ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΙΙ: Ανάλυσης, Σχεδιασμού & Ανάπτυξης Διεργασιών & Συστημάτων

Επαναχρησιμοποίηση Νερού: Περιβαλλοντική Προστασία & Δείκτες Μέτρησης Επίδοσης

ΠΑΤΡΙΤΣΙΑ ΜΑΡΙΑ ΣΤΑΘΑΤΟΥ
ΠΟΛΙΤΙΚΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ ΕΜΠ

Εργασία υποβληθείσα για την απόκτηση διδακτορικού διπλώματος

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή
Ελένη Γρηγοροπούλου, Καθηγήτρια Ε.Μ.Π. (Επιβλέπουσα)
Διονύσιος Ασημακόπουλος, Καθηγητής Ε.Μ.Π.
Ανδρέας Ανδρεαδάκης, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ 2017

Η έγκριση της διδακτορικής διατριβής από τη Σχολή Χημικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π. δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/1932, Άρθρο 202).

"***We should rely on understanding rather than predicting the development of the systems that we try to manage*** […] Instead of analytical classification of data we need pattern recognition. The difference between pattern recognition and conventional analysis can be demonstrated by an example (see Fig. 1).

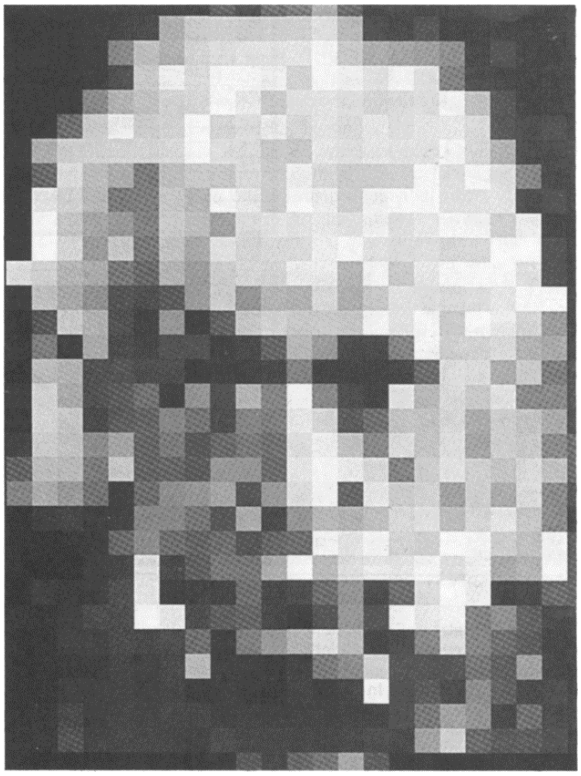


Figure 1: The complex unity and the details. The overall pattern of these squares will appear only when looking from a greater distance or without glasses (blurring) at the picture.

When we look at these squares of differing brightness from a close distance, it is difficult to recognize their meaning. As soon as we look at them from a greater distance (you may also alter the focus by blinking a little or by taking off your glasses), we immediately recognize the features of Albert Einstein. Suddenly we can understand what the "system" is trying to tell us.

This example tells us a lot about our topic of thinking on systems. A detailed study of the individual squares in our photo may reveal the exact gray values, a table of the edge lengths, or the percentage of squares along a scale of different brightness. In this way, Ph.D. theses are carried out; but it will never allow us to recognize that the out-of-focus pattern contains a portrait of Albert Einstein. Studying the single squares obviously is the wrong scientific method in this case, and it does not become any more correct when we apply it with scrupulous accuracy. In trying to recognize a system, the immediately apparent details indeed are of no help, useful as they may be in selecting the operators of a strategy later. On the contrary, ***the fuzzier the focusing of details is, the less we are disturbed by the boundaries that separate the squares; the clearer become the relationships between them and the easier it gets for us to say what the picture as a whole represents***".

Frederic Vester, 1988

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της διδακτορικής μου Διατριβής είχα τη στήριξη και τη βοήθεια μιας πλειάδας ανθρώπων, τους οποίους ευχαριστώ βαθύτατα. Ιδιαίτερα, επιθυμώ να ευχαριστήσω ονομαστικά εκείνους, των οποίων η συμβολή στην ολοκλήρωση της Διατριβής αυτής υπήρξε καθοριστική, καθώς συνέβαλαν σε αυτήν με μοναδικό τρόπο ο καθένας:

Την επιβλέπουσα της Διατριβής, Καθηγήτρια της Σχολής Χημικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π. κ. Ελένη Γρηγοροπούλου, η οποία μου έδωσε τη δυνατότητα να ασχοληθώ με αυτό το ιδιαίτερα ενδιαφέρον επιστημονικό θέμα, για τη συνεχή καθοδήγηση και τη σημαντική βοήθεια που μου παρείχε σε όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της Διατριβής. Οι εποικοδομητικές και στοχευμένες πάντα παρατηρήσεις και προτάσεις της υπήρξαν καθοριστικές για την ορθότητα της έρευνας και την τελική διαμόρφωση της εργασίας μου.

Τον Καθηγητή της Σχολής Χημικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π. κ. Διονύση Ασημακόπουλο, χωρίς τη βοήθεια και τη στήριξη του οποίου θα ήταν αδύνατη τόσο η έναρξη, όσο και η εξέλιξη και η ολοκλήρωση της παρούσας διατριβής. Η επιστημονική και ηθική υποστήριξη που μου παρείχε όλα αυτά τα χρόνια που είμαι μέλος της Μονάδας Διαχείρισης Ενεργειακών και Περιβαλλοντικών Συστημάτων (ΜΔΕΠΣ) της Σχολής Χημικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π., την οποία συντονίζει, είναι ανεκτίμητη. Τον ευχαριστώ θερμά για το χρόνο που μου αφιέρωσε και την ευεργετική του καθοδήγησή του καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας μου. Όμως θα ήθελα να τον ευχαριστώ και για πολλούς άλλους λόγους, καθώς υπήρξε για μένα κάτι παραπάνω από καλός καθηγητής και πολύτιμος συνεργάτης, και τον αισθάνομαι πλέον σα δεύτερο πατέρα μου. Με έμαθε, και συνεχίζει να με μαθαίνει, πολλά πράγματα, αλλά κυρίως πώς να σκέφτομαι, να προβληματίζομαι, να κρίνω, να λέω όσα χρειάζεται και να τα τεκμηριώνω σωστά. Επίσης, μου άνοιξε το μυαλό δείχνοντας μου μέρη και καταστάσεις σε διάφορες περιοχές του κόσμου που δεν ξέρω αν θα είχα ποτέ την ευκαιρία να δω και να βιώσω χωρίς αυτόν, και που σίγουρα θα μου μείνουν αξέχαστες. Είναι ο άνθρωπος που πάντα θα σκέφτεται κάτι που δεν έχω σκεφτεί και θα με εντυπωσιάζει, και ελπίζω να κάνουμε πολλά ακόμα «ταξίδια» παρέα.

Τον Καθηγητή της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π. κ. Ανδρέα Ανδρεαδάκη για τις χρήσιμες συμβουλές του στο πλαίσιο της συμμετοχής του στην τριμελή συμβουλευτική επιτροπή του διδακτορικού μου.

Τον Καθηγητή της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π. κ. Δανιήλ Μαμάη για την τιμή που μου έκανε να συμμετέχει στην κρίση του διδακτορικού μου και τις χρήσιμες παρατηρήσεις του επ' αυτού.

Την Αναπληρώτρια Καθηγήτρια της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π. κ. Βίκυ Τσουκαλά για την πολύτιμη στήριξή της και τις συμβουλές της τόσο σε ζητήματα σχετικά με τη Διατριβή μου όσο και γενικότερα όλα αυτά τα χρόνια. Της οφείλω επίσης ένα μεγάλο ευχαριστώ για το δρόμο που μου άνοιξε στην επιστημονική έρευνα και στα θέματα διαχείρισης των υδατικών πόρων με την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας μαζί της στη Σχολή Πολιτικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π. το 2011.

Τον Επίκουρο Καθηγητή του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών κ. Χρίστο Καραβίτη για την πολύτιμη καθοδήγησή του, τη βοήθεια, τις γνώσεις και την υποστήριξη που μου παρείχε όλα αυτά τα χρόνια σχετικά με το αντικείμενο της Διατριβής μου, καθώς και για τα όσα μου έμαθε και τις εμπειρίες που μοιραστήκαμε στα ταξίδια μας στη Λατινική Αμερική, στα πλαίσια του ευρωπαϊκού ερευνητικού έργου COROADO, του οποίου ήταν συντονιστής.

Τον Λέκτορα του Πανεπιστημίου του Huddersfield της Αγγλίας κ. Θάνο Αγγελή Δημάκη για τη συμπαράσταση και την υποστήριξη του σε όλα τα χρόνια της συνεργασίας μας στη ΜΔΕΠΣ, καθώς και τις ιδιαίτερα χρήσιμες παρατηρήσεις του για την εργασία μου.

Τον Δρ. Γιώργο Αραμπατζή για την ανεκτίμητη βοήθεια και υποστήριξη του στα διάφορα στάδια ανάπτυξης του μεθοδολογικού πλαισίου που προτείνεται από την παρούσα Διατριβή, αλλά και στον υπολογισμό των αποτελεσμάτων της. Τον ευχαριστώ ιδιαίτερα για την υπομονή του να μου εξηγεί άγνωστες σε εμένα έννοιες και μεθόδους, και για το χρόνο που αφιέρωσε για να ερευνούμε παρέα μεθοδολογίες και εφαρμογές άλλων που είχαν ουσιαστική συμβολή στη διαμόρφωση της εργασίας μου.

Την Δρ. Ελένη Καμπράγκου για την άριστη συνεργασία που είχαμε στη ΜΔΕΠΣ και εκτός, τη βοήθεια και την υποστήριξή της για τη συγγραφή μίας σειράς επιστημονικών εργασιών, καθώς και για την ουσιαστική της συνεισφορά σε διάφορα σημεία της Διατριβής μου. Ακόμα θα ήθελα να της πω ένα μεγάλο ευχαριστώ για τη μεγάλη της προθυμία πάντα να δίνει λύσεις και τη μοναδική της ικανότητα να με ηρεμεί σε καταστάσεις πανικού.

Την κ. Ινώ Κατσιαρδή για την πολύτιμη υποστήριξη, συμπαράσταση και βοήθεια σε διάφορα θέματα όλα αυτά τα χρόνια, για όλα όσα μου έχει μάθει και εξακολουθεί να μου μαθαίνει, καθώς και για την υπομονή και το κουράγιο της να διαβάζει και να διορθώνει τα κείμενά μου με τον μοναδικό της τρόπο, βοηθώντας με να γίνομαι καλύτερη.

Τους συνεργάτες και φίλους μου από τη ΜΔΕΠΣ, Δρ. Ελίνα Μανώλη για όσα με έμαθε στο ξεκίνημα της ερευνητικής μου πορείας, Δρ. Μάκη Καρταλίδη για την προθυμία του να με βοηθάει και την υποστήριξή του σε διάφορα επιστημονικά και μη ζητήματα όλα αυτά τα χρόνια, κ. Άγγελο Παναγιωτάκη και Παναγιώτη Δεδούση για την άπειρη βοήθεια που μου έχουν προσφέρει για την ανάπτυξη προγραμματιστικών και υπολογιστικών εργαλείων στα πλαίσια του διδακτορικού μου και όχι μόνο, κ. Δέσποινα Χιώτη για την αμέριστη συμπαράστασή και την πολύτιμη βοήθεια σε διάφορους τομείς, και κ. Παρασκευή Κάρκα για την υπομονή της να μοιράζεται το ίδιο γραφείο μαζί μου τα τελευταία τρία χρόνια και να απαντά στις ασυνήθιστες ερωτήσεις μου.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου, Ρεγγίνα και Ναταλί, και τους στενούς μου φίλους, Βιβή, Αθηνά, Όλγα, Αλέξη και Νατάσσα, για την ανεξάντλητη υπομονή τους και τη συνεχή στήριξή τους όλα αυτά τα χρόνια, χωρίς την οποία δεν θα μπορούσε να επιτευχθεί η ολοκλήρωση της εργασίας μου.

Αθήνα,
Απρίλιος 2017

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Για την αντιμετώπιση των σύγχρονων προκλήσεων στον τομέα των υδάτων είναι επιτακτική η υιοθέτηση ενός ορθολογικού συστήματος διαχείρισης, το οποίο θα αναζητά και θα εφαρμόζει εναλλακτικές λύσεις για την αποδοτικότερη χρήση και τη μειωμένη ρύπανση των υδατικών πόρων. Τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα θεωρείται πως μπορούν να παρέχουν μία ουσιαστική λύση στην ενίσχυση διαφόρων χρήσεων, διαδραματίζοντας ρόλο ζωτικής σημασίας στα πλαίσια της ορθολογικής διαχείρισης των υδατικών πόρων, αφού αντιμετωπίζουν τόσο το πρόβλημα της υπεράντλησης και της μειωμένης διαθεσιμότητας, όσο και το πρόβλημα της υποβαθμισμένης ποιότητας των υδατικών πόρων. Παρά τα πολλαπλά οφέλη που έχει η χρήση ανακτημένου νερού (επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων), μέχρι στιγμής, η δυναμική της επαναχρησιμοποίησης των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων δεν έχει αξιοποιηθεί πλήρως, καθώς πολιτικά, οικονομικά, κοινωνικά, τεχνικά, νομικά-θεσμικά εμπόδια δυσχεραίνουν τη διείσδυση και την ευρύτερη εφαρμογή αυτών των πρακτικών, τόσο σε ευρωπαϊκό όσο και σε εθνικό επίπεδο.

Αντικείμενο της παρούσας Διατριβής είναι η επαναχρησιμοποίηση και ανακύκλωση νερού (Ε&ΑΝ), η διερεύνηση της συμβολής της στην περιβαλλοντική προστασία και στη βιώσιμη λειτουργία των υδατικών συστημάτων και η χρήση δεικτών μέτρησης της επίδοσης των συστημάτων αυτών.

Στόχος της Διατριβής είναι η ανάπτυξη μεθοδολογικού πλαισίου για την εκτίμηση της συνεισφοράς της Ε&ΑΝ στην περιβαλλοντική προστασία και στη βιώσιμη λειτουργία των υδατικών συστημάτων. Η παρούσα Διατριβή παρέχει μία ολιστική προσέγγιση για την ορθολογική διαχείριση των υδατικών πόρων μέσα από τη διάγνωση των προβλημάτων, την αξιολόγηση και τον εντοπισμό κατάλληλων επεμβάσεων, και την προώθηση της εφαρμογής των επεμβάσεων αυτών σε τοπικό επίπεδο.

Το προτεινόμενο μεθοδολογικό πλαίσιο αποτελείται από τέσσερα βήματα και στοχεύει στην:

α. Εκτίμηση της τρωτότητας των υδατικών συστημάτων στη σπανιότητα ύδατος, (ΒΗΜΑ 1)
β. Αξιολόγηση της συνεισφοράς εναλλακτικών επεμβάσεων Ε&ΑΝ στη μείωση της τρωτότητας (ΒΗΜΑ 2), και
γ. Ανάπτυξη ευνοϊκού περιβάλλοντος (πρόταση υποστηρικτικών μέτρων) για την εφαρμογή των επεμβάσεων Ε&ΑΝ σε τοπικό επίπεδο (ΒΗΜΑΤΑ 3 & 4).

Στο ΒΗΜΑ 1 πραγματοποιείται η εκτίμηση της τρωτότητας των υδατικών συστημάτων σε συνθήκες σπανιότητας ύδατος, σε επίπεδο λεκάνης απορροής. Η τρωτότητα των υδατικών συστημάτων θεωρείται συνάρτηση της πιθανής έκθεσης τους στη σπανιότητα ύδατος, της ενδογενούς τους ευαισθησίας και της προσαρμοστικής τους ικανότητας στις αλλαγές. Η εκτίμηση της τρωτότητας πραγματοποιείται τόσο με τη χρήση επιμέρους δεικτών τρωτότητας, όσο και με τη χρήση του σύνθετο δείκτη τρωτότητας (Vulnerability Index - VI), συνεκτιμώντας τα υδρολογικά και τα κοινωνικό-οικονομικά χαρακτηριστικά των υπό μελέτη συστημάτων. Οι δέκα επιμέρους δείκτες τρωτότητας που χρησιμοποιούνται εκφράζουν επαρκώς και ισότιμα τις τρεις συνιστώσες της τρωτότητας, αντικατοπτρίζοντας τον πολυσχιδή της χαρακτήρα (φυσική, υλική/τεχνική, οικονομική και κοινωνική διάσταση), και είναι οι εξής:

- Ανανεώσιμοι υδατικοί πόροι κατά κεφαλήν - Δείκτης Falkenmark (F)
- Ανεπεξέργαστα υγρά απόβλητα προς τους ανανεώσιμους υδατικούς πόρους (WW)
- Δείκτης Εκμετάλλευσης Ύδατος (WEI)
- Αυτάρκεια υδατικών πόρων (SELF)
- Πυκνότητα πληθυσμού (DENS)
- Κάλυψη περιοχής από βλάστηση (VEG)
- Κατανάλωση εναλλακτικών υδατικών πόρων (ALT)
- Οικονομικά ενεργός πληθυσμός (EC)
- Πληθυσμός που δεν προχώρησε στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση (ED)
- Κατά κεφαλήν Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν (GDP)

Μέσα από τη χρήση των δέκα επιμέρους δεικτών αναγνωρίζονται οι πιέσεις που δέχονται τα υπό μελέτη συστήματα, καθώς και τα σημεία που χρήζουν ενίσχυσης σε κάθε περίπτωση. Οι δέκα επιμέρους δείκτες εκτίμησης της τρωτότητας συνδυάζονται στον VI (Εξίσωση 1), ο οποίος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη συγκριτική αξιολόγηση της τρωτότητας μεταξύ διαφορετικών περιοχών, αλλά και μεταξύ διαφορετικών χρονικών περιόδων για την ίδια περιοχή. Οι βαρύτητες των δεικτών που συνθέτουν τον VI προκύπτουν από την Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών.

$$VI = \left(w_1 \cdot F + w_2 \cdot WW + w_3 \cdot WEI + w_4 \cdot SELF + w_5 \cdot DENS\right) - \left(w_6 \cdot VEG + w_7 \cdot ALT + w_8 \cdot EC + w_9 \cdot ED + w_{10} \cdot GDP\right) \quad (1)$$

Όπου,

VI: Σύνθετος δείκτης τρωτότητας
w_i: Βαρύτητα του δείκτη i, i=1 - 10
F: Δείκτης Falkenmark
WW: Ανεπεξέργαστα υγρά απόβλητα προς τους ανανεώσιμους υδατικούς πόρους
WEI: Δείκτης Εκμετάλλευσης Ύδατος
SELF: Αυτάρκεια υδατικών πόρων
DENS: Πυκνότητα πληθυσμού
VEG: Κάλυψη περιοχής από βλάστηση
ALT: Κατανάλωση εναλλακτικών υδατικών πόρων
EC: Οικονομικά ενεργός πληθυσμός
ED: Πληθυσμός που δεν προχώρησε στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση
GDP: Κατά κεφαλήν Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν

Στο ΒΗΜΑ 2 γίνεται η αξιολόγηση εναλλακτικών επεμβάσεων Ε&ΑΝ ως προς τη συνεισφορά τους στη μείωση της τρωτότητας, χρησιμοποιώντας τον VI. Προσδιορίζονται πέντε τύποι επεμβάσεων Ε&ΑΝ, ανάλογα με τη χρήση του ανακτημένου νερού:

- *Τύπος #1: Άρδευση*
- *Τύπος #2: Αστικές και περιαστικές χρήσεις*
- *Τύπος #3: Βιομηχανικές χρήσεις*
- *Τύπος #4: Περιβαλλοντική προστασία και ενίσχυση υπηρεσιών οικοσυστήματος*
- *Τύπος #5: Σύνθετα σχήματα για πολλαπλές χρήσεις*

Κάθε ένας από τους πέντε τύπους περιλαμβάνει εναλλακτικές επεμβάσεις - σενάρια Ε&ΑΝ, ανάλογα με την απαιτούμενη και τη διαθέσιμη ποιότητα και ποσότητα ανακτημένου νερού. Οι επεμβάσεις Ε&ΑΝ επηρεάζουν ορισμένες παραμέτρους των υπό μελέτη συστημάτων και προκαλούν αλλαγές στους επιμέρους δείκτες που συνθέτουν τον VI. Ο VI υπολογίζεται για κάθε εναλλακτική επέμβαση Ε&ΑΝ και συγκρίνεται με τον VI της παρούσας κατάστασης, όπως αυτός προέκυψε από το ΒΗΜΑ 1. Έτσι, οι πιθανές επεμβάσεις Ε&ΑΝ κατατάσσονται ανάλογα με τη συνεισφορά που αναμένεται να έχουν στη μείωση της τρωτότητας των υδατικών συστημάτων (ΔVI). Μέσα από την κατάταξη αυτή εντοπίζονται και επιλέγονται κατάλληλες επεμβάσεις Ε&ΑΝ για την αντιμετώπιση της σπανιότητας ύδατος στην υπό μελέτη περιοχή (πρόκειται για τις επεμβάσεις εκείνες που έχουν το μεγαλύτερο ΔVI σε απόλυτη τιμή και για τις οποίες ισχύει ΔVI <0).

Τα ΒΗΜΑΤΑ 3 και 4 στοχεύουν στην ανάπτυξη ευνοϊκού περιβάλλοντος για την εφαρμογή των επιλεγμένων επεμβάσεων Ε&ΑΝ. Στο ΒΗΜΑ 3 αναγνωρίζονται, στη βάση της ανάλυσης PESTL, 22 πολιτικοί, οικονομικοί, κοινωνικοί, τεχνικοί, νομικοί και θεσμικοί παράγοντες που μπορεί να επηρεάσουν την εφαρμογή επεμβάσεων Ε&ΑΝ σε μία περιοχή και αξιολογούνται ώστε να εντοπιστούν τα κίνητρα που ευνοούν και τα εμπόδια που δυσχεραίνουν την ένταξη των συστημάτων Ε&ΑΝ στα υφιστάμενα πλαίσια διαχείρισης υδατικών πόρων. Η αξιολόγηση αυτή γίνεται μέσα από την αλληλεπίδραση, τη διαβούλευση και την ενεργή συμμετοχή των τοπικών φορέων της υπό μελέτη περιοχής, με τη χρήση κατάλληλα διαμορφωμένου διαδικτυακού ερωτηματολογίου. Μέσω της έρευνας ερωτηματολογίων αποτυπώνονται οι απόψεις των τοπικών φορέων και των ενδιαφερόμενων μερών σχετικά με:

- Το είδος της επιρροής που έχει ο κάθε παράγοντας στην εφαρμογή επεμβάσεων Ε&ΑΝ (θετική ή αρνητική),
- Τη σημασία της επιρροής αυτής (μικρή / μέτρια / μεγάλη),
- Προτάσεις για να ξεπεραστεί η αρνητική επιρροή των παραγόντων.

Στο ΒΗΜΑ 4 αναλύονται τα πολιτικά, οικονομικά, κοινωνικά, τεχνικά, νομικά και θεσμικά εμπόδια που εντοπίστηκαν στο ΒΗΜΑ 3, και αναγνωρίζονται τα πιο σημαντικά, δηλαδή εκείνα τα οποία δυσχεραίνουν περισσότερο την εφαρμογή των επεμβάσεων Ε&ΑΝ. Η αλλαγή των συγκεκριμένων εμποδίων σε κίνητρα αναμένεται να προκαλέσει τη μεγαλύτερη θετική αλλαγή στο υπό μελέτη σύστημα, διαμορφώνοντας συνθήκες ευνοϊκού περιβάλλοντος για την προώθηση επεμβάσεων Ε&ΑΝ. Από την Ανάλυση των Αλληλεξαρτήσεων (Cross-Impact Analysis - CIA) των εμποδίων και τον προσδιορισμό του συστημικού τους ρόλου (Ανάλυση Συστήματος - System Analysis), εντοπίζονται τα σημαντικά εμπόδια και κατ' επέκταση οι απαιτούμενες προτεραιότητες επέμβασης σε τοπικό επίπεδο. Στη βάση αυτών των προτεραιοτήτων επέμβασης, προτείνονται

υποστηρικτικά μέτρα και ενέργειες για την ανάπτυξη ευνοϊκού περιβάλλοντος και την προώθηση της εφαρμογή των επεμβάσεων Ε&ΑΝ.

Τα τέσσερα βήματα της προτεινόμενης μεθοδολογικής προσέγγισης εφαρμόστηκαν στις 46 Λεκάνες Απορροής Ποταμών των 14 Υδατικών Διαμερισμάτων της Ελλάδας (ΒΗΜΑ 1 και ΒΗΜΑ 2) καθώς και στη Λεκάνη Απορροής του Ποταμού Copiapó στη Χιλή (ΒΗΜΑ 3 και ΒΗΜΑ 4). Η Λεκάνη Απορροής του Ποταμού Copiapó αποτελεί μελέτη περίπτωσης του χρηματοδοτούμενου από την Ευρωπαϊκή Ένωση ερευνητικού έργου COROADO (διάρκεια έργου: 2011-2015), το οποίο είχε στόχο να προάγει την εφαρμογή επεμβάσεων Ε&ΑΝ στη Λατινική Αμερική, και επιλέχθηκε καθώς υπήρχαν διαθέσιμα δεδομένα για την εφαρμογή της μεθοδολογικής προσέγγισης της παρούσας Διατριβής. Η τρωτότητα των 46 ελληνικών Λεκανών Απορροής Ποταμών (ΛΑΠ) στη σπανιότητα ύδατος εκτιμήθηκε τόσο στη βάση των δέκα επιμέρους δεικτών τρωτότητας, όσο και στη βάση του σύνθετου δείκτη τρωτότητας (VI), ο οποίος αναπτύχθηκε για τις συγκεκριμένες περιοχές μελέτης:

$$VI = \left(0.21 \cdot F + 0.24 \cdot WW + 0.14 \cdot WEI + 0.19 \cdot SELF + 0.22 \cdot DENS\right) - \\ (0.26 \cdot VEG + 0.19 \cdot ALT + 0.17 \cdot EC + 0.18 \cdot ED + 0.20 \cdot GDP) \quad (2)$$

Όπου,

VI: Σύνθετος δείκτης τρωτότητας
F: Δείκτης Falkenmark
WW: Ανεπεξέργαστα υγρά απόβλητα προς τους ανανεώσιμους υδατικούς πόρους
WEI: Δείκτης Εκμετάλλευσης Ύδατος
SELF: Αυτάρκεια υδατικών πόρων
DENS: Πυκνότητα πληθυσμού
VEG: Κάλυψη περιοχής από βλάστηση
ALT: Κατανάλωση εναλλακτικών υδατικών πόρων
EC: Οικονομικά ενεργός πληθυσμός
ED: Πληθυσμός που δεν προχώρησε στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση
GDP: Κατά κεφαλήν ΑΕΠ

Από τη συγκριτική αξιολόγηση και την ιεράρχηση των 46 ελληνικών ΛΑΠ ως προς τον VI, προέκυψε περισσότερο τρωτή στη σπανιότητα ύδατος η ΛΑΠ του Λεκανοπεδίου Αττικής, λόγω της πολύ υψηλής της έκθεσης και ευαισθησίας, (τιμή VI 0.49) και λιγότερο τρωτή η ΛΑΠ Θάσου Σαμοθράκης (τιμή VI -0.27). Κατόπιν, εξετάστηκε η ευρωστία του VI (μέσω Αναλύσεων Αβεβαιότητας και Ευαισθησίας), και εντοπίστηκαν πιθανές εναλλακτικές επεμβάσεις – σενάρια Ε&ΑΝ για την περισσότερο τρωτή ΛΑΠ, τη ΛΑΠ του Λεκανοπεδίου Αττικής, στη βάση των προτάσεων που παρουσιάζονται στο «Στρατηγικό Σχέδιο (Master Plan) για την Επαναχρησιμοποίηση των Εκροών των Εγκαταστάσεων Επεξεργασίας Λυμάτων στην Αττική» (Υπουργείο Υποδομών, Μεταφορών και Δικτύων, 2009). Από τη σύγκριση μεταξύ των VI της ΛΑΠ για τα διάφορα σενάρια Ε&ΑΝ με τον VI της υπάρχουσας κατάστασης (σενάριο βάσης), προέκυψε

ότι οι πιο αποτελεσματικές επεμβάσεις Ε&ΑΝ για τη μείωση της τρωτότητας στη ΛΑΠ Λεκανοπεδίου Αττικής είναι αυτές που περιλαμβάνουν χρήση ανακτημένου νερού για την ενίσχυση διαφορετικών χρήσεων, καθώς τροφοδοτούν με μεγαλύτερη ποσότητα ανακτημένου νερού τη ΛΑΠ και καλύπτουν περισσότερες ανάγκες. Όπως ήταν αναμενόμενο, όσο μεγαλύτερες ποσότητες ανακτημένου νερού χρησιμοποιηθούν τόσο περισσότερο μειώνεται η τρωτότητα στη ΛΑΠ. Η μεγαλύτερη μείωση επέρχεται στο σύνθετο δείκτη τρωτότητας (ΔVI = -10%), στην περίπτωση που πραγματοποιηθεί η μέγιστη δυνατή αξιοποίηση των εκροών των ΕΕΛ της ΛΑΠ Αττικής στο άμεσο μέλλον, δηλαδή στην περίπτωση που εφαρμοστούν όλες οι προτεινόμενες επεμβάσεις Ε&ΑΝ της Α' Φάσης υλοποίησης του Στρατηγικού Σχεδίου. Η ΛΑΠ Copiapó στη Χιλή έχει επίσης, υψηλή τρωτότητα στη σπανιότητα ύδατος, κυρίως λόγω της ραγδαίας αύξησης του πληθυσμού της τις τελευταίες δεκαετίες, της μεγάλης εποχικής διακύμανσης των βροχοπτώσεων και της απόλυτης εξάρτησης της γεωργίας από την άρδευση. Για τη μείωση της τρωτότητας στη ΛΑΠ έχουν προταθεί επεμβάσεις Ε&ΑΝ για αστικές χρήσεις, οι οποίες θωρείται πως θα συνεισφέρουν σημαντικά στη μείωση της τρωτότητας των υδατικών συστημάτων. Για την προώθηση της εφαρμογής των επεμβάσεων Ε&ΑΝ για αστικές χρήσεις στη ΛΑΠ Copiapó εφαρμόστηκε η προτεινόμενη μέθοδος ανάπτυξης ευνοϊκού περιβάλλοντος. Αναγνωρίστηκαν οι πολιτικοί, οικονομικοί, κοινωνικοί, τεχνικοί, νομικοί και θεσμικοί παράγοντες που επηρεάζουν την ένταξη των προτεινόμενων συστημάτων Ε&ΑΝ στην περιοχή (10 εμπόδια και 5 κίνητρα για την εφαρμογή των επεμβάσεων). Τα πιο σημαντικά εμπόδια, στα οποία πρέπει να δοθεί προτεραιότητα κατά τη διαμόρφωση πολιτικών με στόχο την ανάπτυξη ευνοϊκού περιβάλλοντος για την εφαρμογή των επεμβάσεων Ε&ΑΝ για αστικές χρήσεις στη ΛΑΠ Copiapó είναι:

- Το νομικό πλαίσιο σχετικά με την ιδιοκτησία και τα δικαιώματα χρήσης του ανακτημένου νερού,
- Η απουσία περιβαλλοντικών πολιτικών που να εστιάζουν στη μείωση της ρύπανσης,
- Η περιορισμένη ένταξη της χρήσης ανακτημένου νερού στις πολιτικές χρήσεις γης και χωροταξικής ανάπτυξης,
- Η ελλιπής ενημέρωση του κοινού σχετικά με την Ε&ΑΝ, και
- Η απουσία κρατικών πηγών χρηματοδότησης έργων Ε&ΑΝ.

Για την αντιμετώπιση των εμποδίων αυτών προτάθηκαν κατάλληλα υποστηρικτικά μέτρα.

Η σύνθεση των τεσσάρων αυτών επιμέρους βημάτων σε ένα ενιαίο πλαίσιο αποτελεί καινοτομία στον τομέα της διαχείρισης των υδατικών πόρων, καθώς παρέχει ένα πρωτοπόρο εργαλείο που συνδυάζει την αξιολόγηση και την παρακολούθηση της κατάστασης των υδατικών συστημάτων με τον εντοπισμό και την προώθηση κατάλληλων λύσεων για τη βελτίωσή της. Για τα επιμέρους βήματα του πλαισίου έχει αναπτυχθεί και προταθεί στο παρελθόν μία σειρά σχετικών μεθόδων και εργαλείων. Η μέθοδος που προτείνεται από την παρούσα Διατριβή συγκρίνεται με άλλες σχετικές μεθόδους που έχουν αναπτυχθεί ως τώρα και εντοπίζονται και αναλύονται τα κυριότερα πλεονεκτήματα και οι αδυναμίες της. Στη βάση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από την εφαρμογή του προτεινόμενου μεθοδολογικού πλαισίου, και των αδυναμιών που εντοπίστηκαν, προτείνεται η διερεύνηση συγκεκριμένων ζητημάτων, ώστε να εξελιχθεί περαιτέρω το προτεινόμενο μεθοδολογικό πλαίσιο στο μέλλον.

SUMMARY

Title: Water Reuse. Environmental Protection & Performance Metrics

Current water related challenges and water scarcity problems, caused by imbalances between supply and demand, increased pollution of water bodies and/or inadequate funds for the exploitation of available resources, have rendered integrated water resources management a necessity. Treated wastewater has been proven to be a reliable alternative water resource that can play a vital role in integrated water resources management, addressing both water demand and supply, wastewater disposal and environmental protection. Reclaimed water is receiving growing attention worldwide as an effective integrated solution for addressing water scarcity, with numerous benefits (e.g. locally controlled and constant water supply unaffected by climatic conditions, reduced wastewater discharges and decreased water abstractions, energy savings). So far, however, the potential for treated wastewater reuse has not been widely exploited in Greece and Europe, even though these regions have been subject to growing water scarcity. This is mostly due to specific policy, economic, social, technical, legal and institutional barriers which inhibit the implementation of water reuse and recycling (WR&R) schemes.

The present thesis focuses on the contribution of WR&R in environmental protection and sustainability of water resources systems, and the use of metrics to assess the performance of these systems.

The aim of the thesis is to develop a methodological framework for estimating the contribution of WR&R in environmental protection and sustainability of water resources systems. It provides a comprehensive approach towards integrated water resources management, by diagnosing water related problems, evaluating and identifying appropriate interventions, and promoting the implementation of these interventions at the local level.

The proposed methodological framework consists of four steps, and aims to:

a. Assess water systems' vulnerability to water scarcity (STEP 1)
b. Estimate the anticipated contribution of alternative WR&R interventions to vulnerability mitigation (STEP 2)
c. Develop an enabling environment (recommendations of suitable enabling instruments and arrangements) to enhance the implementation of WR&R interventions at the local level (STEPS 3 & 4).

STEP 1 focuses on the vulnerability assessment of water systems to water scarcity. Vulnerability is considered a function of a system's exposure to hazards, its sensitivity and its adaptive capacity. The vulnerability assessment is conducted at river basin scale, through the use of ten proxy indicators, expressing natural, physical, socio-economic and institutional attributes of water systems, and a composite vulnerability index (VI). Through the proxy indicators the vulnerability profiles of the analyzed systems are formulated, describing the significant water resources pressures, and the aspects that need to be improved in each case. The ten selected indicators fall under the three vulnerability aspects, i.e. exposure, sensitivity and adaptive capacity:

- Renewable water resources per capita - Falkenmark indicator (F)
- Untreated wastewater discharge as percentage of available water resources (WW)
- Water Exploitation Index (WEI)
- Water self-sufficiency (SELF)
- Population Density (DENS)
- Vegetation cover of the area (VEG)
- Consumption of alternative water resources (ALT)
- Economically active population (EC)
- Population who did not proceed to secondary education (ED)
- Gross Regional Domestic Product per capita (GDP)

The ten proxy indicators combined formulate the VI (Equation 3), which can be used to rank and benchmark areas as to their vulnerability status, as well as for the comparative assessment of the same area in different time periods. Weights are assigned to the respective vulnerability indicators using the Principal Components Analysis.

$$VI = \left(w_1 \cdot F + w_2 \cdot WW + w_3 \cdot WEI + w_4 \cdot SELF + w_5 \cdot DENS\right) - \left(w_6 \cdot VEG + w_7 \cdot ALT + w_8 \cdot EC + w_9 \cdot ED + w_{10} \cdot GDP\right) \quad (3)$$

Where,

VI: Composite vulnerability index
w_i: Weight of indicator i, i=1 - 10
F: Falkenmark indicator
WW: Untreated wastewater discharge as percentage of available water resources
WEI: Water Exploitation Index
SELF: Water self-sufficiency
DENS: Population density
VEG: Vegetation cover of the area
ALT: Consumption of alternative water resources
EC: Economically active population
ED: Population who did not proceed to secondary education
GDP: Gross Regional Domestic Product per capita

In STEP 2 potential WR&R interventions are assessed according to the anticipated vulnerability reduction, using the VI. Five broad WR&R intervention types are defined based on the water use sectors that could be supplied with reclaimed water:

- *Type #1: Use of reclaimed water in crop irrigation*
- *Type #2: Use of reclaimed water in the urban environment*
- *Type #3: Use of reclaimed water in industrial processes*
- *Type #4: Use of reclaimed water for environmental protection & enhancing ecosystem services*
- *Type #5: Use of reclaimed water in several water use sectors (multipurpose WR&R schemes)*

Alternative interventions can be identified for each type depending on the required and available quantity and quality of reclaimed water. Different WR&R interventions affect certain parameters of the analyzed water systems and induce changes in specific indicators of the VI. The VI is calculated for each WR&R intervention and compared to the VI of the current conditions. The potential WR&R interventions are, thus, ranked according to the anticipated vulnerability reduction achieved through their implementation (ΔVI). Through the conducted assessment, effective WR&R interventions are identified to alleviate existing water scarcity conditions in the examined areas (interventions with the highest ΔVI in absolute values, ΔVI <0).

STEPS 3 & 4 aim at developing an enabling environment for enhancing the actual implementation of the identified WR&R interventions. In STEP 3 22 policy, economic, social, legal and institutional factors of potential influence on WR&R implementation are identified, using the PESTL analysis. These factors are assessed to identify the driving forces / drivers that enhance, and the barriers that inhibit, the integration of WR&R schemes in the regional water systems. An on-line PESTLE questionnaire was developed for the assessment of the 22 factors, through interaction, consultation and active participation of local stakeholders of the examined areas. In STEP 4 the barriers identified in STEP 3 are further analysed following a Cross-Impact/System analysis. Through the conducted analyses the key barriers, i.e. those barriers that obstruct the implementation of WR&R schemes the most, are identified. On the basis of key barriers the enabling instruments and arrangements that are needed to boost WR&R implementation at the local level are recommended. Key barriers are useful for policy formulation towards an enabling environment, and should be given priority by the decision-makers for the successful implementation of WR&R interventions.

The four steps of the proposed methodology were applied in the 46 River Basins of Greece (STEPS 1 & 2) and in the Copiapó River Basin in Chile (STEPS 3 & 4). The Copiapó River Basin is a Study Site of the European Union (EU) funded research project COROADO (duration: 2011-2015), which was seeking to promote WR&R technologies in Latin America, and it was chosen for the application of the proposed methodology because of data availability. The vulnerability assessment of the 46 Greek River Basins (RB) to water scarcity was conducted using 10 individual indicators and a composite index (VI) developed for these specific areas:

$$VI = \left(0.21 \cdot F + 0.24 \cdot WW + 0.14 \cdot WEI + 0.19 \cdot SELF + 0.22 \cdot DENS\right) - (0.26 \cdot VEG + 0.19 \cdot ALT + 0.17 \cdot EC + 0.18 \cdot ED + 0.20 \cdot GDP) \quad (4)$$

Where,

VI: Composite vulnerability index
F: Falkenmark indicator
WW: Untreated wastewater discharge as percentage of available water resources
WEI: Water Exploitation Index
SELF: Water self-sufficiency
DENS: Population density
VEG: Vegetation cover of the area
ALT: Consumption of alternative water resources
EC: Economically active population
ED: Population who did not proceed to secondary education
GDP: Gross Regional Domestic Product per capita

According to the analysis, Attica is the most vulnerable RB to water scarcity (VI = 0.49), while the RB of Thassos and Samothrace is the least vulnerable out of the 46 RBs (VI = -0.27). The robustness of VI was also assessed following Uncertainty and Sensitivity analyses. Then, potential alternative WR&R interventions were identified for the Attica RB, on the basis of the proposals presented in the “Master Plan for Reusing the Effluents of the Wastewater Treatment Plants (WWTP) of Attica” (Greek Ministry of Infrastructure, Transport and Networks, 2009). The WR&R interventions that involve multipurpose WR&R schemes - use of reclaimed water in several water use sectors - are the most effective in terms of vulnerability mitigation, because they provide the RB with greater supply of reclaimed water covering greater percentages of demand. As expected, the larger quantities of reclaimed water used the greatest vulnerability reduction achieved. The greatest vulnerability reduction (ΔVI = -10.10%) occurs in the case of maximum utilization of the effluents of the WWTPs of Attica in the near future, i.e. if all the proposed WR&R interventions of the first implementation phase of the Master Plan are applied. The Copiapó RB also faces severe water scarcity conditions, mainly due to strong population growth, high temporal variation of rainfall and absolute dependence of agriculture to irrigation. Urban WR&R interventions are considered to have an essential contribution in the mitigation of water systems vulnerability in the area. The proposed methodology supporting the development of an enabling environment for the implementation of WR&R schemes was applied in the Copiapó RB. The political, economic, social, technical, legal and institutional factors that may influence WR&R implementation in the regional water system positively (drivers) or negatively (barriers) were identified through the mapping of local stakeholder perceptions. Through the analysis it was observed that barriers outweigh drivers for the implementation of urban WR&R schemes in Copiapó River Basin (10 barriers and 5 drivers), while the key barriers, which could be useful for policy formulation towards an enabling environment in the area, concern:

- The unclear legal framework regarding the ownership of treated wastewater,
- The lack of environmental policies focusing on pollution control,
- The limited integration of reclaimed water use in the current land use and development policies,
- The lack of public awareness on WR&R, and
- The limited availability of governmental funding sources for WR&R.

