτιότητα. Η παρούσα εργασία αξιοποιεί τους δείκτες ως εργαλεία αποτύπωσης διαφοροποιήσεων και ενδείξεων, όχι ως πλήρη περιβαλλοντικά μοντέλα. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό, διότι η διαχείριση υδατικών πόρων εξαρτάται από υδρολογικούς, γεωγραφικούς, κοινωνικοοικονομικούς και θεσμικούς παράγοντες που δεν μπορούν να συμπυκνωθούν πλήρως σε έναν μόνο δείκτη.

4.2 Ποσοτική υδατική πίεση και διαφοροποίηση χωρών

Το πρώτο και πιο καθαρό εύρημα της ανάλυσης είναι ότι οι οκτώ χώρες του δείγματος δεν εμφανίζουν ενιαίο πρότυπο ποσοτικής υδατικής πίεσης. Η εφαρμογή του WEI+ αναδεικνύει ένα έντονα διαφοροποιημένο φάσμα: στο ένα άκρο βρίσκεται η Κύπρος, με μόνιμη σοβαρή υδατική σπανιότητα, και στο άλλο η Κροατία και η Σλοβενία, με πολύ χαμηλές τιμές σε όλη την περίοδο 2010-2023. Ανάμεσα σε αυτά τα δύο άκρα βρίσκονται η Μάλτα, ως χώρα σταθερού υδατικού στρες, και οι Ελλάδα, Ιταλία, Πορτογαλία και Ισπανία, οι οποίες παραμένουν κάτω από το όριο του 20% σε εθνικό ετήσιο επίπεδο.

Η εικόνα αυτή έχει ιδιαίτερη σημασία για τη μεσογειακή ερμηνεία. Συχνά η Μεσόγειος αντιμετωπίζεται ως ενιαία περιοχή υψηλής υδατικής πίεσης. Τα αποτελέσματα όμως δείχνουν ότι, εντός του ίδιου ευρωπαϊκού και μεσογειακού πλαισίου, η ποσοτική πίεση διαφοροποιείται σημαντικά. Η Κύπρος και η Μάλτα αποτελούν χώρες δομικά περιορισμένης διαθεσιμότητας, ενώ η Κροατία και η Σλοβενία εμφανίζουν πολύ μεγαλύτερο φυσικό υδατικό περιθώριο. Οι μεγάλες μεσογειακές χώρες, όπως η Ελλάδα, η Ιταλία, η Ισπανία και η Πορτογαλία, δεν υπερβαίνουν τα γενικά κατώφλια υδατικού στρες σε εθνικό ετήσιο επίπεδο, αλλά αυτό δεν σημαίνει ότι απουσιάζουν περιφερειακές ή εποχικές πιέσεις.

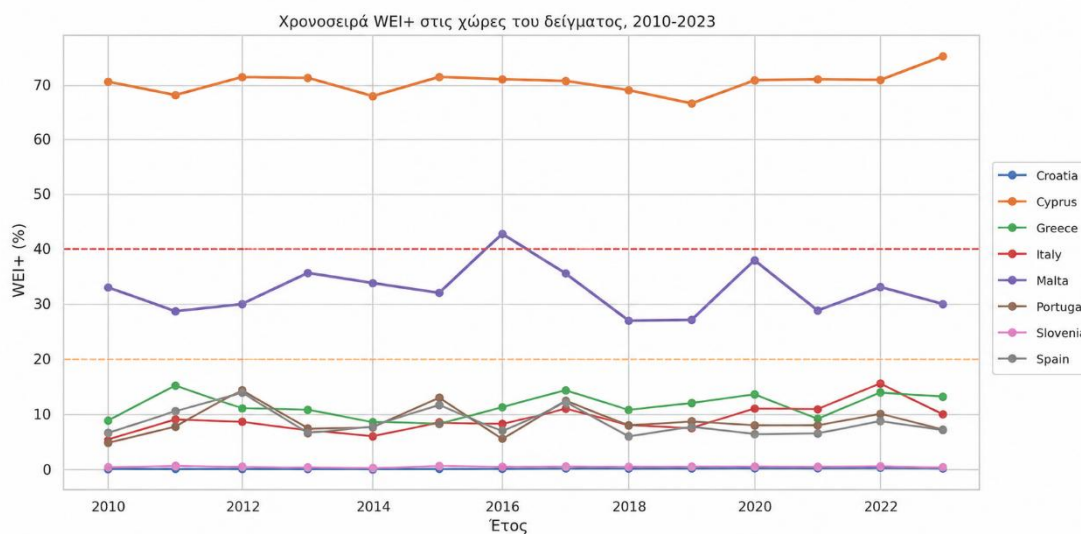
Η διαφοροποίηση αυτή αποτυπώνεται καθαρά στο Σχήμα 4.1, όπου οι χώρες ταξινομούνται με βάση τη μέση τιμή WEI+ της περιόδου. Οι γραμμές των 20% και 40% λειτουργούν ως ερμηνευτικά όρια, σύμφωνα με τη σχετική τεκμηρίωση της Eurostat και του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος.



Εικόνα 1 Μέση τιμή WEI+ ανά χώρα, 2010-2023.

Το γράφημα της εικόνας 1 αναδεικνύει την απόσταση της Κύπρου από τις υπόλοιπες χώρες του δείγματος. Η τιμή της βρίσκεται πολύ πάνω από το όριο της σοβαρής υδατικής σπανιότητας, ενώ η Μάλτα βρίσκεται καθαρά πάνω από το όριο του υδατικού στρες. Οι υπόλοιπες χώρες βρίσκονται κάτω από το 20%, αλλά η μεταξύ τους σύγκριση εξακολουθεί να έχει σημασία, επειδή δείχνει διαφορετικές εντάσεις και προφίλ χρήσης νερού.

Η διαχρονική εξέλιξη του WEI+ παρουσιάζεται στο γράφημα της εικόνας 2. Η χρονοσειρά επιβεβαιώνει ότι η περίπτωση της Κύπρου δεν αποτελεί μεμονωμένη ετήσια απόκλιση, αλλά σταθερό χαρακτηριστικό της περιόδου. Αντίστοιχα, η Μάλτα εμφανίζει διαχρονικά αυξημένες τιμές, ενώ η Κροατία και η Σλοβενία παραμένουν σταθερά σε πολύ χαμηλά επίπεδα.



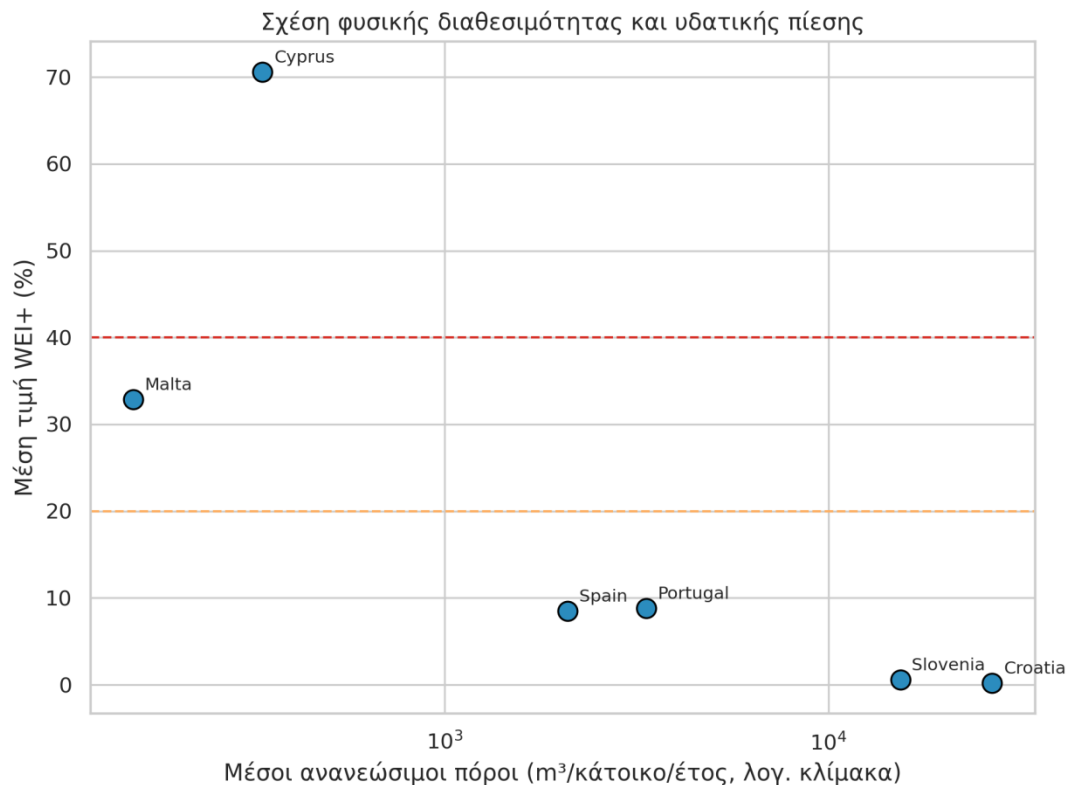
Εικόνα 2 Χρονοσειρά WEI+ στις χώρες του δείγματος, 2010-2023.