The synthesis of these four steps in a unified framework is an innovation for the water resources management sector, as such a framework provides a unique tool that combines the assessment and monitoring of the status of water resources systems with the identification and enhancement of suitable interventions for its improvement. Different methods and tools have already been proposed in the literature for the individual steps of the proposed framework. Through the comparison of the methods proposed in the present thesis with those found in the literature, the main advantages and limitations of the proposed methodology are identified and analyzed. Taking into consideration the results from the application of the proposed framework in the 46 Greek RBs and in the Copiapó RB, and the identified limitations, specific issues and ideas are put forward for further investigation for the future enhancement of the proposed framework.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Ευχαριστίες vii
Περίληψη xi
Summary xvii
Περιεχόμενα xxiii
Κατάλογος Πινάκων xxvii
Κατάλογος Εικόνων xxix
Κατάλογος Συντμησεων xxxiii

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. Εισαγωγη 1
1.1. Πλαίσιο και Αναγκαιότητα της Διατριβής 1
1.1.1. Σύγχρονες Προκλήσεις στον Τομέα των Υδάτων 1
1.1.2. Συνεισφορά Επαναχρησιμοποίησης & Ανακύκλωσης Νερού στην Αντιμετώπιση των Προκλήσεων 4
1.1.3. Ευρωπαϊκή Πολιτική για την Ε&ΑΝ 7
1.1.4. Εθνική Πολιτική για την Ε&ΑΝ 11
1.1.5. Ζητήματα Εφαρμογής 12
1.1.6. Ερευνητικό Ερώτημα Διατριβής 15
1.2. Αντικείμενο και Στόχοι της Διατριβής 15
1.3. Διάρθρωση της Διατριβής 16

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. Βασικές Έννοιες 19
2.1. Εισαγωγή 19
2.2. Τρωτότητα Υδατικών Συστημάτων 19
2.2.1. Κίνδυνοι για τα Υδατικά Συστήματα 20
2.2.1.1. Ξηρασία (drought) 20
2.2.1.2. Ξηρότητα κλίματος (aridity) 21
2.2.1.3. Λειψυδρία (water shortage) 21
2.2.1.4. Σπανιότητα ύδατος (water scarcity) 22
2.2.2. Ορισμός Τρωτότητας 24
2.2.3. Εκτίμηση Τρωτότητας 27
2.2.3.1. Επιμέρους Δείκτες για την Εκτίμηση της Τρωτότητας 27
2.2.3.2. Σύνθετοι Δείκτες για την Εκτίμηση της Τρωτότητας 29
2.3. Επαναχρησιμοποίηση & Ανακύκλωση Επεξεργασμένων Υγρών Αποβλήτων 33
2.3.1. Χρήσεις Ε&ΑΝ 33

2.3.1.1. Ε&ΑΝ στην Ευρώπη και στον Κόσμο 35
2.3.1.2. Ε&ΑΝ στην Ελλάδα 39
2.3.2. Οφέλη και Κίνδυνοι της Ε&ΑΝ 41
2.3.2.1. Περιβαλλοντικά οφέλη & κίνδυνοι 41
2.3.2.2. Οικονομικά οφέλη & κίνδυνοι 42
2.3.2.3. Κοινωνικά οφέλη & κίνδυνοι 43
2.4. Παράγοντες που Επηρεάζουν την Εφαρμογή Ε&ΑΝ και Ανάγκη Ύπαρξης «Ευνοϊκού Περιβάλλοντος» 44
2.4.1. Ορισμός «Ευνοϊκού Περιβάλλοντος» για Ε&ΑΝ 44
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. Μεθοδολογικο Πλαισιο 47
3.1. Εισαγωγή 47
3.2. Περιγραφή Μεθοδολογικού Πλαισίου 47
3.3. ΒΗΜΑ 1: Εκτίμηση Τρωτότητας Υδατικών Συστημάτων 51
3.3.1. Εννοιολογικό Πλαίσιο Εκτίμησης της Τρωτότητας 51
3.3.2. Πλαίσιο Δεικτών Τρωτότητας 52
3.3.3. Οριακές Τιμές Δεικτών (Thresholds) 57
3.3.4. Κανονικοποίηση και Αξιολόγηση Επιμέρους Δεικτών 59
3.3.5. Σύνθετος Δείκτης Τρωτότητας (VI) 61
3.3.5.1. Στάθμιση Δεικτών 63
3.3.5.2. Ανάλυση Αβεβαιότητας & Ευαισθησίας VI 77
3.4. ΒΗΜΑ 2: Αξιολόγηση Επεμβάσεων Ε&ΑΝ ως προς τη Μείωση της Τρωτότητας 87
3.4.1. Προσδιορισμός Επεμβάσεων Ε&ΑΝ 87
3.4.2. Αξιολόγηση Επεμβάσεων Ε&ΑΝ 89
3.4.2.1. Ελεγχόμενες Μεταβλητές ανά Τύπο Επέμβασης 89
3.5. ΒΗΜΑ 3: Εντοπισμός Εμποδίων & Κινήτρων για την Εφαρμογή Επεμβάσεων Ε&ΑΝ 91
3.5.1. Παράγοντες που Επηρεάζουν την Εφαρμογή Επεμβάσεων Ε&ΑΝ 91
3.5.2. Αξιολόγηση Επιρροής Παραγόντων 100
3.6. ΒΗΜΑ 4: Προσδιορισμός Προτεραιοτήτων Επέμβασης 102
3.6.1. Αξιολόγηση Αλληλεξαρτήσεων μεταξύ Εμποδίων 103
3.6.2. Ανάλυση Αλληλεξαρτήσεων & Προσδιορισμός Συστημικού Ρόλου Εμποδίων 104
3.6.3. Υποστηρικτικά Μέτρα για την Ανάπτυξη Ευνοϊκού Περιβάλλοντος 107

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. Αποτελέσματα Εφαρμογής Προτεινόμενου Μεθοδολογικού Πλαισίου...129
4.1. Εισαγωγή....129
4.2. Περιοχές Μελέτης και Δεδομένα....130
4.2.1. Λεκάνες Απορροής Ελλάδας....130
4.2.1.1. Πηγές Δεδομένων....135
4.2.2. Λεκάνη Απορροής Ποταμού Copiapó, Χιλή....138
4.2.2.1. Πηγές Δεδομένων....140
4.3. Εκτίμηση Τρωτότητας Υδατικών Συστημάτων στις Λεκάνες Απορροής της Ελλάδας 141
4.3.1. Επιμέρους Δείκτες Τρωτότητας....141
4.3.1.1. Παράδειγμα Υπολογισμού Δεικτών Τρωτότητας: Υπολογισμοί για τη ΛΑΠ Αλφειού (GR29)....141
4.3.1.2. Δείκτες Έκθεσης και Ευαισθησίας....149
4.3.1.3. Δείκτες Προσαρμοστικής Ικανότητας....165
4.3.2. Σύνθετος Δείκτης Τρωτότητας (VI)....178
4.3.2.1. Στάθμιση Δεικτών με τη μέθοδο Ανάλυσης Κύριων Συνιστωσών....178
4.3.2.2. Ανάπτυξη και Ερμηνεία του VI....182
4.3.3. Αποτελέσματα Αναλύσεων Αβεβαιότητας & Ευαισθησίας VI....191
4.3.3.1. Ανάλυση Αβεβαιότητας VI....192
4.3.3.2. Ανάλυση Ευαισθησίας VI....196
4.4. Αξιολόγηση Επεμβάσεων Ε&ΑΝ ως προς τη Μείωση της Τρωτότητας....198
4.4.1. Εφαρμογή στη ΛΑΠ Λεκανοπεδίου Αττικής....198
4.4.1.1. Σενάριο Βάσης: Προφίλ Τρωτότητας ΛΑΠ Λεκανοπεδίου Αττικής....200
4.4.1.2. Σενάρια Επεμβάσεων Ε&ΑΝ....202
4.4.1.3. Αξιολόγηση Επεμβάσεων Ε&ΑΝ....210
4.5. Ανάπτυξη Ευνοϊκού Περιβάλλοντος για την Εφαρμογή Επεμβάσεων Ε&ΑΝ....212
4.5.1. Εφαρμογή στη ΛΑΠ Copiapó, Χιλή....212
4.5.2. Εμπόδια και Κίνητρα για την Εφαρμογή Επεμβάσεων Ε&ΑΝ....213
4.5.3. Σημαντικά Εμπόδια & Προτεραιότητες Επέμβασης....217
4.5.3.1. Αξιολόγηση Αλληλεξαρτήσεων μεταξύ Εμποδίων....218
4.5.3.2. Ανάλυση Αλληλεξαρτήσεων Προσδιορισμός Συστημικού Ρόλου Εμποδίων 219
4.5.4. Υποστηρικτικά Μέτρα για την Ανάπτυξη Ευνοϊκού Περιβάλλοντος....221

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. Συμπερασματα και Συζητηση.....227
5.1. Εισαγωγή.....227
5.2. Ανακεφαλαίωση Αποτελεσμάτων & Συμπεράσματα.....227
5.2.1. Εκτίμηση Τρωτότητας Υδατικών Συστημάτων.....227
5.2.1.1. Επιμέρους Δείκτες Εκτίμησης Τρωτότητας.....227
5.2.1.2. Σύνθετος Δείκτης VI.....236
5.2.2. Αξιολόγηση Επεμβάσεων Ε&ΑΝ ως προς τη Μείωση της Τρωτότητας.....237
5.2.3. Ανάπτυξη Ευνοϊκού Περιβάλλοντος για την Εφαρμογή Επεμβάσεων Ε&ΑΝ.....239
5.3. Πλεονεκτήματα και Αδυναμίες Προτεινόμενης Μεθόδου.....241
5.4. Καινοτόμος Συνεισφορά Διατριβής.....255
5.5. Προτάσεις για Περαιτέρω Έρευνα.....259

Βιβλιογραφικές Αναφορές.....267

Παράρτημα Ι. Αρχική Λίστα Επιμέρους Δεικτών Τρωτότητας.....295

Παράρτημα ΙΙ. Σύνθετοι Δείκτες Τρωτότητας Υδατικών Συστημάτων.....309

Παράρτημα ΙΙΙ. Ερωτηματολογιο PESTL.....329

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1: Σχέσεις και διαφορές μεταξύ των κινδύνων 23
Πίνακας 2.2: Ορισμοί έκθεσης, ευαισθησίας και προσαρμοστικής ικανότητας 25
Πίνακας 2.3: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα σύνθετων δεικτών (OECD, 2008).....31
Πίνακας 3.1: Δείκτες Έκθεσης & Ευαισθησίας.....55
Πίνακας 3.2: Δείκτες Προσαρμοστικής Ικανότητας 56
Πίνακας 3.3: Οι οριακές τιμές των δεικτών εκτίμησης της τρωτότητας 58
Πίνακας 3.4: Παράδειγμα μήτρας σύγκρισης μεταξύ ν δεικτών.....75
Πίνακας 3.5: Τιμές παράγοντα αβεβαιότητας Χ1 82
Πίνακας 3.6: Τιμές παράγοντα αβεβαιότητας Χ2 82
Πίνακας 3.7: Τιμές παράγοντα αβεβαιότητας Χ3 83
Πίνακας 3.8: Τιμές παράγοντα αβεβαιότητας Χ4 83
Πίνακας 3.9: Οι πολιτικοί παράγοντες που μπορεί να επηρεάσουν την εφαρμογή επεμβάσεων Ε&ΑΝ 92
Πίνακας 3.10: Οι οικονομικοί παράγοντες που μπορεί να επηρεάσουν την εφαρμογή επεμβάσεων Ε&ΑΝ 94
Πίνακας 3.11: Οι κοινωνικοί παράγοντες που μπορεί να επηρεάσουν την εφαρμογή επεμβάσεων Ε&ΑΝ 95
Πίνακας 3.12: Οι τεχνικοί παράγοντες που μπορεί να επηρεάσουν την εφαρμογή επεμβάσεων Ε&ΑΝ 96
Πίνακας 3.13: Οι νομικοί παράγοντες που μπορεί να επηρεάσουν την εφαρμογή επεμβάσεων Ε&ΑΝ 98
Πίνακας 3.14: Συσχέτιση παραγόντων επιρροής και τύπων επεμβάσεων Ε&ΑΝ 99
Πίνακας 3.15: Προσδιορισμός συστημικού ρόλου εμποδίων στη βάση των τιμών Q και P*.....105
Πίνακας 3.16: Πολιτικοί παράγοντες & υποστηρικτικά μέτρα για την ανάπτυξη ευνοϊκού περιβάλλοντος 108
Πίνακας 3.17: Οικονομικοί παράγοντες & υποστηρικτικά μέτρα για την ανάπτυξη ευνοϊκού περιβάλλοντος 111
Πίνακας 3.18: Κοινωνικοί παράγοντες & υποστηρικτικά μέτρα για την ανάπτυξη ευνοϊκού περιβάλλοντος 114
Πίνακας 3.19: Τεχνικοί παράγοντες & υποστηρικτικά μέτρα για την ανάπτυξη ευνοϊκού περιβάλλοντος 118
Πίνακας 3.20: Νομικοί παράγοντες & υποστηρικτικά μέτρα για την ανάπτυξη ευνοϊκού περιβάλλοντος 123
Πίνακας 4.1: Τα ονόματα και οι κωδικοί αριθμοί των 46 ελληνικών ΛΑΠ 133
Πίνακας 4.2: Πηγές Δεδομένων & Στοιχείων για τον Υπολογισμό των Δεικτών Τρωτότητας στις 46 ΛΑΠ 135
Πίνακας 4.3: Υπολογισμός Μόνιμου Πληθυσμού ΛΑΠ Αλφειού.....143
Πίνακας 4.4: Υπολογισμός Οικονομικά Ενεργού Πληθυσμού ΛΑΠ Αλφειού 144
Πίνακας 4.5: Υπολογισμός Πληθυσμού που δεν προχώρησε στη β' βάθμια εκπαίδευση στη ΛΑΠ Αλφειού.....145
Πίνακας 4.6: Υπολογισμός Κατά Κεφαλήν ΑΕΠ στη ΛΑΠ Αλφειού 146

Πίνακας 4.7: Απολήψεις Ύδατος στη ΛΑΠ Αλφειού.....147
Πίνακας 4.8: Υπολογισμός Πληθυσμού που Εξυπηρετείται από ΕΕΛ στη ΛΑΠ Αλφειού.....148
Πίνακας 4.9: Οι τιμές των Δεικτών Έκθεσης για τις 46 ελληνικές ΛΑΠ.....150
Πίνακας 4.10: Οι τιμές των Δεικτών Ευαισθησίας για τις 46 ελληνικές ΛΑΠ.....152
Πίνακας 4.11: Οι τιμές των Δεικτών Προσαρμοστικής Ικανότητας για τις 46 ελληνικές ΛΑΠ....166
Πίνακας 4.12: Παραγοντικά φορτία και τελικά βάρη των επιμέρους δεικτών που απαρτίζουν τον ESI.....179
Πίνακας 4.13: Παραγοντικά φορτία και τελικά βάρη των επιμέρους δεικτών που απαρτίζουν τον ACI.....181
Πίνακας 4.14: Οι τιμές των δεικτών VIref και VIMEDIAN η αντίστοιχη σειρά κατάταξής τους για τις ΛΑΠ Δωδεκανήσων, Αλιάκμονα, Κυκλάδων και Μόρνου.....193
Πίνακας 4.15: Σενάρια επεμβάσεων Ε&ΑΝ στη βάση της Α' Φάσης Υλοποίησης του προγράμματος επαναχρησιμοποίησης που προτείνεται από το Υπουργείο Υποδομών, Μεταφορών και Δικτύων, (2009) 206
Πίνακας 4.16: Κατάταξη των επεμβάσεων Ε&ΑΝ ως προς την αναμενόμενη συνεισφορά τους στη μείωση της τρωτότητας της ΛΑΠ (ΔVI).....211
Πίνακας 4.17: Εμπόδια και κίνητρα για την εφαρμογή επεμβάσεων Ε&ΑΝ στη ΛΑΠ Copiapó* 214
Πίνακας 4.18: Ο CIM για τα εμπόδια εφαρμογής επεμβάσεων Ε&ΑΝ για αστικές χρήσεις στη ΛΑΠ Copiapó*.....219
Πίνακας 4.19: Σημαντικά εμπόδια (προτεραιότητες επέμβασης) και υποστηρικτικά μέτρα για την ανάπτυξη ευνοϊκού περιβάλλοντος.....222

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.1: Συνεισφορά Ε&ΑΝ στην επίλυση ζητημάτων περιορισμένης διαθεσιμότητας υδατικών πόρων..... 5
Εικόνα 1.2: Συσχέτιση βαθμού Ε&ΑΝ και δείκτη έλλειψης νερού (water stress index) σε χώρες της Ευρώπης και της Μεσογείου (Πηγές: Bixio et al., 2006; MED WWR WG, 2007) 6
Εικόνα 1.3: Δέντρο προβλήματος (problem tree) για την εφαρμογή επεμβάσεων Ε&ΑΝ στην ΕΕ (ΚΜ: Κράτη Μέλη) 13
Εικόνα 2.1: Οι τρεις συνιστώσες της τρωτότητας.....26
Εικόνα 2.2: Η προσέγγιση DPSIR και η σχέσεις μεταξύ των στοιχείων της 29
Εικόνα 2.3: Καταμετρημένα συστήματα Ε&ΑΝ ανά χρήση ανακτημένου νερού σε 7 περιοχές του κόσμου (Προσαρμογή από: Bixio et al., 2008) 36
Εικόνα 2.4: Εφαρμογές Ε&ΑΝ στην Ευρώπη (Πηγή: Bixio et al., 2006a) 38
Εικόνα 2.5: Οι συνιστώσες του ευνοϊκού περιβάλλοντος (Προσαρμογή από: Lüthi et al., 2011)45
Εικόνα 4.1: Οι 46 ΛΑΠ της Ελλάδας (Πηγή: Google Earth, 2016 & EEMRU, 2016).....132
Εικόνα 4.2: Η ΛΑΠ Copiapó στη Χιλή (Πηγή: Porto et al., 2012 & Suárez et al., 2014) 139
Εικόνα 4.3: Μέσες ετήσιες ισοϋέτιες καμπύλες στη ΛΑΠ Copiapó (Πηγή: Porto et al., 2012)...140
Εικόνα 4.4: Οι κανονικοποιημένες τιμές του δείκτη F για τις 46 ελληνικές ΛΑΠ. Η κόκκινη γραμμή αντιπροσωπεύει την οριακή τιμή του δείκτη. 155
Εικόνα 4.5: Ποσοστιαία Κατανομή των 46 ελληνικών ΛΑΠ στις έξη κλάσεις διαθεσιμότητας υδατικών πόρων του Shiklomanov, ανάλογα με την τιμή του δείκτη F.....156
Εικόνα 4.6: Οι κανονικοποιημένες τιμές του δείκτη WW για τις 46 ελληνικές ΛΑΠ. Η κόκκινη γραμμή αντιπροσωπεύει την οριακή τιμή του δείκτη.....158
Εικόνα 4.7: Οι κανονικοποιημένες τιμές του δείκτη WEI για τις 46 ελληνικές ΛΑΠ. Η κόκκινη γραμμή αντιπροσωπεύει την οριακή τιμή του δείκτη.....160
Εικόνα 4.8: Ποσοστιαία κατανομή των 46 ελληνικών ΛΑΠ σε τέσσερις κλάσεις ανάλογα με την τιμή του WEI 160
Εικόνα 4.9: Οι κανονικοποιημένες τιμές του δείκτη SELF για τις 46 ελληνικές ΛΑΠ. Η κόκκινη γραμμή αντιπροσωπεύει την οριακή τιμή του δείκτη.....162
Εικόνα 4.10: Οι κανονικοποιημένες τιμές του δείκτη DENS για τις 46 ελληνικές ΛΑΠ. Η κόκκινη γραμμή αντιπροσωπεύει την οριακή τιμή του δείκτη.....164
Εικόνα 4.11: Οι κανονικοποιημένες τιμές του δείκτη VEG για τις 46 ελληνικές ΛΑΠ. Η κόκκινη γραμμή αντιπροσωπεύει την οριακή τιμή του δείκτη.....170
Εικόνα 4.12: Οι κανονικοποιημένες τιμές του δείκτη ALT για τις 46 ελληνικές ΛΑΠ. Η κόκκινη γραμμή αντιπροσωπεύει την οριακή τιμή του δείκτη.....172
Εικόνα 4.13: Οι κανονικοποιημένες τιμές του δείκτη EC για τις 46 ελληνικές ΛΑΠ. Η κόκκινη γραμμή αντιπροσωπεύει την οριακή τιμή του δείκτη.....174
Εικόνα 4.14: Οι κανονικοποιημένες τιμές του δείκτη ED για τις 46 ελληνικές ΛΑΠ. Η κόκκινη γραμμή αντιπροσωπεύει την οριακή τιμή του δείκτη.....175
Εικόνα 4.15: Οι κανονικοποιημένες τιμές του δείκτη GDP για τις 46 ελληνικές ΛΑΠ. Η κόκκινη γραμμή αντιπροσωπεύει την οριακή τιμή του δείκτη.....176
Εικόνα 4.16: Διαφορετικά επίπεδα τρωτότητας σε συστήματα με αυξημένη έκθεση σε κινδύνους 183

Εικόνα 4.17: Οι τέσσερις κλάσεις του δείκτη ESI και οι αντίστοιχες συνθήκες έκθεσης και ευαισθησίας που υποδηλώνουν 183
Εικόνα 4.18: Οι τέσσερις κλάσεις του δείκτη ACI και οι αντίστοιχες συνθήκες προσαρμοστικής ικανότητας που υποδηλώνουν 183
Εικόνα 4.19: Οι έξι κλάσεις του VI και η ερμηνεία τους 184
Εικόνα 4.20: Οι τιμές του σύνθετου δείκτη ESI για τις 46 ελληνικές ΛΑΠ. Η κόκκινη γραμμή αντιπροσωπεύει την οριακή τιμή του δείκτη. 185
Εικόνα 4.21: Οι τιμές του σύνθετου δείκτη ESI για τις 46 ελληνικές ΛΑΠ. Η κόκκινη γραμμή αντιπροσωπεύει την οριακή τιμή του δείκτη. 185
Εικόνα 4.22: Θεματικός χάρτης κατανομής των κλάσεων έκθεσης και ευαισθησίας της Ελλάδας 186
Εικόνα 4.23: Θεματικός χάρτης κατανομής των κλάσεων προσαρμοστικής ικανότητας της Ελλάδας 187
Εικόνα 4.24: Οι τιμές του σύνθετου δείκτη τρωτότητας VI για κάθε ΛΑΠ 189
Εικόνα 4.25: Ο θεματικός χάρτης κατανομής των κλάσεων τρωτότητας της Ελλάδας 190
Εικόνα 4.26: Σύγκριση του VI_{ref} (κόκκινη παύλα), με τη διάμεσο των τιμών του VI (μπλε σταυρός) που προέκυψαν από τους 10,000 συνδυασμούς του Monte Carlo για κάθε ΛΑΠ (b: Η υπό μελέτη ΛΑΠ). Οι τιμές του 5^{ου} και του 95^{ου} εκατοστημορίου αποτελούν τα όρια της κατανομής των τιμών του VI. Η πορτοκαλί γραμμή συμβολίζει την οριακή τιμή του VI. 194
Εικόνα 4.27: Σύγκριση της κατάταξης των ΛΑΠ ως προς τον VI_{ref} (Rank(VI_{ref})) με την κατάταξη τους ως προς τη διάμεσο των τιμών του VI (Rank(VI_{MEDIAN})). 195
Εικόνα 4.28: Οι τιμές των 4 δεικτών ευαισθησίας για κάθε ΛΑΠ. S1: Δείκτης ευαισθησίας μεθόδου κανονικοποίησης; S2: Δείκτης ευαισθησίας μεθόδου στάθμισης; S3: Δείκτης ευαισθησίας επιλεγμένων δεικτών έκθεσης και ευαισθησίας; S4: Δείκτης ευαισθησίας επιλεγμένων δεικτών προσαρμοστικής ικανότητας; SNA: διακύμανση που οφείλεται στις αλληλεπιδράσεις των παραγόντων αβεβαιότητας 197
Εικόνα 4.29: Μορφολογικός χάρτης ΥΔ Αττικής (Πηγή: ΥΠΕΚΑ, 2013ε) 199
Εικόνα 4.30: Προφίλ τρωτότητας της ΛΑΠ Λεκανοπεδίου Αττικής: Σύγκριση Επιμέρους Δεικτών Έκθεσης και Ευαισθησίας (α) και Προσαρμοστικής Ικανότητας (β) με τις αντίστοιχες οριακές τιμές (κόκκινη γραμμή) 201
Εικόνα 4.31: ΕΕΛ και ζώνες για πιθανές επεμβάσεις Ε&ΑΝ στη ΛΑΠ Λεκανοπεδίου Αττικής (Υπουργείο Υποδομών, Μεταφορών και Δικτύων, 2009) 205
Εικόνα 4.32: Ο VI της ΛΑΠ Λεκανοπεδίου Αττικής στην υπάρχουσα κατάσταση (σενάριο βάσης) και στην περίπτωση εφαρμογής των εναλλακτικών επεμβάσεων (σεναρίων) Ε&ΑΝ 211
Εικόνα 4.33: Ποσοστιαία κατανομή των συμμετεχόντων στην έρευνα ερωτηματολογίων στη ΛΑΠ Copiapó στις διάφορες ομάδες τοπικών φορέων 213
Εικόνα 4.34: Τα εμπόδια που εντοπίστηκαν για την εφαρμογή επεμβάσεων Ε&ΑΝ για αστικές χρήσεις στη ΛΑΠ Copiapó 217
Εικόνα 4.35: Ο CIM συμπληρωμένος από τους τοπικούς εταίρους του Ευρωπαϊκού ερευνητικού έργου COROADO για όλα τα πιθανά εμπόδια για την εφαρμογή επεμβάσεων Ε&ΑΝ στη ΛΑΠ Copiapó 218
Εικόνα 4.36: Το πλέγμα αλληλεξαρτήσεων των εμποδίων εφαρμογής επεμβάσεων Ε&ΑΝ για αστικές χρήσεις στη ΛΑΠ Copiapó 220

Εικόνα 5.1: Μοντελοποίηση υδατικού συστήματος στο μοντέλο International Futures (IFs) 260
Εικόνα 5.2: Το μέσο υδατικό αποτύπωμα της παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας για ορισμένα κράτη (Πηγή: Knook, 2016) 261

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΥΝΤΜΗΣΕΩΝ

ΑΕΠ	Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν
ΑΚΣ	Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών
Ε&ΑΝ	Επαναχρησιμοποίηση και Ανακύκλωση Νερού
ΕΕ	Ευρωπαϊκή Ένωση
ΕΕΛ	Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων
ΕΣΚ	Ευρωπαϊκή Σύμπραξη Καινοτομίας
ΕΤΠΑ	Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης
ΕΥΑΘ	Εταιρία Ύδρευσης και Αποχέτευσης Θεσσαλονίκης
ΕΥΔΑΠ	Εταιρεία Ύδρευσης και Αποχέτευσης Πρωτευούσης
ΗΠΑ	Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής
Ι.Κ.	Ισοδύναμοι Κάτοικοι
ΚΣ	Κύρια Συνιστώσα
ΚΥΑ	Κοινή Υπουργική Απόφαση
ΛΑΠ	Λεκάνη Απορροής Ποταμού
ΟΗΕ	Οργανισμός Ηνωμένων Εθνών
ΟΠΥ	Οδηγία Πλαίσιο για τα Ύδατα
Π.Γ.Δ.Μ.	Πρώην Γιουγκοσλαβική Δημοκρατία της Μακεδονίας
ΣΒΑ	Στόχοι Βιώσιμης Ανάπτυξης
ΥΔ	Υδατικό Διαμέρισμα
ΥΠΕΚΑ	Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής
ΥΠΕΝ	Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας
VI	Σύνθετος Δείκτης Τρωτότητας

ACI	Adaptive Capacity Index
ADVIAN	ADVanced Impact ANalysis
AS	Active Sum
CIA	Cross-Impact Analysis
CIM	Cross-Impact Matrix
DEMATEL	Decision Making Trial and Evaluation Laboratory
DPSIR	Driving forces – Pressures – State – Impacts – Responses
EC	European Commission
EEA	European Environment Agency
ESI	Exposure and Sensitivity Index
ETC/ICM	European Topic Centre on Inland, Coastal and Marine waters
IGRAC	International Groundwater Assessment Centre
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
MED WWR WG	Mediterranean Wastewater Reuse Working Group
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
NRDC	Natural Resources Defense Council
OECD	Organization for Economic Cooperation and Development
PCA	Principal Components Analysis
PESTL	Political – Economic – Social – Technical - Legal / institutional factors
PESTLE	Political – Economic – Social – Technical - Legal / institutional – Environmental factors
PRI	Policy Research Initiative
PS	Passive Sum
UN	United Nations
UNDP	United Nations Development Programme
UNEP	United Nations Environment Programme
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
UNW-DPC	United Nations-Water Decade Programme on Capacity Development
US	United States
US EPA	United States Environmental Protection Agency
WEI	Water Exploitation Index
WHO	World Health Organization
WR&R	Water Reuse and Recycling
WRI	World Resources Institute

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Πλαίσιο και Αναγκαιότητα της Διατριβής

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται το πλαίσιο από το οποίο προκύπτει το ερευνητικό ερώτημα που καλείται να απαντήσει η παρούσα Διατριβή, και στοιχειοθετείται η αναγκαιότητά της. Αρχικά περιγράφονται οι σύγχρονες προκλήσεις στον τομέα των υδάτων και η ανάγκη για Επαναχρησιμοποίηση και Ανακύκλωση (Ε&ΑΝ) των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων. Στη συνέχεια, αναλύεται η συνεισφορά της Ε&ΑΝ στην αντιμετώπιση των προκλήσεων αυτών και παρουσιάζεται το ισχύον ευρωπαϊκό και εθνικό πολιτικό πλαίσιο σχετικά με την Ε&ΑΝ. Επίσης, περιγράφονται τα κύρια ζητήματα που εμποδίζουν την ευρύτερη εφαρμογή των πρακτικών Ε&ΑΝ στην Ευρώπη και στην Ελλάδα. Στη βάση των παραπάνω, παρουσιάζεται το ερευνητικό ερώτημα, το αντικείμενο και οι στόχοι της Διατριβής. Τέλος, περιγράφεται η διάρθρωση της Διατριβής, ώστε να διευκολυνθεί η ανάγνωσή και η παρακολούθησή της.

1.1.1. Σύγχρονες Προκλήσεις στον Τομέα των Υδάτων

Η κλιματική αλλαγή αναμένεται να επηρεάσει δυσμενώς τους διαθέσιμους υδατικούς πόρους του πλανήτη και τη διαχείρισή τους, θέτοντας σοβαρές προκλήσεις για τη διατήρηση των οικοσυστημάτων και την κοινωνική ανάπτυξη και ευημερία. Επιπλέον, οι πιέσεις που ασκούν οι μη κλιματικοί παράγοντες στα υδατικά συστήματα, όπως η ραγδαία αύξηση του πληθυσμού, η ταχεία οικονομική ανάπτυξη και οι αλλαγές στις χρήσεις γης, αναμένεται να επιδεινώσουν περαιτέρω τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στους υδατικούς πόρους, περιορίζοντας την ποσότητα και υποβαθμίζοντας την ποιότητα των αποθεμάτων γλυκού νερού (Kundzewicz et al., 2007). Έτσι, η ικανότητα των διαθέσιμων υδατικών πόρων να καλύψουν τις ανάγκες των διαφόρων χρήσεων και να παρέχουν περιβαλλοντική προστασία τίθεται σε κίνδυνο, ενώ η τρωτότητα των υδατικών συστημάτων στα φαινόμενα της λειψυδρίας, της ξηρασίας και της σπανιότητας ύδατος αυξάνεται σημαντικά (Babel et al., 2011).

Σε επίπεδο Ευρώπης, υπάρχει έντονη αναντιστοιχία μεταξύ διαθεσιμότητας νερού και ζήτησης για τις διάφορες χρήσεις. Η συγκέντρωση του πληθυσμού κοντά στις ακτογραμμές, όπου οι διαθέσιμοι πόροι είναι περιορισμένοι, έχει συμβάλει σημαντικά στην αύξηση της πίεσης στα αποθέματα του γλυκού νερού. Επιπροσθέτως, κοινωνικό-οικονομικές αλλαγές, όπως η αλλαγή στις διατροφικές συνήθειες, έχουν επηρεάσει τη χρήση των υδατικών πόρων. Η αύξηση των ζωικών και γαλακτοκομικών προϊόντων στη σύγχρονη διατροφή οδήγησε σε αύξηση της ζήτησης νερού για την αγροτική παραγωγή (European Environment Agency [EEA], 2016; Kirhensteine et al., 2016).

Πολλές περιοχές της Ευρώπης αντιμετωπίζουν σημαντικά προβλήματα έλλειψης νερού τις τελευταίες δύο δεκαετίες, ενώ η εμφάνιση διαδοχικών φαινομένων ξηρασίας σε πολλές περιοχές της ηπείρου τα τελευταία χρόνια, π.χ. Γαλλία, Ιταλία, Ισπανία και Ηνωμένο Βασίλειο, έχουν προκαλέσει μεταβολές στη ροή των ποταμών και στη στάθμη των υπόγειων υδροφορέων (Bixio et al., 2006). **Εκτιμάται ότι μέχρι το 2030 οι μισές από τις Ευρωπαϊκές Λεκάνες Απορροής**

Ποταμών (ΛΑΠ) θα αντιμετωπίζουν προβλήματα ξηρασίας, λειψυδρίας ή σπανιότητας ύδατος (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2012).

Η υπεράντληση των διαθέσιμων υδατικών πόρων, κυρίως για άρδευση καλλιεργειών αλλά και για βιομηχανικές χρήσεις και αστική ανάπτυξη (συμπεριλαμβανομένου του τουρισμού), αποτελεί την κυριότερη απειλή για τις Ευρωπαϊκές ΛΑΠ (Ευρωπαϊκή Επιτροπή: http://ec.europa.eu/environment/water/reuse-actions.htm). Το 2010 η υπεράντληση επηρέασε σημαντικά το 10% των επιφανειακών και το 20% των υπόγειων υδατικών συστημάτων (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2015α). Η κατασπατάληση των υπόγειων υδάτων οδήγησε στην πτώση του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα, στην εξάντληση των υπόγειων αποθεμάτων, στην αύξηση του κόστους άντλησης και στην ποιοτική υποβάθμιση λόγω υφαλμύρινσης στις παράκτιες περιοχές. Επίσης, λόγω της υπεράντλησης έχει αλλοιωθεί το υδρολογικό καθεστώς και έχουν επηρεαστεί τα παραποτάμια οικοσυστήματα σε πολλές περιοχές (ΕΕΑ, 2008).

Το πρόβλημα της μειωμένης διαθεσιμότητας των υδατικών πόρων λόγω της υπεράντλησης επιδεινώνεται ακόμα περισσότερο εξαιτίας της ποιοτικής υποβάθμισης των υδατικών πόρων. Πολλοί ευρωπαϊκοί ποταμοί και υπόγεια υδατικά συστήματα εμφανίζουν υψηλές συγκεντρώσεις θρεπτικών συστατικών (φαινόμενο ευτροφισμού), κυρίως αζώτου και φωσφόρου, που προκύπτουν από διάχυτες, όπως η χρήση φυτοφαρμάκων ή λιπασμάτων στη γεωργία, αλλά και από σημειακές πηγές ρύπανσης, όπως οι Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων (ΕΕΛ) (ΕΕΑ, 2015). Το 2015, εκτιμήθηκε ότι οι διάχυτες πηγές ρύπανσης επηρέασαν την ποιότητα του 90% των Ευρωπαϊκών ΛΑΠ, του 50% των επιφανειακών και του 33% των υπόγειων υδατικών σωμάτων. Η ποιοτική υποβάθμιση των υδάτων συνεπάγεται περιβαλλοντικές (π.χ. υποβάθμιση οικοσυστημάτων και ποιότητας εδάφους) αλλά και κοινωνικό-οικονομικές επιπτώσεις (αύξηση τιμής νερού, μείωση γεωργικής παραγωγής).

Σύμφωνα με την Ανακοίνωση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για την Αντιμετώπιση του Προβλήματος της Λειψυδρίας και της Ξηρασίας στην ΕΕ (Commission Communication on Water Scarcity and Droughts) το 2007 (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2007), τα φαινόμενα της ξηρασίας και της σπανιότητας ύδατος αναμένεται να εκδηλώνονται εντονότερα και συχνότερα στο μέλλον λόγω της κλιματικής αλλαγής και της αύξησης του πληθυσμού, ενώ εκτιμάται ότι τουλάχιστον το 11% του ευρωπαϊκού πληθυσμού και το 17% του ευρωπαϊκού εδάφους αντιμετωπίζει προβλήματα λειψυδρίας.

Ο τρόπος που εκδηλώνονται τα φαινόμενα αυτά εξαρτάται από τις αντίστοιχες υποδομές, την οικονομική δυνατότητα αξιοποίησης και πρόσβασης στους υδατικούς πόρους, και το μέγεθος της ζήτησης. Σε κάθε περίπτωση όμως οι επιπτώσεις τους είναι παρόμοιες και επηρεάζουν δυσμενώς τόσο τα περιβαλλοντικά όσο και τα κοινωνικό-οικονομικά συστήματα των περιοχών που πλήττονται: μειωμένη διαθεσιμότητα και ανεπαρκής ποιότητα των επιφανειακών και των υπόγειων υδατικών πόρων, ανεπαρκής ποσότητα νερού για άρδευση με αποτέλεσμα τη μείωση της ποσότητας και της ποιότητας της γεωργικής παραγωγής, μείωση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τους Ευρωπαϊκούς σταθμούς λόγω της ανεπαρκούς ποσότητας νερού ψύξης, ανταγωνισμός μεταξύ των διαφόρων χρήσεων και παραγωγικών τομέων. Σύμφωνα με τις εκτιμήσεις της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, η αθροιστική οικονομική επιβάρυνση λόγω έλλειψης

νερού την περίοδο 1976 – 2006 ήταν της τάξης των 100 δις €, γεγονός που καθιστά επιτακτική την ανάγκη ανεύρεσης βιώσιμων και μακροχρόνιων λύσεων (European Commission [EC], 2012).

Η Ελλάδα αποτελεί μία σχετικά ευνοημένη υδρολογικά χώρα σε σύγκριση με τις υπόλοιπες χώρες της Μεσογείου. Η θεωρητικά διαθέσιμη ποσότητα των ανανεώσιμων υδατικών πόρων εκτιμάται στα 72×10^9 m^3 το χρόνο (σύμφωνα με τη βάση δεδομένων της Eurostat: http://ec.europa.eu/eurostat/data/database), η οποία θα επαρκούσε για την κάλυψη των ετήσιων αναγκών της, αν ήταν πραγματικά εκμεταλλεύσιμη. Η ποσότητα όμως που είναι άμεσα διαθέσιμη προς εκμετάλλευση είναι πολύ μικρότερη και υπάρχει έντονη αναντιστοιχία ανάμεσα στη χρονική και χωρική κατανομή της προσφοράς και της ζήτησης, η οποία έχει προκαλέσει στο παρελθόν και εξακολουθεί να προκαλεί προβλήματα έλλειψης νερού (EEA, 2016; Kirhensteine et al., 2016; Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας [ΥΠΕΝ]: http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=247&language=el-GR). Οι συνθήκες έλλειψης νερού έχουν επιδεινωθεί τα τελευταία χρόνια, κυρίως λόγω τεχνικών και οικονομικών παραγόντων, σε συνδυασμό με την ιδιαίτερη γεωμορφολογία της χώρας (έντονο ανάγλυφο, μεγάλο ανάπτυγμα ακτών, εξάρτηση από εισροές γειτονικών χωρών) και την έλλειψη συντονισμένων και αποτελεσματικών πολιτικών διαχείρισης των υδατικών πόρων (Κουτσογιάννης κ.α. 2008; Perdero et al., 2010). Ειδικά σε τοπικό επίπεδο η διαθέσιμη ποσότητα των υδατικών πόρων είναι περιορισμένη και ελαττώνεται συνεχώς. Πολλές περιοχές τείνουν να γίνουν ελλειμματικές σε νερό, ενώ οι μεγάλες συλλογικές ανάγκες καλύπτονται μέσω μεταφοράς νερού, με σημαντικό κόστος (π.χ. Λεκανοπέδιο Αττικής, και νησιά Αιγαίου τους καλοκαιρινούς μήνες). Προβλήματα λειψυδρίας εμφανίζονται συχνά σε διάφορες περιοχές της χώρας, όπως για παράδειγμα στα απομακρυσμένα νησιά του Αιγαίου κατά την καλοκαιρινή περίοδο, επηρεάζοντας δυσμενώς την τοπική οικονομία και ανάπτυξη (Gikas & Tchobanoglous, 2009).

Τα μισά Υδατικά Διαμερίσματα της χώρας (7 από τα 14) αντιμετωπίζουν προβλήματα σπανιότητας ύδατος και λειψυδρίας, και βρίσκονται μεταξύ των 20 πιο ελλειμματικών σε νερό Υδατικών Διαμερισμάτων στην Ευρώπη (European Topic Centre on Inland, Coastal and Marine waters [ETC/ICM], 2016; Kirhensteine et al., 2016).

Αν και η ποιοτική κατάσταση των υδατικών πόρων στην Ελλάδα δεν παρουσιάζει σημαντικά προβλήματα (εκτός μεμονωμένων περιπτώσεων), η ανεξέλεγκτη και απρογραμμάτιστη ανάπτυξη πολλών περιοχών τα τελευταία χρόνια, έχει αρχίσει να οδηγεί στην ποιοτική υποβάθμιση επιφανειακών και υπόγειων υδατικών πόρων. Η γεωργική δραστηριότητα αποτελεί σημαντική πηγή ρύπανσης, η οποία είναι δύσκολο να αντιμετωπιστεί λόγω του μη σημειακού της χαρακτήρα, ενώ σημαντικές σημειακές πηγές ρύπανσης αποτελούν τα αστικά λύματα και τα βιομηχανικά απόβλητα (Κουτσογιάννης κ.α. 2008).

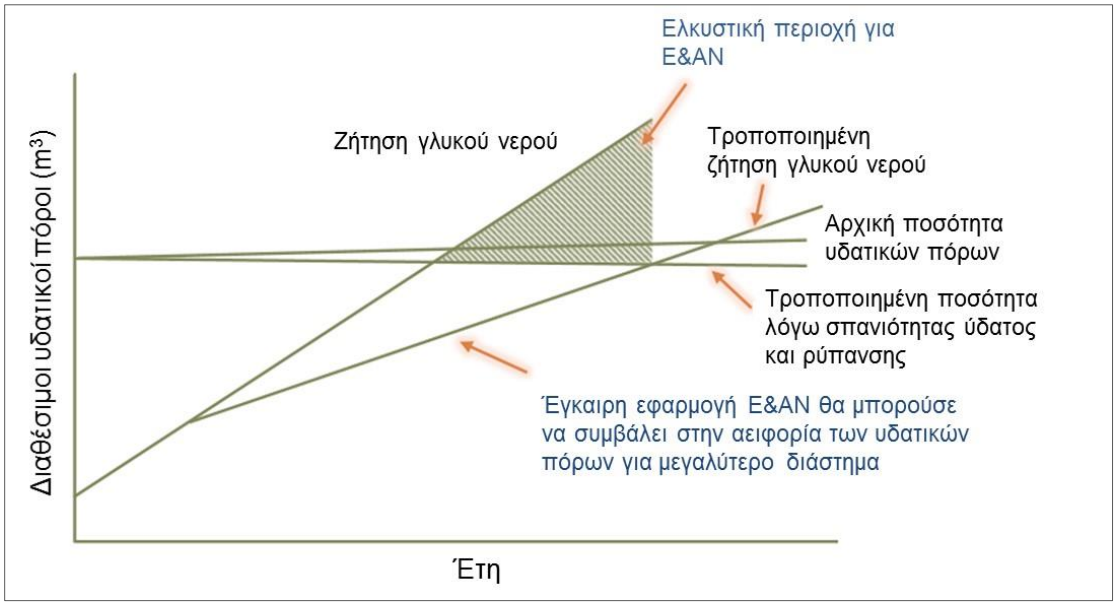
Για την αντιμετώπιση των σύγχρονων προκλήσεων στον τομέα των υδάτων είναι επιτακτική η υιοθέτηση ενός ορθολογικού συστήματος διαχείρισης, το οποίο θα αναζητά και θα εφαρμόζει εναλλακτικές λύσεις για την αποδοτικότερη χρήση και τη μειωμένη ρύπανση των υδατικών πόρων (Global Water Partnership Technical Advisory Committee, 2000; Das Gupta et al., 2005; Babel et al., 2011). **Τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα** θεωρείται πως μπορούν να παρέχουν μία ουσιαστική λύση στην ενίσχυση διαφόρων χρήσεων, διαδραματίζοντας ρόλο ζωτικής σημασίας στα πλαίσια της ορθολογικής διαχείρισης των υδατικών πόρων, αφού αντιμετωπίζουν τόσο το

πρόβλημα της υπεράντλησης και της μειωμένης διαθεσιμότητας, όσο και το πρόβλημα της υποβαθμισμένης ποιότητας των υδατικών πόρων (Friedler, 2001; Lazarova et al., 2001; Stathatou et al., 2015; Kirhensteine et al., 2016; EEA, 2016).

Τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα θα μπορούσαν να αποτελέσουν λύση κλειδί για την αντιμετώπιση των προβλημάτων λειψυδρίας και στην Ελλάδα (ΥΠΕΝ: http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=247&language=el-GR). Τα ολοένα και αυστηρότερα ποιοτικά όρια που επιβάλλονται σχετικά με τα λύματα που απορρίπτονται στους επιφανειακούς και υπόγειους αποδέκτες αποτελούν ένα σημαντικό κίνητρο για την επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, η οποία θα μπορούσε να προσφέρει μία περιβαλλοντικά αποδεκτή και οικονομικά συμφέρουσα λύση για τη διαχείριση των επεξεργασμένων εκροών των ΕΕΛ. Τα λύματα που παράγονται από το 75% περίπου του πληθυσμού της χώρας που εξυπηρετείται από δίκτυα αποχέτευσης καταλήγουν σε 200 περίπου ΕΕΛ, συνολικής δυναμικότητας μεγαλύτερης από 1.9×10^9 m^3 την ημέρα. Το 83% των επεξεργασμένων εκροών των ΕΕΛ παράγονται σε περιοχές με ελλειμματικό υδατικό ισοζύγιο, ενώ παραπάνω από το 88% των επεξεργασμένων λυμάτων διατίθενται σε σημεία που απέχουν λιγότερο από 5 χλμ. από γεωργικές καλλιέργειες, γεγονός που καθιστά την Ε&ΑΝ ελκυστική και οικονομικά συμφέρουσα λύση για τα ελληνικά δεδομένα (Υπουργείο Υποδομών, Μεταφορών και Δικτύων, 2009; BIO by Deloitte, 2015; EEA, 2016; Kirhensteine et al., 2016).

1.1.2. Συνεισφορά Επαναχρησιμοποίησης & Ανακύκλωσης Νερού στην Αντιμετώπιση των Προκλήσεων

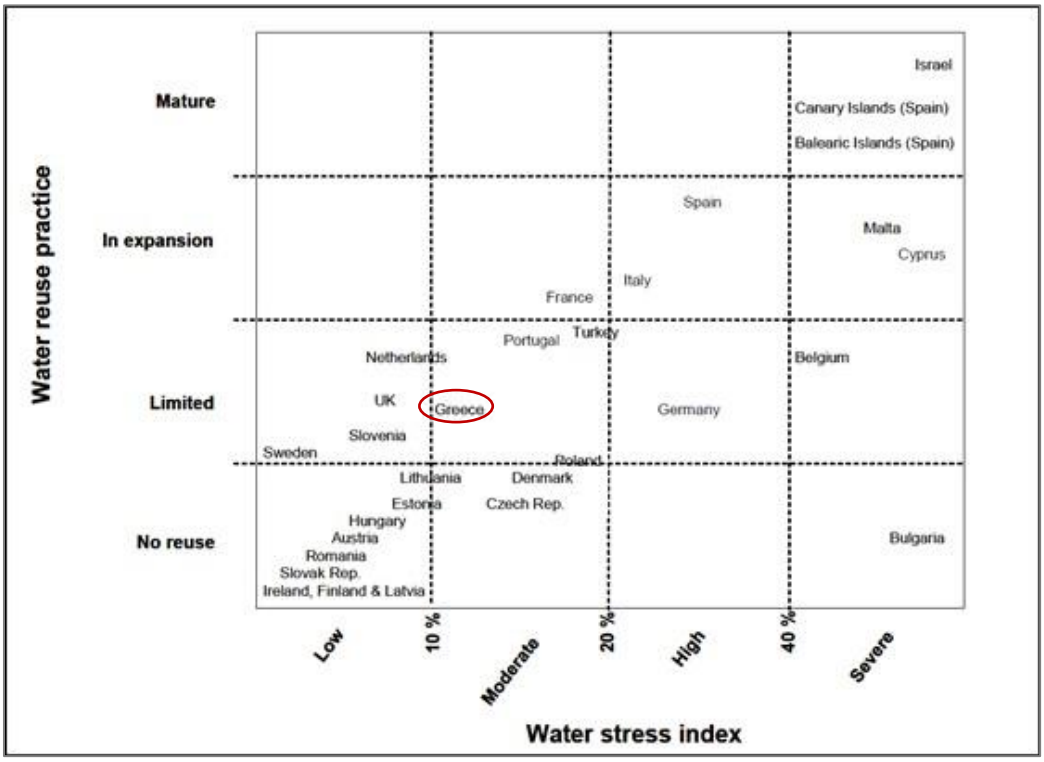
Τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα αποτελούν έναν εναλλακτικό υδατικό πόρο υψηλής αξιοπιστίας (τοπικά ελεγχόμενη και συνεχής παροχή, ανεπηρέαστη από κλιματικές συνθήκες), που μπορεί να ενισχύσει διάφορες χρήσεις (γεωργικές, αστικές/οικιακές, βιομηχανικές), παρέχοντας πολλαπλά οφέλη (Ευρωπαϊκή Επιτροπή: http://ec.europa.eu/environment/water/reuse-actions.htm). Η Ε&ΑΝ συμβάλλει στη διατήρηση των διαθέσιμων υδατικών αποθεμάτων, είτε άμεσα καλύπτοντας τη ζήτηση νερού για συγκεκριμένες χρήσεις (π.χ. άρδευση καλλιεργειών, καθαρισμός δρόμων, νερό για λέβητες βιομηχανιών), είτε έμμεσα αντικαθιστώντας την κατανάλωση πόσιμου νερού για χρήσεις που δεν έχουν υψηλές ποιοτικές απαιτήσεις (Asano et al., 2007; US Environmental Protection Agency [US EPA], 2012). Παράλληλα, μέσω των επεμβάσεων Ε&ΑΝ ενισχύεται η περιβαλλοντική προστασία, λόγω της μείωσης στις απολήψεις γλυκού νερού και στην απόρριψη λυμάτων στους υδάτινους αποδέκτες, της εξοικονόμησης ενέργειας και της προστασίας των υδάτινων οικοσυστημάτων (Friedler, 2001; Hidalgo et al., 2007; Lazarova et al., 2001; Wade Miller, 2006; US EPA, 2012). Επομένως, η Ε&ΑΝ θα μπορούσε να συμβάλει ουσιαστικά στην επίλυση των προβλημάτων περιορισμένης διαθεσιμότητας και σπανιότητας νερού, και κατ' επέκταση στη μείωση της τρωτότητας των υδατικών συστημάτων. Στην Εικόνα 1.1 παρουσιάζεται η αναμενόμενη συμβολή των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων (ανακτημένο νερό) στη μείωση των προβλημάτων σπανιότητας ύδατος, σύμφωνα με τον Visvanathan (2015).



Εικόνα 1.1: Συνεισφορά Ε&ΑΝ στην επίλυση ζητημάτων περιορισμένης διαθεσιμότητας υδατικών πόρων (Προσαρμογή από: Visvanathan, 2015)

Στα πλαίσια αυτά, υπάρχει ολοένα και αυξανόμενο ενδιαφέρον σε παγκόσμιο επίπεδο για τις πρακτικές Ε&ΑΝ (Υπουργείο Υποδομών, Μεταφορών και Δικτύων, 2009; Condom et al., 2012), ενώ η χρήση ανακτημένου νερού εντάσσεται και προωθείται από τις διεθνείς, ευρωπαϊκές και εθνικές πρωτοβουλίες και στρατηγικές (π.χ. Ευρωπαϊκές πρωτοβουλίες και στρατηγικές, που αφορούν την αποδοτική χρήση των πόρων - resource efficiency, τη μείωση των ρυπαντικών φορτίων - pollution abatement, και το μοντέλο της κυκλικής οικονομίας - circular economy, καθώς στοχεύουν στο «κλείσιμο των βρόγχων» της παραγωγικής αλυσίδας - closing the loops in the supply chain, Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2015α) (Ευρωπαϊκή Επιτροπή: http://ec.europa.eu/environment/water/reuse-actions.htm). Η Ε&ΑΝ θεωρείται μέσο για τη βελτίωση της οικο-αποδοτικότητας (eco-efficiency) των συστημάτων παραγωγής και την ενίσχυση των υπηρεσιών των οικοσυστημάτων (ecosystem services) (EC, 2011).

Οι πιο αναπτυγμένες πρακτικές Ε&ΑΝ συναντώνται σε περιοχές με έντονα προβλήματα έλλειψης νερού (π.χ. Ισραήλ, Κανάριες και Βαλεαρίδες Νήσοι, κ.ά.), ενώ άμεση επαναχρησιμοποίηση για πόση συμβαίνει σε μεγάλη κλίμακα κυρίως στη Σιγκαπούρη και στην πρωτεύουσα της Ναμίμπια, Βίντχουκ (Windhoek) (SUEZ ENVIRONMENT Magazine, 2013). Η συσχέτιση μεταξύ της χρήσης ανακτημένου νερού και των προβλημάτων έλλειψης νερού στις χώρες της Ευρώπης και της Μεσογείου παρουσιάζεται στην Εικόνα 1.2.



Εικόνα 1.2: Συσχέτιση βαθμού Ε&ΑΝ και δείκτη έλλειψης νερού (water stress index) σε χώρες της Ευρώπης και της Μεσογείου (Πηγές: Bixio et al., 2006; Mediterranean Wastewater Reuse Working Group [MED WWR WG], 2007)

Η Ε&ΑΝ εκτός από περιβαλλοντικά μπορεί να έχει και κοινωνικά και οικονομικά οφέλη, ενώ μπορεί να συνεισφέρει στη γενικότερη ανάπτυξη του τομέα των υδατικών πόρων, ο οποίος αποτελεί καίρια συνιστώσα της ευρωπαϊκής βιομηχανίας. Παγκοσμίως, η αγορά που σχετίζεται με τη χρήση και τη διαχείριση του νερού αναπτύσσεται με ταχείς ρυθμούς, και αναμένεται να φτάσει το 1 τρις € το 2020. Η Ε&ΑΝ μπορεί να συνεισφέρει στη δημιουργία νέων θέσεων εργασίας στην αγορά αυτή (εκτιμάται ότι 1% αύξηση του ρυθμού ανάπτυξης της βιομηχανίας νερού της Ευρώπης μπορεί να οδηγήσει στη δημιουργία έως και 20,000 νέων θέσεων εργασίας) (Ευρωπαϊκή Επιτροπή: http://ec.europa.eu/environment/water/reuse-actions.htm).

1.1.3. Ευρωπαϊκή Πολιτική για την Ε&ΑΝ

Τα τελευταία χρόνια ολοένα και περισσότερες Ευρωπαϊκές πρωτοβουλίες και στρατηγικές επισημαίνουν την ανάγκη αύξησης της τροφοδότησης με ανακτημένο νερό των αστικών, γεωργικών και βιομηχανικών χρήσεων (Kirhensteine et al., 2016):

- **Οδηγία Πλαίσιο για τα Ύδατα (60/2000/ΕΚ):** Σύμφωνα με το Άρθρο 5 της Οδηγίας Πλαίσιο για τα Ύδατα (ΟΠΥ) (Water Framework Directive), που δημοσιεύτηκε στην Επίσημη Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων το Δεκέμβριο του 2000, απαιτείται η ανάλυση των πιέσεων που υφίστανται τα υδατικά σώματα. Η υπερβολική άντληση και η κατασπατάληση των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων αποτελεί σημαντική πίεση σε ορισμένες περιοχές της Ευρώπης και πιθανότατα προκαλείται από ευρύτερα προβλήματα λειψυδρίας και σπανιότητας ύδατος τα οποία θα επιδεινωθούν από την κλιματική αλλαγή. Η ΟΠΥ ορίζει πως τα Κράτη Μέλη, στα οποία εντοπίζονται σημαντικές πιέσεις λόγω υπερβολικής άντλησης των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων, οφείλουν να υιοθετούν και να εφαρμόζουν κατάλληλα μέτρα για τη μείωση και την πρόληψη των πιέσεων αυτών (στα πλαίσια της προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή), έτσι ώστε να επιτευχθεί καλή κατάσταση των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων. Τα μέτρα αυτά περιλαμβάνουν αύξηση της αποδοτικής χρήσης των υδατικών πόρων και μείωση απωλειών στα δίκτυα διανομής νερού. Η Ε&ΑΝ μπορεί επίσης να αποτελέσει κατάλληλο εργαλείο προς την κατεύθυνση αυτή, ενώ οι **Κατευθυντήριες Γραμμές για την Ένταξη της Ε&ΑΝ στο Σχεδιασμό και τη Διαχείριση των Υδατικών Πόρων στο πλαίσιο της ΟΠΥ**, που θεσπίστηκαν τον Ιούνιο του 2016 στα πλαίσια της Κοινής Στρατηγικής για την Εφαρμογή της ΟΠΥ (Kirhensteine et al., 2016), παρέχουν πληροφορίες σχετικά με την ενσωμάτωση της Ε&ΑΝ στις διαδικασίες σχεδιασμού και διαχείρισης των υδατικών πόρων.

- **Ανακοίνωση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για την Αντιμετώπιση του Προβλήματος της Λειψυδρίας και της Ξηρασίας στην Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ):** Η λειψυδρία και η ξηρασία δεν αποτελούν πλέον ζητήματα που περιορίζονται στη Νότια Ευρώπη. Τα τελευταία χρόνια τα φαινόμενα αυτά αρχίζουν να εκδηλώνονται και στις Βορειότερες ΛΑΠ, συμπεριλαμβανομένων του Ηνωμένου Βασιλείου και της Γερμανίας. Στα πλαίσια αυτά, η σχετική Ανακοίνωση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής καθόρισε μία ιεραρχία για την καθοδήγηση των δράσεων σχετικά με την αντιμετώπιση των προβλημάτων της λειψυδρίας και της ξηρασίας, σύμφωνα με την οποία η Ε&ΑΝ μπορεί να συμβάλει στην αντιμετώπιση των τοπικών ζητημάτων ποιότητας νερού και θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ως μέτρο αντιμετώπισης τις μειωμένης διαθεσιμότητας νερού, αφού πρώτα εξαντληθούν πλήρως τα περιθώρια βελτίωσης της αποδοτικής χρήσης των υδατικών πόρων μέσω εξοικονόμησης και μείωσης απωλειών.

- **Προσχέδιο για τη Διαφύλαξη των Υδατικών Πόρων της Ευρώπης:** Το Προσχέδιο για τη Διαφύλαξη των Υδατικών Πόρων της Ευρώπης (Blueprint for Safeguarding European Waters) (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2012) αναγνωρίζει την Ε&ΑΝ ως ένα σημαντικό μέτρο για τη διαφύλαξη των περιορισμένων υδατικών πόρων, στο οποίο απαιτείται να δοθεί

ιδιαίτερη σημασία, καθώς και να γίνει μία συντονισμένη προσπάθεια για να ενισχυθεί η εμπιστοσύνη στις πρακτικές Ε&ΑΝ και να αυξηθεί η εφαρμογή τους σε Ευρωπαϊκό επίπεδο.

- **Το Κλείσιμο του Κύκλου - Σχέδιο Δράσης της ΕΕ για την Κυκλική Οικονομία:** Το Σχέδιο Δράσης της ΕΕ για την Κυκλική Οικονομία (Closing the loop - An EU action plan for the Circular Economy) (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2015α), αναγνωρίζει μία σειρά δράσεων για την προώθηση της Ε&ΑΝ σε ευρωπαϊκό επίπεδο. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή το Δεκέμβριο του 2015 δεσμεύτηκε να αναπτύξει μία σειρά δράσεων που αφορούν ολόκληρη την αλυσίδα αξίας (value chain) και εστιάζουν στο να ξεπεραστούν οι κύριοι παράγοντες που εμποδίζουν την εκμετάλλευση του ανακτημένου νερού, όπου αυτό είναι οικονομικά αποδοτικό και ασφαλές για τη δημόσια υγεία και το περιβάλλον. Το Σχέδιο Δράσης ορίζει τις ακόλουθες πέντε πρωτοβουλίες, που θα πρέπει να υλοποιηθούν/αναπτυχθούν μέσα στο 2016 και 2017:

    1. **Ένταξη της Ε&ΑΝ στον ολοκληρωμένο σχεδιασμό και τη διαχείριση των υδατικών πόρων:** Έχουν αναπτυχθεί από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή σε συνεργασία με τα Κράτη Μέλη και τα ενδιαφερόμενα μέρη οι Κατευθυντήριες Γραμμές για την Ένταξη της Ε&ΑΝ στο Σχεδιασμό και τη Διαχείριση των Υδατικών Πόρων στο πλαίσιο της ΟΠΥ (Kirhensteine et al., 2016), για να ενισχύσουν τη συστηματική θεώρηση της Ε&ΑΝ κατά την εφαρμογή της ευρωπαϊκής νομοθεσίας για τα ύδατα, π.χ. ως μέσο για την αντιμετώπιση της λειψυδρίας και την επίτευξη καλής κατάστασης σύμφωνα με την ΟΠΥ, καθώς και για την επένδυση στην επεξεργασία των υγρών αποβλήτων, όπως προβλέπεται από την Οδηγία για την Επεξεργασία των Αστικών Λυμάτων (91/271/ΕΟΚ). Οι κατευθυντήριες αυτές γραμμές περιλαμβάνουν συστάσεις για το πώς θα ενσωματωθεί καλύτερα η Ε&ΑΝ στο σχεδιασμό και στη διαχείριση των υδατικών πόρων στα πλαίσια της ευρωπαϊκής πολιτικής, λαμβάνοντας ταυτόχρονα υπόψη τα συνεπαγόμενα περιβαλλοντικά και τα κοινωνικό-οικονομικά οφέλη.

    2. **Θέσπιση ελάχιστων ποιοτικών απαιτήσεων για τη χρήση ανακτημένου νερού για άρδευση και εμπλουτισμό υπόγειων υδροφορέων:** Ένα από τα σημαντικότερα εμπόδια για την ευρεία εφαρμογή της Ε&ΑΝ σε ευρωπαϊκό επίπεδο είναι η έλλειψη ενός συνεκτικού και ολοκληρωμένου νομοθετικού πλαισίου στην ΕΕ. Αρκετά Κράτη Μέλη έχουν αναπτύξει τα δικά τους ποιοτικά πρότυπα, τα οποία στις περισσότερες περιπτώσεις διαφέρουν μεταξύ τους, γεγονός που προκαλεί δυσκολίες π.χ. στο εμπόριο των γεωργικών προϊόντων που αρδεύονται με ανακτημένο νερό μεταξύ των κρατών αυτών. Επίσης, η έλλειψη κατανόησης των πλεονεκτημάτων που προσφέρει και των κινδύνων που συνεπάγεται η Ε&ΑΝ έχει προκαλέσει τη δυσπιστία της κοινής γνώμης και έχει οδηγήσει σε υπερπροστατευτικές προσεγγίσεις σε πολλές περιοχές (π.χ. απαγόρευση της χρήσης ανακτημένου νερού για τον εμπλουτισμό υπόγειων υδροφορέων). Για τους λόγους αυτούς η Ευρωπαϊκή Επιτροπή θα προτείνει εντός του 2017 νομοθεσία

σχετική με τις ελάχιστες ποιοτικές απαιτήσεις για τη χρήση ανακτημένου νερού για άρδευση και εμπλουτισμό υπόγειων υδροφορέων. Δημόσια διαβούλευση σχετικά με τις πολιτικές επιλογές για τη θέσπιση των ελάχιστων ποιοτικών απαιτήσεων για τη χρήση του ανακτημένου νερού στην ΕΕ διεξήχθη το διάστημα 28 Οκτωβρίου 2016 - 27 Ιανουαρίου 2017. Η διαβούλευση αυτή είχε στόχο τη συλλογή πρόσθετων πληροφοριών και αποδεικτικών στοιχείων, ενώ παρείχε τη δυνατότητα σε ένα ευρύ φάσμα ενδιαφερόμενων μερών να εκφράσει τις απόψεις, τα σχόλια και τις αντιλήψεις του σχετικά με τον τρόπο με τον οποίο θα πρέπει να θεσπιστούν τα ελάχιστα ποιοτικά κριτήρια που θα πρέπει να πληροί το ανακτημένο νερό σε όλα τα Κράτη Μέλη της ΕΕ.

3. **Διείσδυση Ε&ΑΝ στις βιομηχανικές δραστηριότητες:** Η χρήση ανακτημένου νερού στη βιομηχανία είναι ήδη αρκετά διαδεδομένη. Η περεταίρω διείσδυση της Ε&ΑΝ στη βιομηχανία θα επιχειρηθεί μέσω της ένταξης των σχετικών διατάξεων κατά την ανάπτυξη και αναθεώρηση των εγγράφων που αφορούν στις Βέλτιστες Διαθέσιμες Τεχνικές για τους αντίστοιχους βιομηχανικούς κλάδους, στο πλαίσιο εφαρμογής της Οδηγίας περί Βιομηχανικών Εκπομπών (2010/75/ΕΕ).

4. **Ενίσχυση της έρευνας και της καινοτομίας σχετικά με την Ε&ΑΝ:** Πληθώρα θεμάτων σχετικά με την Ε&ΑΝ και τις αντίστοιχες διεργασίες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων αποτελούν αντικείμενο έρευνας και καινοτομίας στην ΕΕ. Η βελτίωση των υποδομών επεξεργασίας, η ανάπτυξη έξυπνων τεχνολογιών, και η μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης είναι μόνο ορισμένα από τα θέματα που διερευνώνται. Στα πλαίσια της Ευρωπαϊκής Σύμπραξης Καινοτομίας (ΕΣΚ) στον τομέα των υδάτων (http://www.eip-water.eu/), τα τελευταία χρόνια σχηματίστηκαν πολλές ομάδες δράσεις σχετικά με την Ε&ΑΝ, όπως οι ακόλουθες: Industrial Water Reuse and Recycling (InDuRe) (http://www.eip-water.eu/InduRe), Water & Irrigated agriculture Resilient Europe (WIRE) (http://www.eip-water.eu/WIRE), Real Time Water Quality Monitoring (RTWQM) (http://www.eip-water.eu/RTWQM), Verdygo - modular & sustainable wastewater treatment (http://www.eip-water.eu/Verdygo). Οι ομάδες αυτές υποστηρίζουν πολλά προγράμματα έρευνας και καινοτομίας σχετικά με την Ε&ΑΝ σε διαφορετικά μέρη της ΕΕ, καθώς η Ε&ΑΝ θα παραμείνει προτεραιότητα της ΕΣΚ στον τομέα των υδάτων για τα επόμενα χρόνια.

   Το Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης (ΕΤΠΑ) προσφέρει ευκαιρίες χρηματοδότησης για τις καινοτομίες που αφορούν στην Ε&ΑΝ, εάν αυτές βρίσκονται σε συμφωνία με τις Στρατηγικές Έξυπνης Εξειδίκευσης για τα Κράτη Μέλη και τις περιφέρειες (https://ec.europa.eu/jrc/en/research-topic/smart-specialisation).

   Επίσης, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή δρομολόγησε ειδικές προσκλήσεις για ζητήματα σχετικά με την Ε&ΑΝ και την κυκλική οικονομία στα πλαίσια του Προγράμματος Εργασίας «Ορίζοντας 2020» (https://ec.europa.eu/research/participants/portal/desktop/en/home.html), ενώ η έρευνα και η καινοτομία σχετικά με τα ζητήματα αυτά υποστηρίζεται και από το

Πρόγραμμα LIFE για το Περιβάλλον και την Κλιματική Δράση (http://ec.europa.eu/environment/life/funding/life2015/index.htm).

5. **Χρηματοδότηση επενδύσεων στην Ε&ΑΝ από μηχανισμούς της ΕΕ:** Οι μηχανισμοί της ΕΕ για χρηματοδότηση υποδομών Ε&ΑΝ είναι ήδη διαθέσιμοι μέσω του ΕΤΠΑ, του Ταμείου Συνοχής και του Ευρωπαϊκού Γεωργικού Ταμείου Αγροτικής Ανάπτυξης. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή ενθαρρύνει τα Κράτη Μέλη της ΕΕ να χρησιμοποιήσουν τις ευκαιρίες αυτές και να ιεραρχήσουν τις επενδύσεις που αφορούν στην Ε&ΑΝ στα Επιχειρησιακά τους Προγράμματα. Οι επενδύσεις στον τομέα της Ε&ΑΝ υποστηρίζονται επίσης από το Ευρωπαϊκό Ταμείο Στρατηγικών Επενδύσεων.

Επιπροσθέτως, το τρέχον χρονικό διάστημα αξιολογούνται τα πιο κατάλληλα όργανα σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης για την ανάπτυξη ευρωπαϊκής πολιτικής που θα ενθαρρύνει την εφαρμογή επεμβάσεων Ε&ΑΝ (BIO by Deloitte, 2015; Kirhensteine et al., 2016).

1.1.4. Εθνική Πολιτική για την Ε&ΑΝ

Στην Ελλάδα, αν και οι συνθήκες έλλειψης νερού έχουν επιδεινωθεί τα τελευταία χρόνια, οι πρακτικές Ε&ΑΝ δεν είναι ιδιαίτερα διαδεδομένες (Pedrero et al., 2010). Το νομικό πλαίσιο σχετικά με τη χρήση ανακτημένου νερού στη χώρα αναπτύχθηκε πολύ πρόσφατα, το 2011, μέσω της **Κοινής Υπουργικής Απόφασης (ΚΥΑ) 145116/11** (Ελληνική Δημοκρατία, 2011) και της τροποποίησής της το 2013 από την **ΚΥΑ 191002/2013** (Ελληνική Δημοκρατία, 2013α), οι οποίες καθορίζουν τα μέτρα, τους όρους και τις διαδικασίες που αφορούν στην επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για τη διασφάλιση της δημόσιας υγείας. Οι προβλεπόμενες διατάξεις και οδηγίες αφορούν:

α) στην προγραμματισμένη χρήση των επεξεργασμένων αστικών υγρών αποβλήτων (και των συμβατικών βιομηχανικών υγρών αποβλήτων που υπάγονται στο πεδίο εφαρμογής της ΚΥΑ 5673/400/97: Μέτρα και όροι για την επεξεργασία αστικών λυμάτων) για περιορισμένη και απεριόριστη άρδευση καλλιεργειών, αστικές και περιαστικές χρήσεις (εκτός των χρήσεων για πόση, κολύμβηση και οικιακές δραστηριότητες), βιομηχανικές χρήσεις (π.χ. νερό ψύξης, αναπλήρωση νερού στους λέβητες, νερό βιομηχανικών διεργασιών), καθώς και εμπλουτισμό υπόγειων υδροφορέων (για σκοπούς εκτός πόσης), και

β) στην προγραμματισμένη χρήση των μη συμβατικών βιομηχανικών υγρών αποβλήτων (εκτός αυτών που υπάγονται στο πεδίο εφαρμογής της ΚΥΑ 5673/400/97), τα οποία είναι ή έχουν καταστεί μη επικίνδυνα κατόπιν κατάλληλης επεξεργασίας, για περιορισμένη άρδευση καλλιεργειών μέσω υπεδάφιου συστήματος άρδευσης, εμπλουτισμό υπόγειων υδροφορέων (για σκοπούς εκτός πόσης) και βιομηχανικές χρήσεις.

Δεν υπάγονται στο πεδίο εφαρμογής της ΚΥΑ 145116/2011 η ανακύκλωση βιομηχανικών υγρών αποβλήτων και η άμεση ή έμμεση επαναχρησιμοποίηση για πόση.

Το ισχύον νομικό πλαίσιο προωθεί την εφαρμογή επεμβάσεων επαναχρησιμοποίησης στην Ελλάδα, και αποτελεί ευκαιρία για να διερευνηθούν οι δυνατότητες χρήσης του ανακτημένου νερού για την εξοικονόμηση υδατικών πόρων σε περιοχές που αντιμετωπίζουν προβλήματα λειψυδρίας και ξηρασίας, καθώς και για την ενίσχυση των υδατικών συστημάτων που αντιμετωπίζουν προβλήματα υφαλμύρινσης (Stathatou et al., 2015; Kirhensteine et al., 2016).

1.1.5. Ζητήματα Εφαρμογής

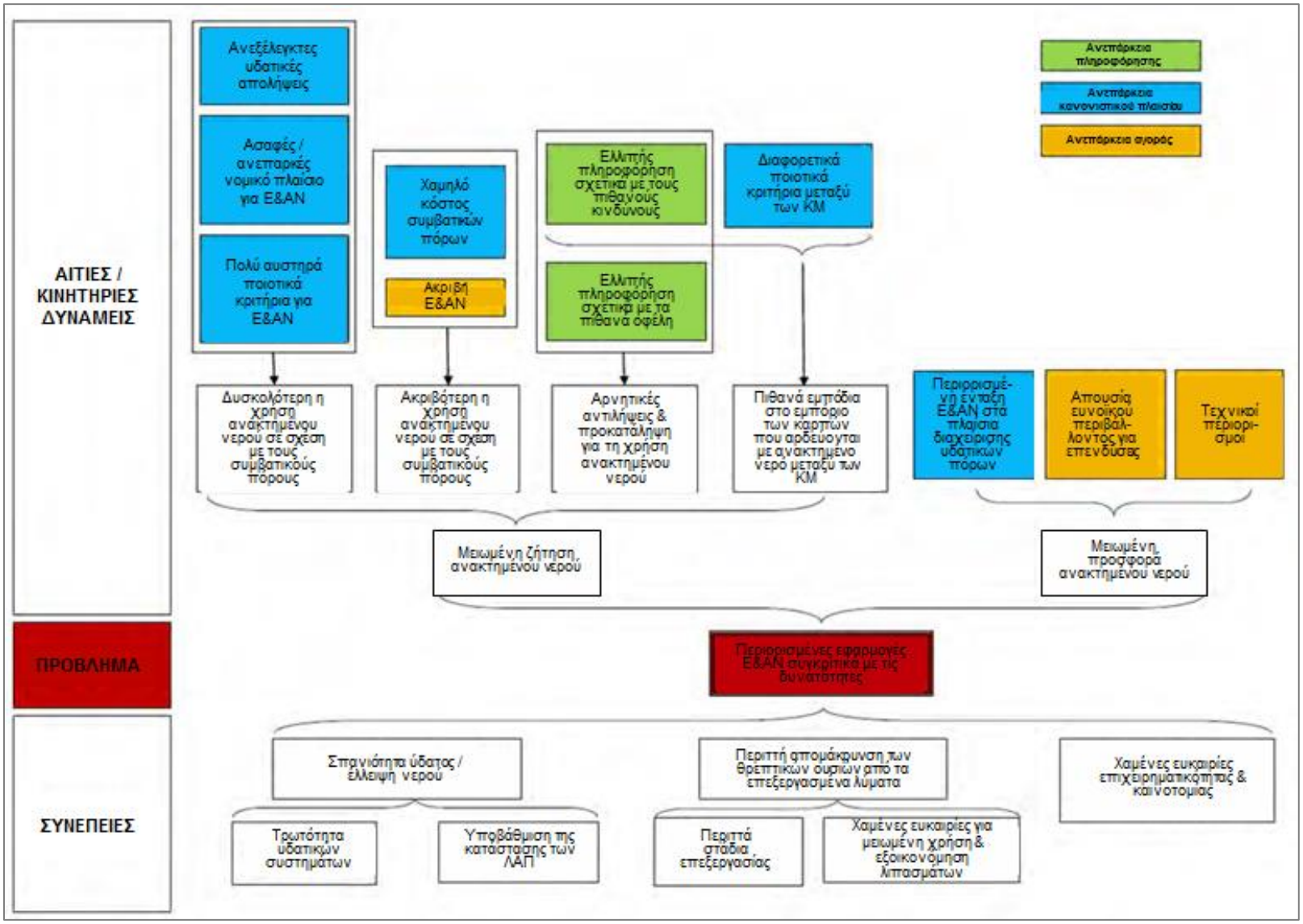
Είναι πλέον αποδεδειγμένο ότι χρησιμοποιώντας την τεχνολογία που είναι διαθέσιμη σήμερα είναι εφικτή η παραγωγή ανακτημένου νερού πολύ υψηλής ποιότητας, κατάλληλου για όλες τις χρήσεις και ασφαλούς για τη δημόσια υγεία και το περιβάλλον (Υπουργείο Υποδομών, Μεταφορών και Δικτύων, 2009). Παρά το γεγονός αυτό και τα πολλαπλά οφέλη που έχει η χρήση ανακτημένου νερού, μέχρι στιγμής, η δυναμική της επαναχρησιμοποίησης των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων δεν έχει αξιοποιηθεί πλήρως. Σε πολλές περιοχές που αντιμετωπίζουν προβλήματα ελλείμματος ή σπανιότητας νερού, υπάρχουν μεμονωμένες περιπτώσεις Ε&ΑΝ ή και πλήρης απουσία αυτών των τεχνικών. Αυτό οφείλεται κυρίως σε πολύπλοκες δομές και σε ανεπαρκή θεσμικά και κοινωνικό-οικονομικά πλαίσια που δυσχεραίνουν την ευρεία εφαρμογή Ε&ΑΝ (Wade Miller, 2006; Salgot, 2008; Garcia & Pargament, 2015).

Σε επίπεδο Ευρώπης, η δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης είναι περίπου 6 φορές μεγαλύτερη από τη σημερινή (ο όγκος των υγρών αποβλήτων που μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν εκτιμάται περίπου σε 6 δις m^3 ετησίως) (Kirhensteine et al., 2016). Το γεγονός ότι το ανακτημένο νερό παραμένει ένας ανεκμετάλλευτος πόρος, οφείλεται κυρίως στην ανεπαρκή διαχείριση των υδατικών πόρων και στην απουσία ενός κοινού νομικού πλαισίου, που θα προτείνει ποιοτικά κριτήρια για όλα τα Κράτη Μέλη της ΕΕ (Bixio et al., 2006; Angelakis et al., 2012; Ευρωπαϊκή Επιτροπή: http://ec.europa.eu/environment/water/reuse-actions.htm). Η ανάπτυξη ενός κοινού νομικού πλαισίου για την Ε&ΑΝ, που θα ισχύει για όλα τα Κράτη Μέλη και θα στηρίζεται σε ορθές πρακτικές, θα προωθήσει την εφαρμογή Ε&ΑΝ στην ΕΕ, καθώς θα ξεπεραστούν τα αδικαιολόγητα αυστηρά κριτήρια που προτείνονται σε ορισμένα κράτη (Angelakis, 2012).

Άλλα σημαντικά ζητήματα που παρακωλύουν την εφαρμογή επεμβάσεων Ε&ΑΝ στην ΕΕ είναι ο κατακερματισμός των αρμοδιοτήτων και των δικαιοδοσιών, καθώς και ο ανταγωνισμός μεταξύ των φορέων που εμπλέκονται στη διαχείριση των υδατικών πόρων και των αποβλήτων. Στοχευμένες μεταρρυθμίσεις για την καλύτερη κατανομή των αρμοδιοτήτων απαιτούνται για την ενίσχυση του ισχύοντος θεσμικού πλαισίου γύρω από την Ε&ΑΝ. Επίσης, η παροχή οικονομικών κινήτρων (π.χ. τιμολόγηση νερού, κρατικές επιδοτήσεις, επιχορηγήσεις και φοροαπαλλαγές) θα ενθάρρυνε σημαντικά τη χρήση ανακτημένου νερού στην ΕΕ. Επιπροσθέτως, ένα σημαντικό εμπόδιο στη χρήση ανακτημένου νερού αποτελεί η έλλειψη κοινωνικής αποδοχής του ανακτημένου νερού.

Τα κύρια πολιτικά, οικονομικά, κοινωνικά, τεχνικά, νομικά-θεσμικά εμπόδια που δυσχεραίνουν τη διείσδυση των τεχνολογιών Ε&ΑΝ στην ΕΕ και την αντικατάσταση του πόσιμου από ανακτημένο νερό για χρήσεις εκτός πόσης, και οι επακόλουθες περιβαλλοντικές, κοινωνικές και οικονομικές συνέπειες παρουσιάζονται στο δέντρο προβλήματος (problem tree) της Εικόνας 1.3.

Ομοίως και στην Ελλάδα, η πολύ περιορισμένη εφαρμογή πρακτικών Ε&ΑΝ δεν οφείλεται στην έλλειψη τεχνογνωσίας ή οικονομικών πόρων, αλλά στην πολυδιάσπαση των δραστηριοτήτων των σχετικών φορέων, στην έλλειψη ολοκληρωμένου σχεδίου και πολιτικής βούλησης για την ορθολογική και βιώσιμη διαχείριση των υδατικών πόρων, καθώς και στην πολιτική τιμολόγησης του νερού που αποθαρρύνει την αναζήτηση και τη χρήση εναλλακτικών υδατικών πόρων (Υπουργείο Υποδομών, Μεταφορών και Δικτύων, 2009).



Εικόνα 1.3: Δέντρο προβλήματος (problem tree) για την εφαρμογή επεμβάσεων Ε&ΑΝ στην ΕΕ (ΚΜ: Κράτη Μέλη) (Προσαρμογή από Kirhensteine et al., 2016)

1.1.6. Ερευνητικό Ερώτημα Διατριβής

Για την αντιμετώπιση των σύγχρονων προκλήσεων στον τομέα των υδάτων είναι επιτακτική η αξιολόγηση και η παρακολούθηση της τρωτότητας των υδατικών συστημάτων, καθώς και η υιοθέτηση ενός ορθολογικού συστήματος διαχείρισης, το οποίο θα αναζητά και θα εφαρμόζει εναλλακτικές λύσεις για την αποδοτικότερη χρήση και τη μειωμένη ρύπανση των υδατικών πόρων.

Η ανάπτυξη μεθόδων και εργαλείων για την αξιολόγηση της τρωτότητας των υδατικών συστημάτων αφενός, και για την εκτίμηση της πιθανής συνεισφοράς της επαναχρησιμοποίησης στη μείωσή της αφετέρου, θα μπορούσε να συμβάλει ουσιαστικά στην αποτελεσματική διαχείριση και παρακολούθηση της λειτουργίας των υδατικών συστημάτων, προάγοντας τη διείσδυση των πρακτικών επαναχρησιμοποίησης. Το ερευνητικό ερώτημα που τίθεται, λοιπόν, είναι:

Πώς θα μπορούσε να εκτιμηθεί η πιθανή συνεισφορά του ανακτημένου νερού στη μείωση της τρωτότητας των υδατικών συστημάτων, με στόχο τη βιώσιμη λειτουργία τους;

Η απάντηση στο ερώτημα αυτό θα βοηθήσει στην επίτευξη των στόχων της διδακτορικής αυτής Διατριβής, οι οποίοι παρουσιάζονται στη συνέχεια.

1.2. Αντικείμενο και Στόχοι της Διατριβής

Το αντικείμενο της παρούσας Διατριβής είναι η Ε&ΑΝ, η συμβολή της στην περιβαλλοντική προστασία και στη βιώσιμη λειτουργία των υδατικών συστημάτων και η χρήση δεικτών μέτρησης της επίδοσης των συστημάτων αυτών.

Συνεπώς, ο στόχος της Διατριβής είναι η ανάπτυξη μεθοδολογικού πλαισίου για την εκτίμηση της συνεισφοράς της Ε&ΑΝ στην περιβαλλοντική προστασία και στη βιώσιμη λειτουργία των υδατικών συστημάτων. Πιο συγκεκριμένα, το μεθοδολογικό πλαίσιο στοχεύει στην:

1. ***Εκτίμηση της τρωτότητας των υδατικών συστημάτων σε συνθήκες σπανιότητας ύδατος***

   Η εκτίμηση της τρωτότητας των υδατικών συστημάτων σε συνθήκες σπανιότητας ύδατος πραγματοποιείται, σε επίπεδο λεκάνης απορροής, χρησιμοποιώντας τόσο επιμέρους δείκτες τρωτότητας όσο και τον σύνθετο δείκτη τρωτότητας (Vulnerability Index - VI), συνεκτιμώντας τόσο τα υδρολογικά όσο και τα κοινωνικό-οικονομικά χαρακτηριστικά των υπό μελέτη συστημάτων. Μέσα από τη χρήση επιμέρους δεικτών αναγνωρίζονται οι πιέσεις που δέχονται τα υπό μελέτη συστήματα, καθώς και τα σημεία που χρήζουν ενίσχυσης σε κάθε περίπτωση. Ο VI μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη συγκριτική αξιολόγηση της τρωτότητας μεταξύ διαφορετικών περιοχών, αλλά και μεταξύ διαφορετικών χρονικών περιόδων για την ίδια περιοχή.

2. ***Αναγνώριση κατάλληλων επεμβάσεων Ε&ΑΝ για τη μείωση της τρωτότητας***

   Χρησιμοποιώντας τον VI γίνεται η αξιολόγηση εναλλακτικών επεμβάσεων Ε&ΑΝ, ως προς τη συνεισφορά τους στη μείωση της τρωτότητας (ΔVI <0). Προσδιορίζονται οι διάφοροι τύποι επεμβάσεων Ε&ΑΝ, καθώς και οι εναλλακτικές επεμβάσεις για κάθε τύπο, και εντοπίζονται οι παράμετροι που επηρεάζονται από τις επεμβάσεις αυτές, προκαλώντας αλλαγές στους επιμέρους δείκτες που συνθέτουν τον VI.

3. ***Ανάπτυξη ευνοϊκού περιβάλλοντος και πρόταση υποστηρικτικών μέτρων για την προώθηση της εφαρμογής των επεμβάσεων αυτών σε τοπικό επίπεδο***

   Για την υποστήριξη της εφαρμογής των κατάλληλων επεμβάσεων Ε&ΑΝ σε τοπικό επίπεδο, αναγνωρίζονται οι παράγοντες εκείνοι (πολιτικοί, οικονομικοί, κοινωνικοί κλπ.) που εμποδίζουν την ένταξη των συστημάτων Ε&ΑΝ στα υφιστάμενα πλαίσια διαχείρισης υδατικών πόρων, και προτείνονται υποστηρικτικά μέτρα για την αντιμετώπιση των εμποδίων.

Η παρούσα Διατριβή προτείνει μία ολοκληρωμένη μέθοδο για την εκτίμηση της συνεισφοράς της Ε&ΑΝ στην περιβαλλοντική προστασία και στη βιώσιμη λειτουργία των υδατικών συστημάτων, παρέχοντας μία ολιστική προσέγγιση για την ορθολογική διαχείριση των υδατικών πόρων μέσα από τη διάγνωση των προβλημάτων, την αξιολόγηση και τον εντοπισμό κατάλληλων επεμβάσεων, καθώς και την προώθηση της εφαρμογής των επεμβάσεων αυτών σε τοπικό επίπεδο.

1.3. Διάρθρωση της Διατριβής

Στο παρόν κεφάλαιο (Κεφάλαιο 1) έγινε μία εισαγωγή στις συνθήκες που στοιχειοθετούν την αναγκαιότητα της παρούσας Διατριβής και παρουσιάστηκε το αντικείμενο και ο στόχος της.

Στο επόμενο κεφάλαιο (Κεφάλαιο 2) γίνεται μία σύντομη περιγραφή των θεμελιωδών θεωρητικών εννοιών, οι οποίες είναι απαραίτητες για την κατανόηση και την παρακολούθηση του προτεινόμενου μεθοδολογικού πλαισίου. Οι έννοιες αυτές αφορούν στους κύριους κινδύνους που αντιμετωπίζουν τα υδατικά συστήματα, στον ορισμό και στην εκτίμηση της τρωτότητας των υδατικών συστημάτων στους κινδύνους αυτούς, στις πιθανές χρήσεις του ανακτημένου νερού, στις επεμβάσεις Ε&ΑΝ στην Ευρώπη, στον κόσμο και στην Ελλάδα, στα οφέλη και τους κινδύνους που συνοδεύουν τη χρήση του ανακτημένου νερού, καθώς και στην ανάγκη ύπαρξης «ευνοϊκού περιβάλλοντος» για την εφαρμογή επεμβάσεων Ε&ΑΝ σε τοπικό επίπεδο.

Στο Κεφάλαιο 3 παρουσιάζεται το προτεινόμενο μεθοδολογικό πλαίσιο για την εκτίμηση της συνεισφοράς της Ε&ΑΝ στην περιβαλλοντική προστασία και στη βιώσιμη λειτουργία των υδατικών συστημάτων. Πρώτα περιγράφονται συνοπτικά τα τέσσερα βήματα που συνθέτουν την προτεινόμενη μεθοδολογική προσέγγιση, παρέχοντας τη συνολική εποπτεία του μεθοδολογικού πλαισίου (ΒΗΜΑ 1: Εκτίμηση της τρωτότητας των υδατικών συστημάτων στη σπανιότητα ύδατος, ΒΗΜΑ 2: Αξιολόγηση επεμβάσεων Ε&ΑΝ ως προς τη μείωση της τρωτότητας, ΒΗΜΑ 3: Εντοπισμός εμποδίων και κινήτρων για την εφαρμογή επεμβάσεων Ε&ΑΝ, ΒΗΜΑ 4:

Προσδιορισμός προτεραιοτήτων επέμβασης), ενώ στη συνέχεια περιγράφεται αναλυτικά κάθε επιμέρους βήμα.

Στο Κεφάλαιο 4 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εφαρμογής του προτεινόμενου μεθοδολογικού πλαισίου για την εκτίμηση της τρωτότητας των υδατικών συστημάτων στη σπανιότητα ύδατος, την αξιολόγηση της συνεισφοράς εναλλακτικών επεμβάσεων Ε&ΑΝ στη μείωση της τρωτότητας, και την ανάπτυξη ευνοϊκού περιβάλλοντος (πρόταση υποστηρικτικών μέτρων) για την εφαρμογή επεμβάσεων Ε&ΑΝ σε τοπικό επίπεδο. Τα τέσσερα βήματα της προτεινόμενης μεθοδολογικής προσέγγισης, εφαρμόστηκαν στις 46 Λεκάνες Απορροής των 14 Υδατικών Διαμερισμάτων της Ελλάδας (ΒΗΜΑ 1 και ΒΗΜΑ 2) καθώς και στη Λεκάνη Απορροής του Ποταμού Copiapó στη Χιλή (ΒΗΜΑ 3 και ΒΗΜΑ 4).

Στο Κεφάλαιο 5 γίνεται ανακεφαλαίωση των αποτελεσμάτων της εφαρμογής του προτεινόμενου μεθοδολογικού πλαισίου και παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από αυτήν. Στη συνέχεια γίνεται σχολιασμός του προτεινόμενου μεθοδολογικού πλαισίου, αναλύοντας τα πλεονεκτήματα και τις αδυναμίες του σε σύγκριση με άλλες σχετικές μεθόδους που έχουν αναπτυχθεί ως τώρα, και εντοπίζεται η καινοτόμος συνεισφορά της προτεινόμενης μεθόδου. Τέλος, προτείνονται ιδέες για περαιτέρω έρευνα και συνέχιση της διατριβής, ώστε να εξελιχθεί το προτεινόμενο μεθοδολογικό πλαίσιο στο μέλλον.