Η συζήτηση των αποτελεσμάτων πρέπει, ωστόσο, να λάβει υπόψη ότι ο WEI+ σε εθνικό επίπεδο αποτυπώνει μια συγκεντρωτική εικόνα. Σε χώρες όπως η Ελλάδα, η Ισπανία και η Ιταλία, η εθνική μέση τιμή μπορεί να αποκρύπτει περιοχές υψηλής πίεσης, όπως νησιά, νότιες περιφέρειες, παράκτιες τουριστικές ζώνες ή αγροτικές λεκάνες με έντονη αρδευτική ζήτηση. Επομένως, το γεγονός ότι οι χώρες αυτές παραμένουν κάτω από το όριο του 20% δεν πρέπει να ερμηνευθεί ως απουσία προβλημάτων, αλλά ως ένδειξη ότι η εθνική κλίμακα δεν επαρκεί για την πλήρη αποτύπωση τοπικών και εποχικών πιέσεων.

4.3 Ρόλος της φυσικής διαθεσιμότητας και των ανανεώσιμων υδατικών πόρων

Η ερμηνεία του WEI+ γίνεται πληρέστερη όταν συνδυαστεί με τα δεδομένα για τους ανανεώσιμους υδατικούς πόρους. Η υδατική πίεση δεν εξαρτάται μόνο από τη ζήτηση, αλλά και από το διαθέσιμο φυσικό απόθεμα που ανανεώνεται μέσω του υδρολογικού κύκλου. Δύο χώρες μπορεί να έχουν παρόμοια επίπεδα αφαίρεσης νερού, αλλά πολύ διαφορετικό WEI+, εάν διαφέρουν σημαντικά ως προς τη φυσική διαθεσιμότητα.

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η Κροατία και η Σλοβενία διαθέτουν τις υψηλότερες τιμές ανανεώσιμων υδατικών πόρων ανά κάτοικο. Αυτό συνδέεται με τις πολύ χαμηλές τιμές WEI+ που παρατηρούνται στις δύο χώρες. Αντίθετα, η Κύπρος και η Μάλτα εμφανίζουν εξαιρετικά περιορισμένους ανανεώσιμους υδατικούς πόρους ανά κάτοικο, γεγονός που εξηγεί σε μεγάλο βαθμό γιατί οι τιμές WEI+ είναι τόσο αυξημένες.



Εικόνα 3 Σχέση ανανεώσιμων υδατικών πόρων και μέσης τιμής WEI+.

Η σχέση αυτή είναι σημαντική για την κατανόηση της υδατικής ανθεκτικότητας. Μια χώρα με υψηλή φυσική διαθεσιμότητα έχει μεγαλύτερο περιθώριο προσαρμογής σε περιόδους ξηρασίας ή αυξημένης ζήτησης. Αντίθετα, μια χώρα με περιορισμένους ανανεώσιμους πόρους έχει μικρότερο περιθώριο ασφαλείας και είναι περισσότερο εκτεθειμένη σε διαταραχές. Αυτό δεν σημαίνει ότι η υψηλή φυσική διαθεσιμότητα λύνει αυτόματα τα προβλήματα διαχείρισης, αλλά δημιουργεί διαφορετικές αφετηρίες και διαφορετικά περιθώρια πολιτικής.

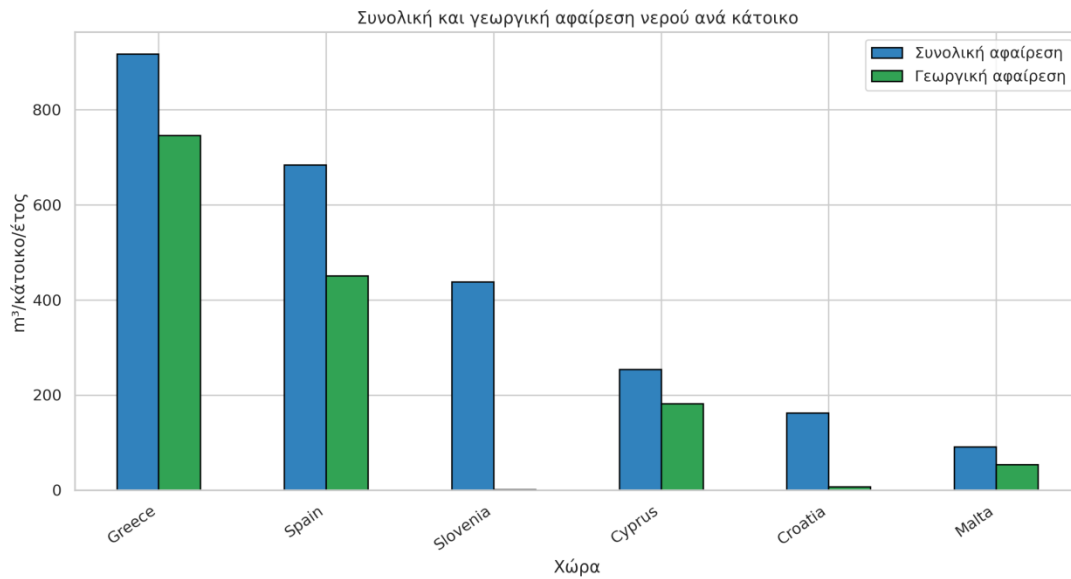
Η περίπτωση της Μάλτας είναι ιδιαίτερα χαρακτηριστική. Η χώρα έχει σχετικά χαμηλή συνολική αφαίρεση νερού ανά κάτοικο, αλλά πολύ υψηλό WEI+ σε σχέση με τις περισσότερες χώρες του δείγματος. Αυτό δείχνει ότι η υδατική πίεση δεν

οφείλεται αποκλειστικά στο ύψος της χρήσης, αλλά κυρίως στη στενότητα της φυσικής βάσης. Αντίστοιχα, η Ελλάδα και η Ισπανία εμφανίζουν υψηλές υδροληψίες ανά κάτοικο, αλλά χαμηλότερο εθνικό WEI+, επειδή η συνολική διαθεσιμότητα σε εθνικό επίπεδο είναι μεγαλύτερη.

Επομένως, η φυσική διαθεσιμότητα πρέπει να εξετάζεται ως βασική παράμετρος υδατικής ανθεκτικότητας. Χώρες με περιορισμένους πόρους χρειάζονται περισσότερο προληπτικές πολιτικές, αυστηρότερη εξοικονόμηση, επαναχρησιμοποίηση νερού, μείωση απωλειών και καλύτερη παρακολούθηση. Χώρες με μεγαλύτερους πόρους δεν απαλλάσσονται από την ανάγκη διαχείρισης, αλλά έχουν διαφορετικό είδος προκλήσεων, κυρίως ως προς την κατανομή της ζήτησης, την ποιότητα και τις τοπικές πιέσεις.

4.4 Τομεακή ζήτηση και γεωργική αφαίρεση νερού

Η ανάλυση της αφαίρεσης νερού δείχνει ότι η ζήτηση δεν είναι ίδια σε όλες τις χώρες ούτε κατανέμεται με τον ίδιο τρόπο μεταξύ των τομέων. Η γεωργία αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους χρήστες νερού στον μεσογειακό χώρο, ιδιαίτερα σε χώρες με εκτεταμένη αρδευόμενη παραγωγή. Αυτό έχει ιδιαίτερη σημασία, επειδή η γεωργική ζήτηση εμφανίζεται συχνά την ίδια περίοδο κατά την οποία η φυσική αναπλήρωση είναι χαμηλή, δηλαδή τους θερινούς μήνες.



Εικόνα 4 Συνολική και γεωργική αφαίρεση νερού ανά κάτοικο.

Στο γράφημα της εικόνας 4 αποτυπώνεται η συνολική και γεωργική αφαίρεση ανά κάτοικο για κάθε χώρα. Η Ελλάδα εμφανίζει την υψηλότερη μέση συνολική αφαίρεση νερού ανά κάτοικο, καθώς και την υψηλότερη γεωργική αφαίρεση. Η Ισπανία ακολουθεί με επίσης αυξημένες τιμές. Το εύρημα αυτό δείχνει ότι, ακόμη και όταν ο εθνικός WEI+ δεν υπερβαίνει το κατώφλι του υδατικού στρες, η τομεακή ζήτηση μπορεί να είναι ιδιαίτερα έντονη. Η γεωργία, λόγω της εποχικότητας και της χωρικής της συγκέντρωσης, μπορεί να δημιουργεί τοπικές πιέσεις που δεν αποτυπώνονται πλήρως σε εθνικούς ετήσιους δείκτες.

Η Κύπρος εμφανίζει μικρότερη αφαίρεση νερού ανά κάτοικο από την Ελλάδα και την Ισπανία, αλλά λόγω περιορισμένων ανανεώσιμων πόρων καταγράφει πολύ υψηλότερο WEI+. Η Μάλτα, από την άλλη πλευρά, εμφανίζει ακόμη χαμηλότερη αφαίρεση, αλλά παραμένει σε καθεστώς υδατικού στρες. Οι περιπτώσεις αυτές δείχνουν ότι η σχέση ζήτησης και διαθεσιμότητας είναι καθοριστική. Δεν αρκεί να εξεταστεί πόσο νερό χρησιμοποιεί μια χώρα· πρέπει να εξεταστεί πόσο νερό έχει διαθέσιμο σε σχέση με τη χρήση αυτή.