Η Διατριβή ολοκληρώνεται με την παράθεση τριών παραρτημάτων. Στο Παράρτημα Ι παρουσιάζεται ένας κατάλογος με 70 ευρέως αποδεκτούς δείκτες, οι οποίοι προτείνονται από διεθνείς οργανισμούς ή χρησιμοποιούνται σε εργασίες και δημοσιεύσεις για την εκτίμηση κινδύνων σχετικών με τους υδατικούς πόρους και τη διαχείρισή τους, και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση της τρωτότητας των υδατικών συστημάτων στη σπανιότητα ύδατος. Στο Παράρτημα ΙΙ γίνεται συνοπτική περιγραφή των πιο γνωστών / ευρέως διαδεδομένων σύνθετων δεικτών που έχουν αναπτυχθεί για την εκτίμηση της τρωτότητας των υδατικών συστημάτων στη σπανιότητα ύδατος έως σήμερα. Στο Παράρτημα ΙΙΙ παρατίθεται το διαδικτυακό ερωτηματολόγιο PESTL, το οποίο χρησιμοποιείται για να εντοπιστούν τα εμπόδια και τα κίνητρα για την εφαρμογή των προτεινόμενων επεμβάσεων Ε&ΑΝ σε τοπικό επίπεδο, αποτυπώνοντας τις απόψεις των τοπικών φορέων.

Επίσης, την παρούσα Διατριβή συνοδεύει το Τεύχος Υπολογισμών: «Υπολογισμός Δεικτών Τρωτότητας για τις 46 ελληνικές Λεκάνες Απορροής Ποταμών», στο οποίο περιγράφεται αναλυτικά ο τρόπος υπολογισμού των δεικτών τρωτότητας για κάθε μία από τις 46 Λεκάνες Απορροής των 14 Υδατικών Διαμερισμάτων της Ελλάδας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

2.1. Εισαγωγή

Στις επόμενες παραγράφους γίνεται μία σύντομη περιγραφή των θεμελιωδών θεωρητικών εννοιών, οι οποίες είναι απαραίτητες για την κατανόηση και την παρακολούθηση του μεθοδολογικού πλαισίου που αναπτύσσεται στο Κεφάλαιο 3. Οι έννοιες αυτές αφορούν:

- Τους κύριους κινδύνους που αντιμετωπίζουν τα υδατικά συστήματα.
- Τον ορισμό και την εκτίμηση της τρωτότητας των υδατικών συστημάτων στους κινδύνους αυτούς.
- Τις πιθανές χρήσεις του ανακτημένου νερού, τις επεμβάσεις Ε&ΑΝ στην Ευρώπη, στον κόσμο και στην Ελλάδα, καθώς και τα οφέλη και τους κινδύνους που συνοδεύουν τη χρήση του ανακτημένου νερού.
- Την ανάγκη ύπαρξης «ευνοϊκού περιβάλλοντος» για την εφαρμογή επεμβάσεων Ε&ΑΝ σε τοπικό επίπεδο.

Μία σύντομη και εμπεριστατωμένη βιβλιογραφική ανασκόπηση παρατίθεται για τις έννοιες αυτές στις ακόλουθες ενότητες, ενώ στο τέλος κάθε ενότητας ορίζεται ο τρόπος με τον οποίο έχουν θεωρηθεί αυτές οι έννοιες στην παρούσα Διατριβή, καθώς και τα καινοτόμα στοιχεία που έρχεται να προσθέσει η Διατριβή αυτή σχετικά με τις έννοιες αυτές.

2.2. Τρωτότητα Υδατικών Συστημάτων

Η κλιματική αλλαγή αναμένεται να επηρεάσει σημαντικά τη λειτουργία και τη διαχείριση των υδατικών συστημάτων. Η περιορισμένη διαθεσιμότητα του γλυκού νερού και η υποβάθμιση της ποιότητάς του, λόγω των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής, ενδέχεται να επηρεάσουν δυσμενώς τόσο την ανθρώπινη υγεία και ευημερία, όσο και τη διατήρηση των οικοσυστημάτων. Επίσης, οι πιέσεις που ασκούν στα υδατικά συστήματα μη κλιματικοί παράγοντες, όπως η συνεχής αύξηση του πληθυσμού, η ταχεία οικονομική ανάπτυξη και οι αλλαγές στις χρήσεις γης, αναμένεται να επιδεινώσουν τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στους υδατικούς πόρους σε παγκόσμια κλίμακα (Kundzewicz et al., 2007). Συνεπώς, η ικανότητα των υδατικών συστημάτων να συνεισφέρουν στην περιβαλλοντική προστασία και ταυτόχρονα να διασφαλίσουν τις ανάγκες του πληθυσμού καλύπτοντας τις υδατικές απαιτήσεις για τις διάφορες χρήσεις νερού τίθεται σε κίνδυνο, και αυξάνεται η τρωτότητά τους σε δυσμενείς συνθήκες.

Στα πλαίσια της παρούσας ανάλυσης, τα υδατικά συστήματα περιλαμβάνουν:

- *Τους ανανεώσιμους επιφανειακούς και υπόγειους υδατικούς πόρους που είναι εν δυνάμει διαθέσιμοι προς αξιοποίηση.*
- *Τις χρήσεις ύδατος για την κάλυψη των αναγκών των τοπικών κοινωνιών (συμπεριλαμβανομένης οποιασδήποτε οικονομικής δραστηριότητας: π.χ. αστική, γεωργική, βιομηχανική) και τη διατήρηση των οικοσυστημάτων.*
- *Τους χρήστες ύδατος (αστικός πληθυσμός, αγρότες, βιομηχανίες, οικοσυστήματα).*

2.2.1. Κίνδυνοι για τα Υδατικά Συστήματα

Οι πιο σημαντικοί κίνδυνοι που προκύπτουν έμμεσα ή άμεσα από τις πιέσεις κλιματικών και μη κλιματικών παραγόντων στα υδατικά συστήματα είναι οι ακόλουθοι:

2.2.1.1. Ξηρασία (drought)

Η ξηρασία είναι ένα σύνθετο φυσικό φαινόμενο, για το οποίο δεν υπάρχει, και πιθανότατα δεν θα υπάρξει, ένας καθολικά αποδεκτός ορισμός, καθώς ορίζεται κάθε φορά από τη συγκεκριμένη περιοχή και τα ειδικά υδρο-μετεωρολογικά και κοινωνικο-οικονομικά χαρακτηριστικά που επικρατούν και επηρεάζει (Mishra & Singh, 2010; De Stefano et al., 2012). Πλήθος εννοιολογικών και λειτουργικών ορισμών έχουν αναπτυχθεί για την ερμηνεία και τον προσδιορισμό της ξηρασίας (Wilhite and Glantz, 1985; Iglesias et al., 2007; Mishra & Singh, 2010).

Σύμφωνα με τους επικρατέστερους εννοιολογικούς ορισμούς, η ξηρασία είναι ένα επαναλαμβανόμενο κλιματικό φαινόμενο, κατά το οποίο τα επίπεδα των βροχοπτώσεων είναι κατά πολύ μειωμένα σε σχέση με τα φυσιολογικά για μια παρατεταμένη χρονική περίοδο – μια εποχή, ένα έτος ή πολλά έτη. Η ξηρασία προκαλεί υδρολογικές ανισορροπίες (προσωρινά ελλείμματα ύδατος σε σχέση με την κανονική παροχή), επηρεάζοντας δυσμενώς τη γεωργική παραγωγή. Ο ορισμός του φαινομένου όμως είναι σχετικός, καθώς οι ξηρασίες διαφέρουν σε έκταση, διάρκεια και ένταση (EEA, glossary of terms; Iglesias et al., 2007).

Οι λειτουργικοί ορισμοί της ξηρασίας ορίζουν την έναρξη, τη λήξη και τη σοβαρότητα του φαινομένου, έχοντας ως σημείο αναφοράς τον παραγωγικό τομέα, το σύστημα ή την κοινωνική ομάδα που υφίσταται τις επιπτώσεις της ξηρασίας. Κύριοι λειτουργικοί ορισμοί είναι η μετεωρολογική, η γεωργική, η υδρολογική, και η κοινωνικο-οικονομική ξηρασία (Iglesias et al., 2007; Mishra & Singh, 2010; De Stefano et al., 2012; NOAA, 2012):

- ***Μετεωρολογική ξηρασία:*** Προσδιορίζει το βαθμό μείωσης των βροχοπτώσεων σε σύγκριση με τις κανονικές συνθήκες (π.χ. μέση βροχόπτωση) κατά τη διάρκεια μίας χρονικής περιόδου, και τη διάρκεια της περιόδου με τη μειωμένη βροχόπτωση. Ο ορισμός της μετεωρολογικής ξηρασίας εξαρτάται από την περιοχή, και δεν μπορεί να θεωρηθεί ο ίδιος ορισμός για διαφορετικές περιοχές. Η μετεωρολογική ξηρασία, εκτός από μειωμένες βροχοπτώσεις, μπορεί επίσης να υποδηλώνει υψηλότερες θερμοκρασίες, ταχείς ανέμους, χαμηλή σχετική υγρασία, αυξημένη εξατμισοδιαπνοή, λιγότερες νεφώσεις και περισσότερη ακτινοβολία, με αποτέλεσμα μειωμένη κατακράτηση ακτινοβολίας, μικρότερη απορροή, μειωμένη διήθηση και πιο αργή αναπλήρωση των υπογείων υδάτων.

- ***Γεωργική ξηρασία:*** Για τις ξηρικές καλλιέργειες, ορίζεται ως η έλλειψη εδαφικής υγρασίας, η οποία είναι επακόλουθο μετεωρολογικής ξηρασίας και επηρεάζει αρνητικά την ανάπτυξη της βλάστησης και τη γεωργική παραγωγή. Για τις αρδευόμενες καλλιέργειες, ορίζεται ως το έλλειμμα νερού στις αρδευόμενες περιοχές, λόγω ξηρασίας στους επιφανειακούς ή υπόγειους υδατικούς πόρους που χρησιμοποιούνται για άρδευση. Δεδομένου ότι οι υδατικές απαιτήσεις διαφοροποιούνται ανάλογα με την καλλιέργεια, ενώ

μπορεί να μεταβάλλονται και ανάλογα με το στάδιο ανάπτυξης του καρπού, είναι αδύνατον να οριστούν αξιόπιστες κοινές οριακές τιμές ως κριτήρια για την αναγνώριση της εκδήλωσης ξηρασίας, ακόμη και εντός της ίδιας γεωγραφικής περιοχής.

- ***Υδρολογική ξηρασία:*** Αφορά στις επιπτώσεις της μειωμένης βροχόπτωσης στο υδρολογικό σύστημα και αναφέρεται στη μείωση της παροχής σε επιφανειακά και υπόγεια υδατικά συστήματα. Συνήθως, η υδρολογική ξηρασία δεν ταυτίζεται χρονικά με, ή εμφανίζεται μεταγενέστερα από, τη μετεωρολογική και τη γεωργική ξηρασία, καθώς απαιτείται περισσότερος χρόνος για να γίνουν εμφανείς οι επιπτώσεις του ελλείμματος της βροχόπτωσης στα στοιχεία του υδρολογικού συστήματος. Μπορεί να μετρηθεί λαμβάνοντας υπόψη τις οριακές τιμές στη ροή των ποταμών και στα επίπεδα των λιμνών και των υπογείων υδάτων. Η υδρολογική ξηρασία μπορεί επίσης να προκληθεί λόγω μεταβολών στις χρήσεις γης. Οι μεταβολές στις χρήσεις γης μπορεί να προκαλέσουν υδατικά ελλείμματα και να επηρεάσουν τον υδρολογικό κύκλο, ακόμη και όταν δεν λαμβάνει χώρα καμία μεταβολή στα επίπεδα των βροχοπτώσεων.

- ***Κοινωνικο-οικονομική ξηρασία:*** Επιρροή της ξηρασίας (μετεωρολογικής, γεωργικής ή υδρολογικής) στην προσφορά και στη ζήτηση ορισμένων οικονομικών αγαθών. Η κοινωνικο-οικονομική ξηρασία εμφανίζεται όταν η ζήτηση για ένα οικονομικό αγαθό υπερβαίνει την προσφορά, ως αποτέλεσμα της μειωμένης διαθεσιμότητας υδατικών πόρων.

Σε κάθε περίπτωση, οι επιπτώσεις της ξηρασίας εμφανίζονται όταν τα υδατικά συστήματα δεν μπορούν να ικανοποιήσουν τις ανάγκες που καλύπτονται υπό κανονικές συνθήκες (Iglesias et al., 2007).

2.2.1.2. Ξηρότητα κλίματος (aridity)

Μόνιμη κλιματική κατάσταση με πολύ χαμηλές ετήσιες ή εποχικές βροχοπτώσεις (Iglesias et al., 2007).

2.2.1.3. Λειψυδρία (water shortage)

Η λειψυδρία αναφέρεται στο σχετικό έλλειμμα ύδατος που μπορεί να προκαλέσει περιορισμό στην υδατική κατανάλωση. Ως λειψυδρία ορίζεται ο βαθμός στον οποίο η ζήτηση ξεπερνά τους διαθέσιμους υδατικούς πόρους, είτε ως αποτέλεσμα ξηρασίας, είτε λόγω ανθρώπινων επιδράσεων, όπως αύξηση του πληθυσμού, μη ορθολογική χρήση και υπερεκμετάλλευση διαθέσιμων πόρων, άνιση πρόσβαση στο νερό, ή έλλειψη κατάλληλων υποδομών. Σημαντικές συγκρούσεις μπορεί να ξεσπάσουν λόγω της λειψυδρίας μεταξύ των διαφορετικών χρηστών νερού, τόσο σε εθνικό όσο και σε διεθνές επίπεδο, επηρεάζοντας την κοινωνική και οικονομική ανάπτυξη των περιοχών που πλήττονται.

Η λειψυδρία εκφράζεται σε διαθέσιμα m^3 κατά κεφαλή ανά έτος με οριακή τιμή τα 1,700 m^3, τα οποία σύμφωνα με τον Falkenmark (1989), σηματοδοτούν τακτικό έλλειμμα νερού. Οι περισσότερες μεσογειακές χώρες αντιμετωπίζουν προβλήματα λειψυδρίας (Iglesias et al., 2007).

2.2.1.4. Σπανιότητα ύδατος (water scarcity)

Η σπανιότητα ύδατος αναφέρεται είτε σε μια περιοχή η οποία βρίσκεται σε μόνιμη κατάσταση ελλείμματος ως προς τη ζήτηση ύδατος, είτε σε μία περιοχή η οποία χαρακτηρίζεται από ξηρό κλίμα ή/και αυξημένη ζήτηση για κατανάλωση ύδατος (EEA, glossary of terms; Iglesias et al., 2007).

Η σπανιότητα ύδατος διακρίνεται σε τρεις βασικές κατηγορίες (Seckler et al., 1998; Turton and Ohlsson, 1999; Appelgren and Klohn, 1999; Assimacopoulos, 2008):

- ***Φυσική σπανιότητα ύδατος (physical water scarcity):*** Η περιορισμένη πρόσβαση στους υδατικούς πόρους, η οποία οφείλεται είτε σε κλιματικές συνθήκες (έλλειμμα νερού ως αποτέλεσμα ξηρασίας), είτε σε μη βιώσιμη διαχείριση των διαθέσιμων πόρων (π.χ. υπεράντληση). Όταν υπάρχει επάρκεια οικονομικών και τεχνικών πόρων, η σπανιότητα ύδατος αντιμετωπίζεται μέσω μέτρων που στοχεύουν στην ενίσχυση της προσφοράς / εφοδιασμού σε νερό, όπως επαναχρησιμοποίηση και ανακύκλωση νερού, αφαλάτωση, κατασκευή υποδομών (π.χ. φράγματα, ταμιευτήρες), και μεταφορά νερού. Οι περιοχές στις οποίες οι απολήψεις ύδατος για την κάλυψη των γεωργικών, βιομηχανικών και οικιακών αναγκών ξεπερνούν το 75% της ροής των ποταμών, θεωρούνται ότι βρίσκονται σε συνθήκες φυσικής σπανιότητας ύδατος.

- ***Οικονομική σπανιότητα ύδατος (economic water scarcity):*** Η αδυναμία μίας κοινωνίας να παράγει (επιπλέον) υδατικούς πόρους, ή να εκμεταλλευτεί τους υπάρχοντες, για την κάλυψη των αναγκών της, λόγω περιορισμένων οικονομικών πόρων. Οι περιοχές στις οποίες οι απολήψεις ύδατος δεν ξεπερνούν το 25% της ροής των ποταμών για την κάλυψη των αναγκών, λόγω έλλειψης κατάλληλων υποδομών, θεωρείται ότι βρίσκονται σε συνθήκες οικονομικής σπανιότητας ύδατος.

- ***Κοινωνική σπανιότητα ύδατος (social water scarcity):*** Η ανικανότητα μίας κοινωνίας να προσαρμοστεί σε συνθήκες περιορισμένων υδατικών πόρων (π.χ. αδυναμία αλλαγής τρόπου ζωής), ή η σπανιότητα ύδατος ως αποτέλεσμα κοινωνικοπολιτικών διαδικασιών και αποφάσεων (π.χ. πολιτικές για διατομεακή ανακατανομή ύδατος, διακρατικές ή διασυνοριακές συνθήκες και συμφωνίες, επίπεδο τεχνολογικής ανάπτυξης).

Η φυσική σπανιότητα ακολουθείται συνήθως ή επιδεινώνεται από την κοινωνικο-οικονομική σπανιότητα ύδατος. Η λειψυδρία και η σπανιότητα προκαλούν σημαντικά προβλήματα στην κοινωνική και στην οικονομική ανάπτυξη, ενώ οδηγούν σε ερημοποίηση και υποβάθμιση εδαφών και καταστροφή καλλιεργειών.

Οι όροι ξηρασία, ξηρότητα κλίματος, λειψυδρία, σπανιότητα ύδατος που χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν τους πιθανούς κινδύνους για τα υδατικά συστήματα, είναι πολλές φορές αλληλεξαρτώμενοι και συγχέονται (Tallaksen & Van Lanen; 2004; De Stefano et al., 2012; Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2007). Παρόλο που η ξηρασία είναι ένα φυσικό φαινόμενο και απαιτείται ένα ορισμένο χρονικό διάστημα για να εκδηλωθεί (σε αντίθεση με άλλα φυσικά φαινόμενα τα οποία εκδηλώνονται άμεσα, όπως οι πλημμύρες), οι επιπτώσεις της μπορεί να επιδεινωθούν από την ύπαρξη συνθηκών λειψυδρίας ή σπανιότητας νερού, ενώ λόγω της ξηρασίας μπορεί να δημιουργηθούν προβλήματα λειψυδρίας και σπανιότητας νερού (Assimacopoulos, 2008; De Stefano et al., 2012; Karavitis et al., 2014). Στον Πίνακα 2.1 γίνεται μία προσπάθεια διάκρισης των όρων αυτών παρουσιάζοντας ορισμένες βασικές διαφορές ανάμεσα τους.

Πίνακας 2.1: Σχέσεις και διαφορές μεταξύ των κινδύνων
(Προσαρμογή από: Vlachos, 1982; Karavitis, 1992; De Stefano et al., 2012)

		ΠΛΑΙΣΙΟ & ΧΡΟΝΙΚΗ ΚΛΙΜΑΚΑ		
		Προσωρινό Φαινόμενο		Μόνιμο Φαινόμενο
		Βραχυπρόθεσμη επιρροή υδρολογικού συστήματος (ημέρες, εβδομάδες)	Μεσοπρόθεσμη επιρροή υδρολογικού συστήματος (μήνες, εποχές, έτη)	Μακροπρόθεσμη επιρροή υδρολογικού συστήματος (δεκαετίες)
ΑΙΤΙΑ	Φυσικά	**Ανομβρία (Dry spell)**	**Ξηρασία (Drought)**	**Ξηρότητα κλίματος (Aridity)**
	Ανθρωπο-γενή	**Έλλειμμα νερού / Λειψυδρία (Water shortage)**	**Σπανιότητα ύδατος (Water scarcity)**	**Ερημοποίηση (Desertification)**

Η διαφοροποίηση μεταξύ των όρων αυτών είναι πολύ σημαντική για την ορθολογική διαχείριση των υδατικών πόρων, καθώς επηρεάζει τη θεώρηση των διαφόρων κινδύνων, την εκτίμηση και την παρακολούθηση της εκδήλωσής τους, και κατ' επέκταση τα μέτρα αντιμετώπισής τους και την εφαρμογή των μέτρων αυτών (De Stefano et al., 2012).

Στα πλαίσια της παρούσας Διατριβής μελετάται ο κίνδυνος της σπανιότητας ύδατος (water scarcity), λαμβάνοντας υπόψη τόσο τη φυσική, όσο και την οικονομική και την κοινωνική του διάσταση. Πιο συγκεκριμένα, εκτιμάται η τρωτότητα των υδατικών συστημάτων στη σπανιότητα, εξετάζοντας παράλληλα τη συνεισφορά επεμβάσεων επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης νερού για τη μείωσή της.

2.2.2. Ορισμός Τρωτότητας

Η έννοια της τρωτότητας (vulnerability) στα κοινωνικά και περιβαλλοντικά συστήματα έχει εισαχθεί εδώ και αρκετές δεκαετίες, ενώ άρχισε να χρησιμοποιείται ευρέως ύστερα από τη μελέτη των O'Keefe, Westgate, & Wisner (1976), που αναλύει το ρόλο των κοινωνικο-οικονομικών συνθηκών ως αιτιών φυσικών καταστροφών, και της μελέτης του Sen (1981) σχετικά με τους λιμούς στη Νότια Ασία (Varis et al., 2012). Έκτοτε, πολυάριθμες ερμηνείες έχουν δοθεί στην έννοια της τρωτότητας, ενώ δεν υπάρχει ένας κοινώς αποδεκτός ορισμός για αυτήν (Gallopín, 2006; Varis et al., 2012).

Διαφορετικές σχολές σκέψης έχουν αναπτυχθεί για τον ορισμό και την ανάλυση της τρωτότητας, ακολουθούμενες από μία μεγάλη ποικιλία όρων σχετιζόμενων με την τρωτότητα, όπως η ανθεκτικότητα (resilience), η έκθεση (exposure), η επικινδυνότητα (risk), η ευαισθησία (sensitivity), η ευπάθεια (susceptibility), ο κίνδυνος (hazard), η κρισιμότητα (criticality), ο μετριασμός (mitigation), η προσαρμογή (adaptation), η προσαρμοστικότητα (adaptability), η προσαρμοστική ικανότητα (adaptive capacity), η ικανότητα αντιμετώπισης (coping capacity), κ.α. (Adger et al., 2002; Adger, 2006; Babel et al., 2011; Füssel and Klein, 2006; Gallopín, 2006; Kasperson et al., 2003; McCarthy et al., 2001; Turner et al., 2003).

Σε ένα ευρύτερο πλαίσιο, η τρωτότητα θα μπορούσε να οριστεί ως «η δυνητική βλάβη που θα μπορούσε να προκληθεί σε ένα σύστημα», όμως η ερμηνεία του όρου διαφοροποιείται ανάλογα με τη χρήση μεταξύ των διαφόρων επιστημονικών πεδίων, ερευνητικών κοινοτήτων και μελετών, που μπορεί να αφορούν σε ασφαλή διαβίωση, επισιτιστική ασφάλεια, φυσικούς κινδύνους, διαχείριση κινδύνου καταστροφών, δημόσια υγεία, παγκόσμιες περιβαλλοντικές προκλήσεις, κλιματική αλλαγή, κ.α. (Babel et al., 2011; Füssel and Klein, 2006; Gallopín, 2006).

*Στο πλαίσιο της παρούσας ανάλυσης, η **τρωτότητα** ορίζεται ως ο βαθμός στον οποίο ένα σύστημα είναι ευπαθές σε, ή / και ανίκανο να αντιμετωπίσει, τραυματισμούς, βλάβες ή ζημιές (EEA glossary of terms). Αποτελεί συνάρτηση της πιθανής έκθεσης (exposure) του συστήματος σε κινδύνους, της ενδογενούς του ευαισθησίας (sensitivity) και της προσαρμοστικής του ικανότητας στις αλλαγές που συνεπάγονται οι κίνδυνοι αυτοί (adaptive capacity). Η έκθεση, η ευαισθησία και η προσαρμοστική ικανότητα θεωρούνται οι τρεις συνιστώσες της τρωτότητας, και ορίζονται, στη βάση των ορισμών που έχουν δοθεί από τη Διακυβερνητική Επιτροπή Εμπειρογνωμόνων για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC, 2001) και από τον Gallopín (2006), ως εξής (Πίνακας 2.2):*

- ***Έκθεση:** Η φύση, ο βαθμός, η διάρκεια ή / και η έκταση κατά την οποία ένα σύστημα είναι σε επαφή με, ή υπόκειται σε διαταραχές.*
- ***Ευαισθησία:** Ο βαθμός στον οποίο ένα σύστημα μπορεί να τροποποιηθεί ή να επηρεαστεί (αρνητικά ή θετικά, άμεσα ή έμμεσα) από μία διαταραχή ή ένα σύνολο διαταραχών.*
- ***Προσαρμοστική ικανότητα:** Η ικανότητα ενός συστήματος να προσαρμοστεί στις διαταραχές, να μετριάσει πιθανές ζημιές, να επωφεληθεί από τις ευκαιρίες, ή να αντιμετωπίσει τις συνέπειες των μετασχηματισμών που του συμβαίνουν.*

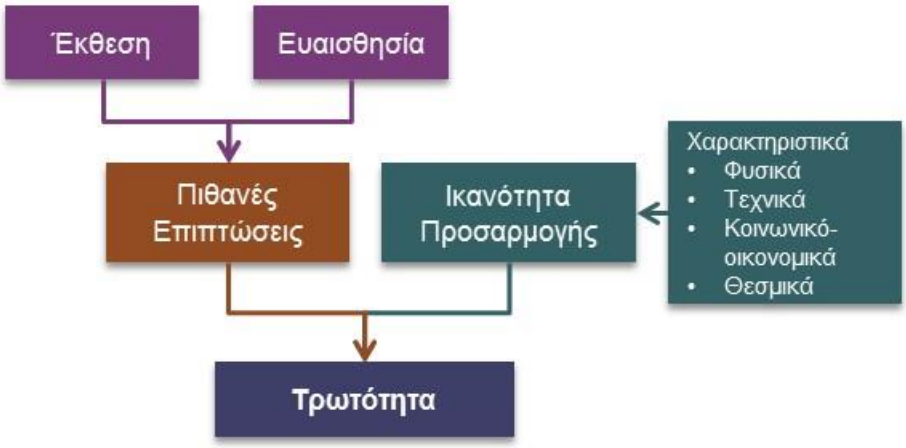
*Αντιθέτως, η **ανθεκτικότητα** των συστημάτων ορίζεται ως το μέγεθος της διαταραχής που μπορεί να απορροφηθεί από ένα σύστημα, χωρίς αυτό να μεταβληθεί σημαντικά, δηλαδή, περισσότερο*

ανθεκτικά συστήματα μπορούν να απορροφήσουν μεγαλύτερες διαταραχές (Holling and Gunderson 2002). Όταν συμβαίνουν μεγάλες διαταραχές, τα ανθεκτικά κοινωνικά ή περιβαλλοντικά συστήματα περιλαμβάνουν τις συνιστώσες εκείνες που είναι απαραίτητες για την ανανέωση και την αναδιοργάνωση τους. Τα συστήματα αυτά μπορούν να αντιμετωπίσουν ή να προσαρμοστούν στις αλλαγές, χωρίς να μεταβληθούν οι παρεχόμενες υπηρεσίες οικοσυστήματος.

Πίνακας 2.2: Ορισμοί έκθεσης, ευαισθησίας και προσαρμοστικής ικανότητας

Συνιστώσες Τρωτότητας	**Πηγές Ορισμών**	
	IPCC, 2001	**Gallopín, 2006**
Έκθεση	«Η φύση και ο βαθμός στον οποίο ένα σύστημα εκτίθεται σε σημαντικές κλιματικές μεταβολές.»	«Ο βαθμός, η διάρκεια, ή / και η έκταση κατά την οποία ένα σύστημα είναι σε επαφή με, ή υπόκειται σε διαταραχές.»
Ευαισθησία	«Ο βαθμός στον οποίο ένα σύστημα επηρεάζεται, είτε αρνητικά είτε θετικά, από ερεθίσματα σχετικά με το κλίμα. Η επιρροή μπορεί να είναι άμεση (π.χ. μεταβολή στην απόδοση μίας καλλιέργειας, επειδή μεταβλήθηκε η μέση θερμοκρασία) ή έμμεση (π.χ. ζημιές που προκλήθηκαν από την αύξηση της συχνότητας των παράκτιων πλημμυρών, λόγω της ανόδου της στάθμης της θάλασσας).»	«Ο βαθμός στον οποίο ένα σύστημα τροποποιείται ή επηρεάζεται από μία εσωτερική ή εξωτερική διαταραχή, ή ένα σύνολο διαταραχών.»
Προσαρμοστική Ικανότητα	«Η ικανότητα ενός συστήματος να προσαρμοστεί στην κλιματικά αλλαγή (συμπεριλαμβανομένης της κλιματικής μεταβλητότητας και των ακραίων φαινομένων), να μετριάσει τις πιθανές ζημιές, να επωφεληθεί από τις ευκαιρίες, ή να αντιμετωπίσει τις συνέπειες.»	«Η ικανότητα ενός συστήματος να προσαρμοστεί σε μία διαταραχή, να μετριάσει τις πιθανές ζημιές, να επωφεληθεί από τις ευκαιρίες, και να αντιμετωπίσει τις συνέπειες των μετασχηματισμών που του συμβαίνουν.»

Η έκθεση και η ευαισθησία αλληλοσυνδέονται. Συσχετίζονται θετικά με την τρωτότητα, καθώς εκφράζουν τις ενδεχόμενες επιπτώσεις στα υπό ανάλυση συστήματα. Αντιθέτως, η προσαρμοστική ικανότητα εκφράζει την ικανότητα των συστημάτων να αντιμετωπίζουν αποτελεσματικά τις επιπτώσεις και τους σχετικούς κινδύνους, και είναι αρνητικά συσχετισμένη με την τρωτότητα. Επομένως, μεγαλύτερη προσαρμοστική ικανότητα συνεπάγεται χαμηλότερη τρωτότητα, ενώ μεγαλύτερες επιπτώσεις συνεπάγονται υψηλότερη τρωτότητα. Οι τρεις συνιστώσες της τρωτότητας και η αλληλοσυσχέτισή τους παρουσιάζεται στην Εικόνα 2.1.



Εικόνα 2.1: Οι τρεις συνιστώσες της τρωτότητας
(Προσαρμογή από: Babel, 2011; Füssel and Klein, 2006; IPCC, 2001)

Η τρωτότητα των υδατικών συστημάτων αφορά τόσο στα φυσικά και υδρολογικά, όσο και στα κοινωνικο-οικονομικά χαρακτηριστικά τους (π.χ. τεχνολογική ανάπτυξη, πρόσβαση σε υπηρεσίες ύδρευσης και αποχέτευσης, σύστημα διοίκησης και ρύθμισης των τομέων εφοδιασμού νερού και επεξεργασίας λυμάτων), καθώς ο τρόπος με τον οποίο μία κοινωνία προσαρμόζεται στις αλλαγές μπορεί να είναι πιο κρίσιμος από τη διαθεσιμότητα νερού καθαυτή (Brooks et al. 2005; Kundzewicz et al., 2007; Babel et al., 2011; Gbetibouo and Ringler, 2009). Επίσης, για την εκτίμηση της τρωτότητας πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι διαφορετικές διαστάσεις που συνθέτουν τον πολυσχιδή χαρακτήρα της: η φυσική, η υλική/τεχνική (από πλευράς υποδομών), η οικονομική, η κοινωνική και η θεσμική διάσταση (Menoni et al., 2012).

Στην παρούσα Διατριβή εκτιμάται η τρωτότητα των υδατικών συστημάτων στη σπανιότητα ύδατος. Η διεθνής βιβλιογραφία παρουσιάζει σημαντική έλλειψη στην ανάπτυξη δεικτών και μεθόδων εκτίμησης της τρωτότητας στη σπανιότητα ύδατος, καθώς μεγαλύτερη έμφαση δίνεται στην τρωτότητα στην ξηρασία και οι περισσότερες μεθοδολογίες εκτίμησης της τρωτότητας αφορούν τον κίνδυνο αυτόν (π.χ. Bhattacharya and Das, 2007; Iglesias et al., 2009; Swain and Swain, 2011; Karavitis et al., 2012; Babaei et al., 2013; Liu et al., 2013; Σκόνδρας, 2015).

Η τρωτότητα των υδατικών συστημάτων στη σπανιότητα ύδατος ορίζεται ως ο βαθμός στον οποίο τα υπό μελέτη συστήματα είναι ανίκανα να λειτουργήσουν υπό την επίδραση περιβαλλοντικών και κοινωνικο-οικονομικών αλλαγών που προκύπτουν από, ή επιφέρουν οι συνθήκες έλλειψης νερού. Στο πλαίσιο της παρούσας Διατριβής, η ανθεκτικότητα και η τρωτότητα χρησιμοποιούνται για να υποδηλώσουν τα δύο αντίθετα άκρα του ίδιου φάσματος, εκφράζοντας την ικανότητα των ανθρώπινων κοινωνιών και των οικοσυστημάτων να ανταποκρίνονται στις αλλαγές και να διατηρούν τη λειτουργικότητά τους, ακολουθώντας την προσέγγιση που υιοθετείται από τους (Alessa et al., 2008).

2.2.3. Εκτίμηση Τρωτότητας

Η εκτίμηση της τρωτότητας είναι ένα ιδιαιτέρως απαιτητικό έργο, καθώς η έκθεση, η ευαισθησία και η προσαρμοστική ικανότητα των υδατικών συστημάτων είναι σύνθετες έννοιες, δύσκολο να ποσοτικοποιηθούν και να μετρηθούν (Downing et al., 2001; Hamouda 2009; Babel, 2011).

Έχουν αναπτυχθεί διάφορα πλαίσια και προσεγγίσεις εκτίμησης της τρωτότητας, το καθένα με τα δικά του πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Τα πιο διαδεδομένα πλαίσια εκτίμησης της τρωτότητας, με τη μεγαλύτερη χρήση και αποδοχή, είναι αυτά που χρησιμοποιούν δείκτες (indicator-based frameworks). Τα πλαίσια αυτά μετρούν την απόδοση των υπό μελέτη συστημάτων λαμβάνοντας υπόψη είτε μία σειρά από επιμέρους αντιπροσωπευτικούς δείκτες (proxy indicators) (αναλυτική προσέγγιση – disaggregated approach), είτε υπολογίζοντας σύνθετους δείκτες (composite indices) (συνθετική προσέγγιση – aggregated approach) (π.χ. Briguglio 1995; Kelly and Adger, 2000; Lonergan et al., 2000; Pritchett et al., 2000; Stephen and Downing, 2001; Moss et al., 2002; Hamouda, 2009).

Ανεξαρτήτως της προσέγγισης και του πλαισίου που επιλέγεται για την εκτίμηση της τρωτότητας, ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στην επιλογή κατάλληλων δεικτών, ώστε να λαμβάνονται υπόψη οι διαφορετικές διαστάσεις που συνθέτουν την τρωτότητα, καθώς και στην ορθή ερμηνεία των αποτελεσμάτων (Hamouda, 2006; Babel, 2011).

2.2.3.1. Επιμέρους Δείκτες για την Εκτίμηση της Τρωτότητας

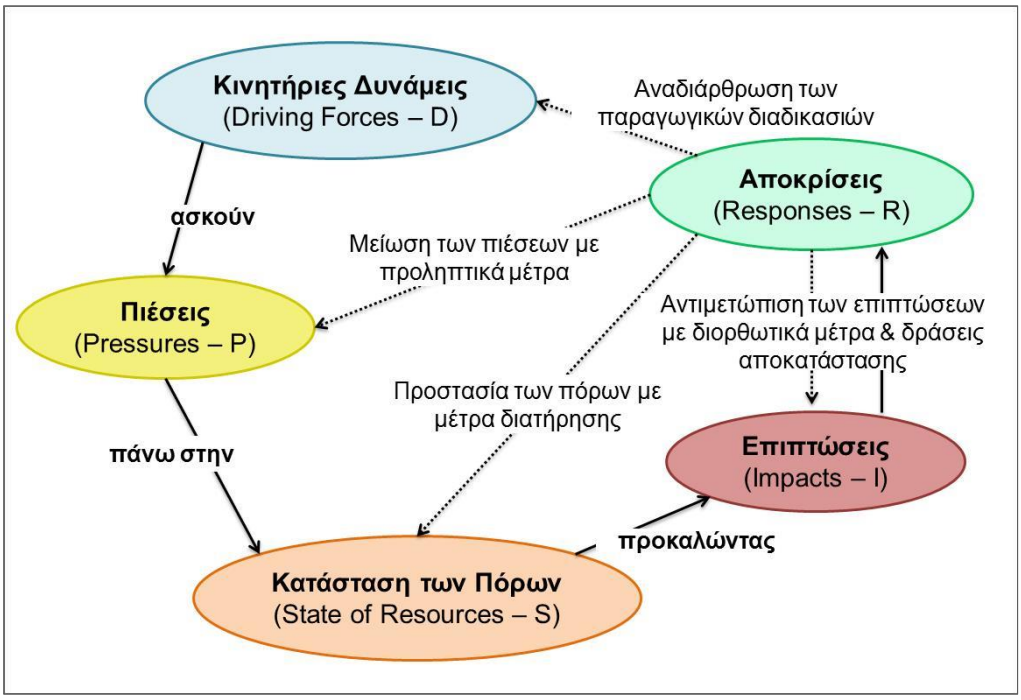
Ένας δείκτης αποτελεί ένα ποσοτικό ή ποιοτικό μέτρο, το οποίο προκύπτει από μία σειρά παρατηρήσεων, και χρησιμοποιείται για να εκτιμήσει σχετικές θέσεις και επιδόσεις ενός συστήματος, ενώ ο υπολογισμός του σε τακτά χρονικά διαστήματα μπορεί να επισημάνει την κατεύθυνση της αλλαγής αυτής της θέσης ή της επίδοσης μεταξύ διαφορετικών μονάδων ή μέσα στο χρόνο (Organisation for Economic Cooperation and Development [OECD], 2008). Οι δείκτες είναι μεταβλητές οι οποίες ποσοτικοποιούν, μετρούν, συνοψίζουν και μεταφέρουν μία σειρά από σημαντικές πληροφορίες, απλοποιώντας την ανάλυση και παρέχοντας μία γενική εικόνα που δεν επικεντρώνεται σε μεμονωμένα χαρακτηριστικά των υπό μελέτη συστημάτων (Hamouda 2006; Singh et al., 2012). Χρησιμεύουν στη διαχείριση των συστημάτων, καθορίζοντας προτεραιότητες πολιτικής και βοηθώντας στη συγκριτική αξιολόγηση και στην παρακολούθηση της απόδοσής τους (OECD, 2008). Ένας κατάλογος με 70 ευρέως αποδεκτούς δείκτες, οι οποίοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση της τρωτότητας των υδατικών συστημάτων στη σπανιότητα ύδατος, παρουσιάζεται στο Παράρτημα Ι.

Η επιλογή των κατάλληλων δεικτών ώστε να επιτευχθεί ο στόχος της ανάλυσης, ειδικά όταν το υπό μελέτη φαινόμενο είναι σύνθετο και πολυδιάστατο, όπως η τρωτότητα, είναι μία ιδιαίτερα απαιτητική διαδικασία (Kuik and Gilbert, 1999; Singh et al., 2012).

Έχουν αναπτυχθεί διάφορες προσεγγίσεις στη βιβλιογραφία που καθοδηγούν την επιλογή δεικτών (Meadows, 1998; Bossel, 1999; Hamouda, 2006). Οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες προσεγγίσεις είναι (Hamouda, 2006):

- ***Προσέγγιση από τη βάση προς την κορυφή (bottom-up approach)***, κατά την οποία τα διαθέσιμα δεδομένα οδηγούν στις παραμέτρους που μετριούνται και οι παράμετροι στους δείκτες που λαμβάνονται υπόψη στην ανάλυση.
- ***Προσέγγιση από την κορυφή προς τη βάση (top-down approach)***, κατά την οποία τίθεται πρώτα ο στόχος της ανάλυσης, τα επιμέρους κομμάτια που τον απαρτίζουν, οι δράσεις που αυτά αφορούν και στη συνέχεια επιλέγονται οι δείκτες που αντιστοιχούν σε αυτές τις δράσεις.
- ***Συστημική προσέγγιση (systems approach)***, κατά την οποία η επιλογή των δεικτών στηρίζεται στην ανάλυση των εισροών και των εκροών του υπό μελέτη συστήματος.
- ***Προσέγγιση αιτίας-αποτελέσματος (cause-effect approach)***, η οποία αποδίδει σχέσεις αιτίας-αποτελέσματος ανάμεσα στις συνιστώσες του υπό μελέτη συστήματος, και βοηθά στην αναζήτηση και στην κατηγοριοποίηση των δεικτών ανάλογα με τις συνιστώσες αυτές.

Οι προσεγγίσεις αιτίας-αποτελέσματος είναι οι πιο ευρέως διαδεδομένες για την επιλογή δεικτών, ενώ χρησιμοποιούνται συχνά για την εκτίμηση της τρωτότητας (Hamouda, 2006; Varis et al., 2012). Η πιο γνωστή προσέγγιση αιτίας-αποτελέσματος είναι η **Προσέγγιση Κινητήριων Δυνάμεων – Πιέσεων – Κατάστασης – Επιπτώσεων - Αποκρίσεων (Driving Forces – Pressures – State – Impacts – Responses, DPSIR Approach).** Η προσέγγιση αυτή επιτρέπει την ολοκληρωμένη ανάλυση της τρωτότητας των υπό μελέτη συστημάτων, καθοδηγώντας την επιλογή δεικτών που εκφράζουν τις κινητήριες δυνάμεις (κλιματικοί και μη κλιματικοί παράγοντες) που ασκούν πιέσεις στα συστήματα, τις πιέσεις (μεταβολές, αλλοιώσεις των συστημάτων) και την επακόλουθη κατάσταση που δημιουργείται, τις επιπτώσεις της κατάστασης, καθώς και τις αποκρίσεις, δηλαδή τα μέτρα αντιμετώπισης των επιπτώσεων αυτών (Εικόνα 2.2) (Hamouda et al., 2009). Η προσέγγιση αυτή έχει τις ρίζες της στην έκθεση της Στατιστικής Υπηρεσίας του Καναδά (Rapport & Friend, 1979), στην οποία παρουσιάζεται ένα πλαίσιο οργάνωσης των περιβαλλοντικών δεδομένων για την καλύτερη καταγραφή και αξιολόγηση των περιβαλλοντικών προβλημάτων του Καναδά, που βασίζεται στις αρχές της πίεσης και της απόκρισης των φυσικών συστημάτων (stress-response framework). Έκτοτε, υιοθετήθηκε και αναπτύχθηκε περαιτέρω από διάφορους διεθνείς οργανισμούς, όπως ο Οργανισμός για την Οικονομική Συνεργασία και Ανάπτυξη (OECD, 1993), ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος (EEA, 1995; EEA, 1999), και ο Οργανισμός Ηνωμένων Εθνών (United Nations [UN], 1996; UN, 1999; UN, 2001).



Εικόνα 2.2: Η προσέγγιση DPSIR και οι σχέσεις μεταξύ των στοιχείων της (Προσαρμογή από: EEA, 1999)

2.2.3.2. Σύνθετοι Δείκτες για την Εκτίμηση της Τρωτότητας

Οι σύνθετοι δείκτες προκύπτουν από τον κατάλληλο συνδυασμό επιμέρους δεικτών, στη βάση ενός μοντέλου το οποίο εκφράζει το αντικείμενο / φαινόμενο που κάποιος επιθυμεί να μελετήσει, και χρησιμεύουν στην εκτίμηση πολυδιάστατων εννοιών, που δεν μπορούν να αποδοθούν με τη χρήση ενός μεμονωμένου δείκτη. Τα περισσότερα μοντέλα σύνθεσης δεικτών περιλαμβάνουν κανονικοποίηση και στάθμιση των τιμών των επιμέρους δεικτών (OECD, 2008).

Οι σύνθετοι δείκτες χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο από τις στατιστικές υπηρεσίες και τους εθνικούς και διεθνείς οργανισμούς για να μεταφέρουν πληροφορίες σχετικά με την επίδοση χωρών και περιοχών σε τομείς όπως το περιβάλλον, η οικονομία, η κοινωνική και τεχνολογική ανάπτυξη κ.α. (Saisana and Tarantola, 2002).

Δεδομένου ότι η εκτίμηση της τρωτότητας των υδατικών συστημάτων έχει στόχο την υποστήριξη της διαδικασίας λήψης αποφάσεων για την προστασία των υδατικών πόρων, παρέχοντας πληροφορίες που αφορούν σύνθετα ζητήματα σε απλή και κατανοητή μορφή, δικαιολογείται η χρήση σύνθετων δεικτών (Babel, 2011). Σύνθετοι δείκτες έχουν χρησιμοποιηθεί σε πολλές μελέτες και εργασίες για την εκτίμηση της τρωτότητας στα πλαίσια της διαχείρισης των υδατικών πόρων (π.χ., Raskin et al., 1997; Alessa et al., 2008; Huang and Cai, 2009), οι πιο γνωστοί εκ των οποίων παρουσιάζονται στο Παράρτημα ΙΙ της Διατριβής.