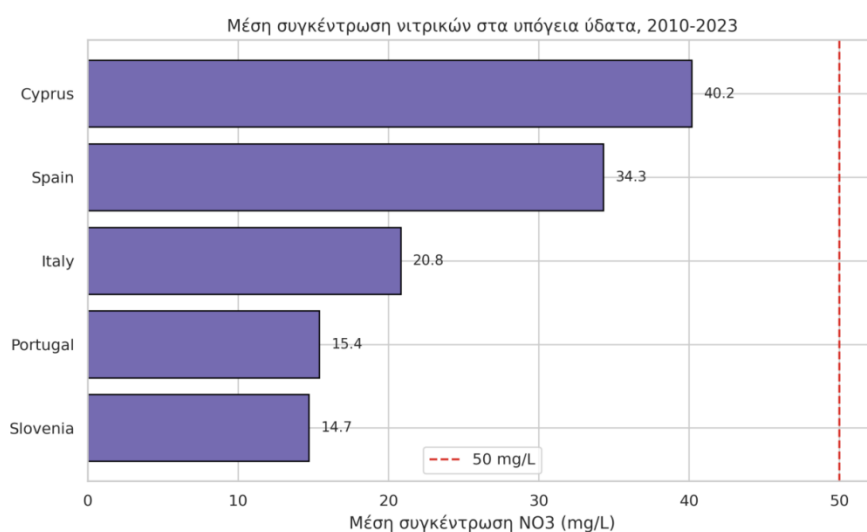
Η Κροατία και η Σλοβενία εμφανίζουν πολύ χαμηλές τιμές γεωργικής αφαίρεσης στο συγκεκριμένο σύνολο δεδομένων. Η εικόνα αυτή συνδέεται με το χαμηλό WEI+ και

τους υψηλούς ανανεώσιμους πόρους, αλλά δεν πρέπει να οδηγήσει σε γενίκευση ότι οι χώρες αυτές δεν αντιμετωπίζουν καθόλου υδατικές προκλήσεις. Τα ζητήματα ποιότητας, οικολογικής κατάστασης ή τοπικών πιέσεων μπορεί να υπάρχουν ακόμη και σε χώρες με χαμηλή συνολική ποσοτική πίεση.

Η τομεακή ανάλυση δείχνει ότι η υδατική ανθεκτικότητα δεν εξαρτάται μόνο από την ποσότητα διαθέσιμου νερού, αλλά και από τη διάρθρωση της ζήτησης. Χώρες με υψηλή γεωργική χρήση χρειάζονται πολιτικές αποδοτικότερης άρδευσης, καλύτερης παρακολούθησης των υδροληψιών, μείωσης απωλειών και προσαρμογής καλλιεργητικών πρακτικών. Η διαχείριση του νερού δεν μπορεί να αποσυνδεθεί από το παραγωγικό πρότυπο κάθε χώρας.

4.5 Ποιότητα υπόγειων υδάτων και νιτρικά

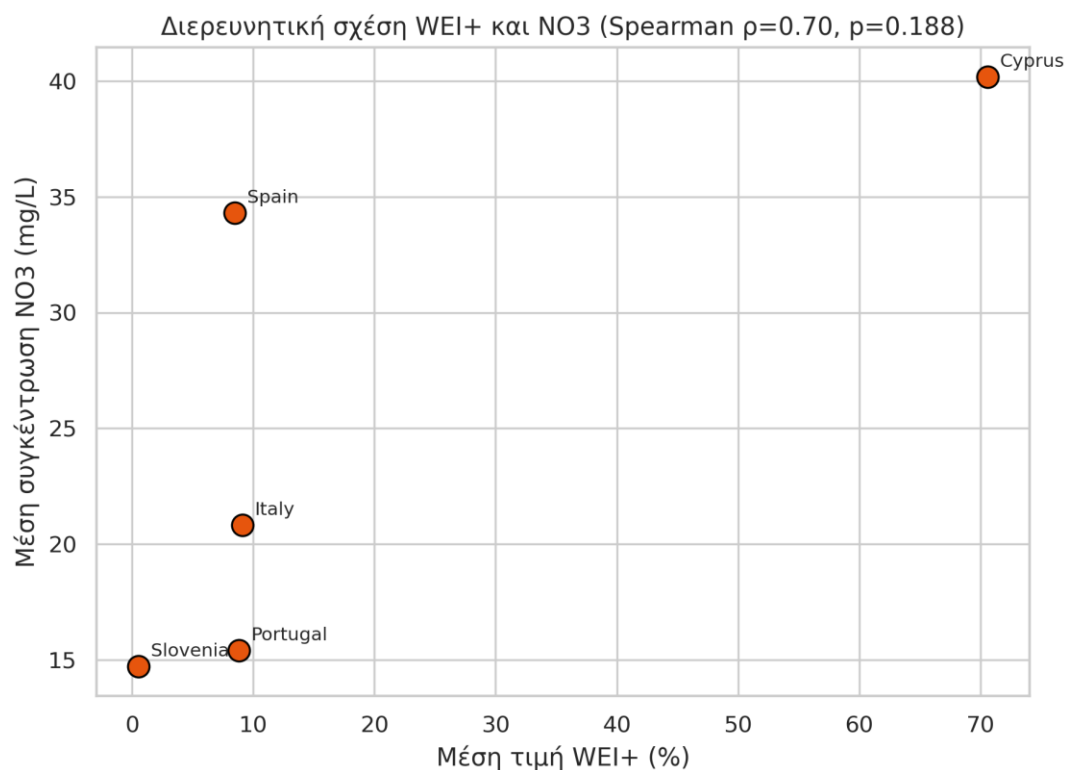
Η ποσοτική πίεση αποτελεί μόνο μία διάσταση της υδατικής κατάστασης. Η ποιότητα των υδάτων είναι εξίσου σημαντική, επειδή καθορίζει αν το διαθέσιμο νερό μπορεί πράγματι να χρησιμοποιηθεί με ασφάλεια και χωρίς πρόσθετο κόστος επεξεργασίας. Στην παρούσα εργασία, η ποιοτική διάσταση εξετάζεται μέσω των νιτρικών στα υπόγεια ύδατα, για τις χώρες όπου υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα.



Εικόνα 5 Μέση συγκέντρωση νιτρικών στα υπόγεια ύδατα.

Τα αποτελέσματα, όπως αποτυπώνονται στο γράφημα της εικόνας 5 που αφορά τη μέση συγκέντρωση νιτρικών στα υπόγεια ύδατα, δείχνουν ότι η Κύπρος και η Ισπανία εμφανίζουν τις υψηλότερες μέσες συγκεντρώσεις νιτρικών μεταξύ των χωρών με διαθέσιμα δεδομένα. Η Κύπρος παρουσιάζει μέση τιμή 40,19 mg/L και μέγιστη τιμή που υπερβαίνει το όριο των 50 mg/L. Η Ισπανία παρουσιάζει επίσης αυξημένη μέση τιμή, 34,31 mg/L, αν και κάτω από το συγκεκριμένο όριο. Οι δύο αυτές περιπτώσεις δείχνουν ότι η ποιοτική πίεση μπορεί να είναι σημαντική ακόμη και όταν η ποσοτική εικόνα διαφέρει.

Η Ιταλία βρίσκεται σε ενδιάμεσο επίπεδο, με μέση τιμή 20,82 mg/L, ενώ η Πορτογαλία και η Σλοβενία εμφανίζουν χαμηλότερες συγκεντρώσεις. Οι διαφοροποιήσεις αυτές συνδέονται πιθανώς με διαφορές στις χρήσεις γης, στη γεωργική ένταση, στην υδρογεωλογία και στην εφαρμογή μέτρων περιορισμού της νιτρορύπανσης. Ωστόσο, η παρούσα εργασία δεν αποδίδει αιτιότητα, καθώς για κάτι τέτοιο θα απαιτούνταν πολύ πιο αναλυτικά δεδομένα σε επίπεδο υδροφορέα ή λεκάνης απορροής.



Εικόνα 6 Διερευνητική σχέση μέσου WEI+ και μέσης συγκέντρωσης νιτρικών.

Η διερευνητική συσχέτιση μεταξύ μέσου WEI+ και μέσης συγκέντρωσης νιτρικών που αποτυπώνεται στο γράφημα της εικόνας 6 είναι θετική, αλλά δεν είναι στατιστικά σημαντική. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχει μια ένδειξη συνύπαρξης υψηλότερης ποσοτικής πίεσης και υψηλότερων συγκεντρώσεων νιτρικών στο μικρό διαθέσιμο δείγμα, όμως το εύρημα δεν επαρκεί για ασφαλές συμπέρασμα. Το μικρό πλήθος χωρών και η ελλιπής κάλυψη για ορισμένες χώρες περιορίζουν τη στατιστική ισχύ.

Η σημασία των νιτρικών πρέπει να ερμηνευθεί στο πλαίσιο της ευρωπαϊκής πολιτικής για τη νιτρορύπανση. Η Οδηγία για τη Νιτρορύπανση στοχεύει στην προστασία των υδάτων από ρύπανση που προκαλείται από γεωργικές πηγές, ενώ η Οδηγία για τα υπόγεια ύδατα ενισχύει την ανάγκη πρόληψης και ελέγχου της υποβάθμισης. Επομένως, τα νιτρικά δεν είναι απλώς ένας χημικός δείκτης, αλλά συνδέονται με συγκεκριμένες πολιτικές, πρακτικές χρήσης γης και μέτρα διαχείρισης.

4.6 Ερμηνεία υπό το πρίσμα της ευρωπαϊκής πολιτικής για τα ύδατα

Τα ευρήματα της εργασίας αποκτούν μεγαλύτερη σημασία όταν ερμηνευθούν μέσα στο ευρωπαϊκό θεσμικό πλαίσιο για τα ύδατα. Η Οδηγία-Πλαίσιο για τα Ύδατα εισήγαγε τη διαχείριση σε επίπεδο λεκάνης απορροής και την ανάγκη επίτευξης καλής κατάστασης των υδάτων. Η προσέγγιση αυτή είναι ιδιαίτερα κρίσιμη για τη Μεσόγειο, όπου οι πιέσεις είναι έντονα χωρικές και εποχικές.

Η παρούσα ανάλυση, αν και πραγματοποιείται σε εθνικό επίπεδο, επιβεβαιώνει την ανάγκη για πιο λεπτομερή διαχείριση. Οι εθνικοί δείκτες είναι χρήσιμοι για διακρατική σύγκριση, αλλά δεν μπορούν να αποτυπώσουν πλήρως τις συνθήκες σε επίπεδο λεκάνης απορροής. Αυτό είναι ιδιαίτερα εμφανές στις μεγάλες χώρες του δείγματος, όπου οι εσωτερικές διαφοροποιήσεις μπορεί να είναι πολύ μεγάλες.

Η περίπτωση της Κύπρου και της Μάλτας δείχνει την ανάγκη για πολιτικές υδατικής ανθεκτικότητας σε χώρες με περιορισμένους φυσικούς πόρους. Τέτοιες πολιτικές περιλαμβάνουν την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υδάτων, τη μείωση απωλειών στα δίκτυα, τη βελτίωση της αποδοτικότητας χρήσης, την προστασία υπόγειων υδροφορέων και τη διαφοροποίηση πηγών παροχής. Οι χώρες αυτές δεν

αντιμετωπίζουν απλώς περιστασιακές πιέσεις, αλλά δομικό περιορισμό στη σχέση ζήτησης και διαθεσιμότητας.

Η περίπτωση της Ελλάδας και της Ισπανίας αναδεικνύει τη σημασία της γεωργικής ζήτησης. Η υψηλή γεωργική αφαίρεση νερού υποδηλώνει ότι η διαχείριση της άρδευσης αποτελεί κρίσιμο πεδίο πολιτικής. Η αποδοτικότερη άρδευση, η επιλογή κατάλληλων καλλιεργειών, η παρακολούθηση υδροληψιών και η μείωση διάχυτης ρύπανσης μπορούν να συμβάλουν τόσο στη μείωση ποσοτικής πίεσης όσο και στη βελτίωση της ποιότητας.

Η ποιοτική διάσταση, όπως αποτυπώνεται μέσω των νιτρικών, συνδέεται άμεσα με τη Οδηγία για τη Νιτρορύπανση και την Οδηγία για τα υπόγεια ύδατα. Η αυξημένη συγκέντρωση νιτρικών σε ορισμένες χώρες δείχνει ότι η προστασία των υπόγειων υδροφορέων παραμένει κρίσιμη. Η διαχείριση της ποιότητας δεν μπορεί να περιοριστεί στην επεξεργασία στο τέλος της αλυσίδας, αλλά απαιτεί πρόληψη στη χρήση λιπασμάτων, έλεγχο γεωργικών πρακτικών και αποτελεσματική εφαρμογή προγραμμάτων μέτρων.

Συνολικά, τα αποτελέσματα συνδέονται με τη σύγχρονη ευρωπαϊκή συζήτηση για την υδατική ανθεκτικότητα. Η ανθεκτικότητα δεν σημαίνει μόνο επάρκεια νερού σε μέσες συνθήκες, αλλά ικανότητα του συστήματος να ανταποκρίνεται σε ξηρασίες, αυξημένη ζήτηση, υποβάθμιση ποιότητας και κλιματική μεταβλητότητα. Η εργασία δείχνει ότι οι χώρες του δείγματος βρίσκονται σε διαφορετικά σημεία αυτής της πρόκλησης, επομένως χρειάζονται διαφοροποιημένες πολιτικές προτεραιότητες.

4.7 Περιορισμοί της στατιστικής ερμηνείας

Η συζήτηση των αποτελεσμάτων πρέπει να συνοδεύεται από σαφή αναγνώριση των περιορισμών. Ο πρώτος περιορισμός αφορά την κλίμακα ανάλυσης. Η εργασία βασίζεται σε δεδομένα εθνικού επιπέδου. Η επιλογή αυτή επιτρέπει τη σύγκριση μεταξύ χωρών, αλλά δεν αποτυπώνει πλήρως τις χωρικές διαφοροποιήσεις στο εσωτερικό κάθε χώρας. Σε χώρες με μεγάλη γεωγραφική ποικιλία, η εθνική μέση τιμή μπορεί να αποκρύπτει περιοχές έντονης πίεσης.

Ο δεύτερος περιορισμός αφορά τη χρονική κλίμακα. Τα δεδομένα εξετάζονται σε ετήσια βάση. Στον μεσογειακό χώρο, όμως, η υδατική πίεση είναι συχνά εποχική. Η ζήτηση αυξάνεται τους θερινούς μήνες, ενώ η φυσική αναπλήρωση είναι χαμηλή. Έτσι, οι ετήσιες τιμές μπορεί να εξομαλύνουν κρίσιμες περιόδους αιχμής.

Ο τρίτος περιορισμός αφορά τα κενά δεδομένων. Δεν υπάρχουν πλήρεις χρονοσειρές για όλες τις χώρες και όλες τις μεταβλητές. Αυτό επηρεάζει κυρίως την ανάλυση των νιτρικών και των ανανεώσιμων υδατικών πόρων. Η απουσία δεδομένων δεν πρέπει να ερμηνεύεται ως απουσία προβλήματος, αλλά ως περιορισμός της διαθέσιμης πληροφορίας.

Ο τέταρτος περιορισμός αφορά τη συγκρισιμότητα. Παρότι τα δεδομένα προέρχονται από ευρωπαϊκές βάσεις, οι μέθοδοι παρακολούθησης, η συχνότητα μετρήσεων και η πληρότητα αναφοράς μπορεί να διαφέρουν μεταξύ χωρών. Αυτό σημαίνει ότι τα αποτελέσματα πρέπει να διαβάζονται με προσοχή, ιδίως όταν συγκρίνονται δείκτες ποιότητας.

Ο πέμπτος περιορισμός αφορά την αιτιότητα. Οι συσχετίσεις που παρουσιάζονται είναι διερευνητικές. Δεν αποδεικνύουν ότι ένας δείκτης προκαλεί μεταβολή σε έναν άλλο. Για την τεκμηρίωση αιτιωδών σχέσεων θα απαιτούνταν διαφορετικός ερευνητικός σχεδιασμός, λεπτομερή χωρικά δεδομένα και πιθανώς υδρολογική ή οικονομετρική μοντελοποίηση.

Παρά τους περιορισμούς αυτούς, η εργασία διατηρεί την αξία της, επειδή παρέχει ένα διαφανές και αναπαραγώγιμο πλαίσιο σύγκρισης. Η δύναμη της ανάλυσης δεν βρίσκεται στην πλήρη εξήγηση όλων των μηχανισμών, αλλά στην οργανωμένη αποτύπωση βασικών διαφοροποιήσεων με βάση ανοιχτά ευρωπαϊκά δεδομένα.

4.8 Συνολική σύνθεση συζήτησης

Η συζήτηση των αποτελεσμάτων δείχνει ότι η υδατική πίεση στη μεσογειακή Ευρώπη δεν μπορεί να περιγραφεί με έναν ενιαίο τρόπο. Η Κύπρος και η Μάλτα αντιμετωπίζουν έντονη και δομική ποσοτική πίεση, η οποία συνδέεται με περιορισμένους ανανεώσιμους υδατικούς πόρους. Η Ελλάδα και η Ισπανία εμφανίζουν διαφορετικό προφίλ, όπου η πρόκληση συνδέεται περισσότερο με την υψηλή συνολική και γεωργική αφαίρεση νερού. Η Κροατία και η Σλοβενία διαθέτουν πολύ μεγαλύτερη φυσική διαθεσιμότητα και χαμηλό WEI+, ενώ η Ιταλία και η Πορτογαλία καταλαμβάνουν ενδιάμεσες θέσεις.

Η ποιότητα των υπόγειων υδάτων, όπως αποτυπώνεται μέσω των νιτρικών, προσθέτει μια σημαντική διάσταση. Η Κύπρος και η Ισπανία εμφανίζουν υψηλότερες συγκεντρώσεις, ενώ η Πορτογαλία και η Σλοβενία χαμηλότερες. Η σχέση μεταξύ ποσοτικής πίεσης και νιτρικών είναι θετική στο διαθέσιμο μικρό δείγμα, αλλά όχι στατιστικά σημαντική. Επομένως, μπορεί να λειτουργήσει μόνο ως ένδειξη για περαιτέρω διερεύνηση.

Σε επίπεδο πολιτικής, τα ευρήματα ενισχύουν την ανάγκη για διαφοροποιημένες στρατηγικές. Δεν υπάρχει μία ενιαία λύση για όλες τις χώρες. Οι νησιωτικές χώρες με περιορισμένους πόρους χρειάζονται πολιτικές εξοικονόμησης, επαναχρησιμοποίησης και προστασίας υδροφορέων. Οι χώρες με υψηλή γεωργική ζήτηση χρειάζονται μέτρα αποδοτικότερης άρδευσης και μείωσης διάχυτης ρύπανσης. Οι χώρες με χαμηλή ποσοτική πίεση χρειάζεται να διατηρήσουν την ποιότητα και την οικολογική λειτουργία των υδατικών τους συστημάτων.