Παρά την ευρεία τους χρήση, η αξιοπιστία και η αντικειμενικότητα των σύνθετων δεικτών έχει αποτελέσει αντικείμενο αμφισβήτησης (OECD, 2008; Rogge, 2012; Singh et al., 2012). Ειδικότερα στον τομέα της διαχείρισης υδατικών πόρων, υπάρχει έντονη αντιπαράθεση σχετικά με τη χρήση

επιμέρους αντιπροσωπευτικών δεικτών έναντι ενός σύνθετου δείκτη για την εκτίμηση της τρωτότητας, καθώς πολλοί επιστήμονες θεωρούν ότι η χρήση σύνθετων δεικτών μπορεί να οδηγήσει σε απώλεια πληροφορίας (Hamouda et al., 2009; Komnenic et al., 2009). Για το λόγο αυτό, πολλές φορές προτιμάται η ανάπτυξη «προφίλ» τρωτότητας (vulnerability profiles) χρησιμοποιώντας πολλούς επιμέρους δείκτες, αντί ενός σύνθετου δείκτη (π.χ. Zhou 2004; Downing et al., 2006).

Μειονεκτήματα και Πλεονεκτήματα Σύνθετων Δεικτών

Οι σύνθετοι δείκτες παρέχουν συμπυκνωμένη πληροφορία, συνοψίζοντας σύνθετα και πολυδιάστατα ζητήματα σε μία μόνο τιμή. Λόγω της απλότητας στην παρουσίαση των αποτελεσμάτων, κάποιος μπορεί πολύ πιο εύκολα να ερμηνεύσει τα αποτελέσματα μίας αξιολόγησης που χρησιμοποιεί σύνθετους δείκτες, από το να προσπαθεί να αναγνωρίσει τάσεις και να κάνει συγκρίσεις, συνδυάζοντας πληροφορίες από διαφορετικούς επιμέρους δείκτες. Συνεπώς, η πληροφορία που παρέχουν οι σύνθετοι δείκτες μπορεί να επικοινωνηθεί και να γίνει αντιληπτή πιο εύκολα από τους λήπτες αποφάσεων, αλλά και από το ευρύ κοινό, επιτρέποντας το σχηματισμό μίας γενικότερης, πιο εποπτικής εικόνας για ένα ευρύ φάσμα θεμάτων (Saisana and Tarantola, 2002; Babel, 2011).

Εντούτοις, υπάρχει η γενικότερη θεώρηση ότι η χρήση σύνθετων δεικτών μπορεί να οδηγήσει σε παραπλανητικά συμπεράσματα και σε λανθασμένες ή ανεπαρκείς αποφάσεις, αν οι δείκτες αυτοί δεν κατασκευαστούν ή δεν ερμηνευθούν με προσοχή. Η κατασκευή σύνθετων δεικτών περιέχει στάδια, όπως η επιλογή των επιμέρους δεικτών που συνθέτουν τον τελικό δείκτη και η στάθμισή τους (απόδοση βαρύτητας στους επιμέρους δείκτες), που βασίζονται σε μεγάλο βαθμό στην κρίση του ερευνητή / δημιουργού του δείκτη, αυξάνοντας την υποκειμενικότητα του υπολογιστικού μοντέλου και την αβεβαιότητα του τελικού αποτελέσματος. Επίσης, υπάρχει ο κίνδυνος να εξαχθούν απλοϊκά συμπεράσματα κατά την ερμηνεία του σύνθετου δείκτη, τα οποία αγνοούν μεγάλο μέρος της ουσιαστικής πληροφορίας και οδηγούν σε ανεπαρκή ή εσφαλμένα διορθωτικά μέτρα (Saisana and Tarantola, 2002; Hamouda et al., 2009; Komnenic et al., 2009).

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της χρήσης σύνθετων δεικτών συνοψίζονται στον Πίνακα 2.3.

Πίνακας 2.3: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα σύνθετων δεικτών (OECD, 2008)

Πλεονεκτήματα	**Μειονεκτήματα**
• Συνοψίζουν πληροφορίες σχετικά με σύνθετες, πολυδιάστατες έννοιες, υποστηρίζοντας τη διαδικασία λήψης αποφάσεων. • Ερμηνεύονται πιο εύκολα σε σύγκριση με μία σειρά από διαφορετικούς επιμέρους δείκτες. • Μπορούν να αξιολογήσουν την πρόοδο στην πάροδο του χρόνου. • Μειώνουν το ορατό μέγεθος του συνόλου των δεικτών που χρησιμοποιούνται, χωρίς να μειώνεται η υποκείμενη βάση πληροφοριών που χρησιμοποιήθηκε. • Τοποθετούν την επίδοση και την πρόοδο στους διάφορους τομείς στο επίκεντρο της χάραξης πολιτικής. • Διευκολύνουν την επικοινωνία με το ευρύ κοινό (π.χ. πολίτες, μέσα μαζικής ενημέρωσης) και τη μετάδοση της πληροφορίας, προωθώντας τη διαφάνεια και την υπευθυνότητα των πολιτικών αποφάσεων.	• Μπορούν να οδηγήσουν σε παραπλανητικά μηνύματα ή απλοϊκά συμπεράσματα για τη χάραξη πολιτικής αν κατασκευαστούν ή ερμηνευτούν πλημμελώς. • Μπορούν να χρησιμοποιηθούν καταχρηστικά, π.χ. για να υποστηρίξουν μία επιθυμητή πολιτική, εάν η διαδικασία κατασκευής τους δεν χαρακτηρίζεται από διαφάνεια ή εάν το στατιστικό ή εννοιολογικό πλαίσιο που έχει υιοθετηθεί στερείται ακρίβειας και εγκυρότητας. • Μπορούν να αποτελέσουν αντικείμενο αντιπαράθεσης, σε περίπτωση μη τεκμηριωμένης επιλογής των επιμέρους δεικτών και απόδοσης βαρύτητας σε αυτούς. • Μπορούν να συγκαλύψουν σοβαρές ελλείψεις και να δυσκολέψουν τον προσδιορισμό κατάλληλων διορθωτικών μέτρων, αν αγνοηθούν κατά την κατασκευή τους ορισμένες διαστάσεις της μετρούμενης απόδοσης, οι οποίες είναι δύσκολο να μετρηθούν.

Για να αποφευχθεί ο κίνδυνος λανθασμένης ερμηνείας και να περιοριστεί η αβεβαιότητα κατά την κατασκευή των σύνθετων δεικτών προτείνονται οι ακόλουθες ενέργειες (Saisana and Tarantola, 2002; Saisana et al., 2005):

- Χρήση μεγάλης ποσότητας δεδομένων, ώστε να μπορούν να υπολογιστούν με ακρίβεια οι επιμέρους δείκτες που αποτελούν το σύνθετο δείκτη, και να είναι αξιόπιστα τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης.
- Διαφάνεια και χρήση αντικειμενικών στατιστικών μεθόδων και αρχών κατά το δυνατόν, ώστε να αποφεύγονται οι αυθαίρετες και υποκειμενικές αποφάσεις στα διάφορα στάδια κατασκευής του δείκτη.
- Διεξαγωγή ανάλυσης αβεβαιότητας και ευαισθησίας, ώστε να εξετάζεται και να ελέγχεται η ευρωστία του σύνθετου δείκτη.
- Συνδυασμός του σύνθετου δείκτη με άλλους επιμέρους ή σύνθετους δείκτες από παρεμφερείς ή προγενέστερες μελέτες, για την εξαγωγή αξιόπιστων συμπερασμάτων.

Στην παρούσα ανάλυση υιοθετείται ένα πλαίσιο δεικτών για την εκτίμηση της τρωτότητας των υδατικών συστημάτων στη σπανιότητα ύδατος, το οποίο περιλαμβάνει δύο συμπληρωματικά βήματα, θεωρώντας τόσο επιμέρους δείκτες που επιλέχθηκαν στη βάση του μοντέλου DPSIR (αναλυτική προσέγγιση), όσο και το σχηματισμό ενός σύνθετου δείκτη (συνθετική προσέγγιση). Η αναλυτική προσέγγιση παρέχει μία εις βάθος ανάλυση της τρωτότητας των υπό μελέτη περιοχών, εξετάζοντας τις διαφορετικές διαστάσεις της τρωτότητας (π.χ. φυσική, τεχνική, κοινωνικο-οικονομική) και βοηθώντας έτσι στην αναγνώριση των πιέσεων που καθιστούν τρωτή την κάθε περιοχή, καθώς και των ειδικών χαρακτηριστικών που χρήζουν βελτίωσης για την αύξηση της προσαρμοστικής της ικανότητας. Η συνθετική προσέγγιση επιτρέπει τη συγκριτική αξιολόγηση (benchmarking) των περιοχών ως προς την τρωτότητα, καθώς και την εκτίμηση της συνεισφοράς διαφορετικών επεμβάσεων Ε&ΑΝ στη μείωσή της, λειτουργώντας ως εργαλείο αξιολόγησης στρατηγικών και επεμβάσεων για την άμβλυνση των επιπτώσεων των υπό εξέταση κινδύνων.

Συνδυάζοντας τις δύο προσεγγίσεις επιτυγχάνεται μία ολιστική και ολοκληρωμένη ανάλυση, η οποία ταυτόχρονα εφαρμόζει και όλες τις ενέργειες που προτείνονται από τους Saisana and Tarantola (2002) και Saisana et al. (2005) για την ενίσχυση της ευρωστίας του σύνθετου δείκτη, εξασφαλίζοντας αποτελέσματα υψηλής αξιοπιστίας.

2.3. Επαναχρησιμοποίηση & Ανακύκλωση Επεξεργασμένων Υγρών Αποβλήτων

Ως επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων ορίζεται η εν γένει διαχείριση των υγρών αποβλήτων, έτσι ώστε να μπορούν να ανακτηθούν ως νερό με σκοπό την επαναχρησιμοποίησή τους, ενώ ως ανακύκλωση ορίζεται η εσωτερική (in situ) ανάκτηση των υγρών αποβλήτων μίας εγκατάστασης και η ανακύκλωσή τους στην παραγωγική διαδικασία της εγκατάστασης αυτής. Το νερό που προέρχεται από επεξεργασμένα υγρά απόβλητα με σκοπό την επαναχρησιμοποίηση ή την ανακύκλωσή του ονομάζεται ανακτημένο νερό (ΚΥΑ 145116/11) (Ελληνική Δημοκρατία, 2011).

Η Ε&ΑΝ αναφέρεται στην παραγωγή νερού μέσα από διαδικασίες επεξεργασίας νερού, και εισάγει έναν βρόγχο ανατροφοδότησης (feedback loop) στον κύκλο του νερού. Δεν αποτελεί μία πρόσθετη πηγή νερού, αλλά ένα «προϊόν» του κύκλου του νερού, το οποίο πρέπει να προσαρμόζεται ανάλογα με την επιθυμητή χρήση (διαφορετικές προδιαγραφές ποιότητας πρέπει να πληρούνται ανάλογα με την τελική χρήση του ανακτημένου νερού), και για αυτό διαφοροποιείται από τα άλλα μέτρα ενίσχυσης των διαθέσιμων υδατικών πόρων, όπως η αφαλάτωση, τα οποία προσφέρουν νέες εισόδους στον κύκλο του νερού (Kirhensteine et al., 2016).

Στα πλαίσια της παρούσας Διατριβής η επαναχρησιμοποίηση και η ανακύκλωση υγρών αποβλήτων αφορά μόνο στα αστικά απόβλητα και συμβολίζεται με τη συντομογραφία Ε&ΑΝ.

2.3.1. Χρήσεις Ε&ΑΝ

Οι βασικές χρήσεις ανακτημένου νερού είναι οι ακόλουθες (Asano et al., 2007; Ελληνική Δημοκρατία, 2011; US EPA, 2012):

- ***Άρδευση:*** Δύο τύποι άρδευσης διακρίνονται με βάση το είδος της καλλιέργειας που αρδεύεται, το σύστημα άρδευσης και την δυνατότητα πρόσβασης της αρδευόμενης περιοχής από το κοινό:

    - *Η περιορισμένη άρδευση,* που αφορά σε καρπούς που είτε δεν προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση, είτε καταναλώνονται μετά από θερμική ή άλλη επεξεργασία, και δεν βρίσκονται σε επαφή με το έδαφος ούτε κατά την καλλιέργεια ούτε κατά τη συλλογή τους, όπως ζωοτροφές, βιομηχανικές καλλιέργειες, λιβάδια, δέντρα (μη συμπεριλαμβανομένων των οπωροφόρων). Δεν επιτρέπεται η άρδευση με καταιονισμό, ενώ απαγορεύεται η πρόσβαση του κοινού στην αρδευόμενη περιοχή.

    - *Η απεριόριστη άρδευση,* η οποία αφορά σε όλα τα υπόλοιπα είδη καλλιεργειών των οποίων τα προϊόντα προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση και μπορούν να καταναλωθούν ακόμη και ωμά, όπως λαχανικά, οπωροφόρα δέντρα και αμπέλια. Δεν υπάρχουν περιορισμοί ως προς τη μέθοδο άρδευσης που χρησιμοποιείται, ούτε ως προς την πρόσβαση του κοινού.

- ***Αστική και περιαστική χρήση (δεν συμπεριλαμβάνεται η πόση του ανακτημένου νερού):*** Οι αστικές και περιαστικές χρήσεις του ανακτημένου νερού αφορούν κυρίως την άρδευση χώρων αστικού και περιαστικού πρασίνου, δασικών εκτάσεων και χώρων αναψυχής (π.χ. δάση, άλση, νεκροταφεία, πρανή και νησίδες αυτοκινητοδρόμων, γήπεδα γκολφ, δημόσια πάρκα, αυλές σπιτιών, κήποι ξενοδοχείων), την πυρόσβεση, τον καθαρισμό οδών και πεζοδρομίων, την κολύμβηση, την παροχή τεχνητών λιμνών και διακοσμητικών σιντριβανιών, και τις οικιακές δραστηριότητες. Σε αντιστοιχία με τις αρδευτικές, και οι *αστικές χρήσεις ανακτημένου νερού διακρίνονται σε περιορισμένες και απεριόριστες*. Οι περιορισμένες χρήσεις αφορούν χώρους στους οποίους η πρόσβαση του κοινού απαγορεύεται ή περιορίζεται (π.χ. φράχτες, χρονικοί περιορισμοί πρόσβασης), ενώ αντίθετα οι απεριόριστες αφορούν τις περιπτώσεις που δεν υπάρχει κανένας περιορισμός σχετικά με την πρόσβαση του κοινού ή την επαφή του με το ανακτημένο νερό. Στις περιπτώσεις της περιορισμένης αστικής και περιαστικής χρήσης ισχύουν οι ίδιοι κανόνες με την περιορισμένη άρδευση και απαγορεύεται το πότισμα με καταιονισμό. Η χρήση ανακτημένου νερού στο αστικό περιβάλλον συνήθως απαιτεί την κατασκευή ξεχωριστού δικτύου για τη διανομή του.

- ***Βιομηχανική χρήση:*** Η επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων για νερό ψύξης, αναπλήρωση νερού σε λέβητες και χρήση σε διάφορες βιομηχανικές διεργασίες και παραγωγή ενέργειας. Οι ποιοτικές απαιτήσεις του ανακτημένου νερού που προορίζεται για τη βιομηχανία ποικίλλουν ανάλογα με το είδος της βιομηχανικής δραστηριότητας και σε πολλές περιπτώσεις απαιτείται προχωρημένη ή ειδική επεξεργασία των λυμάτων ώστε να καταστούν κατάλληλα για συγκεκριμένες χρήσεις. Σύμφωνα με την ελληνική νομοθεσία, δεν επιτρέπεται η Ε&ΑΝ στις βιομηχανίες προϊόντων που προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση.

- ***Τεχνητός εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων:*** Η τροφοδότηση υπόγειων υδροφορέων, των οποίων το νερό δεν χρησιμοποιείται για πόση, με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα στοχεύει κυρίως: α) στην αποθήκευση υδατικών πόρων για μελλοντική χρήση ή για εξισορρόπηση των διακυμάνσεων της ζήτησης, β) στην ανύψωση της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα, που μπορεί να φθίνει λόγω υπερεκμετάλλευσης, γ) στην παρεμπόδιση της διείσδυσης και ανάμιξης του θαλασσινού νερού με το γλυκό νερό στην περίπτωση των παραθαλάσσιων υδροφορέων, και δ) στον έλεγχο πιθανών καθιζήσεων του εδάφους. Ο εμπλουτισμός των υπόγειων υδροφορέων γίνεται είτε άμεσα μέσω γεωτρήσεων (υπό πίεση ή με βαρύτητα), είτε έμμεσα με διήθηση του ανακτημένου νερού δια μέσου εδαφικού στρώματος.

- ***Περιβαλλοντική προστασία και ενίσχυση των υπηρεσιών των οικοσυστημάτων:*** Περιλαμβάνει κυρίως τη χρήση ανακυκλωμένου νερού για τη δημιουργία νέων ή την ενίσχυση υφιστάμενων υγροτόπων, καθώς και την τροφοδότηση επιφανειακών και υπόγειων υδατικών συστημάτων. Ο εμπλουτισμός των υπόγειων υδροφορέων θα μπορούσε να θεωρηθεί μέρος της χρήσης αυτής.

- ***Πόσιμο νερό:*** Η επαναχρησιμοποίηση για πόση διακρίνεται σε δύο κατηγορίες:
    - *Άμεση επαναχρησιμοποίηση για πόση,* η απευθείας εισαγωγή ανακτημένου νερού (χωρίς να προηγηθεί αποθήκευση ή ανάμειξή τους με άλλους υδατικούς πόρους) στο δίκτυο παροχής πόσιμου νερού, αφού έχει προηγηθεί προχωρημένη επεξεργασία των υγρών αποβλήτων.
    - *Έμμεση επαναχρησιμοποίηση για πόση,* η προγραμματισμένη αξιοποίηση του ανακτημένου νερού για πόση, μετά από προχωρημένη επεξεργασία και ανάμιξή του με σημαντικές ποσότητες γλυκού νερού σε επιφανειακούς ή υπόγειους ταμιευτήρες. Συνήθως σχετίζεται με τον τεχνητό εμπλουτισμό υπόγειων υδροφορέων, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για απολήψεις πόσιμου νερού.

Η επαναχρησιμοποίηση νερού επίσης, ανεξαρτήτως χρήσης, διακρίνεται σε άμεση και έμμεση ανάλογα με το αν έχει προηγηθεί αποθήκευση ή ανάμειξη του ανακτημένου νερού με άλλα νερά (Ελληνική Δημοκρατία, 2011):

- ***Άμεση επαναχρησιμοποίηση:*** Η επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, χωρίς να προηγηθεί αποθήκευση ή ανάμιξη με άλλα νερά.
- ***Έμμεση επαναχρησιμοποίηση:*** Η αποθήκευση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων σε επιφανειακούς ή υπόγειους ταμιευτήρες πριν από την επαναχρησιμοποίησή τους και κατά κανόνα η ανάμιξή τους με άλλα νερά.

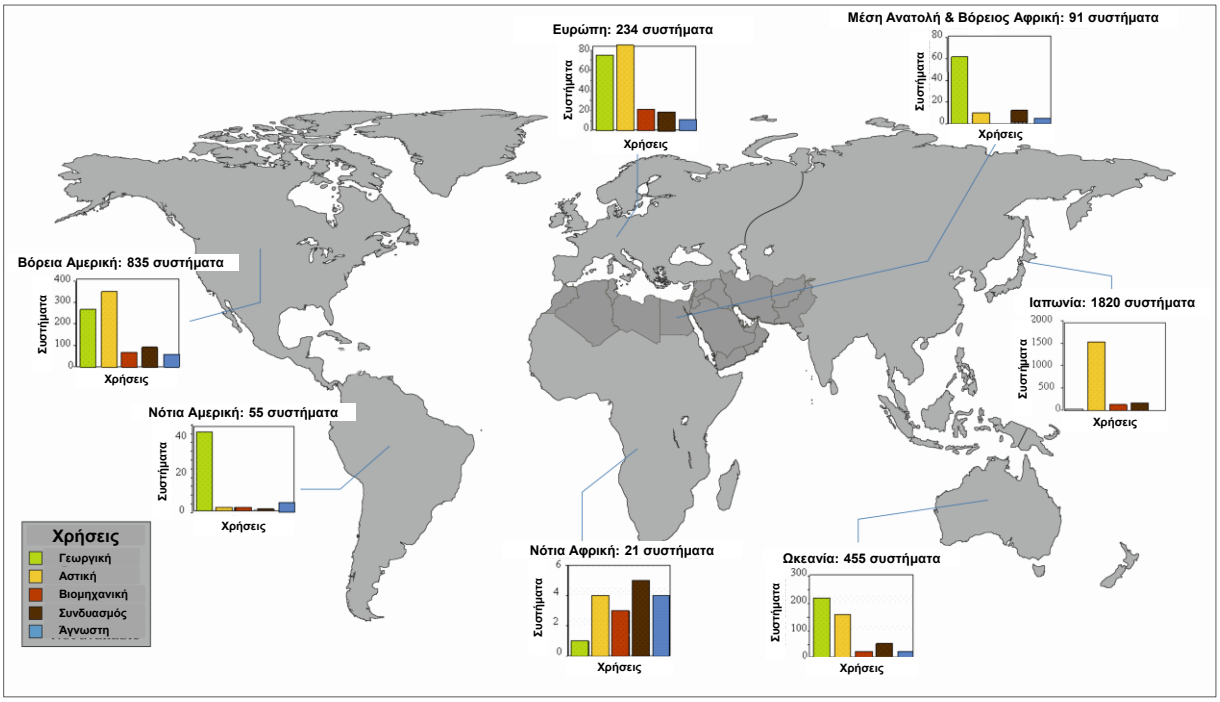
2.3.1.1. Ε&ΑΝ στην Ευρώπη και στον Κόσμο

Η Ε&ΑΝ εφαρμόζεται διεθνώς, τόσο στα αναπτυγμένα κράτη ως μέτρο για τη βιώσιμη διαχείριση των υδατικών πόρων και την περιβαλλοντική προστασία, όσο και στα αναπτυσσόμενα κράτη δίνοντας λύση στα σημαντικά προβλήματα έλλειψης νερού (Υπουργείο Υποδομών, Μεταφορών και Δικτύων, 2009). Η άρδευση καλλιεργειών αποτελεί την κυριότερη χρήση ανακτημένου νερού παγκοσμίως (32% της συνολικής ποσότητας ανακτημένου νερού που χρησιμοποιείται) ακολουθούμενη από την άρδευση χώρων αστικού και περιαστικού πρασίνου (20%) και τη χρήση ανακτημένου νερού στη βιομηχανία (19%) (Asano et al., 2007; Kirhensteine et al., 2016). Η άρδευση καλλιεργειών με ανακτημένο νερό εντοπίζεται ήδη από τον 16^{ο} αιώνα στη Γερμανία, ενώ από τα μέσα του 19^{ου} αιώνα απαντάται σε πολλές περιοχές της Ευρώπης και της Αμερικής (Υπουργείο Υποδομών, Μεταφορών και Δικτύων, 2009). Η χρήση ανακτημένου νερού για τον εμπλουτισμό υπόγειων υδροφορέων δεν είναι ιδιαίτερα διαδεδομένη (2% της συνολικής ποσότητας ανακτημένου νερού που χρησιμοποιείται), όμως θεωρείται πως οι εφαρμογές αυτές καθώς και η έμμεση επαναχρησιμοποίηση για πόση θα αρχίσουν να εφαρμόζονται τακτικότερα στο μέλλον (Kirhensteine et al., 2016).

Το 2011 επαναχρησιμοποιήθηκαν παγκοσμίως 7×10^9 m^3 επεξεργασμένων αστικών αποβλήτων, που αντιπροσώπευαν το 0.59% της συνολικής υδατικής κατανάλωσης (ΕΕΑ, 2015; ΕΕΑ, 2016;

Kirhensteine et al., 2016), ενώ σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (World Health Organization – WHO) 40×10^6 m^3 ανακτημένου νερού χρησιμοποιούνται καθημερινά σε παγκόσμια κλίμακα (SUEZ ENVIRONMENT Magazine, 2013). Εκτιμάται ότι η παγκόσμια αγορά της Ε&ΑΝ επεκτείνεται συνεχώς και οι εφαρμογές Ε&ΑΝ θα αντικαταστήσουν αυτές της αφαλάτωσης στο μέλλον, ενώ προβλέπεται ότι μέχρι το 2030 η χρήση ανακτημένου νερού θα αντιπροσωπεύει το 1.66% της συνολικής υδατικής κατανάλωσης παγκοσμίως (26×10^9 m^3 ετησίως) (Kirhensteine et al., 2016).

Πάνω από 3,500 συστήματα Ε&ΑΝ ήταν σε λειτουργία το 2008, κυρίως στην Ιαπωνία και στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής (ΗΠΑ) (Εικόνα 2.3) (Bixio et al., 2008).



Εικόνα 2.3: Καταμετρημένα συστήματα Ε&ΑΝ ανά χρήση ανακτημένου νερού σε 7 περιοχές του κόσμου (Προσαρμογή από: Bixio et al., 2008)

Στις ΗΠΑ και στην Αυστραλία το 2012 η εκτιμωμένη ποσότητα ανακτημένου νερού ήταν περίπου ίση με το 8% των παραγόμενων υγρών αποβλήτων, στη Σαουδική Αραβία ίση με το 16%, και στη Σιγκαπούρη ίση με το 30%, ενώ το Ισραήλ κατείχε την υψηλότερη θέση ως προς το ποσοστό επαναχρησιμοποίησης νερού, επαναχρησιμοποιώντας γύρω στο 70% των παραγόμενων αστικών λυμάτων (US EPA, 2012).

Στις ΗΠΑ είναι σε εφαρμογή ένα ολοκληρωμένο θεσμικό πλαίσιο που καθορίζει την απαιτούμενη ποιότητα των επεξεργασμένων λυμάτων ανάλογα με τη χρήση, τα στάδια και τις τεχνολογίες επεξεργασίας, τους απαραίτητους ελέγχους κ.α. Πρωτοπόρα στην Ε&ΑΝ θεωρείται η Πολιτεία της Καλιφόρνια, της οποίας οι κανονισμοί (California Code of Regulations, Title 22) είναι διεθνώς

αναγνωρισμένοι και αποτελούν τη βάση για την ανάπτυξη των αντίστοιχων θεσμικών πλαισίων σε πολλές χώρες του κόσμου. Στις ΗΠΑ έχουν εφαρμοστεί επιτυχώς οι χρήσεις ανακτημένου νερού για άρδευση καλλιεργειών και χώρων αναψυχής, επαναφόρτιση υπόγειων υδροφορέων, βιομηχανικές δραστηριότητες, περιβαλλοντική αναβάθμιση, παραγωγή πόσιμου νερού και αστικές – οικιακές χρήσεις (Υπουργείο Υποδομών, Μεταφορών και Δικτύων, 2009).

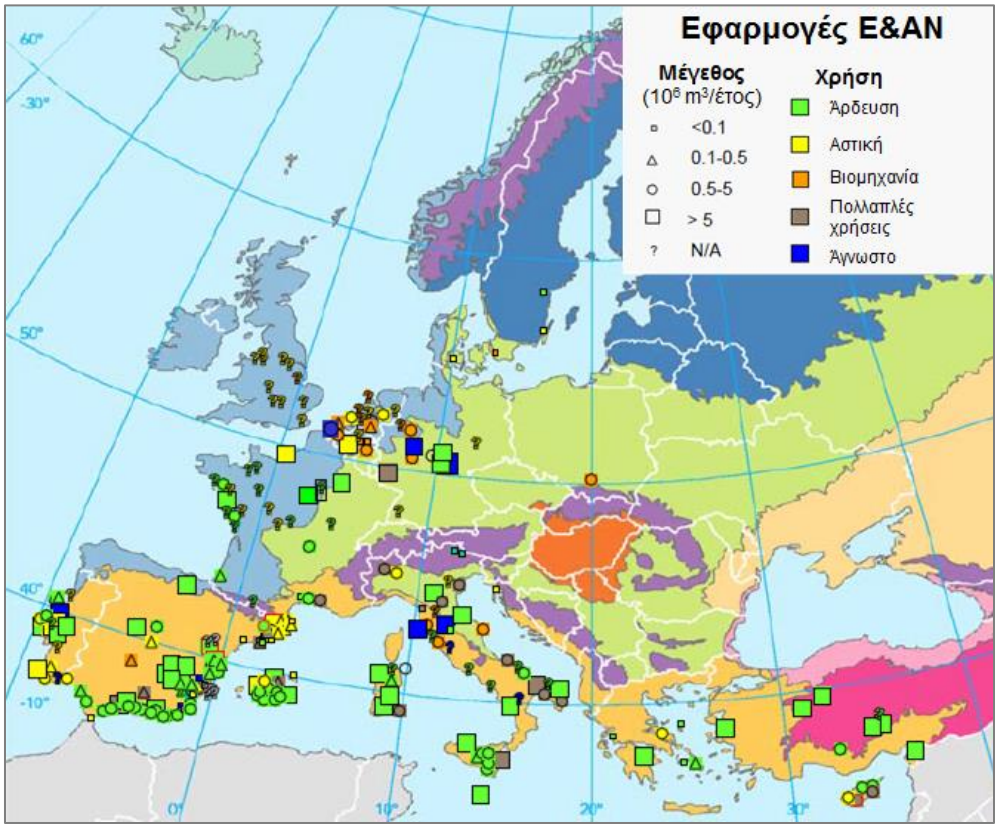
Εφαρμογές Ε&ΑΝ απαντώνται και στη Νότια Αμερική, όχι όμως πάντοτε επιτυχημένες. Στο Περού η Ε&ΑΝ είναι πολύ διαδεδομένη, ιδιαίτερα στην παραλιακή άνυδρη ζώνη. Επίσης, στο Σάο Πάολο της Βραζιλίας έχουν υλοποιηθεί πολλές επεμβάσεις Ε&ΑΝ για χρήση ανακτημένου νερού στη βιομηχανία, άρδευση αστικών πάρκων και κήπων, έκπλυση τουαλετών, πλύσιμο δρόμων και πεζοδρομίων, δημιουργία χώρων αναψυχής κ.α. (Υπουργείο Υποδομών, Μεταφορών και Δικτύων, 2009). Στο Σάο Πάολο απαντάται και η μεγαλύτερη μονάδα επαναχρησιμοποίησης νερού του νότιου ημισφαιρίου, το AQUAPOLO Ambiental Project, το οποίο τέθηκε σε λειτουργία το 2012. Το AQUAPOLO Ambiental κατασκευάστηκε ως απάντηση στα νέα κυβερνητικά μέτρα που περιορίζουν τη χρήση πόσιμου νερού στη βιομηχανία και προμηθεύει το βιομηχανικό συγκρότημα πετροχημικών Capuava του δήμου Mauá με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα, εξοικονομώντας έτσι πόσιμο νερό για τη συνεχή τροφοδότηση περίπου 300,000 κατοίκων (δυναμικότητα 1,000 λίτρα/δευτερόλεπτο) (http://www.kochmembrane.com/Resources/Case-Studies/Aquapolo-Ambiental-Water-Reuse-Project.aspx). Σε αντίθεση με αυτές τις επιτυχημένες εφαρμογές, στην Αργεντινή χρησιμοποιούνται λύματα που έχουν υποστεί πρωτοβάθμια επεξεργασία για απεριόριστη άρδευση λαχανικών, με αποτέλεσμα την έκθεση της δημόσιας υγείας σε σοβαρό κίνδυνο, ενώ στο Σαντιάγκο της Χιλής το 70-80% των ανεπεξέργαστων αστικών λυμάτων διατίθεται για άρδευση φρούτων και λαχανικών, με αποτέλεσμα την εμφάνιση κρουσμάτων τυφοειδούς πυρετού. Αντίστοιχα περιστατικά έχουν καταγραφεί και στην πόλη του Μεξικό, όπου εκδηλώθηκαν αυξημένα κρούσματα εντερικών διαταραχών λόγω άρδευσης καλλιεργειών με ανεπεξέργαστα λύματα (Υπουργείο Υποδομών, Μεταφορών και Δικτύων, 2009).

Σε αντίθεση με το Ισραήλ και τη Βόρεια και Νότια Αμερική όπου το μεγαλύτερο ποσοστό των επεξεργασμένων λυμάτων χρησιμοποιείται για άρδευση, στην Ιαπωνία τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα χρησιμοποιούνται κυρίως για αναβάθμιση του περιβάλλοντος, καθαρισμό τουαλετών, βιομηχανική χρήση και παραγωγή χιονιού (Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής [ΥΠΕΚΑ], 2013λ).

Στην Ευρώπη, η περιορισμένη διαθεσιμότητα των υδατικών πόρων σε συνδυασμό με την ανάγκη για πρόληψη της ποιοτικής υποβάθμισης των υδατικών συστημάτων αποτέλεσαν τα βασικά κίνητρα για την εφαρμογή επεμβάσεων Ε&ΑΝ. Το 2006 ο συνολικός όγκος των επαναχρησιμοποιημένων υγρών αποβλήτων ήταν 964×10^6 m^3 (εκ των οποίων 347×10^6 m^3 στην Ισπανία, 233×10^6 m^3 στην Ιταλία, 42×10^6 m^3 στη Γερμανία, 23×10^6 m^3 στην Ελλάδα) ποσότητα που αντιπροσώπευε περίπου το 2.4% των επεξεργασμένων αστικών λυμάτων και λιγότερο από το 0.5% των ετήσιων απολήψεων γλυκού νερού (στα Κράτη Μέλη της ΕΕ) (Hochstrat et al., 2006; MED WWR WG, 2007; Ευρωπαϊκή Επιτροπή: http://ec.europa.eu/environment/water/reuse-actions.htm). Δεν υπάρχουν διαθέσιμες πληροφορίες σχετικά με το συνολικό όγκο των επαναχρησιμοποιημένων υγρών αποβλήτων που χρησιμοποιούνται σήμερα στα Κράτη Μέλη της

ΕΕ, όμως εκτιμάται πώς χρησιμοποιούνται περίπου 1,100×10^6 m^3 ανακτημένου νερού ετησίως, που αποτελούν το 0.4% των ετήσιων απολήψεων γλυκού νερού (BIO by Deloitte, 2015).

Πρακτικές Ε&ΑΝ εφαρμόζονται ήδη σε αρκετά Κράτη Μέλη της Νότιας (π.χ. Ισπανία, Ιταλία, Μάλτα, Κύπρος και Ελλάδα) και της Βόρειας Ευρώπης (π.χ. Βέλγιο, Γερμανία και Ηνωμένο Βασίλειο) (Εικόνα 2.4).



Εικόνα 2.4: Εφαρμογές Ε&ΑΝ στην Ευρώπη (Πηγή: Bixio et al., 2006a)

Σύμφωνα με τους Bixio et al. (2006a), οι μεγαλύτερες μονάδες Ε&ΑΝ (> 0.5×10^9 m^3/έτος) βρίσκονται σε παραθαλάσσιες τουριστικές περιοχές και στα νησιά της Δυτικής και της Νότιας Ευρώπης (κυρίως στην Ισπανία και στην Ιταλία), καθώς και στις πυκνοκατοικημένες αστικές περιοχές της Βόρειας Ευρώπης, συμπεριλαμβανομένου του Βελγίου, της Αγγλίας και της Γερμανίας. Στην Κύπρο και στη Μάλτα επαναχρησιμοποιείται περισσότερο από το 90% και το 60% των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων αντίστοιχα, ενώ στην Ελλάδα, στην Ιταλία και στην Ισπανία επαναχρησιμοποιείται το 5% με 12% των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων, υποδηλώνοντας πως υπάρχει περιθώριο για περαιτέρω αξιοποίηση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων στις περιοχές αυτές (Ευρωπαϊκή Επιτροπή: http://ec.europa.eu/environment/water/reuse-actions.htm).

Η άρδευση είναι η κυριότερη χρήση ανακτημένου νερού, με 180 εκατομμύρια m^3 επεξεργασμένων λυμάτων να επαναχρησιμοποιούνται ετησίως για άρδευση καλλιεργούμενων εκτάσεων στην Κύπρο (75% της μέσης ετήσιας διαθέσιμης ποσότητας επεξεργασμένων λυμάτων), άρδευση 95,000 καλλιεργήσιμων στρεμμάτων στη Βόρεια Ισπανία, 40,000 στρεμμάτων στην Ιταλία και 30,000 στρεμμάτων στη Γαλλία (ΥΠΕΚΑ, 2013λ).

Επίσης σε αρκετά Κράτη Μέλη απαντώνται περιπτώσεις εμπλουτισμού υπόγειων υδροφορέων με ανακτημένο νερό. Για παράδειγμα στην κοιλάδα της Έζουσας στην Κύπρο επεξεργασμένα υγρά απόβλητα αναμιγνύονται με νερό από το φράγμα του Ασπρόκρεμμου και στη συνέχεια εισέρχονται στον υπόγειο υδροφορέα, απ' όπου αντλούνται στη συνέχεια για άρδευση (Kirhensteine et al., 2016). Εμπλουτισμός υπόγειου υδροφορέα πραγματοποιείται και στη Βαρκελώνη και στο Λονδίνο για τον περιορισμό της υφαλμύρινσης.

Στις περισσότερες Ευρωπαϊκές πόλεις πραγματοποιείται έμμεση επαναχρησιμοποίηση για πόση, ενώ τα λύματα υφίστανται τουλάχιστον δευτεροβάθμια επεξεργασία πριν την επαναχρησιμοποίησή τους (Bixio et al., 2006a).

Ποιοτικά κριτήρια για τη χρήση ανακτημένου νερού έχουν αναπτυχθεί στην Κύπρο, στη Γαλλία, στην Ελλάδα, στην Ιταλία, στην Πορτογαλία και στην Ισπανία. Εκτός από την Πορτογαλία, σε όλα τα υπόλοιπα κράτη τα κριτήρια αυτά είναι νομικά δεσμευτικά. Τα κριτήρια αυτά βασίζονται στις κατευθυντήριες γραμμές του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (WHO Guidelines - WHO, 2006), στα πρότυπα του ISO, ή στα κριτήρια που εφαρμόζονται σε άλλες χώρες (π.χ. State of California, 2000, Australian guidelines - Natural Resource Management Ministerial Council, Environment Protection and Heritage Council, & Australian Health Ministers' Conference, 2006, US Environmental Protection Agency - US EPA, 2012), ενώ επηρεάζονται και από εθνικές πολιτικές και διατάξεις, με αποτέλεσμα να μην υπάρχει ομοιογένεια μεταξύ τους (Kirhensteine et al., 2016).

2.3.1.2. Ε&ΑΝ στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα οι εφαρμογές Ε&ΑΝ είναι πολύ περιορισμένες (Υπουργείο Υποδομών, Μεταφορών και Δικτύων, 2009). Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή (Kirhensteine et al., 2016), λιγότερο από 1% της συνολικής κατανάλωσης στην Ελλάδα προέρχεται από ανακτημένο νερό, ενώ το ανακτημένο νερό αντιπροσωπεύει λιγότερο από το 5% της συνολικής ποσότητας των επεξεργασμένων λυμάτων. Οι εκτιμήσεις που έχουν καταγραφεί σχετικά με τη χρήση ανακτημένου νερού στην Ελλάδα διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους. Η μέση ποσότητα ανακτημένου νερού που χρησιμοποιείται ημερησίως εκτιμάται περίπου στα 28,000 m^3 (ή 10.2×10^6 m^3 το έτος) σύμφωνα με τους Kellis et al. (2013), ενώ σύμφωνα με το χρηματοδοτούμενο από την ΕΕ ερευνητικό έργο AQUAREC (διάρκεια 2003 – 2006) η ποσότητα αυτή ήταν το 2006 περίπου 23×10^6 m^3 το έτος (Hochstrat et al., 2006). Η τιμή της ποσότητας ανακτημένου νερού που δίνεται από τη βάση δεδομένων AQUASTAT του FAO για το 2003 είναι 27×10^6 m^3, ενώ η τιμή που δίνεται για το 2010 είναι 104×10^6 m^3.

Η πλειοψηφία των εφαρμογών επαναχρησιμοποίησης λυμάτων στην Ελλάδα αφορά περιπτώσεις έμμεσης επαναχρησιμοποίησης για άρδευση (Υπουργείο Υποδομών, Μεταφορών και Δικτύων, 2009). Τα τελευταία χρόνια έχουν καταγραφεί περισσότερες από 9 περιπτώσεις

επαναχρησιμοποίησης για άρδευση (Θεσσαλονίκη, Λειβαδιά, Άμφισσα, Λάρισα, Λαμία, Καρδίτσα, Τρίκαλα, Τρίπολη και Κρήτη), με πιο χαρακτηριστική την περίπτωση της Θεσσαλονίκης, όπου η Εταιρία Υδρεύσης και Αποχέτευσης Θεσσαλονίκης (ΕΥΑΘ) εφαρμόζει από το 2006 την επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων εκροών της ΕΕΛ Σίνδου (προχωρημένη βιολογική επεξεργασία λυμάτων και απολύμανση με χλωρίωση) για την άρδευση καλλιεργειών στην πεδιάδα του Αξιού. Τα επεξεργασμένα λύματα (περίπου 175,000 m^3 την ημέρα) αναμιγνύονται σε αναλογία 1:5 με νερό του Αξιού ποταμού και χρησιμοποιούνται για άρδευση (με τη μέθοδο της στάγδην επιφανειακής άρδευσης) 25,000 στρεμμάτων καλλιεργούμενων εκτάσεων (καλλιέργειες αραβόσιτου, ρυζιού, ζαχαρότευτλων, και καλλιέργεια μηδικής – τριφύλλι) στην περιοχή Χαλάστρα-Καλοχώρι (Ilias et al., 2014; Kirhensteine et al., 2016). Λόγω της άρδευσης με ανακτημένο νερό μειώθηκε η χρήση λιπασμάτων στις καλλιέργειες αυτές, ενώ η ΕΥΑΘ παρέχει το ανακτημένο νερό δωρεάν στους αγρότες. Τα κυριότερα εμπόδια για την υλοποίηση αυτού του έργου αφορούσαν γραφειοκρατικές δυσκολίες, επιφύλαξη και διστακτικότητα από τους αγρότες και έλλειψη κοινωνικής αποδοχής. Η ανάπτυξη ποιοτικών κριτηρίων για την επαναχρησιμοποίηση των υγρών αποβλήτων το 2011 και η απλοποίηση των διαδικασιών αδειοδότησης το 2013 βοήθησαν στην επίλυση του πρώτου εμποδίου, ενώ η επιφύλαξη των αγροτών ξεπεράστηκε με τον καιρό, καθώς χτίστηκαν σχέσεις εμπιστοσύνης με την ΕΥΑΘ. Επιπροσθέτως, τα οικονομικά οφέλη από τη χρήση ανακτημένου νερού (δωρεάν παροχή νερού, μειωμένη χρήση λιπασμάτων, αύξηση ποιότητας και ποσότητας γεωργικής παραγωγής) αποτέλεσαν πολύ ισχυρό κίνητρο για τους αγρότες. Το τρίτο εμπόδιο αντιμετωπίστηκε μέσω κατάλληλων εκστρατειών ενημέρωσης και εκπαίδευσης σχετικά με τα οφέλη, τους κινδύνους και τις χρήσεις του ανακτημένου νερού (Kirhensteine et al., 2016).

Επίσης, γίνεται χρήση ανακτημένου νερού για άρδευση χώρων αστικού πρασίνου. Οι πιο χαρακτηριστικές περιπτώσεις στοχευμένης επαναχρησιμοποίησης λυμάτων για άρδευση χώρων αστικού πρασίνου (λύματα που έχουν υποστεί τριτοβάθμια επεξεργασία) είναι αυτές της Κω και της Χαλκίδας, όπου αρδεύονται συνολικά 560,000 στρέμματα με ανακτημένο νερό. Στην Κω, από το 2006 λειτουργεί ΕΕΛ με τριτοβάθμια επεξεργασία και απολύμανση με υπεριώδη ακτινοβολία, με στόχο την ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση λυμάτων για άρδευση χώρων αστικού πρασίνου (δυναμικότητα 5,400 m^3 την ημέρα). Οι επεξεργασμένες εκροές της ΕΕΛ της Κω ικανοποιούν τους κανονισμούς της Καλιφόρνια. Στη Χαλκίδα από το 1998 λειτουργεί ΕΕΛ με τριτοβάθμια επεξεργασία και απολύμανση με υπεριώδη ακτινοβολία (δυναμικότητα 4,000 m^3 την ημέρα), οι εκροές της οποίας χρησιμοποιούνται για την άρδευση της νησίδας Πασσά και χώρων πρασίνου στην Εύβοια, μέσω υποθαλάσσιου αγωγού.