Η συνολική ερμηνεία οδηγεί σε ένα βασικό συμπέρασμα: η υδατική ανθεκτικότητα στη Μεσόγειο απαιτεί συνδυασμένη ανάγνωση ποσότητας, ποιότητας, ζήτησης και φυσικής διαθεσιμότητας. Η χρήση ανοιχτών ευρωπαϊκών δεδομένων προσφέρει μια αξιόπιστη βάση για αυτή τη σύγκριση, αρκεί τα αποτελέσματα να ερμηνεύονται με επίγνωση των περιορισμών τους.

Κεφάλαιο 5^ο Συμπεράσματα, Περιορισμοί και Προτάσεις

5.1 Εισαγωγικές παρατηρήσεις

Το παρόν κεφάλαιο συνοψίζει τα βασικά συμπεράσματα της εργασίας και απαντά στα ερευνητικά ερωτήματα που τέθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια. Η εργασία είχε ως στόχο να διερευνήσει, με βάση ανοιχτά ευρωπαϊκά δεδομένα, την ποιότητα και τη διαχείριση υδατικών πόρων σε επιλεγμένες μεσογειακές χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Η ανάλυση επικεντρώθηκε κυρίως στον δείκτη WEI+, στα νιτρικά υπόγειων υδάτων, στην αφαίρεση νερού και στους ανανεώσιμους υδατικούς πόρους (Eurostat, 2024a; Eurostat, 2024b; Eurostat, 2024c; Eurostat, 2024d).

Η βασική λογική της εργασίας ήταν ότι η υδατική κατάσταση μιας χώρας δεν μπορεί να αποτιμηθεί από έναν μόνο δείκτη. Η ποσοτική πίεση, η φυσική διαθεσιμότητα, η ζήτηση ανά τομέα και η ποιότητα των υδάτων αποτελούν αλληλένδετες διαστάσεις (Casadei et al., 2020; Savenije et al., 2014). Για τον λόγο αυτό, η εργασία χρησιμοποίησε έναν συνδυασμό δεικτών, ώστε να παραχθεί μια πιο ολοκληρωμένη, αλλά ταυτόχρονα προσεκτική, εικόνα των διαφορών μεταξύ χωρών.

Τα συμπεράσματα που ακολουθούν δεν πρέπει να ερμηνευθούν ως πλήρης υδρολογική διάγνωση για κάθε χώρα. Αποτελούν συγκριτική στατιστική αποτύπωση σε εθνικό επίπεδο, με βάση τα διαθέσιμα δεδομένα. Η αξία της εργασίας βρίσκεται στη διαφάνεια της μεθόδου, στη χρήση θεσμικών ευρωπαϊκών πηγών και στη δυνατότητα αναπαραγωγής της ανάλυσης.

5.2 Απαντήσεις στα ερευνητικά ερωτήματα

EE1. Πώς διαφοροποιούνται οι μεσογειακές χώρες της ΕΕ ως προς την ένταση εκμετάλλευσης υδατικών πόρων, όπως αποτυπώνεται από τον WEI+;

Η ανάλυση του WEI+ έδειξε ότι οι χώρες του δείγματος διαφοροποιούνται έντονα ως προς την ποσοτική υδατική πίεση. Η Κύπρος αποτελεί τη σαφέστερη περίπτωση σοβαρής υδατικής σπανιότητας, καθώς η μέση τιμή WEI+ ανέρχεται σε 70,58% και παραμένει σε όλη την περίοδο πάνω από το όριο του 40%. Η Μάλτα εμφανίζει επίσης σημαντική πίεση, με μέση τιμή 32,84%, δηλαδή πάνω από το όριο του υδατικού στρες, ενώ σε τουλάχιστον ένα έτος υπερβαίνει το όριο της σοβαρής υδατικής σπανιότητας.

Η Ελλάδα, η Ιταλία, η Πορτογαλία και η Ισπανία παραμένουν κάτω από το όριο του 20% σε εθνικό ετήσιο επίπεδο. Ωστόσο, αυτό δεν σημαίνει ότι απουσιάζουν τοπικές ή εποχικές πιέσεις. Ιδίως σε χώρες με έντονη γεωγραφική διαφοροποίηση, ο εθνικός μέσος όρος μπορεί να αποκρύπτει περιοχές με υψηλή πίεση. Η Κροατία και η Σλοβενία εμφανίζουν τις χαμηλότερες τιμές WEI+ και, επομένως, πολύ περιορισμένη ποσοτική πίεση σε εθνική κλίμακα.

EE2. Ποια εικόνα προκύπτει για τις ίδιες χώρες ως προς δείκτες ποιότητας, με έμφαση στα νιτρικά υπόγειων υδάτων;

Η ανάλυση των νιτρικών στα υπόγεια ύδατα περιορίστηκε στις χώρες για τις οποίες υπήρχαν διαθέσιμα δεδομένα για την περίοδο 2010-2023. Η Κύπρος εμφάνισε τη μεγαλύτερη μέση συγκέντρωση, με 40,19 mg/L, και μέγιστη τιμή 71,19 mg/L. Η Ισπανία παρουσίασε επίσης αυξημένη μέση τιμή, 34,31 mg/L. Η Ιταλία, η Πορτογαλία και η Σλοβενία κατέγραψαν χαμηλότερες μέσες συγκεντρώσεις.

Το βασικό συμπέρασμα είναι ότι η ποιοτική πίεση δεν ακολουθεί απαραίτητα με απλό και άμεσο τρόπο την ποσοτική πίεση. Η Κύπρος εμφανίζει ταυτόχρονα υψηλό WEI+ και υψηλά νιτρικά, αλλά η Ισπανία εμφανίζει σχετικά χαμηλότερο εθνικό WEI+ και αυξημένες συγκεντρώσεις νιτρικών. Αυτό δείχνει ότι η ποιότητα των υπόγειων υδάτων επηρεάζεται από πρόσθετους παράγοντες, όπως η γεωργική δραστηριότητα, οι χρήσεις γης και η υδρογεωλογική ευπάθεια.

EE3. Υπάρχουν στατιστικές σχέσεις μεταξύ υδατικής πίεσης και δεικτών ποιότητας;

Η διερευνητική συσχέτιση μεταξύ μέσου WEI+ και μέσης συγκέντρωσης νιτρικών στα υπόγεια ύδατα έδωσε θετικό συντελεστή Spearmanrho = 0,70, αλλά η σχέση δεν

ήταν στατιστικά σημαντική, καθώς το p -value ήταν 0,188. Το αποτέλεσμα αυτό υποδηλώνει πιθανή θετική σχέση, αλλά δεν επιτρέπει ασφαλές συμπέρασμα.

Το μικρό πλήθος χωρών, η ελλιπής κάλυψη δεδομένων και η σύνθετη φύση των περιβαλλοντικών μηχανισμών περιορίζουν την ερμηνεία. Επομένως, η εργασία δεν αποδεικνύει ότι η ποσοτική πίεση προκαλεί αύξηση των νιτρικών. Δείχνει μόνο ότι στο διαθέσιμο δείγμα υπάρχει μια θετική, αλλά μη στατιστικά σημαντική, ένδειξη που θα μπορούσε να διερευνηθεί περαιτέρω με λεπτομερέστερα δεδομένα.

EE4. Ποιες χώρες συγκροτούν κοινά προφίλ ως προς υδατική πίεση, διαθέσιμους πόρους και ποιότητα;

Με βάση τα αποτελέσματα, μπορούν να διακριθούν ορισμένα ενδεικτικά προφίλ χωρών. Η Κύπρος και η Μάλτα συγκροτούν την ομάδα των χωρών με υψηλή ποσοτική πίεση και περιορισμένους ανανεώσιμους υδατικούς πόρους. Η Κύπρος εμφανίζει επιπλέον αυξημένες συγκεντρώσεις νιτρικών, ενώ για τη Μάλτα δεν υπήρχαν διαθέσιμα δεδομένα νιτρικών στο συγκεκριμένο dataset.

Η Ελλάδα και η Ισπανία συγκροτούν μια ομάδα χωρών με υψηλή συνολική και γεωργική αφαίρεση νερού ανά κάτοικο. Η εθνική τιμή του WEI+ παραμένει κάτω από το όριο του υδατικού στρες, αλλά η ένταση της γεωργικής ζήτησης δείχνει ότι οι πιέσεις μπορεί να είναι σημαντικές σε συγκεκριμένες περιοχές ή περιόδους.

Η Κροατία και η Σλοβενία αποτελούν χώρες με πολύ χαμηλό WEI+ και υψηλούς ανανεώσιμους υδατικούς πόρους ανά κάτοικο. Η Ιταλία και η Πορτογαλία κινούνται σε ενδιάμεσες θέσεις, με χαμηλότερη εθνική ποσοτική πίεση και διαφοροποιημένα χαρακτηριστικά ως προς τα διαθέσιμα δεδομένα ποιότητας και πόρων.

EE5. Πώς ερμηνεύονται τα ευρήματα στο πλαίσιο της ευρωπαϊκής πολιτικής για τα ύδατα και της βιώσιμης ανάπτυξης;

Τα ευρήματα επιβεβαιώνουν τη σημασία του ευρωπαϊκού θεσμικού πλαισίου για τα ύδατα. Η Οδηγία-Πλαίσιο για τα Ύδατα, η Νιτρική Οδηγία και η Οδηγία για τα υπόγεια ύδατα παρέχουν το πλαίσιο μέσα στο οποίο πρέπει να ερμηνευθούν οι ποσοτικές και ποιοτικές πιέσεις. Η ανάλυση δείχνει ότι η διαχείριση του νερού πρέπει

να γίνεται σε επίπεδο λεκάνης απορροής και όχι μόνο σε εθνικό επίπεδο, καθώς οι εθνικοί μέσοι όροι μπορεί να αποκρύπτουν κρίσιμες τοπικές πιέσεις.

Η εργασία συνδέεται επίσης με την έννοια της υδατικής ανθεκτικότητας. Η ανθεκτικότητα δεν αφορά μόνο την ύπαρξη επαρκούς νερού σε μέσες συνθήκες, αλλά και την ικανότητα των συστημάτων να αντιμετωπίζουν ξηρασίες, εποχικές αιχμές ζήτησης, υποβάθμιση ποιότητας και κλιματική μεταβλητότητα. Οι χώρες του δείγματος χρειάζονται διαφορετικές πολιτικές προτεραιότητες, ανάλογα με το προφίλ πίεσης και διαθεσιμότητας που εμφανίζουν.

5.3 Συνοπτικός πίνακας βασικών εμπειρικών ευρημάτων

Ο παρακάτω πίνακας συνοψίζει τα βασικά εμπειρικά ευρήματα της ανάλυσης ανά χώρα. Δεν έχει ως στόχο να αποδώσει πλήρη αξιολόγηση κάθε εθνικού συστήματος διαχείρισης, αλλά να συγκεντρώσει τα κυριότερα στοιχεία που προέκυψαν από τους δείκτες που εξετάστηκαν.

Πίνακας 7 Συνοπτικά εμπειρικά ευρήματα ανά χώρα

Χώρα	WEI+ Κατηγορία (μέσο 2010-2023)	Νιτρικά υπόγ. (mg/L μέση τιμή)	Αφαίρεση νερού (m ³ /κ/έτος)	Ανανεώσιμοι πόροι (m ³ /κ/έτος)	Κόρια ερμηνευτική παρατήρηση
Κύπρος	Σοβαρή σπανιότητα (70,6%)	40,2	253,8	335	Μόνιμα υψηλή πίεση, πολύ περιορισμένοι πόροι, αυξημένα νιτρικά
Μάλτα	Υδατικό στρες (32,8%)	Δεν διαθέσιμα	91,7	154	Σταθερό stress, χαμηλότεροι πόροι ανά κάτοικο στο δείγμα
Ελλάδα	Κάτω από 20% (11,5%)	—	917,1	Μη διαθέσιμο	Υψηλή γεωργική αφαίρεση, εθνικό WEI+ κάτω από κατώφλι

Ιταλία	Κάτω από 20% (9,1%)	20,8	—	Μη διαθέσιμο	Μέτρια πίεση, μέτρια νιτρικά
Πορτογαλία	Κάτω από 20% (8,8%)	15,4	—	3.353 (5 έτη)	Χαμηλά νιτρικά, μερική κάλυψη πόρων
Ισπανία	Κάτω από 20% (8,5%)	34,3	684,2	2.095	Υψηλή γεωργική αφαίρεση, υψηλά νιτρικά
Σλοβενία	Πολύ χαμηλό (0,6%)	14,7	438,4	15.407	Χαμηλή πίεση, πλούσιοι πόροι, χαμηλά νιτρικά
Κροατία	Πολύ χαμηλό (0,2%)	Δεν διαθέσιμα	162,3	26.735	Χαμηλότερη πίεση, μεγαλύτεροι πόροι ανά κάτοικο στο δείγμα

Πηγή: Eurostat datasets sdg_06_60, sdg_06_40, env_wat_absκαιenv_wat_res.

Ο Πίνακας 7 επιβεβαιώνει ότι οι χώρες δεν μπορούν να ταξινομηθούν απλοϊκά ως «πιεσμένες» ή «μη πιεσμένες». Η Κύπρος και η Μάλτα παρουσιάζουν καθαρά ποσοτική πίεση λόγω περιορισμένων πόρων. Η Ελλάδα και η Ισπανία εμφανίζουν υψηλή ζήτηση, κυρίως γεωργική. Η Κροατία και η Σλοβενία διαθέτουν σημαντικά μεγαλύτερο υδατικό περιθώριο. Η Ιταλία και η Πορτογαλία βρίσκονται σε ενδιάμεσες θέσεις, με διαφορετικούς περιορισμούς δεδομένων.

Η εικόνα αυτή υπογραμμίζει τη σημασία της πολυπαραμετρικής ανάλυσης. Αν η εργασία βασιζόταν μόνο στον WEI+, θα αναδείκνυε κυρίως την Κύπρο και τη Μάλτα. Αν βασιζόταν μόνο στην αφαίρεση νερού, θα έδινε μεγαλύτερη έμφαση στην Ελλάδα και την Ισπανία. Αν βασιζόταν μόνο στα νιτρικά, θα έδινε διαφορετική εικόνα, επικεντρωμένη σε χώρες με διαθέσιμα δεδομένα ποιότητας. Ο συνδυασμός των δεικτών οδηγεί σε πιο ισορροπημένη ερμηνεία.

5.4 Μεθοδολογικοί περιορισμοί και παραδοχές

Η παρούσα εργασία βασίζεται σε ανοιχτά ευρωπαϊκά δεδομένα και ακολουθεί διαφανή μεθοδολογική προσέγγιση. Παρόλα αυτά, τα συμπεράσματα πρέπει να ερμηνευθούν υπό συγκεκριμένους περιορισμούς.

Πρώτον, το δείγμα περιλαμβάνει οκτώ χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης με μεσογειακή ή παράκτια συνάφεια. Το δείγμα αυτό είναι κατάλληλο για συγκριτική ανάλυση, αλλά παραμένει μικρό για πιο σύνθετες στατιστικές μεθόδους. Ιδίως στις συσχετίσεις, το διαθέσιμο πλήθος χωρών μειώνεται ακόμη περισσότερο λόγω κενών δεδομένων.

Δεύτερον, η ανάλυση πραγματοποιείται σε εθνικό επίπεδο. Αυτό είναι χρήσιμο για τη διακρατική σύγκριση, αλλά δεν αποτυπώνει τη χωρική ανομοιογένεια στο εσωτερικό κάθε χώρας. Σε χώρες όπως η Ελλάδα, η Ισπανία και η Ιταλία, οι υδατικές πιέσεις μπορεί να διαφέρουν σημαντικά μεταξύ περιφερειών, λεκανών απορροής, νησιών και παράκτιων ζωνών.

Τρίτον, τα δεδομένα είναι ετήσια. Η ετήσια κλίμακα εξομαλύνει εποχικές διακυμάνσεις που είναι κρίσιμες για τη Μεσόγειο. Η θερινή αύξηση της ζήτησης, λόγω άρδευσης και τουρισμού, συμπίπτει συχνά με χαμηλότερη φυσική αναπλήρωση. Επομένως, οι ετήσιες τιμές μπορεί να υποεκτιμούν πιέσεις που εμφανίζονται σε συγκεκριμένους μήνες.

Τέταρτον, υπάρχουν κενά δεδομένων. Για ορισμένες χώρες δεν υπάρχουν διαθέσιμες τιμές για όλες τις μεταβλητές. Αυτό επηρεάζει κυρίως την ανάλυση των νιτρικών και των ανανεώσιμων υδατικών πόρων. Η απουσία δεδομένων δεν πρέπει να μεταφράζεται σε απουσία περιβαλλοντικής πίεσης.

Πέμπτον, υπάρχουν πιθανές διαφορές μεθοδολογίας και παρακολούθησης μεταξύ χωρών. Παρότι οι βάσεις δεδομένων της Eurostat και του ΕΕΑ προσφέρουν συγκρίσιμα δεδομένα, οι εθνικές διαδικασίες συλλογής, δειγματοληψίας και αναφοράς μπορεί να διαφέρουν. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα για τους δείκτες ποιότητας.

Έκτον, η παρούσα εργασία δεν αποδεικνύει αιτιώδεις σχέσεις. Οι συσχετίσεις είναι διερευνητικές και λειτουργούν ως ενδείξεις. Για την απόδειξη αιτιότητας θα απαιτούνταν λεπτομερέστερα δεδομένα σε επίπεδο λεκάνης απορροής, υδροφορέα ή υδατικού σώματος, καθώς και πιο σύνθετη μοντελοποίηση.

Έβδομον, η εργασία εξετάζει συγκεκριμένους δείκτες και όχι το σύνολο των πιθανών παραμέτρων ποιότητας και διαχείρισης υδάτων. Δεν αναλύονται, για παράδειγμα, φωσφορικά, οργανικό φορτίο, μικρορύποι, οικολογική κατάσταση επιφανειακών υδάτων ή υδρομορφολογικές αλλοιώσεις. Η επιλογή των δεικτών έγινε με βάση τη διαθεσιμότητα, τη συγκρισιμότητα και τη συνάφεια με τα ερευνητικά ερωτήματα.

Παρά τους περιορισμούς, η εργασία προσφέρει ένα τεκμηριωμένο και αναπαραγώγιμο πλαίσιο σύγκρισης. Οι περιορισμοί δεν αναιρούν την αξία των ευρημάτων, αλλά καθορίζουν τα όρια μέσα στα οποία αυτά πρέπει να ερμηνευθούν.