Ιδιαίτερη περίπτωση επαναχρησιμοποίησης αποτελεί η ΕΕΛ Ψυττάλειας, στην οποία επαναχρησιμοποιούνται περίπου 45,000 m^3 επεξεργασμένων εκροών την ημέρα για άρδευση πρασίνου, καθαρισμό εγκαταστάσεων και ως νερό ψύξης στις διεργασίες (Υπουργείο Υποδομών, Μεταφορών και Δικτύων, 2009).

Σχετικά με την τροφοδότηση υπόγειων υδροφορέων με ανακτημένο νερό, οι μόνες αναφορές που βρέθηκαν στη βιβλιογραφία αφορούν σε δύο πιλοτικές εφαρμογές που έγιναν στα πλαίσια ερευνητικών έργων. Κατά τη διάρκεια του ερευνητικού έργου GABARDINE (διάρκεια: 2007-2009) τροφοδοτήθηκε με ανακτημένο νερό, που είχε υποστεί τριτοβάθμια επεξεργασία, υπόγειος

υδροφορέας (χρήσεις εκτός πόσης) με σημαντικά προβλήματα υφαλμύρινσης στη Σίνδο της Θεσσαλονίκης. Κατά το ερευνητικό έργο MARSOL (διάρκεια: 2013-2016) πραγματοποιήθηκε εμπλουτισμός υπόγειου υδροφορέα στο τεχνολογικό πάρκο Λαυρίου. Ο υδροφορέας δεν χρησιμοποιείται για σκοπούς πόσης και αντιμετωπίζει πρόβλημα υφαλμύρινσης και υπεράντλησης για άρδευση (Kirhensteine et al., 2016).

2.3.2. Οφέλη και Κίνδυνοι της Ε&ΑΝ

Η χρήση ανακτημένου νερού προσφέρει σημαντικά περιβαλλοντικά, οικονομικά και κοινωνικά οφέλη, συνοδεύεται όμως και από αντίστοιχους κινδύνους, οι οποίοι πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και να προλαμβάνονται εγκαίρως για τη διασφάλιση της ανθρώπινης υγείας και της περιβαλλοντικής προστασίας. Τα βασικά οφέλη και οι αντίστοιχοι κίνδυνοι που αφορούν την Ε&ΑΝ είναι (Υπουργείο Υποδομών, Μεταφορών και Δικτύων, 2009; Kirhensteine et al., 2016):

2.3.2.1. Περιβαλλοντικά οφέλη & κίνδυνοι

<u>Οφέλη</u>

- Ενίσχυση της ροής ποταμών και λιμνών, βοηθώντας να επιτευχθούν οι ποσοτικοί στόχοι της ΟΠΥ σχετικά με τα επιφανειακά υδατικά συστήματα.
- Αναβίωση των υδατικών οικοσυστημάτων, μέσω της αποκατάστασης ρεμάτων, υγροτόπων και λιμνών.
- Ενίσχυση υπόγειων υδροφορέων, βοηθώντας στην επίτευξη της καλής ποσοτικής τους κατάστασης και αποφυγή επιδείνωσης της ποιοτικής κατάστασης των υπόγειων υδάτων (επίτευξη στόχων ΟΠΥ).
- Ενίσχυση και προστασία των περιορισμένων αποθεμάτων γλυκού νερού, λόγω της μειωμένης απόρριψης λυμάτων, αυξάνοντας την ανθεκτικότητα των υδατικών συστημάτων στις επιπτώσεις της αύξησης του πληθυσμού και της κλιματικής αλλαγής.
- Περιορισμός της θαλάσσιας ρύπανσης.
- Τοπικά ελεγχόμενη και συνεχής παροχή σε περιοχές που αντιμετωπίζουν προβλήματα λειψυδρίας ή σπανιότητας ύδατος.
- Μικρότερο περιβαλλοντικό αποτύπωμα σε σύγκριση με άλλους εναλλακτικούς υδατικούς πόρους, όπως το αφαλατωμένο νερό.
- Μείωση της χρήσης λιπασμάτων, καθώς η άρδευση με ανακτημένο νερό τροφοδοτεί με θρεπτικά συστατικά το έδαφος και τις καλλιέργειες.

<u>Κίνδυνοι</u>

- Κίνδυνος διάδοσης ασθενειών ή μόλυνσης/ρύπανσης του περιβάλλοντος (λόγω έκθεσης σε παθογόνους μικροοργανισμούς και άλλους ρύπους), σε περίπτωση ανεπαρκούς επεξεργασίας ή μη τήρησης της σχετικής νομοθεσίας και των κανονισμών που ορίζουν την απαιτούμενη ποιότητα του ανακτημένου νερού ανάλογα με την τελική του χρήση.

- Περιβαλλοντική υποβάθμιση, λόγω συσσώρευσης στο έδαφος ή στα υπόγεια ύδατα ρυπαντών και άλλων ουσιών που περιέχονται στο ανακτημένο νερό. Στο ανακτημένο νερό υπάρχουν ετερογενείς ουσίες με διαφορετικές ιδιότητες παραμονής, εξάντλησης και συμπεριφοράς κατά τη διήθησή τους στο υπέδαφος. Κάποιες ουσίες είναι πιο ανθεκτικές από άλλες, ενώ οι επιπτώσεις ορισμένων ουσιών (συμπεριλαμβανομένων των μικρορύπων) στο περιβάλλον και τη δημόσια υγεία παραμένουν άγνωστες.
- Μείωση της ροής στα υδατικά συστήματα κατάντη των Εγκαταστάσεων Επεξεργασίας Λυμάτων (ΕΕΛ), λόγω της ανακοπής της απόρριψης των επεξεργασμένων λυμάτων που προορίζονται για επαναχρησιμοποίηση.
- Αρνητικές επιπτώσεις στα υδατικά οικοσυστήματα σε περίπτωση απόρριψης υπολειμματικού χλωρίου, το οποίο ενδέχεται να εμπεριέχεται σε ανακτημένο νερό που έχει υποστεί χλωρίωση.

2.3.2.2. Οικονομικά οφέλη & κίνδυνοι

<u>Οφέλη</u>

- Αύξηση γεωργικής παραγωγικότητας, λόγω χρήσης ανακτημένου νερού για άρδευση καλλιεργειών.
- Αναβάθμιση περιοχών και αύξηση της αξίας της γης, π.χ. λόγω ανάπτυξης χώρων πρασίνου αρδευόμενων με ανακτημένο νερό.
- Αναδιαμόρφωση του συστήματος τιμολόγησης του πόσιμου νερού, λόγω της χρήσης ανακτημένου νερού.
- Ανάκτηση από τα λύματα των αναγκαίων θρεπτικών συστατικών για τις καλλιέργειες (κυρίως άζωτο και φώσφορος).
- Εξοικονόμηση πόρων στον τομέα επεξεργασίας και διάθεσης λυμάτων.
- Ενίσχυση της ανταγωνιστικότητας και της καινοτομίας της βιομηχανίας μέσω της αποδοτικότερης χρήσης των πόρων.

<u>Κίνδυνοι</u>

- Υψηλό κόστος επένδυσης με χαμηλές αποδόσεις, ιδίως σε σύγκριση με τη χρήση πόσιμου νερού, η οποία σε πολλές περιπτώσεις επιδοτείται ή έχει πολύ χαμηλή τιμολόγηση με αποτέλεσμα να αποτρέπει τη χρήση ανακτημένου νερού.
- Υψηλό κόστος υποδομών των επεμβάσεων Ε&ΑΝ (εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων, δίκτυα μεταφοράς και διανομής, ειδικός εξοπλισμός και εγκαταστάσεις άρδευσης κ.α.) και δυσκολία εξασφάλισης της βιωσιμότητάς τους.

2.3.2.3. Κοινωνικά οφέλη & κίνδυνοι

Οφέλη

- Αύξηση θέσεων εργασίας, ειδικά σε περιοχές με ανεπτυγμένη τουριστική βιομηχανία, καθώς μέσω της Ε&ΑΝ ενισχύονται δραστηριότητες αναψυχής και τουρισμού (π.χ. υδροδότηση ξενοδοχειακών μονάδων, πότισμα πάρκων και γηπέδων).
- Ενίσχυση της επισιτιστικής ασφάλειας και στήριξη των αγροτικών κοινοτήτων και επιχειρήσεων, καθώς το ανακτημένο νερό παρέχει μία εναλλακτική πηγή άρδευσης των καλλιεργειών.
- Συνεισφορά στην ορθολογική και ολοκληρωμένη διαχείριση των υδατικών πόρων, καθώς αντιμετωπίζεται τόσο το ζήτημα της κάλυψης της υδατικής ζήτησης, όσο και το ζήτημα της διάθεσης των υγρών αποβλήτων από την κατανάλωση νερού.

Κίνδυνοι

- Αρνητικές αντιλήψεις και μειωμένη προθυμία χρήσης ανακτημένου νερού, λόγω ελλιπούς ενημέρωσης και λανθασμένων θεωρήσεων.

2.4. Παράγοντες που Επηρεάζουν την Εφαρμογή Ε&ΑΝ και Ανάγκη Ύπαρξης «Ευνοϊκού Περιβάλλοντος»

Οι πολιτικές, οικονομικές, κοινωνικές και θεσμικές συνθήκες που επικρατούν σε μία περιοχή συχνά εμποδίζουν την ουσιαστική εφαρμογή και την υιοθέτηση καινοτόμων τεχνολογιών και πρακτικών, όπως η Ε&ΑΝ, που συνεπάγονται την αλλαγή υφιστάμενων καθεστώτων και συνηθειών. Συνήθη εμπόδια για τη διείσδυση τεχνολογιών Ε&ΑΝ και τη χρήση ανακτημένου νερού αποτελούν (Condom et al., 2012; Garcia & Pargament, 2015; Wade Miller, 2006):

- Ανεπαρκείς περιβαλλοντικές κυβερνητικές πολιτικές που δεν ενθαρρύνουν τη χρήση εναλλακτικών υδατικών πόρων
- Απουσία πηγών χρηματοδότησης
- Αποθαρρυντικές πολιτικές τιμολόγησης γλυκού νερού
- Αρνητικές κοινωνικές αντιλήψεις
- Περιορισμένη εμπειρία και τεχνογνωσία για την αξιόπιστη παραγωγή, διανομή και χρήση του ανακτημένου νερού
- Ανύπαρκτα ή ανεπαρκή σχετικά νομικά πλαίσια
- Επικάλυψη αρμοδιοτήτων μεταξύ εμπλεκόμενων φορέων

Απαιτείται αλλαγή νοοτροπίας και επαναπροσδιορισμός των υφιστάμενων δομών και πλαισίων που διέπουν τη διαχείριση των υδατικών πόρων, προκειμένου να ξεπεραστούν τα εμπόδια αυτά και να ενθαρρυνθεί η ευρεία χρήση ανακτημένου νερού (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization [UNESCO] 2013; Bahri, 2009). Τα επεξεργασμένα λύματα θα πρέπει να αντιμετωπίζονται ως πολύτιμος πόρος και όχι ως απόβλητα προς απόρριψη, ενώ το παραδοσιακό γραμμικό μοντέλο της υδατικής κατανάλωσης (χρήση - παραγωγή αποβλήτων – επεξεργασία – απόρριψη) θα πρέπει να αντικατασταθεί από ή να εμπλουτιστεί με κυκλικά μονοπάτια, τα οποία θα περιλαμβάνουν Ε&ΑΝ για διάφορες χρήσεις (Visvanathan, 2015).

Απαραίτητη προϋπόθεση για την προώθηση της χρήσης ανακτημένου νερού και την ευρύτερη εφαρμογή επεμβάσεων Ε&ΑΝ είναι η σύγκλιση ορισμένων ενθαρρυντικών πολιτικών, οικονομικών, κοινωνικών, τεχνικών, νομικών και θεσμικών παραγόντων, δηλαδή η ύπαρξη ευνοϊκού περιβάλλοντος (Asano et al., 2007; Bixio et al., 2008; Condom et al., 2012; Hidalgo et al., 2007; Lawrence et al., 2002; Wade Miller, 2006; United Nations Environment Programme [UNEP], 2005a).

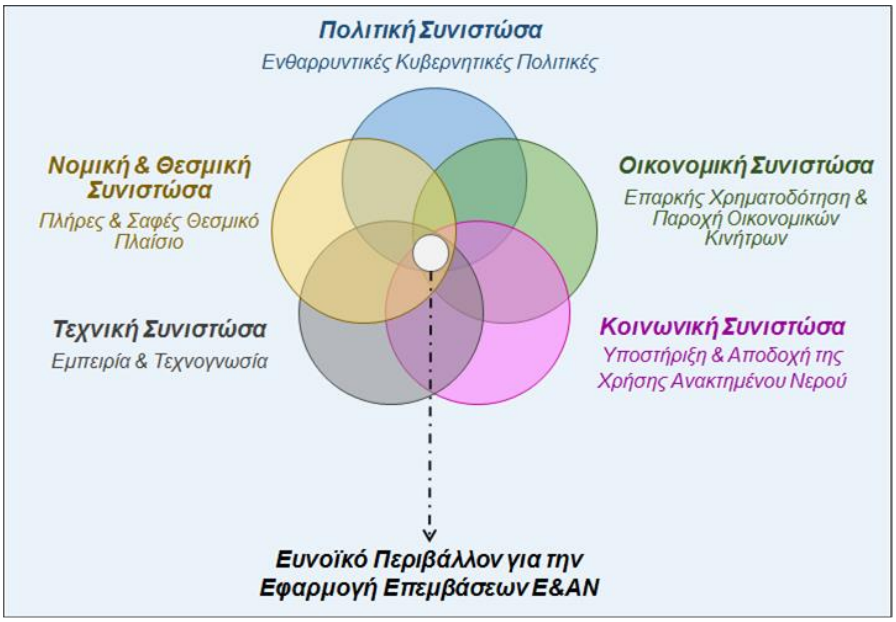
2.4.1. Ορισμός «Ευνοϊκού Περιβάλλοντος» για Ε&ΑΝ

Με τον όρο ευνοϊκό περιβάλλον ορίζεται *«το σύνολο των αλληλοσχετιζόμενων συνθηκών που επηρεάζουν τη δυνατότητα πραγματοποίησης μίας διαρκούς και αποτελεσματικής αλλαγής. Οι συνθήκες αυτές περιλαμβάνουν πολιτικούς, νομικούς, θεσμικούς, οικονομικούς, εκπαιδευτικούς, τεχνικούς και κοινωνικούς παράγοντες, οι οποίοι ενθαρρύνουν και υποστηρίζουν ορισμένες ενέργειες. Το ευνοϊκό περιβάλλον είναι απαραίτητο για την επιτυχία όλων των αναπτυξιακών*

επενδύσεων, καθώς οι πόροι που έχουν συγκεντρωθεί για τις επενδύσεις αυτές δεν αρκούν από μόνοι τους για την επίτευξη ουσιαστικών αλλαγών και αποτελεσμάτων» (Lüthi et al., 2011).

Συνεπώς, το ευνοϊκό περιβάλλον αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για την επιτυχή πραγματοποίηση και τη βιωσιμότητα επεμβάσεων Ε&ΑΝ, καθώς περιλαμβάνει τις συνθήκες εκείνες που διευκολύνουν τη σωστή λειτουργία Ε&ΑΝ συστημάτων και ενθαρρύνουν την αποδοχή και τη χρήση του ανακτημένου νερού. Οι συνθήκες αυτές αφορούν σε πολιτικές που ευνοούν τις εφαρμογές Ε&ΑΝ, κατάλληλα νομικά πλαίσια, κοινωνική αποδοχή της χρήσης ανακτημένου νερού, επαρκή τεχνογνωσία και συνεργασία μεταξύ των ενδιαφερόμενων μερών κ.α. (Amjad et al., 2015; Condarin et al., 2010; UNEP, 2005a).

Στην παρούσα ανάλυση το ευνοϊκό περιβάλλον για την εφαρμογή επεμβάσεων Ε&ΑΝ θεωρείται ότι αποτελείται από πέντε συνιστώσες: την πολιτική, την οικονομική, την κοινωνική, την τεχνική, και τη νομική - θεσμική, οι οποίες περιλαμβάνουν τους αντίστοιχους παράγοντες που πρέπει να είναι σε ισχύ, ώστε να ενισχύεται η επιτυχής πραγματοποίηση των επεμβάσεων Ε&ΑΝ και η χρήση του ανακτημένου νερού (Εικόνα 2.5).



Εικόνα 2.5: Οι συνιστώσες του ευνοϊκού περιβάλλοντος (Προσαρμογή από: Lüthi et al., 2011)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

3.1. Εισαγωγή

Αντικείμενο του παρόντος κεφαλαίου είναι η παρουσίαση του προτεινόμενου μεθοδολογικού πλαισίου για την εκτίμηση της συνεισφοράς της επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης νερού στην περιβαλλοντική προστασία και στη βιώσιμη λειτουργία των υδατικών συστημάτων. Η προτεινόμενη μεθοδολογική προσέγγιση στοχεύει στην:

α) Εκτίμηση της τρωτότητας των υδατικών συστημάτων στη σπανιότητα ύδατος,

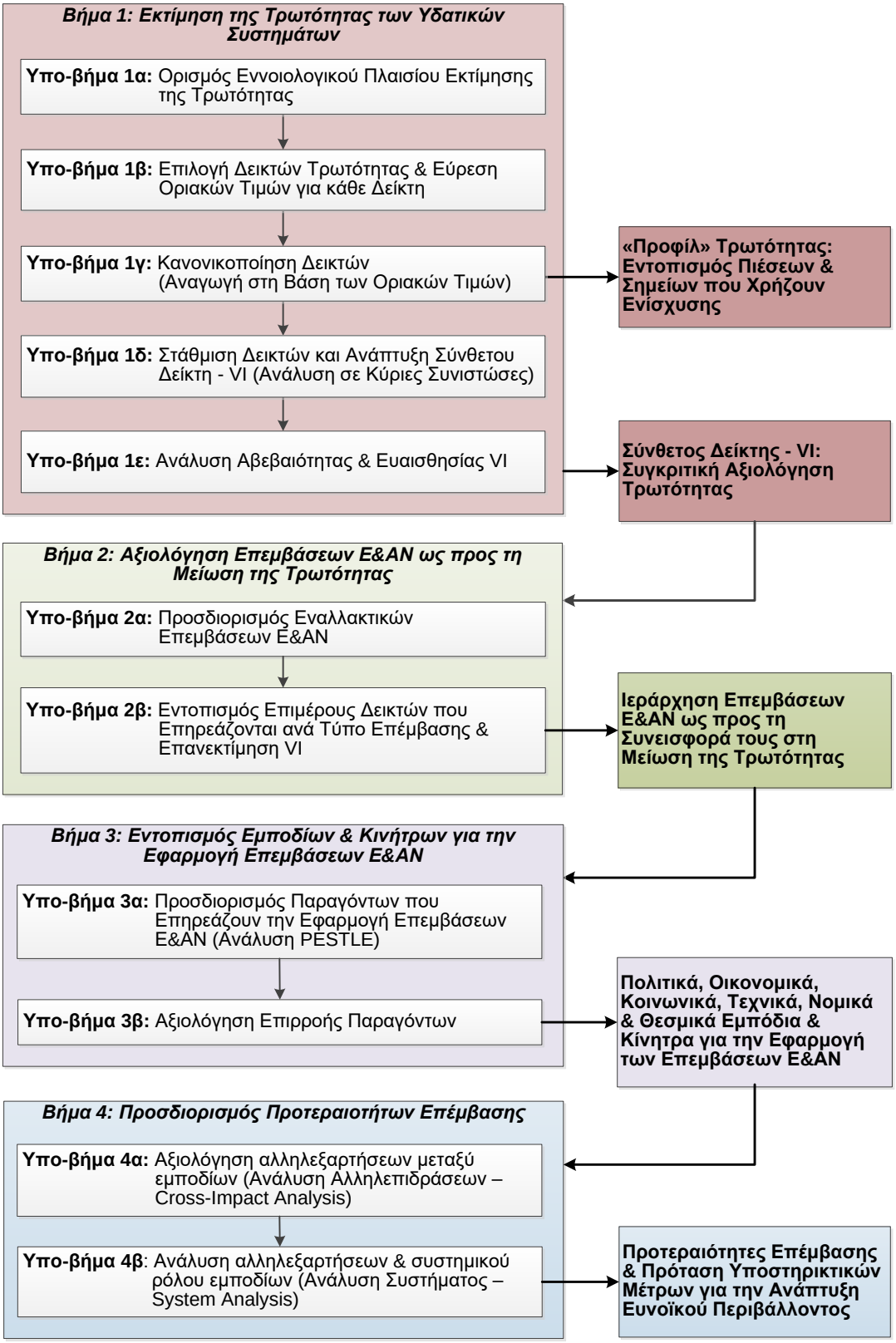
β) Αξιολόγηση της συνεισφοράς εναλλακτικών επεμβάσεων Ε&ΑΝ στη μείωση της τρωτότητας, και

γ) Ανάπτυξη ευνοϊκού περιβάλλοντος (πρόταση υποστηρικτικών μέτρων) για την εφαρμογή των επεμβάσεων Ε&ΑΝ σε τοπικό επίπεδο.

Ακολουθεί πρώτα η συνοπτική περιγραφή των τεσσάρων βημάτων που συνθέτουν την προτεινόμενη μεθοδολογική προσέγγιση, η οποία παρέχει τη συνολική εποπτεία του μεθοδολογικού πλαισίου, ενώ στη συνέχεια κάθε ένα επιμέρους βήμα περιγράφεται αναλυτικά.

3.2. Περιγραφή Μεθοδολογικού Πλαισίου

Η προτεινόμενη μεθοδολογική προσέγγιση αποτελείται από τέσσερα βήματα και παρουσιάζεται σχηματικά στην Εικόνα 3.1.



Εικόνα 3.1: Προτεινόμενο μεθοδολογικό πλαίσιο

Το βήμα 1 έχει στόχο την εκτίμηση της τρωτότητας των υδατικών συστημάτων στη σπανιότητα ύδατος. Σημείο εκκίνησης είναι ο ορισμός της τρωτότητας και η υιοθέτηση του εννοιολογικού πλαισίου εκτίμησής της. Σύμφωνα με το εννοιολογικό πλαίσιο που έχει υιοθετηθεί, η τρωτότητα ορίζεται ως συνάρτηση της έκθεσης, της ευαισθησίας και της προσαρμοστικής ικανότητας των υδατικών συστημάτων. Στη βάση του ορισμού αυτού αναπτύσσεται το πλαίσιο δεικτών εκτίμησης της τρωτότητας. Με τη βοήθεια των επιλεγμένων δεικτών συνεκτιμώνται τόσο τα υδρολογικά όσο και τα κοινωνικο-οικονομικά χαρακτηριστικά των υπό μελέτη συστημάτων, ενώ παράλληλα οι δείκτες αυτοί εκφράζουν και τις τρεις συνιστώσες της τρωτότητας: την πιθανή έκθεση των συστημάτων σε κινδύνους, την ενδογενή ευαισθησία τους, και την προσαρμοστική τους ικανότητα στις αλλαγές που συνεπάγονται οι κίνδυνοι αυτοί. Στη συνέχεια, ορίζονται οι οριακές τιμές των επιλεγμένων δεικτών (thresholds), οι οποίες υποδηλώνουν τα σημεία εκείνα, κάτω ή πάνω από τα οποία η κατάσταση του συστήματος αρχίζει να είναι προβληματική ή μη βιώσιμη. Κανονικοποιώντας τους επιμέρους δείκτες στη βάση των οριακών τους τιμών, προκύπτει το «προφίλ» τρωτότητας για το υπό μελέτη σύστημα, το οποίο περιγράφει τις πιέσεις που δέχεται το σύστημα, καθώς και τα σημεία που χρήζουν ενίσχυσης σε κάθε περίπτωση. Ακολουθεί η ανάπτυξη του σύνθετου δείκτη εκτίμησης της τρωτότητας (Vulnerability Index - VI). Για την ανάπτυξη του VI γίνεται στάθμιση των κανονικοποιημένων επιμέρους δεικτών, χρησιμοποιώντας τη στατιστική μέθοδο της Ανάλυσης Κύριων Συνιστωσών (Principal Components Analysis). Έτσι, καταστρώνονται δύο επιμέρους σύνθετοι δείκτες, ο σύνθετος δείκτης έκθεσης και ευαισθησίας (Exposure and Sensitivity Index - ESI) και ο σύνθετος δείκτης προσαρμοστικής ικανότητας (Adaptive Capacity Index - ACI), οι οποίοι συνθέτουν τον VI. Η επιλογή της μεθόδου κανονικοποίησης και στάθμισης τεκμηριώνεται στην αναλυτική περιγραφή του βήματος αυτού στην επόμενη ενότητα. Η ευρωστία του VI αξιολογείται και επικυρώνεται από τις αναλύσεις αβεβαιότητας και ευαισθησίας που πραγματοποιούνται στη συνέχεια. Ο VI μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη συγκριτική αξιολόγηση της τρωτότητας μεταξύ διαφορετικών περιοχών, αλλά και μεταξύ διαφορετικών χρονικών περιόδων για την ίδια περιοχή. Επιπροσθέτως, ο VI αποτελεί χρήσιμο εργαλείο για την αξιολόγηση της συνεισφοράς εναλλακτικών επεμβάσεων Ε&ΑΝ στη μείωση της τρωτότητας, ακολουθώντας τη μέθοδο που παρουσιάζεται στο δεύτερο βήμα.

Στο βήμα 2, χρησιμοποιώντας τον VI, γίνεται **η αξιολόγηση εναλλακτικών επεμβάσεων Ε&ΑΝ ως προς τη συνεισφορά τους στη μείωση της τρωτότητας**. Αρχικά προσδιορίζονται οι διάφοροι τύποι επεμβάσεων Ε&ΑΝ, καθώς και οι εναλλακτικές επεμβάσεις για κάθε τύπο. Οι πιθανές επεμβάσεις Ε&ΑΝ κατατάσσονται σε πέντε βασικούς τύπους, ανάλογα με τη χρήση του ανακτημένου νερού, ακολουθώντας την κατηγοριοποίηση των χρήσεων των Asano et al., 2007 και US EPA, 2012:

- *Τύπος #1:* Άρδευση
- *Τύπος #2:* Αστικές και περιαστικές χρήσεις
- *Τύπος #3:* Βιομηχανικές χρήσεις
- *Τύπος #4:* Περιβαλλοντική προστασία και ενίσχυση υπηρεσιών οικοσυστήματος
- *Τύπος #5:* Σύνθετα σχήματα για πολλαπλές χρήσεις

Για κάθε τύπο ορίζονται εναλλακτικές επεμβάσεις Ε&ΑΝ ανάλογα με την απαιτούμενη και τη διαθέσιμη ποιότητα και ποσότητα ανακτημένου νερού. Οι επεμβάσεις Ε&ΑΝ επηρεάζουν ορισμένες παραμέτρους των υπό μελέτη συστημάτων και προκαλούν αλλαγές στους επιμέρους δείκτες που συνθέτουν τον VI. Ο VI υπολογίζεται για κάθε εναλλακτική επέμβαση Ε&ΑΝ και συγκρίνεται με τον VI της παρούσας κατάστασης, όπως αυτός προέκυψε από το πρώτο βήμα. Έτσι, οι πιθανές επεμβάσεις Ε&ΑΝ κατατάσσονται ανάλογα με τη συνεισφορά που αναμένεται να έχουν στη μείωση της τρωτότητας των υδατικών συστημάτων (ΔVI). Μέσα από την κατάταξη αυτή εντοπίζονται και επιλέγονται κατάλληλες επεμβάσεις Ε&ΑΝ για την αντιμετώπιση της σπανιότητας ύδατος στην υπό μελέτη περιοχή (πρόκειται για τις επεμβάσεις εκείνες που έχουν το μεγαλύτερο ΔVI σε απόλυτη τιμή και για τις οποίες ισχύει ΔVI <0).

Τα βήματα 3 και 4 στοχεύουν στην ανάπτυξη ευνοϊκού περιβάλλοντος για την εφαρμογή των επιλεγμένων επεμβάσεων Ε&ΑΝ. Αρχικά αναγνωρίζονται οι παράγοντες εκείνοι (πολιτικοί, οικονομικοί, κοινωνικοί κλπ.) που εμποδίζουν την ένταξη των συστημάτων Ε&ΑΝ στα υφιστάμενα πλαίσια διαχείρισης υδατικών πόρων, και στη συνέχεια προτείνονται μέτρα για την αντιμετώπιση των εμποδίων.

Στο Βήμα 3, οι πολιτικοί (Policy), οικονομικοί (Economic), κοινωνικοί (Social), τεχνικοί (Technical), νομικοί και θεσμικοί (Legal) παράγοντες που μπορεί να επηρεάσουν την εφαρμογή επεμβάσεων Ε&ΑΝ σε μία περιοχή, αναγνωρίζονται στη βάση της Ανάλυσης PESTLE, η οποία παρέχει ένα πλαίσιο για την ανάλυση του εξωτερικού περιβάλλοντος των συστημάτων αυτών (Srdjevic et al., 2012; Team FME, 2013). Στη συνέχεια, η επίδραση των παραγόντων του εξωτερικού περιβάλλοντος στα συστήματα Ε&ΑΝ αξιολογείται από τους τοπικούς φορείς της υπό μελέτη περιοχής, μέσω ενός κατάλληλα διαμορφωμένου διαδικτυακού ερωτηματολογίου. Το διαδικτυακό αυτό ερωτηματολόγιο δίνει τη δυνατότητα στους ερωτώμενους να επιλέξουν τους παράγοντες που είναι σχετικοί με την περιοχή τους και να αξιολογήσουν την επιρροή των παραγόντων αυτών (θετική: κίνητρα / αρνητική: εμπόδια). Έτσι, αναγνωρίζονται τα εμπόδια και τα κίνητρα για την εφαρμογή Ε&ΑΝ σε τοπικό επίπεδο.

Στο βήμα 4 αναλύονται οι αλληλεξαρτήσεις των εμποδίων που έχουν εντοπιστεί προηγουμένως, χρησιμοποιώντας την Ανάλυση Αλληλεξαρτήσεων (Cross-Impact Analysis) και προσδιορίζεται ο συστημικός τους ρόλος, ακολουθώντας την Ανάλυση Συστήματος (System Analysis). Με τον τρόπο αυτό εντοπίζονται τα σημαντικά εμπόδια, δηλαδή εκείνα τα εμπόδια, των οποίων η αλλαγή σε κίνητρα θα προκαλούσε τη μεγαλύτερη θετική αλλαγή στο υπό μελέτη σύστημα, θέτοντας έτσι τις απαιτούμενες προτεραιότητες επέμβασης για την ανάπτυξη ενός ευνοϊκού περιβάλλοντος για Ε&ΑΝ. Στη βάση αυτών των προτεραιοτήτων επέμβασης προτείνονται υποστηρικτικά μέτρα και ενέργειες για την υποστήριξη της εφαρμογής των επεμβάσεων Ε&ΑΝ.

3.3. ΒΗΜΑ 1: Εκτίμηση Τρωτότητας Υδατικών Συστημάτων

Η εκτίμηση της τρωτότητας των υδατικών συστημάτων στη σπανιότητα ύδατος περιλαμβάνει πέντε ξεχωριστά υπο-βήματα που περιγράφονται αναλυτικά στις επόμενες ενότητες. Αναπτύσσονται τόσο «προφίλ» τρωτότητας με τη χρήση επιμέρους δεικτών, όσο και ο σύνθετος δείκτης τρωτότητας – VI, ο οποίος χρησιμοποιείται για τη συγκριτική αξιολόγηση μεταξύ διαφορετικών περιοχών ή χρονικών περιόδων, και αποτελεί χρήσιμο εργαλείο για την ιεράρχηση εναλλακτικών επεμβάσεων Ε&ΑΝ. Τα βήματα για την ανάπτυξη του VI, ακολουθούν τη μέθοδο που προτείνεται από τον Οργανισμό για την Οικονομική Συνεργασία και Ανάπτυξη (OECD) για τη δημιουργία σύνθετων δεικτών (OECD, 2008), ενώ έχουν ληφθεί υπόψη τα βήματα και τα ζητήματα που θίγει ο Hinkel (2011) σχετικά με την ανάπτυξη δεικτών εκτίμησης τρωτότητας. Η προτεινόμενη μεθοδολογική προσέγγιση μπορεί να εφαρμοστεί σε οποιαδήποτε περιοχή, υποστηρίζοντας τις διαδικασίες σχεδιασμού και λήψης αποφάσεων σε θέματα διαχείρισης υδατικών πόρων.

3.3.1. Εννοιολογικό Πλαίσιο Εκτίμησης της Τρωτότητας

Ο προσδιορισμός του εννοιολογικού πλαισίου το οποίο κατευθύνει την ανάλυση, είναι θεμελιώδους σημασίας για την ποιότητά της και πρέπει να αποτελεί το πρώτο βήμα κάθε υπολογισμού και εκτίμησης, καθώς και ανάπτυξης σύνθετων δεικτών. Όπως αναφέρεται και στο εγχειρίδιο του Οργανισμού για την Οικονομική Συνεργασία και Ανάπτυξη για την κατασκευή σύνθετων δεικτών, «*ό,τι δεν έχει οριστεί σωστά, πιθανότατα δεν θα μετρηθεί και σωστά*» (OECD, 2008).

Το εννοιολογικό πλαίσιο εκτίμησης της τρωτότητας στηρίζεται στον ορισμό της τρωτότητας που περιγράφεται στο Κεφάλαιο 2 της παρούσας Διατριβής. Σύμφωνα με αυτόν, η τρωτότητα των υδατικών συστημάτων είναι συνάρτηση της πιθανής ***έκθεσης*** τους στη σπανιότητα ύδατος, της ενδογενούς τους ***ευαισθησίας*** και της ***προσαρμοστικής ικανότητας*** των συστημάτων στις αλλαγές. Η έκθεση και η ευαισθησία αλληλοσυνδέονται και συσχετίζονται θετικά με την τρωτότητα, καθώς εκφράζουν τις ενδεχόμενες επιπτώσεις στα υπό ανάλυση συστήματα. Αντιθέτως, η προσαρμοστική ικανότητα είναι αρνητικά συσχετισμένη με την τρωτότητα. Αύξηση της προσαρμοστικής ικανότητας συνεπάγεται μείωση της τρωτότητας, ενώ αύξηση της έκθεσης ή της ευαισθησίας συνεπάγεται αύξηση της τρωτότητας. Επομένως, η τρωτότητα των υδατικών συστημάτων θα μπορούσε να εκφραστεί με την ακόλουθη σχέση:

$$V = (EXP + SEN) - AC \tag{5}$$

Όπου

V: Τρωτότητα
EXP: Έκθεση
SEN: Ευαισθησία
AC: Προσαρμοστική ικανότητα

*Στην παρούσα Διατριβή η εκτίμηση της τρωτότητας των υδατικών συστημάτων γίνεται σε **χωρική κλίμακα λεκάνης απορροής**.*

Ως λεκάνη απορροής ποταμού ορίζεται η εδαφική έκταση από την οποία αποστραγγίζεται το σύνολο της απορροής (βροχόπτωση, χιονόπτωση) μιας περιοχής, μέσω του υδρογραφικού δικτύου της (διαδοχικών ρευμάτων, χειμάρρων, ποταμών, και πιθανώς λιμνών) και παροχετεύεται στη θάλασσα μέσω της εκβολής (ή δέλτα) ποταμού (ΥΠΕΚΑ, 2013ε).

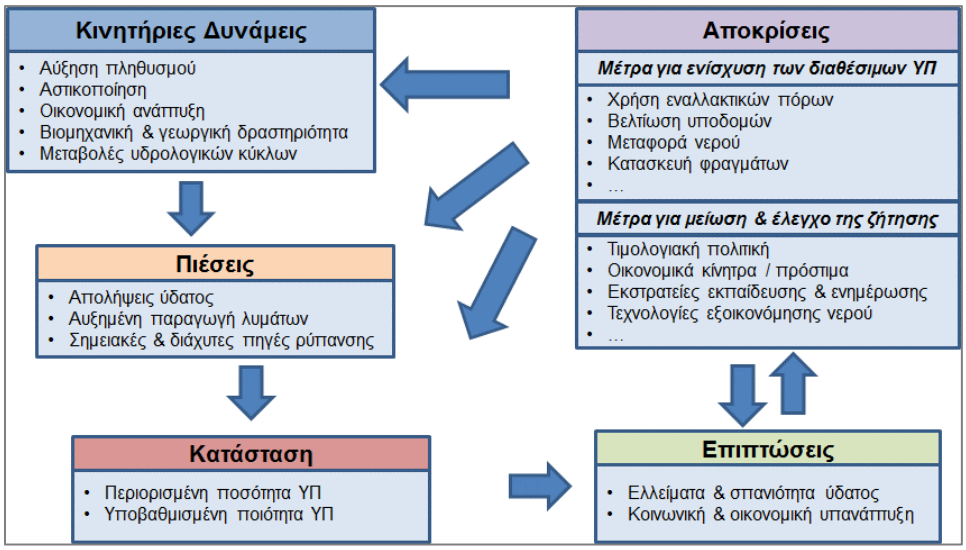
Η επιλογή αυτή στηρίχθηκε στο γεγονός ότι η λεκάνη απορροής αποτελεί την ενδεδειγμένη μονάδα χώρου για την εφαρμογή των κανόνων που ορίζονται από την Οδηγία 2000/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου «για τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων»[1], καθώς και την εκπόνηση διαχειριστικών μελετών στα Κράτη Μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Συνεπώς, θεωρήθηκε χρήσιμο για την περαιτέρω χρήση και αξιοποίηση των αποτελεσμάτων και των συμπερασμάτων της παρούσας Διατριβής να επιλεγεί η ίδια χωρική κλίμακα με αυτήν που προτείνεται από την Ευρωπαϊκή νομοθεσία για τη διαχείριση των υδατικών πόρων. Παρολαυτά, δεν υπάρχει κανένας περιορισμός ως προς τη χωρική κλίμακα εφαρμογής της προτεινόμενης μεθόδου.

3.3.2. Πλαίσιο Δεικτών Τρωτότητας

Οι επιμέρους δείκτες που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της τρωτότητας είναι καθοριστικής σημασίας για την επιτυχία της ανάλυσης και την ανάπτυξη του σύνθετου δείκτη τρωτότητας, ο οποίος *«είναι τελικά, το άθροισμα των επιμέρους δεικτών που τον απαρτίζουν»* (OECD, 2008).

Για την επιλογή των δεικτών που χρησιμοποιούνται στην εκτίμηση της τρωτότητας, πραγματοποιήθηκε εκτενής βιβλιογραφική ανασκόπηση σχετικών μελετών, αναλύσεων και εκθέσεων. Η προσέγγιση αιτίας - αποτελέσματος DPSIR (βλ. Κεφάλαιο 2) υιοθετήθηκε για να κατευθύνει την βιβλιογραφική αυτή ανασκόπηση και την επιλογή των δεικτών. Η προσέγγιση DPSIR επιτρέπει την ολοκληρωμένη ανάλυση της τρωτότητας των υπό μελέτη συστημάτων, καθοδηγώντας την επιλογή δεικτών που εκφράζουν τις κινητήριες δυνάμεις (κλιματικοί και μη κλιματικοί παράγοντες) που ασκούν πιέσεις στα υδατικά συστήματα, τις πιέσεις (μεταβολές, αλλοιώσεις των συστημάτων) και την επακόλουθη κατάσταση που δημιουργείται, τις επιπτώσεις της κατάστασης, καθώς και τις αποκρίσεις, δηλαδή τα μέτρα αντιμετώπισης των επιπτώσεων αυτών (Εικόνα 3.2) (Hamouda et al., 2009).

[1] http://www.ypeka.gr/LinkClick.aspx?fileticket=F1AF2ARLHmo%3D&tabid=248&language=el-GR



Εικόνα 3.2: Η προσέγγιση DPSIR που υιοθετήθηκε στην παρούσα ανάλυση (ΥΠ: Υδατικοί Πόροι)

Από την κατευθυνόμενη βιβλιογραφική αυτή ανασκόπηση αναπτύχθηκε ένας κατάλογος με 70 ευρέως αποδεκτούς δείκτες, οι οποίοι προτείνονται από διεθνείς οργανισμούς ή χρησιμοποιούνται σε εργασίες και δημοσιεύσεις για την εκτίμηση κινδύνων σχετικών με τους υδατικούς πόρους και τη διαχείριση τους, και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση της τρωτότητας των υδατικών συστημάτων στη σπανιότητα ύδατος. Οι δείκτες αυτοί παρουσιάζονται στο Παράρτημα Ι και κατηγοριοποιούνται ανάλογα με τη διάσταση της τρωτότητας που μπορούν να εκφράσουν (υδρολογική-φυσική, τεχνική, κοινωνικο-οικονομική).

Για την επιλογή των τελικών δεικτών από την αρχικό κατάλογο των 70 δεικτών που εντοπίστηκαν, λήφθηκαν υπόψη τα κριτήρια που παρουσιάζονται στην Εικόνα 3.3.

Εικόνα 3.3: Η διαδικασία επιλογής των τελικών δεικτών εκτίμησης της τρωτότητας

Τα κριτήρια αυτά λήφθηκαν υπόψη με την εξής ιεραρχική σειρά:

i. *Συνάφεια με την περιοχή μελέτης:* Μόνο οι δείκτες που εκφράζουν τις τοπικές συνθήκες και έχουν εφαρμογή στην υπό μελέτη περιοχή λήφθηκαν υπόψη στην ανάλυση.
ii. *Διαθεσιμότητα δεδομένων:* Από τους δείκτες που είναι σχετικοί με την περιοχή μελέτης, επιλέχθηκαν εκείνοι για τους οποίους τα δεδομένα υπολογισμού ήταν άμεσα διαθέσιμα ή εύκολα προσβάσιμα από εθνικές ή περιφερειακές βάσεις δεδομένων, εκθέσεις και δημοσιεύσεις.
iii. *Αποφυγή επικαλύψεων:* Ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε ώστε να μην περιλαμβάνονται στην ανάλυση διαφορετικοί δείκτες οι οποίοι εκφράζουν τις ίδιες ή παρόμοιες πτυχές των υπό μελέτη συστημάτων, για να μην δίνεται έμφαση σε ορισμένα θέματα αντί άλλων.

Η διαδικασία αυτή οδήγησε στην επιλογή των τελικών δεικτών εκτίμησης της τρωτότητας, περιορίζοντας τον αριθμό των αρχικών δεικτών και των απαιτούμενων δεδομένων για τον υπολογισμό τους σε ένα διαχειρίσιμο επίπεδο. Επιλέχθηκαν 9 δείκτες από τον αρχικό κατάλογο των 70 δεικτών. Σε αυτούς προστέθηκε ένας ακόμα δείκτης, ο οποίος αναπτύχθηκε στα πλαίσια της παρούσας ανάλυσης γιατί διαπιστώθηκε έλλειψη του στη βιβλιογραφία, για να εκφράσει τη χρήση εναλλακτικών υδατικών πόρων, δηλαδή το ποσοστό της συνολικής υδατικής παροχής που προέρχεται από Ε&ΑΝ ή αφαλάτωση.

Κάθε ένας από τους 10 δείκτες που επιλέχθηκαν εκφράζει μία από τις τρεις συνιστώσες της τρωτότητας (έκθεση, ευαισθησία και προσαρμοστική ικανότητα). Οι δείκτες εκτίμησης της τρωτότητας περιγράφονται αναλυτικά στους Πίνακες 3.1 και 3.2.