5.5 Κατευθύνσεις διαχείρισης και πολιτικής

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης οδηγούν σε ορισμένες βασικές κατευθύνσεις διαχείρισης και πολιτικής. Οι κατευθύνσεις αυτές δεν πρέπει να θεωρηθούν ενιαίες συνταγές για όλες τις χώρες, αλλά προσανατολισμοί που σχετίζονται με τα διαφορετικά προφίλ πίεσης που αναδείχθηκαν.

Για χώρες με λειψυδρία, όπως η Κύπρος και η Μάλτα, προτεραιότητα αποτελεί η μείωση της πίεσης στη διαθέσιμη υδατική βάση. Αυτό περιλαμβάνει την αποδοτικότερη χρήση νερού, τη μείωση απωλειών στα δίκτυα, την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υδάτων, την προστασία υπόγειων υδροφορέων και την ανάπτυξη σχεδίων διαχείρισης ξηρασίας. Σε τέτοιες περιπτώσεις, η υδατική ανθεκτικότητα δεν μπορεί να βασιστεί μόνο στην αύξηση της προσφοράς, αλλά απαιτεί και συγκράτηση της ζήτησης.

Για χώρες με υψηλή γεωργική ζήτηση, όπως η Ελλάδα και η Ισπανία, προτεραιότητα αποτελεί η αποδοτικότερη άρδευση και η καλύτερη διαχείριση των γεωργικών υδροληψιών. Η γεωργία είναι καθοριστικός παράγοντας υδατικής πίεσης και

συνδέεται επίσης με ποιοτικές επιβαρύνσεις, όπως τα νιτρικά. Επομένως, απαιτούνται μέτρα εξοικονόμησης, βελτίωσης των αρδευτικών συστημάτων, ορθολογικής λίπανσης και παρακολούθησης της εφαρμογής μέτρων.

Για χώρες με χαμηλή ποσοτική πίεση και υψηλή φυσική διαθεσιμότητα, όπως η Κροατία και η Σλοβενία, η πολιτική δεν πρέπει να περιορίζεται στην ποσότητα. Η διατήρηση καλής ποιότητας, η προστασία οικοσυστημάτων και η πρόληψη υποβάθμισης παραμένουν κρίσιμες. Η χαμηλή τιμή του WEI+ δεν σημαίνει ότι η διαχείριση είναι άνευ σημασίας.

Σε ευρωπαϊκό επίπεδο, η εργασία υποστηρίζει την ανάγκη για καλύτερη ανάλυση σε επίπεδο λεκάνης απορροής. Η Οδηγία-Πλαίσιο για τα Ύδατα βασίζεται ακριβώς σε αυτή τη λογική. Τα εθνικά δεδομένα είναι χρήσιμα για σύγκριση, αλλά η πραγματική διαχείριση πρέπει να γίνεται σε χωρική κλίμακα που αντιστοιχεί στη λειτουργία των υδατικών συστημάτων.

Τέλος, τα ευρήματα συνδέονται με την έννοια της υδατικής κλιματικής ανθεκτικότητας. Η Μεσόγειος αναμένεται να αντιμετωπίσει εντονότερες πιέσεις λόγω κλιματικής μεταβλητότητας, ξηρασιών και αυξημένης ζήτησης. Επομένως, η πολιτική για το νερό πρέπει να κινηθεί από τη διαχείριση της μέσης κατάστασης προς τη διαχείριση κινδύνου, αβεβαιότητας και ανθεκτικότητας.

5.6 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Με βάση τα αποτελέσματα και τους περιορισμούς της παρούσας εργασίας, προκύπτουν ορισμένες κατευθύνσεις για μελλοντική έρευνα.

Πρώτον, η ανάλυση θα μπορούσε να επεκταθεί σε επίπεδο λεκάνης απορροής. Μια τέτοια προσέγγιση θα επέτρεπε ακριβέστερη αποτύπωση των τοπικών πιέσεων, των υδρολογικών διαφορών και της πραγματικής σχέσης μεταξύ ζήτησης, διαθεσιμότητας και ποιότητας. Ιδίως για χώρες με μεγάλη γεωγραφική διαφοροποίηση, η ανάλυση σε επίπεδο χώρας δεν επαρκεί.

Δεύτερον, θα ήταν χρήσιμη η ενσωμάτωση εποχικών ή τριμηνιαίων δεδομένων. Η Μεσόγειος χαρακτηρίζεται από έντονη εποχικότητα, επομένως η χρήση ετήσιων μέσων τιμών μπορεί να αποκρύπτει κρίσιμες περιόδους πίεσης. Η ανάλυση κατά μήνα ή εποχή θα προσέφερε πιο ρεαλιστική εικόνα.

Τρίτον, η μελλοντική έρευνα μπορεί να ενσωματώσει περισσότερους δείκτες ποιότητας. Τα νιτρικά αποτελούν σημαντικό δείκτη, αλλά δεν επαρκούν για πλήρη αποτύπωση της χημικής ή οικολογικής κατάστασης. Πρόσθετες παράμετροι, όπως φωσφορικά, οργανικό φορτίο, μικρορύποι ή οικολογική κατάσταση, θα μπορούσαν να δώσουν πιο ολοκληρωμένη εικόνα.

Τέταρτον, θα ήταν σημαντική η σύνδεση των δεικτών με κλιματικά σενάρια. Η υδατική πίεση αναμένεται να επηρεαστεί από αλλαγές στη θερμοκρασία, στις βροχοπτώσεις, στην εξατμισοδιαπνοή και στη συχνότητα ξηρασιών. Η ένταξη κλιματικών δεδομένων θα ενίσχυε τη διάσταση της κλιματικής ανθεκτικότητας.

Πέμπτον, θα μπορούσε να εξεταστεί η αποτελεσματικότητα πολιτικών μέτρων. Η σύγκριση χωρών ή λεκανών με παρόμοιες φυσικές συνθήκες αλλά διαφορετικές πολιτικές διαχείρισης θα μπορούσε να δείξει ποιες παρεμβάσεις συμβάλλουν περισσότερο στη μείωση της υδατικής πίεσης και στη βελτίωση της ποιότητας.

5.7 Τελικό συμπέρασμα

Η παρούσα διπλωματική εργασία πέτυχε τον βασικό της στόχο δηλαδή να δημιουργήσει ένα αναπαραγώγιμο και τεκμηριωμένο πλαίσιο σύγκρισης της υδατικής πίεσης και ορισμένων διαθέσιμων ποιοτικών ενδείξεων σε επιλεγμένες μεσογειακές χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Η εργασία στηρίχθηκε σε ανοιχτά ευρωπαϊκά δεδομένα και αξιοποίησε δείκτες που επιτρέπουν συγκρίσεις μεταξύ χωρών.

Το κεντρικό εμπειρικό συμπέρασμα είναι ότι η μεσογειακή Ευρώπη δεν αποτελεί ενιαία κατηγορία ως προς την υδατική πίεση. Η Κύπρος και η Μάλτα αντιμετωπίζουν υψηλή και δομική ποσοτική πίεση, κυρίως λόγω περιορισμένων ανανεώσιμων πόρων. Η Ελλάδα και η Ισπανία εμφανίζουν υψηλή συνολική και γεωργική αφαίρεση νερού,

γεγονός που δείχνει διαφορετικό είδος πρόκλησης. Η Κροατία και η Σλοβενία έχουν πολύ χαμηλή ποσοτική πίεση και υψηλούς ανανεώσιμους πόρους, ενώ η Ιταλία και η Πορτογαλία κινούνται σε ενδιάμεσες θέσεις.

Το κεντρικό μεθοδολογικό συμπέρασμα είναι ότι η αξιολόγηση της υδατικής κατάστασης χρειάζεται συνδυασμό δεικτών. Ο WEI+ είναι απαραίτητος για την αποτύπωση της ποσοτικής πίεσης, αλλά δεν αρκεί από μόνος του. Τα νιτρικά, η αφαίρεση νερού και οι ανανεώσιμοι πόροι προσθέτουν κρίσιμες διαστάσεις. Μόνο μέσα από τον συνδυασμό αυτών των μεταβλητών μπορεί να προκύψει πιο ισορροπημένη εικόνα.

Η εργασία δεν αποδεικνύει αιτιώδεις σχέσεις και δεν αντικαθιστά λεπτομερή υδρολογική ή περιβαλλοντική ανάλυση σε επίπεδο λεκάνης απορροής. Προσφέρει όμως μια σαφή, τεκμηριωμένη και αναπαραγώγιμη βάση για τη σύγκριση χωρών και για τη συζήτηση πολιτικών υδατικής ανθεκτικότητας.

Σε τελική ανάλυση, η διαχείριση των υδατικών πόρων στη Μεσόγειο δεν μπορεί να περιοριστεί στην απλή παρακολούθηση της ποσότητας του νερού. Απαιτεί ολοκληρωμένη θεώρηση της ζήτησης, της διαθεσιμότητας, της ποιότητας, της εποχικότητας και της κλιματικής αβεβαιότητας. Η παρούσα εργασία συμβάλλει προς αυτή την κατεύθυνση, μετατρέποντας ένα σύνθετο περιβαλλοντικό ζήτημα σε μετρήσιμο και συγκρίσιμο ερευνητικό αντικείμενο.

Βιβλιογραφία

- Abbaspour, K. C., Rouholahnejad, E., Vaghefi, S. A., Srinivasan, R., Yang, H., & Kløve, B. (2015). A continental-scale hydrology and water quality model for Europe: Calibration and uncertainty of a high-resolution large-scale SWAT model. *Journal of Hydrology*, 524, 733-752.
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.03.027>
- Casadei, S., Peppoloni, F., & Pierleoni, A. (2020). A new approach to calculate the Water Exploitation Index (WEI+). *Water*, 12(11), 3227.
<https://doi.org/10.3390/w12113227>
- Council of the European Communities. (1991). Council Directive 91/676/EEC of 12 December 1991 concerning the protection of waters against pollution caused by nitrates from agricultural sources. *Official Journal of the European Communities*, L 375, 1-8.
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:31991L0676>
- Daccache, A., Ciurana, J. S., Rodriguez Diaz, J. A., & Knox, J. W. (2014). Water and energy footprint of irrigated agriculture in the Mediterranean region. *Environmental Research Letters*, 9(12), 124014.
<https://doi.org/10.1088/1748-9326/9/12/124014>
- de Roo, A., Trichakis, I., Bisselink, B., Gelati, E., Pistocchi, A., & Gawlik, B. M. (2021). The Water-Energy-Food-Ecosystem Nexus in the Mediterranean: Current issues and future challenges. *Frontiers in Climate*, 3, 782553.
<https://doi.org/10.3389/fclim.2021.782553>
- European Commission. (2000). Common implementation strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC). Directorate-General for Environment.
https://ec.europa.eu/environment/water/water-framework/objectives/index_en.htm
- European Commission. (2019). The European Green Deal. COM(2019) 640 final.
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52019DC0640>
- European Commission. (2024). Copernicus Marine Service.
<https://marine.copernicus.eu>
- European Commission. (2025). Report from the Commission to the European Parliament and the Council on the implementation of the Water Framework

- Directive and the Floods Directive. European Commission.
https://environment.ec.europa.eu/topics/water/water-framework-directive_en
- European Environment Agency. (2021). Water resources across Europe: Confronting water stress, an updated assessment (EEA Report No. 12/2021). European Environment Agency.
<https://www.eea.europa.eu/publications/water-resources-across-europe-confronting>
 - European Environment Agency. (2024a). Europe's state of water 2024: The need for improved water resilience (EEA Report No. 07/2024). European Environment Agency.
<https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/europes-state-of-water-2024>
 - European Environment Agency. (2024b). Water Exploitation Index plus (WEI+). European Environment Agency.
<https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/water-exploitation-index-plus>
 - European Environment Agency. (2024c). Waterbase: Water Quality ICM. European Environment Agency.
<https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/waterbase-water-quality-icm-2>
 - European Environment Agency. (2024d). WISE: Water Information System for Europe. <https://water.europa.eu>
 - European Environment Agency. (2025a). Ecological status of surface waters in Europe. European Environment Agency.
<https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/ecological-status-of-surface-waters>
 - European Environment Agency. (2025b). Nitrate in groundwater in Europe. European Environment Agency.
<https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/nitrate-in-groundwater-8th-eap>
 - European Parliament and Council. (2000). Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. Official Journal of the European Communities, L 327, 1-73.
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32000L0060>
 - European Parliament and Council. (2006). Directive 2006/118/EC of the European Parliament and of the Council of 12 December 2006 on the protection of groundwater against pollution and deterioration. Official Journal of the

European Union, L 372, 19-31.

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32006L0118>

- Eurostat. (2024a). Annual freshwater abstraction by source and sector [Dataset: env_wat_abs]. European Commission. Retrieved June 4, 2026, https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/env_wat_abs/default/table
- Eurostat. (2024b). Freshwater resources [Dataset: env_wat_res]. European Commission. Retrieved June 4, 2026, https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/env_wat_res/default/table
- Eurostat. (2024c). Nitrate in groundwater [Dataset: sdg_06_40]. European Commission. Retrieved June 4, 2026, https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/sdg_06_40/default/table
- Eurostat. (2024d). Water exploitation index plus (WEI+) [Dataset: sdg_06_60]. European Commission. Retrieved June 4, 2026, https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/sdg_06_60/default/table
- Fader, M., Shi, S., von Bloh, W., Bondeau, A., & Cramer, W. (2016). Mediterranean irrigation under climate change: More efficient irrigation needed to compensate for increases in irrigation water requirements. *Hydrology and Earth System Sciences*, 20, 953-973. <https://doi.org/10.5194/hess-20-953-2016>
- Global Water Partnership Technical Committee. (2000). Integrated water resources management (TAC Background Paper No. 4). Global Water Partnership. <https://www.gwp.org/globalassets/global/toolbox/publications/background-papers/04-integrated-water-resources-management-2000-english.pdf>
- Hoerling, M. P., Eischeid, J., Perlwitz, J., Quan, X. W., Zhang, T., & Pegion, P. (2012). On the increased frequency of Mediterranean drought. *Journal of Climate*, 25(6), 2146-2161. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-11-00296.1>
- Iglesias, A., Mougou, R., Moneo, M., & Quiroga, S. (2011). Towards adaptation of agriculture to climate change in the Mediterranean. *Regional Environmental Change*, 11, 159-166. <https://doi.org/10.1007/s10113-010-0187-4>
- Katusiime, J., & Schütt, B. (2020). Integrated water resources management approaches to improve water resources governance. *Water*, 12(12), 3424. <https://doi.org/10.3390/w12123424>

- Lange, M. A. (2019). Impacts of climate change on the Eastern Mediterranean and the Middle East and North Africa region and the water-energy nexus. *Atmosphere*, 10(8), 455. <https://doi.org/10.3390/atmos10080455>
- Lelieveld, J., Hadjinicolaou, P., Kostopoulou, E., Chenoweth, J., El Maayar, M., Giannakopoulos, C., Hannides, C. C. S., Lange, M. A., Tanarhte, M., Tyrllis, E., & Xoplaki, E. (2012). Climate change and impacts in the Eastern Mediterranean and the Middle East. *Climatic Change*, 114, 667-687. <https://doi.org/10.1007/s10584-012-0418-4>
- Markantonis, V., Reynaud, A., Karabulut, A. A., El Hajj, R., Altınbilek, D., Awad, I. M. A., Bruggeman, A., Constantianos, V., Myšiak, J., Lamaddalena, N., Matoussi, M. S., Monteiro, H., Pistocchi, A., Pretato, U., Tahboub, N., Tuncok, I. K., Ünver, O., van Ek, R., Willaarts, B., et al. (2019). Can the implementation of the Water-Energy-Food Nexus support economic growth in the Mediterranean region? The current status and the way forward. *Frontiers in Environmental Science*, 7, 84. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2019.00084>
- Medema, W., McIntosh, B. S., & Jeffrey, P. J. (2008). From premise to practice: A critical assessment of integrated water resources management and adaptive management approaches in the water sector. *Ecology and Society*, 13(2), 29. <https://doi.org/10.5751/ES-02611-130229>
- Musacchio, A., Re, V., Mas-Pla, J., & Sacchi, E. (2020). EU Nitrates Directive, from theory to practice: Environmental effectiveness and influence of regional governance on its performance. *AMBIO*, 49, 504-516. <https://doi.org/10.1007/s13280-019-01197-8>
- Nikolaou, G., Neocleous, D., Christou, A., Kitta, E., & Katsoulas, N. (2020). Implementing sustainable irrigation in water-scarce regions under the impact of climate change. *Agronomy*, 10(8), 1120. <https://doi.org/10.3390/agronomy10081120>
- Pulido-Velázquez, M., Peña-Haro, S., García-Prats, A., Mocholi-Almudever, A. F., Henriquez-Dole, L., Macian-Sorribes, H., & Lopez-Nicolas, A. (2015). Integrated assessment of the impact of climate and land use changes on groundwater quantity and quality in the Mancha Oriental system, Spain. *Hydrology and Earth System Sciences*, 19, 1677-1693. <https://doi.org/10.5194/hess-19-1677-2015>
- Rocha, J., Carvalho-Santos, C., Diogo, P., Beça, P., Keizer, J. J., & Nunes, J. P. (2020). Impacts of climate change on reservoir water availability, quality and irrigation needs in a water scarce Mediterranean region, southern Portugal.

Science of the Total Environment, 736, 139477.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139477>

- Saravanan, V. S., McDonald, G. T., & Mollinga, P. P. (2009). Critical review of Integrated Water Resources Management: Moving beyond polarised discourse. Natural Resources Forum, 33(1), 76-86. <https://doi.org/10.1111/j.1477-8947.2009.01210.x>
- Savenije, H. H. G., Hoekstra, A. Y., & van der Zaag, P. (2014). Evolving water science in the Anthropocene. Hydrology and Earth System Sciences, 18, 319-332. <https://doi.org/10.5194/hess-18-319-2014>
- Singh, B., & Craswell, E. (2021). Fertilizers and nitrate pollution of surface and ground water: An increasingly pervasive global problem. SN Applied Sciences, 3, 518. <https://doi.org/10.1007/s42452-021-04521-8>
- van Grinsven, H. J. M., ten Berge, H. F. M., Dalgaard, T., Fraters, B., Durand, P., Hart, A., Hofman, G., Jacobsen, B. H., Lalor, S. T. J., Lesschen, J. P., Osterburg, B., Richards, K. G., Techen, A. K., Vertès, F., Webb, J., & Willems, W. J. (2012). Management, regulation and environmental impacts of nitrogen fertilization in northwestern Europe under the Nitrates Directive: A benchmark study. Biogeosciences, 9, 5143-5160. <https://doi.org/10.5194/bg-9-5143-2012>
- WISE Freshwater. (2021). Ecological status by country: Results from the 3rd River Basin Management Plans. Water Information System for Europe. <https://water.europa.eu/freshwater/metadata/explore/ecological-status-by-country>