Πίνακας 3.1: Δείκτες Έκθεσης & Ευαισθησίας

Δείκτες Έκθεσης	
1. Ανανεώσιμοι υδατικοί πόροι κατά κεφαλήν - Δείκτης Falkenmark (F)	
Ορισμός	Η συνολική ποσότητα ανανεώσιμων υδατικών πόρων (επιφανειακών και υπόγειων) που εισέρχεται ετησίως σε μία περιοχή και είναι δυνητικά διαθέσιμη προς εκμετάλλευση για την κάλυψη των υδατικών αναγκών της, προς τον πληθυσμό της περιοχής αυτής. Δεν πρόκειται για το εκμεταλλεύσιμο υδατικό δυναμικό, που θα μπορούσε να διατεθεί για την κάλυψη των υδατικών αναγκών, μέσω συγκεκριμένων έργων διαχείρισης υδατικών πόρων. Ανανεώσιμοι θεωρούνται οι υδατικοί πόροι που παράγονται σε μία περιοχή λόγω των κατακρημνισμάτων (μικτή απορροή – μέγιστο θεωρητικό υδατικό δυναμικό), χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση, και αποτελούν τις μέσες μακροχρόνιες (τουλάχιστον 20 ετών) τιμές της ετήσιας παροχής των ποταμών (επιφανειακή απορροή) και του εμπλουτισμού των υπόγειων υδροφορέων (υπόγεια απορροή). Υπολογίζονται στη βάση του υδρολογικού κύκλου (ετήσιο υδρολογικό ισοζύγιο).
Σημασία	Πίεση που ασκεί ο πληθυσμός στους διαθέσιμους υδατικούς πόρους
Μονάδες	m^3/κατ/έτος
Πηγή	Falkenmark, 1989
2. Ανεπεξέργαστα υγρά απόβλητα προς τους ανανεώσιμους υδατικούς πόρους (WW)	
Ορισμός	Η ποσότητα των μη επεξεργασμένων αστικών υγρών αποβλήτων που διατίθενται στα επιφανειακά και υπόγεια υδατικά συστήματα (λύματα οικισμών που δεν μεταφέρονται σε ΕΕΛ), προς τους ανανεώσιμους υδατικούς πόρους, κατά τη διάρκεια ενός έτους.
Σημασία	Ρύπανση των υδάτων από ανθρωπογενείς δραστηριότητες
Μονάδες	%
Πηγή	Huang & Cai, 2009
Δείκτες Ευαισθησίας	
3. Δείκτης Εκμετάλλευσης Ύδατος – (Water Exploitation Index - WEI)	
Ορισμός	Ο λόγος των μέσων ετήσιων συνολικών απολήψεων υδατικών πόρων (επιφανειακών και υπόγειων) για την κάλυψη των αναγκών μίας περιοχής προς τα διαθέσιμα αποθέματα ανανεώσιμων υδατικών πόρων στην περιοχή αυτή.
Σημασία	Πίεση στους διαθέσιμους πόρους λόγω της αυξημένης ζήτησης νερού
Μονάδες	%
Πηγή	ΕΕΑ, 2004

4. *Αυτάρκεια υδατικών πόρων (Water self-sufficiency - SELF)*	
Ορισμός	Οι υδατικοί πόροι που εισέρχονται στην περιοχή μελέτης για την κάλυψη των υδατικών της αναγκών από άλλες περιοχές, προς το σύνολο των υδατικών πόρων (επιφανειακών και υπόγειων) που καταναλώνονται στην περιοχή. Μία περιοχή θεωρείται αυτάρκης (τιμή δείκτη = 0) όταν οι ανάγκες της καλύπτονται αποκλειστικά από ίδιους πόρους, και απόλυτα εξαρτημένη (τιμή δείκτη = 1) όταν οι ανάγκες της καλύπτονται αποκλειστικά από εισερχόμενους πόρους.
Σημασία	Υπέρβαση δυναμικότητας (φέρουσας ικανότητας) συστήματος & εξάρτηση από άλλα συστήματα
Μονάδες	-
Πηγή	World Bank, 2007
5. *Πυκνότητα πληθυσμού (DENS)*	
Ορισμός	Οι μόνιμοι κάτοικοι μίας περιοχής προς την έκταση της περιοχής αυτής.
Σημασία	Τοπική πίεση στα υδατικά συστήματα
Μονάδες	κατ/χλμ^2
Πηγή	ΕΛΣΤΑΤ, 2001

Πίνακας 3.2: Δείκτες Προσαρμοστικής Ικανότητας

Δείκτες Προσαρμοστικής Ικανότητας	
1. *Κάλυψη περιοχής από βλάστηση (VEG)*	
Ορισμός	Το ποσοστό της συνολικής έκτασης μίας περιοχής που καλύπτεται από βλάστηση π.χ. δάση, υγρότοποι κ.α.
Σημασία	Δυνατότητα αποφυγής κινδύνου πλημμύρας & διάβρωσης εδαφών
Μονάδες	%
Πηγή	Babel et al., 2011
2. *Κατανάλωση εναλλακτικών υδατικών πόρων (ALT)*	
Ορισμός	Το ποσοστό της συνολικής υδατικής παροχής για κάλυψη των αναγκών που προέρχεται από Ε&ΑΝ ή αφαλάτωση.
Σημασία	Χρήση μη συμβατικών υδατικών πόρων για την κάλυψη των υδατικών αναγκών
Μονάδες	%
Πηγή	Αναπτύχθηκε στα πλαίσια της παρούσας Διατριβής
3. *Οικονομικά ενεργός πληθυσμός (EC)*	
Ορισμός	Το ποσοστό του πληθυσμού που είναι μεταξύ 15 και 60 ετών. Οικονομικά ενεργά θεωρούνται όλα τα άτομα που πληρούν τις προϋποθέσεις για την κατάταξή τους μεταξύ των απασχολουμένων ή των ανέργων.
Σημασία	Ποσοστό του πληθυσμού με πρόσβαση στους οικονομικούς πόρους
Μονάδες	%
Πηγή	ΕΛΣΤΑΤ, 2011β

4. ***Πληθυσμός που δεν προχώρησε στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση (ED)***	
Ορισμός	Στον πληθυσμό που δεν προχώρησε στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση περιλαμβάνεται ο πληθυσμός που: α) αποφοίτησε από το δημοτικό β) εγκατέλειψε το δημοτικό αλλά γνωρίζει γραφή και ανάγνωση, γ) ολοκλήρωσε την προσχολική αγωγή, δ) δεν γνωρίζει γραφή και ανάγνωση, ε) γεννήθηκε μετά την 01/01/2005.
Σημασία	Μορφωτικό επίπεδο του πληθυσμού (ποσοστό με μειωμένη πρόσβαση στην τεχνολογία, τη γνώση και την ενημέρωση)
Μονάδες	%
Πηγή	ΕΛΣΤΑΤ, 2011β
5. ***Κατά κεφαλήν Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν (GDP)***	
Ορισμός	Η συνολική ακαθάριστη αξία από όλα τα προϊόντα και τα αγαθά που παράγει η τοπική οικονομία σε διάστημα ενός έτους, προς τον πληθυσμό της περιοχής.
Σημασία	Βιοτικό επίπεδο του πληθυσμού της περιοχής
Μονάδες	€ / κατ
Πηγή	Βάση δεδομένων της Παγκόσμιας Τράπεζας (World Bank): “World Bank Open Data”

Οι δέκα αυτοί δείκτες επιλέχθηκαν διότι εκφράζουν επαρκώς και ισότιμα τις τρεις συνιστώσες της τρωτότητας, αντικατοπτρίζοντας τον πολυσχιδή της χαρακτήρα (φυσική, υλική/τεχνική, οικονομική και κοινωνική διάσταση). Επίσης, αποτελούν δείκτες για τον υπολογισμό των οποίων υπάρχουν και θα υπάρχουν εύκολα διαθέσιμα δεδομένα. Παρολαυτά, το πλαίσιο των δέκα αυτών δεικτών που προτείνονται στην παρούσα Διατριβή μπορεί να αναθεωρηθεί και να προσαρμοστεί ανάλογα με τις ανάγκες διαφορετικών περιοχών, διαφοροποιώντας ή προσθέτοντας και άλλους δείκτες, για τη σύνθεση των οποίων μπορεί να ακολουθηθεί η μέθοδος που προτείνεται στις ακόλουθες ενότητες.

3.3.3. Οριακές Τιμές Δεικτών (Thresholds)

Οι οριακές τιμές (thresholds) αποτελούν σημεία αναφοράς, τα οποία, εάν ξεπεραστούν, υποδηλώνουν προβληματική ή μη βιώσιμη λειτουργία των υπό μελέτη συστημάτων. Ως οριακές τιμές των δεικτών εκτίμησης της τρωτότητας θεωρήθηκαν είτε οι προτεινόμενες οριακές/κρίσιμες τιμές από τη βιβλιογραφία είτε οι παγκόσμιες ή ευρωπαϊκές μέσες τιμές των δεικτών για τους οποίους δεν προτείνονται οριακές τιμές στη βιβλιογραφία. Οι παγκόσμιες και ευρωπαϊκές μέσες τιμές προέρχονται από την ανοιχτή βάση δεδομένων της Παγκόσμιας Τράπεζας (World Bank): “World Bank Open Data” (http://data.worldbank.org/), και από τη βάση της Ευρωπαϊκής Στατιστικής Υπηρεσίας (Eurostat) (http://ec.europa.eu/eurostat) αντίστοιχα. Οι οριακές τιμές των δεικτών εκτίμησης της τρωτότητας, όπως θεωρήθηκαν στην παρούσα ανάλυση, παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.3.

Πίνακας 3.3: Οι οριακές τιμές των δεικτών εκτίμησης της τρωτότητας

1. Ανανεώσιμοι υδατικοί πόροι κατά κεφαλήν - Δείκτης Falkenmark (F)	
Οριακή τιμή (threshold)	1,700 m^3/κατ/έτος
Πηγή	Falkenmark, 1989
2. Ανεπεξέργαστα υγρά απόβλητα προς τους ανανεώσιμους υδατικούς πόρους (WW)	
Οριακή τιμή (threshold)	10%
Πηγή	Huang & Cai, 2009
3. Δείκτης Εκμετάλλευσης Ύδατος (Water Exploitation Index - WEI)	
Οριακή τιμή (threshold)	40%
Πηγή	EEA, 2004
4. Αυτάρκεια υδατικών πόρων (SELF)	
Οριακή τιμή (threshold)	0.25
Πηγή	Hamouda, 2009
5. Πυκνότητα πληθυσμού (DENS)	
Οριακή τιμή (threshold)	56 κατ/χλμ^2
Πηγή	Παγκόσμια μέση τιμή για το 2014, (World Bank Open Data)
6. Κάλυψη περιοχής από βλάστηση (VEG)	
Οριακή τιμή (threshold)	31%
Πηγή	Παγκόσμια μέση τιμή για το 2015, (World Bank Open Data)
7. Κατανάλωση εναλλακτικών υδατικών πόρων (ALT)	
Οριακή τιμή (threshold)	10%
Πηγή	Stathatou et al., 2016
8. Οικονομικά ενεργός πληθυσμός (EC)	
Οριακή τιμή (threshold)	69%
Πηγή	Παγκόσμια μέση τιμή για το 2014 (World Bank Open Data)
9. Πληθυσμός που δεν προχώρησε στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση (ED)	
Οριακή τιμή (threshold)	27%
Πηγή	Μέση τιμή για την ΕΕ το 2013 (βάση δεδομένων Eurostat)
10. Κατά κεφαλήν Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν (GDP)	
Οριακή τιμή (threshold)	23,200 €/κατ
Πηγή	Μέση τιμή για την ΕΕ το 2013 (βάση δεδομένων Eurostat)

3.3.4. Κανονικοποίηση και Αξιολόγηση Επιμέρους Δεικτών

Η κανονικοποίηση (normalization) είναι μία διαδικασία μετασχηματισμού των τιμών των δεικτών, κατά την οποία οι αρχικές αριθμητικές τιμές των δεικτών αντικαθίστανται με άλλες, πιο κατάλληλες για τις απαιτήσεις της ανάλυσης. Η διαδικασία αυτή προηγείται του συνδυασμού των επιμέρους δεικτών σε έναν σύνθετο δείκτη, και ο βασικός λόγος για τον οποίο πραγματοποιείται είναι για να επιτραπεί η σύγκριση μεταξύ δεικτών με διαφορετικές μονάδες μέτρησης (OECD, 2008).

Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι κανονικοποίησης, ορισμένες από τις πλέον χρησιμοποιούμενες είναι οι εξής (Freudenberg, 2003; Jacobs et al., 2004; OECD, 2008):

- ***Κανονικοποίηση ελαχίστου–μεγίστου (min-max normalization):*** Οι αριθμητικές τιμές αντιστοιχίζονται με άλλες, οι οποίες κυμαίνονται εντός της περιοχής τιμών [0, 1]. Η αντιστοίχιση γίνεται με γραμμικό μετασχηματισμό, αφαιρώντας από την κάθε τιμή την ελάχιστη τιμή (από τα διαθέσιμα δεδομένα των περιοχών μελέτης) και στη συνέχεια διαιρώντας αυτήν την τιμή με το εύρος των τιμών των δεικτών. Με τη μέθοδο αυτή διατηρείται η αναλογία που υπάρχει μεταξύ των αρχικών τιμών. Η μέθοδος αυτή δεν ενδείκνυται στην περίπτωση έκτοπων τιμών (outliers), καθώς τότε η πλειοψηφία των τιμών συγκεντρώνεται σε ένα ελάχιστο τμήμα της περιοχής των τιμών και το υπόλοιπο τμήμα της περιοχής χρησιμοποιείται για τις εξαιρέσεις.
- ***Τυποποίηση τιμών (standardization or z-scores):*** Ο μετασχηματισμός της κλίμακας των τιμών σε μία νέα, η οποία έχει μέση τιμή ίση με το μηδέν (0) και τυπική απόκλιση ίση με τη μονάδα (1), αφαιρώντας από κάθε τιμή τη μέση τιμή και στη συνέχεια διαιρώντας με την τυπική απόκλιση. Η μέθοδος αυτή ενδείκνυται όταν υπάρχουν έκτοπες τιμές.
- ***Κατάταξη τιμών (ranking):*** Είναι η απλούστερη τεχνική κανονικοποίησης. Η μέθοδος αυτή δεν επηρεάζεται από έκτοπες τιμές και επιτρέπει την κατάταξη των διάφορων περιοχών μελέτης στη βάση της σχετικής σύγκρισης των τιμών των δεικτών. Στην περίπτωση αυτή όμως χάνεται η πληροφορία που εκφράζει η απόλυτη τιμή κάθε δείκτη για κάθε περιοχή και απλώς παρέχεται πληροφορία σχετικά με το ποια περιοχή έχει μεγαλύτερη ή μικρότερη τιμή δείκτη σε σχέση με τις άλλες.
- ***Απόσταση τιμών από μία τιμή αναφοράς (distance to a reference):*** Η μέθοδος αυτή εκτιμά την απόσταση ενός δείκτη από ένα σημείο αναφοράς. Ως σημείο αναφοράς μπορεί να θεωρηθεί ένας στόχος προς επίτευξη, μία πρότυπη ή οριακή τιμή που προτείνεται από τη βιβλιογραφία, η μέση τιμή των τιμών των δεικτών κλπ. Το σημείο αναφοράς θεωρείται ίσο με τη μονάδα (1) και οι τιμές των δεικτών μετασχηματίζονται στη βάση της απόστασής τους από αυτήν.
- ***Υιοθέτηση κατηγορικής κλίμακας (categorical scale):*** Η μέθοδος αυτή αποδίδει βαθμούς (scores) στις τιμές των δεικτών στη βάση μίας κλίμακας. Η βαθμολόγηση μπορεί να είναι ποσοτική π.χ. ένα, δύο ή τρία αστέρια, ή ποιοτική, π.χ. «άριστο», «πολύ καλό», «μέτριο», «κακό». Συχνά, η βαθμολόγηση γίνεται στη βάση των εκατοστημορίων (percentiles) της κατανομής των τιμών των δεικτών για τις διάφορες περιοχές μελέτης. Για παράδειγμα, οι τιμές που βρίσκονται στο υψηλότερο 5% του δείγματος παίρνουν βαθμό 100, οι τιμές που βρίσκονται μεταξύ του 95^{ου} και του 85^{ου} εκατοστημορίου παίρνουν βαθμό 80 κ.ο.κ. Με τον τρόπο αυτό όμως χάνεται μεγάλη ποσότητα πληροφορίας σχετικά με τη

διακύμανση των μετασχηματισμένων τιμών. Επίσης, όταν η διακύμανση των τιμών των αρχικών δεικτών είναι μικρή, η μέθοδος αυτή επιβάλλει την κατηγοριοποίησή τους ανεξάρτητα από την υποκείμενη κατανομή.

- ***Κανονικοποίηση στη βάση της μέσης τιμής (above or below mean normalization):*** Οι δείκτες κανονικοποιούνται ανάλογα με το αν βρίσκονται πάνω ή κάτω από τη μέση τιμή, με τέτοιο τρόπο ώστε οι τιμές που βρίσκονται κοντά στη μέση τιμή να παίρνουν την τιμή μηδέν (0), εκείνες που βρίσκονται πάνω από μία οριακή τιμή (threshold) μεγαλύτερη από τη μέση τιμή να παίρνουν την τιμή 1, και εκείνες που βρίσκονται κάτω από μία οριακή τιμή μικρότερη από τη μέση τιμή να παίρνουν την τιμή -1. Η μέθοδος αυτή είναι απλή και δεν επηρεάζεται από έκτοπες τιμές. Ωστόσο, η αυθαίρετη επιλογή των οριακών τιμών και η παράλειψη μεγάλου μέρους της πληροφορίας σχετικά με τις απόλυτες αρχικές τιμές αποτελούν μειονεκτήματα της μεθόδου. Για παράδειγμα, αν η τιμή ενός δείκτη για μία περιοχή Α είναι 3 φορές μεγαλύτερη από τη μέση τιμή (300% πάνω από τη μέση τιμή), και για μία περιοχή Β είναι 25% πάνω από τη μέση τιμή, ενώ η οριακή τιμή που έχει θεωρηθεί είναι 20% πάνω από τη μέση τιμή, η τιμή του δείκτη και για τις δύο περιοχές θα γίνει ίση με τη μονάδα.

Η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου κανονικοποίησης είναι ιδιαίτερα σημαντικό ζήτημα, καθώς οι προσαρμογές στις κλίμακες των δεικτών απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή (Ebert & Welsh, 2004; OECD, 2008). Η επιλογή πρέπει να γίνεται λαμβάνοντας υπόψη τα χαρακτηριστικά του εξεταζόμενου δείγματος (τιμές δεικτών για τις περιοχές μελέτης), καθώς και τους στόχους της ανάλυσης (π.χ. απλή σύγκριση μεταξύ περιοχών και κατάταξη αυτών, ή ανάλυση του κατά πόσο μεγαλύτερη ή μικρότερη είναι η τιμή του δείκτη σε μία περιοχή σε σχέση με μία άλλη).

Στην παρούσα Διατριβή ως μέθοδος κανονικοποίησης επιλέχθηκε η μέθοδος της ***απόστασης των τιμών από την τιμή αναφοράς (distance to a reference).***

Οι δείκτες εκτίμησης της τρωτότητας εκφράστηκαν με τέτοιο τρόπο, ώστε αύξηση στην τιμή ενός δείκτη να υποδηλώνει αύξηση της έκθεσης, της ευαισθησίας ή της προσαρμοστικής ικανότητας του συστήματος αντίστοιχα (ανάλογα με τη συνιστώσα της τρωτότητας που εκφράζει ο κάθε δείκτης). Για τον σκοπό αυτό, λήφθηκαν υπόψη οι αντίστροφες τιμές των δεικτών 1 και 9 του Πίνακα 3.3. Μετά την κανονικοποίηση, οι τιμές των δεικτών κυμαίνονται σε μία κλίμακα από 0 έως 5, με το 1 να συμβολίζει την οριακή τιμή κάθε δείκτη. Ο αριθμός 5 αποτελεί τιμή διαχωρισμού (cut-off value) και υποδηλώνει το θεωρητικό ανώτατο όριο των δυνατών τιμών για κάθε δείκτη (τιμές μεγαλύτερες του 5 θεωρούνται ίσες με 5). Στη συνέχεια, οι κανονικοποιημένες τιμές των επιμέρους δεικτών και οι αντίστοιχες οριακές τιμές ανάγονται σε μία κλίμακα από 0 έως 1 (με το 0.20 να συμβολίζει την οριακή τιμή κάθε δείκτη) διαιρώντας με την τιμή διαχωρισμού. Η αναγωγή αυτή γίνεται για να διευκολύνει τη σύγκριση των δεικτών αυτών με άλλους δείκτες και άλλες μεθόδους κανονικοποίησης που ακολουθούν αυτήν την κλίμακα.

Οι τιμές των δεικτών κανονικοποιήθηκαν στη βάση των οριακών τους τιμών σύμφωνα με την Εξίσωση 6.

$$I_q = \begin{cases} \dfrac{\dfrac{100-(THR_q \cdot 100)}{100-\left(x_q \cdot 100\right)}}{5}, \; q = 6,8 \\ \dfrac{\dfrac{x_q}{THR_q}}{5}, \; q = 2,3,4,5,7,10 \\ \dfrac{\dfrac{THR_q}{x_q}}{5}, \; q = 1,9 \end{cases} \tag{6}$$

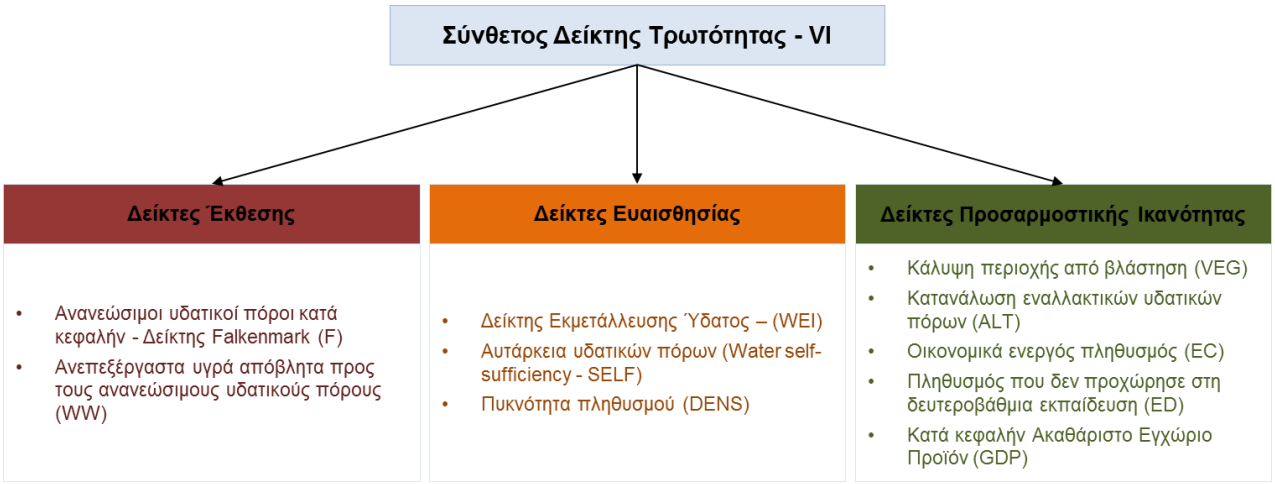
Όπου

I_q: Οι κανονικοποιημένες τιμές των δεικτών
x_q: Οι αρχικές τιμές των δεικτών
THR_b: Οι οριακές τιμές των δεικτών (thresholds)
q: Ο αριθμός των επιμέρους δεικτών, q=1,…,10

Οι κανονικοποιημένοι δείκτες αξιολογούνται μέσω της σύγκρισής τους με τις οριακές τους τιμές. Οι δείκτες έκθεσης και ευαισθησίας με τιμές μεγαλύτερες του 0.20, και οι δείκτες προσαρμοστικής ικανότητας με τιμές μικρότερες του 0.20, εκφράζουν τους παράγοντες που προκαλούν την τρωτότητα των υδατικών συστημάτων.

3.3.5. Σύνθετος Δείκτης Τρωτότητας (VI)

Οι 10 δείκτες εκτίμησης της τρωτότητας συνδυάζονται στο Σύνθετο Δείκτη Τρωτότητας (VI), στη βάση του οποίου πραγματοποιείται η συγκριτική αξιολόγηση μεταξύ διαφορετικών περιοχών, και η ιεράρχηση-αξιολόγηση εναλλακτικών επεμβάσεων Ε&ΑΝ, ως προς τη συνεισφορά τους στη μείωση της τρωτότητας (Εικόνα 3.4).



Εικόνα 3.4: Ο Σύνθετος Δείκτης Τρωτότητας VI

Η ανάπτυξη του VI ακολουθεί το εννοιολογικό πλαίσιο εκτίμησης της τρωτότητας (Ενότητα 3.3.1, Εξίσωση 5). Ο VI αποτελείται από τους δύο επιμέρους σύνθετους δείκτες έκθεσης και ευαισθησίας (ESI), και προσαρμοστικής ικανότητας (ACI), και η Εξίσωση 5 διαμορφώνεται ως εξής:

$$VI = ESI - ACI \tag{7}$$

Όπου

VI: Ο σύνθετος δείκτης τρωτότητας
ESI: Ο σύνθετος δείκτης έκθεσης και ευαισθησίας
ACI: Ο σύνθετος δείκτης προσαρμοστικής ικανότητας

Οι ESI και ACI προκύπτουν από το συνδυασμό των αντίστοιχων δεικτών έκθεσης και ευαισθησίας (ESI: 5 δείκτες έκθεσης και ευαισθησίας) και προσαρμοστικής ικανότητας (ACI: 5 δείκτες προσαρμοστικής ικανότητας), ύστερα από στάθμισή τους για την απόδοση βαρύτητας σε αυτούς. Για τη στάθμιση των δεικτών που συνθέτουν τους επιμέρους σύνθετους δείκτες χρησιμοποιήθηκε η Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών (Principal Component Analysis).

Στις ενότητες που ακολουθούν περιγράφεται αναλυτικά η ανάπτυξη των ESI, ACI καθώς και του VI. Αρχικά γίνεται αναφορά στις διάφορες μεθόδους στάθμισης δεικτών, εστιάζοντας στην Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών. Στη συνέχεια περιγράφεται η ανάπτυξη του VI στη βάση των ESI και ACI, ενώ ακολουθεί η περιγραφή των αναλύσεων αβεβαιότητας και ευαισθησίας που πραγματοποιήθηκαν για να διασφαλιστεί η ευρωστία του VI.

Στο Παράρτημα ΙΙ της παρούσας Διατριβής γίνεται συνοπτική περιγραφή των πιο γνωστών / ευρέως διαδεδομένων σύνθετων δεικτών που έχουν αναπτυχθεί για την εκτίμηση της τρωτότητας

των υδατικών συστημάτων στη σπανιότητα ύδατος, καθώς και στις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής και άλλων περιβαλλοντικών ή κοινωνικό-οικονομικών αλλαγών που μπορούν να την προκαλέσουν (δεν περιλαμβάνονται σύνθετοι δείκτες που αφορούν την τρωτότητα των υδατικών πόρων στην ξηρασία, καθώς θεωρούνται εκτός του πλαισίου της παρούσας ανάλυσης).

3.3.5.1. Στάθμιση Δεικτών

Η στάθμιση των δεικτών έπεται της κανονικοποίησης τους. Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι στάθμισης των επιμέρους δεικτών για την ανάπτυξη σύνθετων δεικτών. Ορισμένες μέθοδοι προέρχονται από στατιστικά μοντέλα, όπως η Παραγοντική Ανάλυση (Factor Analysis) και ειδικότερα η Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών (Principal Component Analysis), η Περιβάλλουσα Ανάλυση Δεδομένων (Data Envelopment Analysis) και τα Μοντέλα Μη Παρατηρούμενων Συνιστωσών (Unobserved Components Models), ή από συμμετοχικές διαδικασίες, στις οποίες λαμβάνεται υπόψη η γνώμη εμπειρογνωμόνων, ειδικών, πολιτών, πολιτικών, και άλλων εμπλεκόμενων φορέων, όπως η Διαδικασία Κατανομής του Προϋπολογισμού (Budget Allocation Process) και η Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία (Analytic Hierarchy Process). Επίσης, ένας μεγάλος αριθμός σύνθετων δεικτών βασίζεται στην Κατανομή Ίσης Βαρύτητας στους επιμέρους δείκτες που τον απαρτίζουν (Equal Weighting), για λόγους απλότητας (OECD, 2008).

Τα βάρη είναι υποκειμενικές κρίσεις ή εκτιμήσεις, ανεξαρτήτως της μεθόδου στάθμισης που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό τους. Ορισμένοι επιστήμονες τάσσονται υπέρ των στατιστικών μεθόδων στάθμισης, θεωρώντας πως παρέχουν πιο αντικειμενικά αποτελέσματα, ενώ άλλοι προτιμούν τις μεθόδους που βασίζονται στη γνώμη εμπειρογνωμόνων και ειδικών, καθώς θεωρούν πως εκφράζουν περισσότερο τις προτεραιότητες πολιτικής ή τις τοπικές συνθήκες (OECD, 2008).

Η στάθμιση των δεικτών πρέπει να είναι σε συμφωνία με το υποκείμενο θεωρητικό πλαίσιο της ανάλυσης, και τυχόν αλληλεξαρτήσεις και αλληλοσυσχετίσεις μεταξύ των δεικτών πρέπει να εντοπίζονται εγκαίρως και να διορθώνονται ή να λαμβάνονται υπόψη κατά τη στάθμιση.

*Στην παρούσα Διατριβή χρησιμοποιείται η στατιστική μέθοδος στάθμισης **της Παραγοντικής Ανάλυσης, και πιο συγκεκριμένα η Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών**, καθώς θεωρείται πως μπορεί να παρέχει πιο αντικειμενικά και αξιόπιστα αποτελέσματα, σε σύγκριση με τις συμμετοχικές μεθόδους. Επίσης, η Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών αποτελεί τη μέθοδο που προτιμάται περισσότερο για την ανάπτυξη σύνθετων δεικτών (π.χ. Product Market Regulation Index, Nicoletti et al., 2000), καθώς επιτρέπει τη σύνθεση των επιμέρους δεικτών διατηρώντας το μέγιστο της αρχικής πληροφορίας που παρέχουν οι επιμέρους δείκτες (OECD, 2008). Η επιλογή της συγκεκριμένης μεθόδου τεκμηριώνεται στη συνέχεια από τις αναλύσεις ευαισθησίας και αβεβαιότητας του σύνθετου δείκτη, που περιγράφονται στην Ενότητα 3.3.5.2. Στις αναλύσεις αυτές η Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών αντιπαραβάλλεται με την Κατανομή Ίσης Βαρύτητας στους επιμέρους δείκτες, η οποία επίσης αποτελεί πολύ διαδομένη μέθοδο στάθμισης για την ανάπτυξη σύνθετων δεικτών.*

Ποικίλες μέθοδοι στάθμισης απαντώνται στη βιβλιογραφία για τη δημιουργία σύνθετων δεικτών, καθεμία με τα δικά της πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Οι πλέον χρησιμοποιούμενες μέθοδοι

στάθμισης παρουσιάζονται παρακάτω και διακρίνονται σε στατιστικές και συμμετοχικές μεθόδους.

Στατιστικές Μέθοδοι Στάθμισης

Παραγοντική Ανάλυση

Η Παραγοντική Ανάλυση (Factor Analysis) αποτελεί την πιο διαδεδομένη τεχνική Πολυμεταβλητής Ανάλυσης Δεδομένων (Multivariate Data Analysis), και χρησιμοποιείται για τη στατιστική επεξεργασία και ερμηνεία δεδομένων όταν υπάρχουν πολλές μεταβλητές (για τις οποίες δύσκολα μπορούν να χρησιμοποιηθούν μοντέλα γραμμικής παλινδρόμησης). Έχει στόχο να «συρρικνώσει» το αρχικό σύνολο δεδομένων με τις πολλές μεταβλητές σε έναν σαφώς μικρότερο αριθμό παραγόντων, χωρίς να χαθεί σημαντικό μέρος της πληροφορίας του αρχικού δείγματος. Οι παράγοντες είναι υποσύνολα των αρχικών μεταβλητών και είναι ανεξάρτητοι μεταξύ τους, ενώ οι αρχικές μεταβλητές πρέπει να συσχετίζονται μεταξύ τους (αν δεν συσχετίζονται, τότε δεν μοιράζονται κοινούς παράγοντες) (Κατσής κ.α., 2010).

Κάθε παράγοντας είναι γραμμικός συνδυασμός των αρχικών μεταβλητών, ενώ οι συντελεστές των μεταβλητών ονομάζονται φορτία ή επιβαρύνσεις (loadings) και εκφράζουν τη συνεισφορά των μεταβλητών στους παράγοντες. Υπάρχουν αρκετοί τρόποι υπολογισμού των παραγόντων, όμως οι δύο συνηθέστεροι είναι η *Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών* και η *Μέθοδος Μέγιστης Πιθανοφάνειας*. Η Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών (Principal Component Analysis) είναι η πιο διαδεδομένη μέθοδος, και βασίζεται στην ανάλυση του πίνακα των συσχετίσεων μεταξύ των αρχικών μεταβλητών. Από τη μέθοδο αυτή προκύπτουν παράγοντες που είναι ασυσχέτιστοι μεταξύ τους, και συνεπώς μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως ανεξάρτητες μεταβλητές σε μοντέλα παλινδρόμησης. Η Μέθοδος Μέγιστης Πιθανοφάνειας (Maximum Likelihood Method) προϋποθέτει ότι τα δεδομένα ακολουθούν (πολυμεταβλητή) κανονική κατανομή (κάτι που δεν συμβαίνει πάντα), ενώ σε μεγάλα σύνολα δεδομένων μπορεί να οδηγήσει σε πολλούς παράγοντες. Επίσης, ο αριθμός των παραγόντων που επιλέγεται με τη μέθοδο αυτή αλλάζει σημαντικά τις τιμές των φορτίσεων και την ερμηνεία τους, κάτι που δεν συμβαίνει με τη μέθοδο της Ανάλυσης Κύριων Συνιστωσών (Κατσής κ.α., 2010). Παρακάτω εξηγείται αναλυτικά η Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών, καθώς είναι η μέθοδος που εφαρμόστηκε στην παρούσα Διατριβή.

Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών (ΑΚΣ)

Η ΑΚΣ αποτελεί την πιο διαδεδομένη στατιστική τεχνική της παραγοντικής ανάλυσης. Έχει στόχο να μειώσει τις διαστάσεις ενός μεγάλου συνόλου δεδομένων (x_{ij}), το οποίο αποτελείται από x_i αλληλοσχετιζόμενες μεταβλητές ($i=1, 2,\ldots, p$), για j περιπτώσεις ($j=1, 2,\ldots, n$), διατηρώντας όσο το δυνατόν περισσότερο τη διακύμανση των αρχικών δεδομένων. Αυτό επιτυγχάνεται προσδιορίζοντας ένα νέο σύνολο Z_m μεταβλητών ($m=1, 2,\ldots, q$) ($q<p$), ασυσχέτιστων μεταξύ τους, οι οποίες είναι ορθογώνιοι γραμμικοί συνδυασμοί των αρχικών μεταβλητών (Εξίσωση 8). Αυτές οι νέες μεταβλητές είναι οι κύριες συνιστώσες (ΚΣ) (Jolliffe, 2002; OECD, 2008).

$$
\begin{aligned}
Z_1 &= a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \ldots + a_{1p}x_p \\
Z_2 &= a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \ldots + a_{2p}x_p \\
&\ldots \\
Z_q &= a_{q1}x_1 + a_{q2}x_2 + \ldots + a_{qp}x_p
\end{aligned}
\tag{8}
$$

Όπου
x_i: Οι τυποποιημένες τιμές των αρχικών μεταβλητών
Z_m: Οι ΚΣ
a_{mi}: Οι συντελεστές συσχέτισης των αρχικών μεταβλητών x_i με τις νέες μεταβλητές Z_m
i=1, 2,…, p
m=1, 2,…, q

Μπορούν να παραχθούν *p* ΚΣ, δηλαδή τόσες όσες οι αρχικές μεταβλητές, και το άθροισμα των διακυμάνσεών τους είναι το άθροισμα των διακυμάνσεων των αρχικών μεταβλητών.

Η πρώτη από τις ΚΣ είναι η πιο σημαντική, δηλαδή αυτή που συμβάλλει με το υψηλότερο ποσοστό στην ερμηνεία της συνολικής διακύμανσης, και κάθε επόμενη ΚΣ συμβάλλει με το αμέσως μεγαλύτερο δυνατό ποσοστό στην ερμηνεία της εναπομένουσας συνολικής διακύμανσης. Υπάρχει, επομένως, μία σαφής ιεράρχηση των νέων μεταβλητών, η οποία επιτρέπει την επιλογή των πιο σημαντικών μεταβλητών για την ανάλυση, καθώς μόνο ορισμένες, *q*, από τις ΚΣ (*q*<*p*) προσφέρουν σημαντική πληροφορία, δηλαδή εκφράζουν σημαντικό μέρος της διακύμανσης των αρχικών μεταβλητών (Jolliffe, 2002; OECD, 2008). Τα κριτήρια στη βάση των οποίων επιλέγονται οι *q* ΚΣ εξετάζονται στη συνέχεια.

Η πρώτη ενέργεια που απαιτείται πριν την εφαρμογή της ΑΚΣ είναι ο έλεγχος της καταλληλότητας των δεδομένων για την εφαρμογή της ανάλυσης. Το δείγμα των δεδομένων πρέπει να πληροί τις εξής απαιτήσεις (Field, 2009; OECD, 2008; Κατσής κ.α., 2010):

- Η ΑΚΣ εφαρμόζεται μόνο σε συνεχείς μεταβλητές.
- Η αναλογία μεταξύ περιπτώσεων και μεταβλητών πρέπει να είναι 5 προς 1 κατ' ελάχιστο, εναλλακτικά το δείγμα θα πρέπει να περιλαμβάνει πάνω από 300 περιπτώσεις (Kass & Tinsley, 1979).
- Η συσχέτιση μεταξύ των μεταβλητών πρέπει να είναι ικανοποιητική. Οι συντελεστές συσχέτισης μεταξύ των μεταβλητών, οι οποίοι προκύπτουν από τον πίνακα συσχετίσεων (correlation matrix - R), πρέπει να είναι υψηλοί (ο πίνακας συσχετίσεων θα πρέπει να περιλαμβάνει τουλάχιστον 2 συσχετίσεις μεγαλύτερες ή ίσες του 0.30). Εάν οι συσχετίσεις είναι χαμηλές είναι σχεδόν αδύνατο οι μεταβλητές να μοιράζονται κοινούς παράγοντες. Οι συντελεστές συσχέτισης μεταξύ των μεταβλητών όμως δεν πρέπει να είναι πάρα πολύ υψηλοί (> 0.90), καθώς στην περίπτωση αυτή καθίσταται αδύνατον να προσδιοριστεί η μοναδική συμβολή των μεταβλητών με τον υψηλό βαθμό συσχέτισης σε έναν παράγοντα. Για την αξιολόγηση της επάρκειας της συσχέτισης μεταξύ των μεταβλητών προτείνονται οι ακόλουθοι έλεγχοι:

- ***Έλεγχος σφαιρικότητας του Bartlett (Bartlett's test of sphericity):*** Ελέγχει εάν ισχύει η μηδενική υπόθεση (null hypothesis), ότι ο πίνακας συσχετίσεων των μεταβλητών είναι ταυτοτικός (διαγώνια στοιχεία μονάδες και στοιχεία εκτός της διαγωνίου μηδενικά), χρησιμοποιώντας την ορίζουσα του πίνακα συσχετίσεων των μεταβλητών ($|R|$) και την κατανομή x^2 (chi-square distribution). Η ΑΚΣ μπορεί να εφαρμοστεί μόνο εάν απορρίπτεται η μηδενική υπόθεση (τιμή $p < 0.05$).
- ***Δείκτης επάρκειας δείγματος Kaiser-Meyer-Olkin (KMO measure of sampling adequacy):*** Ελέγχει τη συνοχή μεταξύ των μεταβλητών. Μπορεί να υπολογιστεί για μεμονωμένες μεταβλητές ή για το σύνολο των μεταβλητών του δείγματος και εκφράζεται από το λόγο του τετραγώνου της συσχέτισης των μεταβλητών ($\Sigma\Sigma r_{ij}^2$) προς το άθροισμα του τετραγώνου της συσχέτισης των μεταβλητών και του τετραγώνου της μερικής συσχέτισης (partial correlation) των μεταβλητών ($\Sigma\Sigma a_{ij}^2$).

  Η τιμή του δείκτη KMO κυμαίνεται από το 0 έως το 1, και σύμφωνα με τον Kaiser (1974), τιμές του δείκτη μικρότερες από 0.5 δεν θεωρούνται αποδεκτές (μη αξιόπιστη ανάλυση):
  - 0.5 <KMO < 0.7: Μέτριο
  - 0.7 < KMO < 0.8: Καλό
  - 0.8 < KMO < 0.9: Πολύ καλό
  - KMO > 0.9: Εξαιρετικό

Εφόσον πληρούνται οι παραπάνω απαιτήσεις, το δείγμα θεωρείται κατάλληλο για την εφαρμογή της ΑΚΣ. **Η ΑΚΣ περιλαμβάνει τα ακόλουθα βήματα** (Jolliffe, 2002):

- ***Τυποποίηση των δεδομένων:*** Οι τιμές των *p* αρχικών μεταβλητών τυποποιούνται αφαιρώντας από κάθε τιμή τη μέση τιμή και στη συνέχεια διαιρώντας με την τυπική απόκλιση.
- ***Ανάλυση των συσχετίσεων μεταξύ των αρχικών μεταβλητών:*** Κατασκευάζεται ο πίνακας συσχετίσεων (correlation matrix-R), ο οποίος περιλαμβάνει τους συντελεστές συσχέτισης του Pearson (Pearson, 1896) για κάθε ζεύγος μεταβλητών (πίνακας διπλής εισόδου, συμμετρικός και στη διαγώνιο οι τιμές είναι ίσες με τη μονάδα).
- ***Υπολογισμός των ιδιοτιμών λ_i του πίνακα συσχέτισης:*** Οι ιδιοτιμές εκφράζουν τη συνεισφορά των ΚΣ στην ερμηνεία της συνολικής διακύμανσης ($\sum_i \lambda_i$). Η πρώτη ΚΣ αντιστοιχεί στη μεγαλύτερη ιδιοτιμή και συμβάλλει με το υψηλότερο ποσοστό στην ερμηνεία της συνολικής διακύμανσης.
- ***Υπολογισμός των ιδιοδιανυσμάτων a_{mi} των ιδιοτιμών:*** Τα ιδιοδιανύσματα a_{mi} αποτελούν τους συντελεστές συσχέτισης των αρχικών μεταβλητών x_i με τις νέες μεταβλητές Z_m (ΚΣ). Οι συντελεστές αυτοί ονομάζονται παραγοντικά φορτία ή επιβαρύνσεις των ΚΣ (factor loadings). Ισχύει $-1 \leq a_{mi} \leq 1$.
- ***Δημιουργία ΚΣ:*** Προκύπτουν οι *p* ΚΣ (τόσες όσες οι αρχικές μεταβλητές) ως το άθροισμα των γινομένων των τυποποιημένων τιμών των αρχικών μεταβλητών με τους αντίστοιχους συντελεστές a_{mi} (Εξίσωση 8).

Για την επιλογή των *q* ΚΣ (*q<p*) που προσφέρουν σημαντική πληροφορία και επαρκούν για την ανάλυση προτείνονται τα ακόλουθα κριτήρια (Field, 2009; OECD, 2008; Jolliffe, 2002):

- ***Ποσοστό της συνολικής διακύμανσης που ερμηνεύεται:*** Επιλέγονται τόσες ΚΣ όσες εξηγούν αθροιστικά ένα ικανοποιητικό ποσοστό της συνολικής διακύμανσης, συνήθως γύρω στο 80%-90%. Κάθε μία από αυτές τις ΚΣ συνιστάται να εξηγεί τουλάχιστον 10% της συνολικής διακύμανσης.
- ***Κριτήριο του Kaiser:*** Σύμφωνα με τον Kaiser (1960), προτείνεται να παραμένουν στην ανάλυση εκείνες οι ΚΣ που έχουν ιδιοτιμές ίσες ή μεγαλύτερες της μονάδας ($\lambda_i \geq 1$).
- ***Κριτήριο του Jolliffe:*** Σύμφωνα με τον Jolliffe (1972), ο οποίος θεώρησε το κριτήριο του Kaiser πολύ αυστηρό, προτείνεται να παραμένουν στην ανάλυση εκείνες οι ΚΣ που έχουν ιδιοτιμές ίσες ή μεγαλύτερες του 0.7 ($\lambda_i \geq 0.7$).
- ***Διάγραμμα ιδιοτιμών (scree plot):*** Σύμφωνα με τον Cattell (1966), συνιστάται να κατασκευαστεί το διάγραμμα ιδιοτιμών (άξονας τεταγμένων y) και ΚΣ (άξονας τετμημένων x) και να επιλεχθούν οι απαραίτητες ΚΣ στη βάση αυτού. Η μορφή του διαγράμματος αυτού είναι πολύ χαρακτηριστική: γίνεται μία απότομη μεταβολή στην κλίση της καμπύλης που ενώνει τις τιμές των ιδιοτιμών, και στη συνέχεια ακολουθεί μία τάση ευθυγράμμισής της, καθώς λίγες είναι οι ΚΣ που έχουν μεγάλες ιδιοτιμές ενώ πολλές έχουν σχετικά χαμηλές ιδιοτιμές. Προτείνεται, λοιπόν, να παραμείνουν στην ανάλυση οι ΚΣ που αντιστοιχούν στο κομμάτι του διαγράμματος που προηγείται της απότομης μεταβολής της κλίσης της καμπύλης.

Πολλές φορές όμως τα κριτήρια αυτά παρέχουν διαφορετικές λύσεις, και η εφαρμογή τους καταλήγει σε διαφορετικό αριθμό ΚΣ. Για να ελεγχθεί αν ο τελικός αριθμός των ΚΣ που επιλέχθηκε να παραμείνει στην ανάλυση είναι επαρκής, λαμβάνεται υπόψη η **συμμετοχικότητα (communality)** της κάθε αρχικής μεταβλητής (x_i) στις ΚΣ που επιλέχθηκαν (Z_m). Η συμμετοχικότητα H_i κάθε μεταβλητής υπολογίζεται από την Εξίσωση 9:

$$H_i = a_{1i}^2 + a_{2i}^2 + ... + a_{qi}^2 \qquad (9)$$

Όπου
a_{mi}: Οι συντελεστές συσχέτισης των αρχικών μεταβλητών x_i με τις νέες μεταβλητές Z_m
i=1, 2,…, p
m=1, 2,…, q

Οι συμμετοχικότητες των μεταβλητών συνιστάται να είναι > 0.50, ώστε να είναι επαρκής η ερμηνεία τους στις τελικές ΚΣ (Field, 2009).

Αφού επιλεχθούν οι ΚΣ που θα παραμείνουν στην ανάλυση, και είναι περισσότερες από μία, είναι συνήθης πρακτική να γίνεται **περιστροφή (rotation)** αυτών (δηλ. των ορθογώνιων αξόνων), καθώς συνήθως οι αρχικές μεταβλητές έχουν υψηλές επιβαρύνσεις σε όλες τις επιλεγμένες ΚΣ, καθιστώντας δύσκολη την ερμηνεία τους (με την περιστροφή των αξόνων εξασφαλίζουμε ότι οι μεταβλητές έχουν υψηλότερες επιβαρύνσεις με τις ΚΣ με τις οποίες σχετίζονται περισσότερο). Το

άθροισμα των ιδιοτιμών δεν επηρεάζεται από την περιστροφή, όμως η αλλαγή των αξόνων μεταβάλλει τις ιδιοτιμές των επιμέρους ΚΣ καθώς και τα παραγοντικά φορτία. Στη βιβλιογραφία προτείνονται διάφορες μέθοδοι περιστροφής των ΚΣ, κάθε μία από τις οποίες οδηγεί σε διαφορετικά αποτελέσματα, όλες όμως έχουν ως στόχο να δημιουργηθούν πιο ξεκάθαρες συσχετίσεις μεταξύ ΚΣ και αρχικών μεταβλητών. Μετά την περιστροφή, η καθεμιά από τις αρχικές μεταβλητές έχει υψηλή επιβάρυνση μόνο σε μία ΚΣ. Το γεγονός αυτό βοηθάει στην ερμηνεία της ΚΣ. Η πιο διαδεδομένη και συχνά χρησιμοποιούμενη μέθοδος περιστροφής είναι η μέθοδος Varimax, η οποία παράγει ασυσχέτιστους παράγοντες και δίνει υψηλότερες τιμές στο ποσοστό της πληροφορίας που εξηγεί η κάθε ΚΣ (Field, 2009; OECD, 2008; Jolliffe, 2002; Κατσής κ.α., 2010).

Η ΑΚΣ μπορεί να επαναληφθεί αρκετές φορές, επανεξετάζοντας και αναδιαμορφώνοντας το αρχικό δείγμα των δεδομένων μέχρι να προκύψουν ικανοποιητικά αποτελέσματα (Field, 2009; OECD, 2008; Jolliffe, 2002). **Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται ως μέθοδος στάθμισης επιμέρους δεικτών ώστε να προκύψει ένας σύνθετος δείκτης, μόνο στην περίπτωση που υπάρχει ικανοποιητική συσχέτιση μεταξύ των αρχικών δεικτών.** Οι βαρύτητες στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιούνται για να διορθώσουν την αλληλοεπικάλυψη λόγω συσχετιζόμενων δεικτών, και δεν αποτελούν μέτρο της σημαντικότητας του κάθε δείκτη. Αν δεν υπάρχουν συσχετίσεις μεταξύ των δεικτών που έχουν θεωρηθεί στην ανάλυση, η μέθοδος αυτή δεν μπορεί να εφαρμοστεί, καθώς οι δείκτες δεν μοιράζονται κοινούς παράγοντες (OECD, 2008).

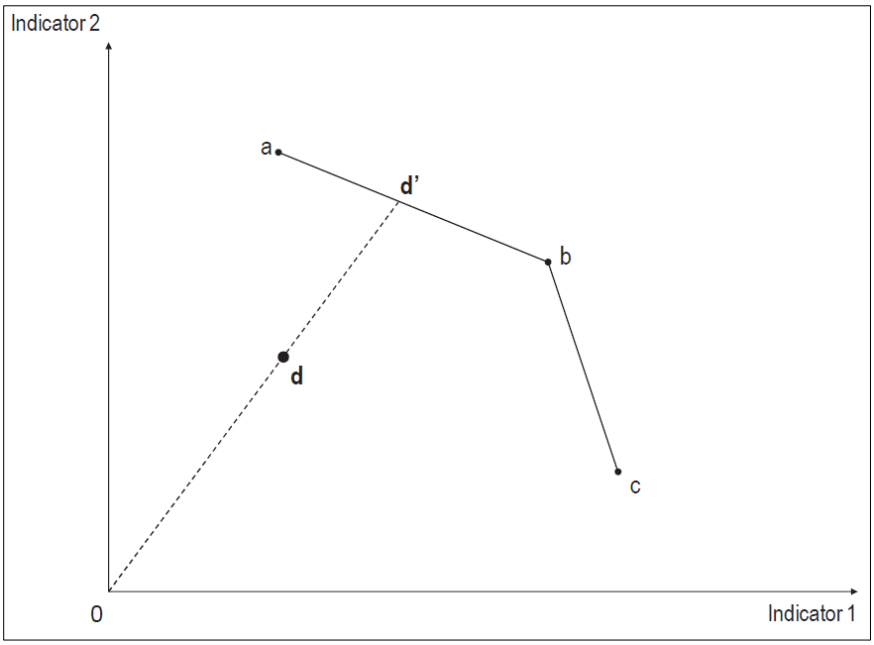
Τα βάρη των επιμέρους δεικτών για την ανάπτυξη σύνθετου δείκτη προκύπτουν στη βάση των παραγοντικών φορτίων των επιλεγμένων ΚΣ μετά την περιστροφή τους, ακολουθώντας την προσέγγιση που προτείνεται από τους Nicoletti et al. (2000): Το άθροισμα των τετραγώνων των παραγοντικών φορτίων των επιλεγμένων ΚΣ εκφράζει την ποσότητα της συνολικής διακύμανσης που ερμηνεύεται από αυτές. Οι ποσότητες αυτές αθροίζονται και προκύπτει η συνολική διακύμανση που ερμηνεύεται από τις επιλεγμένες ΚΣ. Η συνολική διακύμανση που ερμηνεύεται ανάγεται στη μονάδα, και αντίστοιχα προκύπτουν τα ποσοστά με τα οποία συμμετέχει κάθε ΚΣ στην ερμηνεία της (άθροισμα ποσοστών 100%). Στη συνέχεια, οι τιμές των παραγοντικών φορτίων κάθε δείκτη υψώνονται στο τετράγωνο και διαιρούνται με τις αντίστοιχες ποσότητες της συνολικής διακύμανσης που ερμηνεύονται από τις ΚΣ. Από τις τιμές που προκύπτουν λαμβάνεται υπόψη για κάθε δείκτη η υψηλότερη τιμή, η οποία κατόπιν πολλαπλασιάζεται με το ποσοστό με το οποίο συμμετέχει η αντίστοιχη ΚΣ στην ερμηνεία της συνολική διακύμανσης που ερμηνεύεται. Οι τιμές αυτές ονομάζονται ενδιάμεσες βαρύτητες. Στη συνέχεια, οι ενδιάμεσες βαρύτητες ανάγονται στη μονάδα και προκύπτουν τα τελικά βάρη των επιμέρους δεικτών στο σύνθετο δείκτη (OECD, 2008).

Περιβάλλουσα ανάλυση δεδομένων & Προσέγγιση του πλεονεκτήματος της αμφιβολίας

Η Περιβάλλουσα Ανάλυση Δεδομένων (Data Envelopment Analysis) είναι μία μέθοδος γραμμικού προγραμματισμού που εκτιμά τη σχετική αποδοτικότητα παραγωγικών μονάδων (π.χ. χωρών, περιοχών, οργανισμών, επιχειρήσεων, κ.α.), στη βάση ενός σημείου αναφοράς, που λέγεται σύνορο αποδοτικότητας (efficiency frontier). Περιλαμβάνει την κατασκευή του συνόρου αποδοτικότητας, καθώς και τη μέτρηση της απόστασης κάθε παραγωγικής μονάδας από αυτό.

Οι αποστάσεις των παραγωγικών μονάδων από το σύνορο αποδοτικότητας καθορίζονται από τη θέση τους σε σχέση με το σύνορο αποδοτικότητας (OECD, 2008).

Ένα παράδειγμα εφαρμογής της μεθόδου αυτής για την απλή περίπτωση δύο επιμέρους δεικτών (Indicator 1, Indicator 2) και 4 χωρών (a, b, c, d) δίνεται στην Εικόνα 3.5, όπου παρουσιάζεται η επίδοση των χωρών στη βάση των δύο δεικτών (άξονες του διαγράμματος). Οι χώρες τοποθετούνται στο διάγραμμα σύμφωνα με τις τιμές που παίρνουν στους δύο δείκτες. Η γραμμή που ενώνει τις χώρες a, b, και c αποτελεί το σύνορο αποδοτικότητας, και το σημείο αναφοράς για την αξιολόγησή τους. Οι χώρες a, b, και c, που βρίσκονται πάνω στο σύνορο, αξιολογούνται ως οι χώρες με καλύτερη απόδοση, ενώ η χώρα d, που απέχει από αυτό, θεωρείται η χώρα με τη χειρότερη απόδοση (OECD, 2008).



Εικόνα 3.5: Σύνορο αποδοτικότητας περιβάλλουσας ανάλυσης δεδομένων (OECD 2008; Mahlberg & Obersteiner, 2001)

Ο δείκτης απόδοσης κάθε χώρας ορίζεται ως ο λόγος των δύο αποστάσεων: από την αρχή των αξόνων (0) έως τη θέση της χώρας, και από την αρχή των αξόνων έως την προβολή της θέσης της χώρας στο σύνορο αποδοτικότητας (d'). Για τις χώρες με την καλύτερη απόδοση, ο δείκτης απόδοσης παίρνει την τιμή 1, ενώ για τις χώρες με χειρότερη απόδοση παίρνει τιμές μικρότερες του 1, όπως συμβαίνει με τη χώρα d, για την οποία ο δείκτης απόδοσης είναι ίσος με 0d/0d'. Ο δείκτης απόδοσης για κάθε χώρα αντιστοιχεί στην Εξίσωση 10 (OECD, 2008):

$$\frac{w_{1d}I_{1d} + w_{2d}I_{2d}}{w_{1d}I^*_{1d} + w_{2d}I^*_{2d}} \tag{10}$$

Όπου
w_{1d}: Βάρος του δείκτη 1
w_{2d}: Βάρος του δείκτη 2
I_{1d}: Η πραγματική τιμή του δείκτη 1 για την υπό μελέτη χώρα
I_{2d}: Η πραγματική τιμή του δείκτη 2 για την υπό μελέτη χώρα
I^*_{1d}: Η τιμή του δείκτη 1 πάνω στο σύνορο αποδοτικότητας (θέση προβολής της υπό μελέτη χώρας)
I^*_{2d}: Η τιμή του δείκτη 2 πάνω στο σύνορο αποδοτικότητας (θέση προβολής της υπό μελέτη χώρας)

Τα βάρη για κάθε χώρα εξαρτώνται από τη θέση της σε σχέση με το σύνορο αποδοτικότητας, ενώ το σύνορο αποδοτικότητας εκφράζει την ιδανική θέση που θα έπρεπε να έχει η χώρα λαμβάνοντας υπόψη έναν συνδυασμό δεικτών (για την περίπτωση της χώρας d, τη θέση d'). Το σύνορο αποδοτικότητας μπορεί να προσδιοριστεί επίσης από έναν λήπτη αποφάσεων, ο οποίος ορίζει το στόχο της ιδανικής επίδοσης, στον οποίο αντιστοιχεί το σύνορο αποδοτικότητας, για έναν συνδυασμό δεικτών (OECD, 2008).

Η εφαρμογή της Περιβάλλουσας Ανάλυσης Δεδομένων για την ανάπτυξη σύνθετων δεικτών είναι γνωστή ως **Προσέγγιση του Πλεονεκτήματος της Αμφιβολίας (Benefit Of the Doubt Approach)** και είχε αρχικά προταθεί για τη μέτρηση μακροοικονομικών επιδόσεων (Melyn & Moesen, 1991; OECD, 2008). Σύμφωνα με την προσέγγιση του πλεονεκτήματος της αμφιβολίας, ο σύνθετος δείκτης ορίζεται ως ο λόγος της πραγματικής συνολικής απόδοσης μίας χώρας προς τη συνολική απόδοση αναφοράς (ιδανική απόδοση), και δίνεται από τη σχέση (OECD, 2008):

$$CI_c = \frac{\sum_{c=1}^{M} I_{qc} w_{qc}}{\sum_{c=1}^{M} I^*_{qc} w_{qc}} \tag{11}$$

Όπου
CI_c: Ο σύνθετος δείκτης για τη χώρα c (c=1,…M)
w_{qc}: Βάρος του δείκτη q (q=1,…,Q) για τη χώρα c (c=1,…M)
I_{qc}: Η κανονικοποιημένη τιμή (με τη μέθοδο κανονικοποίησης μεγίστου-ελαχίστου) του δείκτη q (q=1,…,Q) για τη χώρα c (c=1,…M)
I^*_{qc}: Η τιμή αναφοράς (ιδανική τιμή) του δείκτη q (q=1,…,Q) για τη χώρα c (c=1,…M)

Τα βάρη εξαρτώνται από τις υπό μελέτη χώρες, ενώ οι επιμέρους δείκτες πρέπει να είναι συγκρίσιμοι μεταξύ τους, δηλαδή να έχουν τις ίδιες μονάδες μέτρησης. Τα ιδανικά βάρη των επιμέρους δεικτών για μία χώρα εγγυώνται την ιδανική θέση για τη χώρα αυτή, συγκριτικά με όλες τις υπόλοιπες χώρες του δείγματος. Με οποιαδήποτε άλλα βάρη η σχετική θέση της χώρας αυτής

είναι χειρότερη. Τα ιδανικά βάρη προκύπτουν από την επίλυση του ακόλουθου προβλήματος βελτιστοποίησης με περιορισμούς (OECD, 2008):

$$CI_c^* = \underset{w_{qc,q=1,\dots,Q}}{argmax} \frac{\sum_{q=1}^{Q} I_{qc} w_{qc}}{\underset{I_k, k\in\{1,\dots,M\}}{max}\left(\sum_{q=1}^{Q} I_{qk} w_{qc}\right)} \tag{12}$$

Υπόκειται στον περιορισμό τα βάρη να μην είναι αρνητικά

Όπου
CI^*_c: Η ιδανική τιμή του σύνθετου δείκτη για τη χώρα c (c=1,…M)
w_{qc}: Το βάρος του δείκτη q (q=1,…,Q) για τη χώρα c (c=1,…M)
I_{qc}: Η κανονικοποιημένη τιμή (με τη μέθοδο κανονικοποίησης μεγίστου-ελαχίστου) του δείκτη q (q=1,…,Q) για τη χώρα c (c=1,…M)

Ο σύνθετος δείκτης που προκύπτει κυμαίνεται μεταξύ του 0 (χείριστη απόδοση) και του 1 (ιδανική απόδοση). Η Εξίσωση 12 μπορεί να μετατραπεί στο ακόλουθο πρόβλημα γραμμικού προγραμματισμού, πολλαπλασιάζοντας όλα τα βάρη με ένα κοινό παράγοντα, χωρίς να αλλάζει η τιμή του σύνθετου δείκτη, και έπειτα μπορεί να επιλυθεί χρησιμοποιώντας αλγόριθμους βελτιστοποίησης (OECD, 2008):

$$\begin{aligned}
&CI_c^* = \underset{wqc}{argmax} \sum_{q=1}^{Q} I_{qc} w_{qc} \\
&s.t. \\
&\sum_{q=1}^{Q} I_{qk} w_{qk} \le 1 \\
&w_{qk} \ge 0 \\
&\forall k = 1,\dots,M; \forall q = 1,\dots,Q
\end{aligned} \tag{13}$$

Η πολλαπλότητα των λύσεων εξαρτάται από το σύνολο των περιορισμών που επιβάλλονται. Όσο μεγαλύτερο είναι το εύρος της διακύμανσης των βαρών, τόσο μικρότερη είναι η πιθανότητα να προκύψει μοναδική λύση (OECD, 2008).

Η μέθοδος αυτή δεν χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα Διατριβή, καθώς κρίθηκε ιδιαίτερα πολύπλοκη η εφαρμογή της για το συνδυασμό 10 επιμέρους δεικτών.

Μοντέλα μη παρατηρούμενων συνιστωσών

Στη μέθοδο των μη παρατηρούμενων συνιστωσών (unobserved components model), οι επιμέρους δείκτες θεωρείται ότι εξαρτώνται από μία μη παρατηρούμενη μεταβλητή καθώς και από ένα σφάλμα. Για παράδειγμα ο δείκτης που εκφράζει «το ποσοστό των εταιρειών που χρησιμοποιούν το διαδίκτυο στη χώρα j» εξαρτάται από την (άγνωστη) τάση που υπάρχει για υιοθέτηση τεχνολογιών πληροφορίας και επικοινωνίας, λαμβάνοντας υπόψη επιπλέον το σφάλμα στο δείγμα των επιχειρήσεων που θεωρήθηκαν στην ανάλυση. Η εκτίμηση της άγνωστης μεταβλητής βοηθά στην ερμηνεία της σχέσης μεταξύ του σύνθετου δείκτη και των συνιστωσών του. Το βάρος που αποδίδεται στις συνιστώσες έχει στόχο να ελαχιστοποιήσει το σφάλμα στο σύνθετο δείκτη. Η μέθοδος αυτή μοιάζει με την ευρέως γνωστή μέθοδο της ανάλυσης παλινδρόμησης, με τη μόνη διαφορά ότι στη μέθοδο των μη παρατηρούμενων συνιστωσών η εξαρτημένη μεταβλητή είναι άγνωστη (OECD, 2008).

Έστω ότι το *ph(c)* είναι το άγνωστο φαινόμενο προς εκτίμηση. Οι παρατηρήσεις αποτελούνται από ένα σύνολο *q=1,…, Q(c)* δεικτών, καθένας από τους οποίους εκτιμά μία πτυχή του *ph(c)*. Έστω επίσης, ότι οι δείκτες υπολογίζονται για *c=1,…M(q)* χώρες. Η τιμή του δείκτη *q* για τη χώρα *c*, *I(c,q)*, μπορεί να γραφτεί ως γραμμική συνάρτηση του άγνωστου φαινομένου και του σφάλματος, *ε(c,q)* (OECD, 2008):

$$I(c,q) = \alpha(q) + \beta(q)\left[ph(c) + \varepsilon(c,q)\right] \tag{14}$$

Όπου
α(q) και β(q) άγνωστες παράμετροι που εκφράζουν την επίδραση του φαινομένου ph(c) στον I(c,q).

Το σφάλμα *ε(c,q)* εμπεριέχει δύο παράγοντες αβεβαιότητας. Ο ένας αφορά στο γεγονός ότι το άγνωστο φαινόμενο δεν μπορεί να εκτιμηθεί πλήρως (τέλεια) για κάθε χώρα (σφάλμα μέτρησης), και ο άλλος αφορά στη σχέση μεταξύ του φαινομένου και του δείκτη *I(c,q)*, η οποία μπορεί να είναι επίσης ατελής. Ο όρος *ε(c,q)* θεωρείται ότι έχει μηδενική μέση τιμή, $E(\varepsilon(c,q))=0$, και την ίδια διακύμανση μεταξύ διαφορετικών χωρών για έναν συγκεκριμένο δείκτη, αλλά διαφορετική διακύμανση μεταξύ διαφορετικών δεικτών, $E(\varepsilon(c,q)^2)=\sigma_q^2$, επίσης ισχύει ότι $E(\varepsilon(c,q)\varepsilon(i,h))=0$ για $c \neq i$ ή $q \neq h$ (OECD, 2008).

Επιπροσθέτως, το σφάλμα δεν εξαρτάται από τους επιμέρους δείκτες, καθώς κάθε ένας επιμέρους δείκτης εκτιμά μία συγκεκριμένη πτυχή του φαινομένου *ph(c)*, ανεξαρτήτως από τους υπόλοιπους. Επίσης, συνήθως θεωρείται ότι το *ph(c)* αποτελεί τυχαία μεταβλητή με μηδενική μέση τιμή και μοναδιαία διακύμανση, ενώ οι επιμέρους δείκτες έχουν κανονικοποιηθεί χρησιμοποιώντας τη μέθοδο κανονικοποίησης μεγίστου-ελαχίστου και παίρνουν τιμές ανάμεσα στο 0 και στο 1. Η παραδοχή ότι το *ph(c)* και το *ε(c,q)* ακολουθούν κανονική κατανομή απλοποιεί την εκτίμηση του φαινομένου *ph(c)* στη χώρα *c*. Αυτό πραγματοποιείται, χρησιμοποιώντας τη μέση τιμή της δεσμευμένης κατανομής της μη παρατηρούμενης συνιστώσας, αφού η κλίμακα των τιμών των παρατηρήσεων έχει διαμορφωθεί κατάλληλα (OECD, 2008):

$$E\left[ph(c)/I(c,1),...,I(c,Q(c))\right]=\sum_{q=1}^{Q(c)}w(c,q)\frac{I(c,q)-\alpha(q)}{\beta(q)} \quad (15)$$

Τα βάρη είναι ίσα με:

$$w(c,q)=\frac{\sigma_q^{-2}}{1+\sum_{q=1}^{Q(c)}\sigma_q^{-2}} \quad (16)$$

Όπου
w(c,q): Το βάρος του δείκτη q, φθίνουσα συνάρτηση της διακύμανσης του δείκτη q, και αύξουσα συνάρτηση της διακύμανσης των υπόλοιπων δεικτών.
σ_q^2: Διακύμανση του δείκτη q

Για να μην εξαρτώνται τα βάρη *w(c,q)* από τις χώρες, καθώς και για να είναι συγκρίσιμες οι τιμές του σύνθετου δείκτη μεταξύ των χωρών, θα πρέπει όλες οι υπό μελέτη χώρες να παίρνουν τιμές σε όλους τους επιμέρους δείκτες (OECD, 2008).

Η διακύμανση της δεσμευμένης κατανομής μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ένα μέτρο της ακρίβειας του σύνθετου δείκτη, και δίνεται από τη σχέση (OECD, 2008):

$$\mathrm{var}\left[ph(c)/I(c,1),...,I(c,Q(c))\right]=\left[1+\sum_{q=1}^{Q(c)}\sigma_q^{-2}\right]^{-1} \quad (17)$$

Η διακύμανση μειώνεται όσο αυξάνεται ο αριθμός των δεικτών για κάθε χώρα.

Οι άγνωστες παράμετροι που πρέπει να υπολογιστούν είναι οι *α(q)s, β(q)s* και *σ_q^2 s* (επομένως, χρειάζονται τουλάχιστον 3 δείκτες ανά χώρα για να επιλυθεί το μοντέλο), επομένως η συνάρτηση πιθανοφάνειας των παρατηρήσεων που είναι βασισμένη στην Εξίσωση 16 θα μεγιστοποιηθεί σε σχέση με τα *α(q)s, β(q)s* και *σ_q^2 s* και οι εκτιμώμενες τιμές τους υποκαθιστούνται στις Εξισώσεις 15 και 16, για να προκύψει ο σύνθετος δείκτης και τα βάρη (OECD, 2008).

Η μέθοδος αυτή δεν χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα Διατριβή, καθώς κρίθηκε ιδιαίτερα πολύπλοκη και απαιτητική για την παρούσα ανάλυση.

Συμμετοχικές Μέθοδοι Στάθμισης

Διαδικασία κατανομής προϋπολογισμού

Στη διαδικασία κατανομής προϋπολογισμού (budget allocation process), μία ομάδα ειδικών πάνω σε ένα συγκεκριμένο θέμα (π.χ. καινοτομία, εκπαίδευση, υγεία, βιοποικιλότητα, κ.α.), το οποίο περιγράφεται από ορισμένους δείκτες, καλούνται να κατανέμουν έναν «προϋπολογισμό» εκατό βαθμών στους δείκτες αυτούς, στη βάση της εμπειρίας τους και της υποκειμενικής τους κρίσης σχετικά με τη σημασία που αποδίδουν σε κάθε δείκτη. Οι δείκτες στους οποίους κατανέμονται περισσότεροι βαθμοί θεωρούνται πιο σημαντικοί έναντι των υπολοίπων. Το βάρος του κάθε δείκτη προκύπτει ως ο μέσος όρος των προϋπολογισμών που του αποδόθηκε. Τα βασικά πλεονεκτήματα της μεθόδου αυτής είναι η διαφάνεια και η απλότητα της όλης διαδικασίας, καθώς και η μικρή της διάρκεια (OECD, 2008).

Απαιτείται πολύ προσεκτική αναγνώριση και επιλογή των ειδικών, έτσι ώστε αυτοί να καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα γνώσης και εμπειρίας, για να εξασφαλιστεί ότι αποδίδονται οι κατάλληλες βαρύτητες στους δείκτες. Επίσης, είναι πολύ σημαντικό οι γνώσεις των ειδικών που θα επιλεγούν να μην εστιάζουν σε συγκεκριμένους επιμέρους δείκτες, αλλά γενικότερα στο θέμα που καλείται να εκτιμήσει ο σύνθετος δείκτης. Για παράδειγμα, για έναν σύνθετο δείκτη βιοποικιλότητας θα πρέπει να επιλεγούν ειδικοί της βιοποικιλότητας και όχι μόνο ορνιθολόγοι. Επιπροσθέτως, κατά το τελευταίο στάδιο ανάπτυξης ενός σύνθετου δείκτη, π.χ. κατά την ανάπτυξη ενός σύνθετου δείκτη αειφορίας, ο οποίος αποτελείται από τρεις επιμέρους σύνθετους δείκτες, έναν οικονομικό, έναν κοινωνικό και έναν περιβαλλοντικό, οι ειδικοί θα πρέπει να είναι αυτοί που θα αποφασίσουν για το σχετικό βάρος μεταξύ των οικονομικών, κοινωνικών και περιβαλλοντικών θεμάτων (OECD, 2008).

Η διαδικασία κατανομής προϋπολογισμού περιλαμβάνει τις εξής τέσσερις φάσεις (OECD, 2008):

- Επιλογή των ειδικών για την αξιολόγηση
- Κατανομή «προϋπολογισμού» στους επιμέρους δείκτες
- Υπολογισμός του βάρους κάθε δείκτη
- Επανάληψη της διαδικασίας μέχρις ότου να επιτευχθεί σύγκλιση των απόψεων μεταξύ των ειδικών και να διασφαλιστεί η πλήρης κατανόηση των ζητημάτων και δικαιολόγηση της κατανομής «προϋπολογισμού» στους επιμέρους δείκτες (προαιρετικό).

Η μέθοδος αυτή ενδείκνυται στην περίπτωση που ο σύνθετος δείκτης αποτελείται το πολύ από 10-12 επιμέρους δείκτες, καθώς στην περίπτωση που οι επιμέρους δείκτες είναι πάρα πολλοί είναι πιθανό να προκληθεί σύγχυση στους ειδικούς που καλούνται να τους αξιολογήσουν (OECD, 2008).

Αναλυτική ιεραρχική διαδικασία

Η αναλυτική ιεραρχική διαδικασία (analytic hierarchy process) είναι μία ευρέως διαδεδομένη τεχνική για τη λήψη αποφάσεων σε σύνθετα ζητήματα (Saaty, 1987). Διευκολύνει τον επιμερισμό ενός προβλήματος ακολουθώντας μία ιεραρχική δομή και διασφαλίζοντας ότι η διαδικασία αξιολόγησης περιλαμβάνει τόσο τις ποιοτικές όσο και τις ποσοτικές πτυχές του προβλήματος, ενώ οι γνώμες των ειδικών προκύπτουν συστηματικά μέσα από συγκρίσεις ανά ζεύγη (OECD, 2008).

Σύμφωνα με τον Forman (1983) «*η αναλυτική ιεραρχική διαδικασία είναι μία αντισταθμιστική μέθοδος, διότι εναλλακτικές λύσεις που είναι αποδοτικές σε σχέση με έναν ή περισσότερους στόχους μπορούν να αντισταθμιστούν ανάλογα με την απόδοσή τους σε σχέση με άλλους στόχους. Η μέθοδος αυτή επιτρέπει την εφαρμογή των δεδομένων, της εμπειρίας, της διορατικότητας και της διαίσθησης σε ένα λογικό και ενδελεχές πλαίσιο που χαρακτηρίζεται από ιεραρχία. Συγκεκριμένα ως μέθοδος στάθμισης, η αναλυτική ιεραρχική διαδικασία αποτρέπει την αυθαίρετη ανάθεση βάρους στους επιμέρους δείκτες από τους λήπτες αποφάσεων ή τους ειδικούς, καθώς τα βάρη υπολογίζονται με συστηματικό τρόπο*» (OECD, 2008).

Τα βάρη εκφράζουν την αντιστάθμιση μεταξύ των δεικτών. Μετρούν την επιθυμία αλλαγής / αντικατάστασης ενός δείκτη από έναν άλλο, επομένως δεν αποτελούν συντελεστές σπουδαιότητας / σημαντικότητας (OECD, 2008).

Η αναλυτική ιεραρχική διαδικασία στηρίζεται στη σύγκριση ανά ζεύγη. Για ένα συγκεκριμένο στόχο, συγκρίνονται οι επιμέρους δείκτες ανά ζεύγη ως προς το ποιος είναι πιο σημαντικός από τον άλλο και κατά πόσο. Η προτίμηση εκφράζεται στη βάση μίας κλίμακας από το 1 έως το 9, όπου το 1 υποδηλώνει ισότητα μεταξύ των δύο δεικτών (οι δείκτες είναι ισοδύναμοι), ενώ το 9 υποδηλώνει ότι ο ένας επιμέρους δείκτης είναι 9 φορές πιο σημαντικός από τον άλλον. Τα αποτελέσματα των συγκρίσεων μεταξύ όλων των ζευγών των επιμέρους δεικτών συγκεντρώνονται σε μία μήτρα σύγκρισης (comparison matrix), στην οποία παρουσιάζονται οι προτιμήσεις (A_{ij}) μεταξύ των ζευγών των v δεικτών που έχουν ληφθεί υπόψη στην ανάλυση ($A_{ii} = 1$, $A_{ij} = 1 / A_{ji}$, *όπου* $i=1,...,v$, $j=1,…,v$) (OECD, 2008). Ένα παράδειγμα μήτρας σύγκρισης μεταξύ v δεικτών παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.4. Κάθε προτίμηση εκφράζει τη συνεισφορά που θεωρείται ότι έχει ο ένας δείκτης ως προς τον άλλο για την επίτευξη του στόχου που έχει τεθεί, π.χ. ο Δείκτης 1 θεωρείται ότι έχει 3 φορές μεγαλύτερη συνεισφορά (είναι 3 φορές πιο σημαντικός) από το Δείκτη 2.

Πίνακας 3.4: Παράδειγμα μήτρας σύγκρισης μεταξύ v δεικτών

Στόχος	**Δείκτης 1**	**Δείκτης 2**	**…**	**Δείκτης v**
Δείκτης 1	1	3	…	2
Δείκτης 2	1/3	1	…	4
…	…	…	…	…
Δείκτης v	1/2	1/4	…	1

Στη συνέχεια υπολογίζονται οι ιδιοτιμές της μήτρας σύγκρισης, οι οποίες βοηθούν στον έλεγχο της συνέπειάς της, καθώς και τα ιδιοδιανύσματα στη βάση των οποίων προκύπτουν τα σχετικά βάρη των επιμέρους δεικτών. Ο πραγματικός αριθμός των συγκρίσεων ανά ζεύγη που απαιτούνται για τη συμπλήρωση μίας μήτρας (Q x Q) με την αναλυτική ιεραρχική διαδικασία είναι Q(Q-1)/2 (OECD, 2008).

Οι απόψεις των ειδικών που εκφράζουν τις προτιμήσεις τους για τη συμπλήρωση της μήτρας σύγκρισης δεν είναι πάντοτε συνεπείς μεταξύ τους. Για παράδειγμα, εάν η μέθοδος εφαρμόζεται για 3 δείκτες (Α, Β και Γ), και κάποιος κρίνει ότι ο Α είναι πολύ πιο σημαντικός από τον Β, ο Β λίγο πιο σημαντικός από τον Γ και ο Γ λίγο πιο σημαντικός από τον Α, υπάρχει ασυνέπεια και αναξιοπιστία στην κρίση του. Η ασυνέπεια όμως αποτελεί μέρος της ανθρώπινης φύσης και δεν μπορεί να αποφευχθεί. Για τον λόγο αυτόν εκτιμάται ο βαθμός της συνέπειας της ανάλυσης και παρουσιάζεται μαζί με τα αποτελέσματα της μεθόδου. Βαθμοί ασυνέπειας (inconsistency ratios) κάτω από 0.1 – 0.2 είναι αποδεκτοί και θεωρείται ότι δεν επηρεάζουν δραστικά τα αποτελέσματα της μεθόδου (Saaty, 1980; Karlsson, 1998; OECD, 2008)

Δημοσκόπηση – έρευνα κοινής γνώμης

Οι έρευνες κοινής γνώμης ή δημοσκοπήσεις (public opinion polls) χρησιμοποιούνται εκτενώς, καθώς είναι εύκολες και σχετικά ανέξοδες στη διεξαγωγή τους (Parker, 1991). Συνήθως επικεντρώνονται στον παράγοντα της «ανησυχίας», δηλαδή ο κόσμος καλείται να εκφράσει το βαθμό της ανησυχίας του σχετικά με συγκεκριμένα θέματα, τα οποία μετρώνται από δείκτες βάσης (OECD, 2008).

Η διαδικασία κατανομής προϋπολογισμού θα μπορούσε επίσης να εφαρμοστεί σαν έρευνα κοινής γνώμης, όμως είναι πιο εύκολο για τον απλό κόσμο να εκφράσει το βαθμό της ανησυχίας του σχετικά με ένα πρόβλημα, από το να κατανείμει έναν προϋπολογισμό σε ορισμένους επιμέρους δείκτες (OECD, 2008).

Ίσα βάρη

Κατά την ανάπτυξη των περισσότερων σύνθετων δεικτών, αποδίδονται ίσα βάρη στους επιμέρους δείκτες (equal weighting). Η μέθοδος των ίσων βαρών υποδηλώνει ότι όλοι οι επιμέρους δείκτες «αξίζουν» το ίδιο, δηλαδή έχουν την ίδια επιρροή στον σύνθετο δείκτη. Η απόδοση ίσων βαρών αποτελεί ιδιαίτερα απλή και εύκολα εφαρμόσιμη μέθοδο, όμως με τη μέθοδο αυτή είναι πιθανόν να συγκαλυφθούν / αγνοηθούν τυχόν συσχετίσεις και αλληλεξαρτήσεις μεταξύ των επιμέρους δεικτών, οδηγώντας σε μη αξιόπιστα αποτελέσματα, π.χ. στην περίπτωση που αποδίδονται ίσες βαρύτητες σε επιμέρους δείκτες με μεγάλη συσχέτιση μεταξύ τους. Για το λόγο αυτό πριν την επιλογή των βαρών θα πρέπει πρώτα να εξετάζονται οι συσχετίσεις των επιμέρους δεικτών (OECD, 2008).

3.3.5.2. Ανάλυση Αβεβαιότητας & Ευαισθησίας VI

Η αξιοπιστία και η ευρωστία του σύνθετου δείκτη εξαρτώνται από τις παραδοχές που υιοθετήθηκαν κατά την ανάπτυξή του. Η αξιολόγηση της αβεβαιότητας που σχετίζεται με τις διάφορες διαδικασίες υπολογισμού του σύνθετου δείκτη, π.χ. την επιλογή, την κανονικοποίηση και τη στάθμιση των επιμέρους δεικτών, καθώς και της ευαισθησίας του σύνθετου δείκτη σε τυχόν αλλαγές σε αυτές τις διαδικασίες (π.χ. μικρή ή μεγάλη αλλαγή στα τελικά αποτελέσματα αν αλλάξει η μέθοδος στάθμισης των επιμέρους δεικτών) αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι της ανάπτυξης ενός σύνθετου δείκτη (OECD, 2008).

Οι αναλύσεις αβεβαιότητας και ευαισθησίας θεωρούνται οι «ακτίνες Χ» του μοντέλου[2] του σύνθετου δείκτη, και καθορίζουν την ποιότητά του. Η ανάλυση αβεβαιότητας έχει στόχο να ποσοτικοποιήσει τη συνολική αβεβαιότητα στα τελικά αποτελέσματα εξαιτίας των παραγόντων αβεβαιότητας που εισέρχονται στο μοντέλο (input factors). Η ανάλυση ευαισθησίας εξετάζει κατά πόσο ο σύνθετος δείκτης επηρεάζεται από τους παράγοντες αβεβαιότητας και εκτιμά τη συνεισφορά κάθε παράγοντα στη διακύμανση των τελικών αποτελεσμάτων εξαιτίας των αλλαγών στους παράγοντες αυτούς. Η εφαρμογή των δύο αυτών αναλύσεων αυξάνει τη διαφάνεια στη διαδικασία ανάπτυξης του σύνθετου δείκτη (OECD, 2008).

Η χρήση των αναλύσεων αβεβαιότητας και ευαισθησίας, όπως προτείνεται από τους OECD, 2008 και Saisana et al., 2005, υιοθετείται για τον έλεγχο της ευρωστίας του VI.

Οι παράγοντες αβεβαιότητας οι οποίοι εξετάζονται είναι οι ακόλουθοι:

- *Μέθοδος κανονικοποίησης*
    - Εξετάζονται δύο μέθοδοι κανονικοποίησης, η απόσταση των τιμών από την τιμή αναφοράς (η οποία υιοθετείται στην παρούσα Διατριβή) και η μέθοδος κανονικοποίησης μεγίστου-ελαχίστου.
- *Μέθοδος στάθμισης*
    - Εξετάζονται δύο μέθοδοι στάθμισης, η ΑΚΣ (η οποία υιοθετείται στην παρούσα Διατριβή) και τα ίσα βάρη.
- *Επιλογή δεικτών*
    - Κάθε ένας από τους επιμέρους δείκτες που συνθέτουν τους ESI και ACI στον VI παραλείπεται εκ περιτροπής, για να προσδιοριστεί η επιρροή που έχει η θεώρηση κάθε δείκτη ξεχωριστά στα τελικά αποτελέσματα.

[2] Ο όρος μοντέλο εδώ χρησιμοποιείται για να περιγράψει το σύνολο των βημάτων και των μεθόδων που έχουν υιοθετηθεί για να προκύψει ο σύνθετος δείκτης.

Για τις ανάγκες των αναλύσεων αβεβαιότητας και ευαισθησίας η Εξίσωση 7 διαμορφώνεται ως εξής:

$$VI_b = ESI_b - ACI_b \tag{18}$$

Όπου

VI: Ο σύνθετος δείκτης τρωτότητας
ESI: Ο σύνθετος δείκτης έκθεσης και ευαισθησίας
ACI: Ο σύνθετος δείκτης προσαρμοστικής ικανότητας
b: Η υπό μελέτη λεκάνη απορροής, b=1,…., n

Ο ESI για τη λεκάνη απορροής *b*, ισούται με το άθροισμα των γινομένων των κανονικοποιημένων τιμών των q επιμέρους δεικτών (q=5) επί τα αντίστοιχα βάρη:

$$ESI_b = f_s\left(I_{1,b}, I_{2,b}, ..., I_{q,b}, w_{s,1}, w_{s,2}, ..., w_{s,q}\right) \tag{19}$$

Όπου

ESI_b: Ο σύνθετος δείκτης έκθεσης και ευαισθησίας
$I_{q,b}$: Οι κανονικοποιημένες τιμές των επιμέρους δεικτών έκθεσης και ευαισθησίας
$w_{q,b}$: Τα βάρη των επιμέρους δεικτών
b: Η υπό μελέτη λεκάνη απορροής, b=1,…., n
s: Η μέθοδος στάθμισης που χρησιμοποιείται, s=1, 2 (1: ίσα βάρη; 2: ανάλυση κύριων συνιστωσών)
q: Ο αριθμός των επιμέρους δεικτών, q=1,…, 5

Οι επιμέρους δείκτες έκθεσης και ευαισθησίας *q* για τη λεκάνη απορροής *b* κανονικοποιούνται είτε χρησιμοποιώντας τη μέθοδο κανονικοποίησης μεγίστου-ελαχίστου (Εξίσωση 20), είτε στη βάση των οριακών τους τιμών (απόσταση τιμής δείκτη από την οριακή του τιμή) (Εξίσωση 21):

$$I_{q,b} = \left\{ \begin{array}{l} \dfrac{\left(\max\left(x_q\right) - x_{q,b}\right)}{range\left(x_q\right)} \cdot 100,\ q = 1 \\ \\ \dfrac{x_{q,b} - \min\left(x_q\right)}{range\left(x_q\right)} \cdot 100,\ q = 2,...,5 \end{array} \right\} \tag{20}$$

$$I_{q,b} = \begin{cases} \dfrac{\dfrac{THR_q}{x_{q,b}}}{5}, \; q = 1 \\ \dfrac{\dfrac{x_{q,b}}{THR_q}}{5}, \; q = 2,...,5 \end{cases} \tag{21}$$

Όπου

$I_{q,b}$: Οι κανονικοποιημένες τιμές των επιμέρους δεικτών έκθεσης και ευαισθησίας
$x_{q,b}$: Οι αρχικές τιμές των επιμέρους δεικτών έκθεσης και ευαισθησίας
THR_q: Οι οριακές τιμές των δεικτών (thresholds)
q: Ο αριθμός των επιμέρους δεικτών, q=1,…,5
b: Η υπό μελέτη λεκάνη απορροής, b=1,…., n

Αντίστοιχα, ο **ACI** για τη λεκάνη απορροής *b*, ισούται με το άθροισμα των γινομένων των κανονικοποιημένων τιμών των q επιμέρους δεικτών (q=5) επί τα αντίστοιχα βάρη:

$$ACI_b = f_s\left(I_{1,b}, I_{2,b}, ..., I_{q,b}, w_{s,1}, w_{s,2}, ..., w_{s,q}\right) \tag{22}$$

Όπου

ACI_b: Ο σύνθετος δείκτης προσαρμοστικής ικανότητας
$I_{q,b}$: Οι κανονικοποιημένες τιμές των επιμέρους δεικτών προσαρμοστικής ικανότητας
$w_{q,b}$: Τα βάρη των επιμέρους δεικτών
b: Η υπό μελέτη λεκάνη απορροής, b=1,…., n
s: Η μέθοδος στάθμισης που χρησιμοποιείται, s=1,2 (1: ίσα βάρη; 2: ανάλυση κύριων συνιστωσών)
q: Ο αριθμός των επιμέρους δεικτών, q=1,…,5

Οι επιμέρους δείκτες προσαρμοστικής ικανότητας *q* για τη λεκάνη απορροής *b* κανονικοποιούνται είτε χρησιμοποιώντας τη μέθοδο κανονικοποίησης μεγίστου-ελαχίστου (Εξίσωση 23), είτε στη βάση των οριακών τους τιμών (απόσταση τιμής δείκτη από την οριακή του τιμή) (Εξίσωση 24):

$$I_{q,b} = \begin{cases} \dfrac{x_{q,b} - \min\left(x_q\right)}{range\left(x_q\right)} \cdot 100, \ q = 1,2,3,5 \\ \dfrac{\left(\max\left(x_q\right) - x_{q,b}\right)}{range\left(x_q\right)} \cdot 100, \ q = 4 \end{cases} \tag{23}$$

$$I_{q,b} = \begin{cases} \dfrac{\dfrac{100 - (THR_q \cdot 100)}{100 - \left(x_{q,b} \cdot 100\right)}}{5}, \ q = 1,3 \\ \dfrac{\dfrac{x_{q,b}}{THR_q}}{5}, \ q = 2,5 \\ \dfrac{\dfrac{THR_q}{x_{q,b}}}{5}, \ q = 4 \end{cases} \tag{24}$$

Όπου

$I_{q,b}$: Οι κανονικοποιημένες τιμές των επιμέρους δεικτών προσαρμοστικής ικανότητας
$x_{q,b}$: Οι αρχικές τιμές των επιμέρους δεικτών προσαρμοστικής ικανότητας
THR_b: Οι οριακές τιμές των δεικτών (thresholds)
q: Ο αριθμός των επιμέρους δεικτών, q=1,…,5
b: Η υπό μελέτη λεκάνη απορροής, b=1,…., n

Η Εξίσωση 18 υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τις Εξισώσεις 19 - 24 για όλους τους πιθανούς συνδυασμούς επιμέρους δεικτών, μεθόδων κανονικοποίησης και στάθμισης. Ο VI συμβολίζεται στα πλαίσια των αναλύσεων αβεβαιότητας και ευαισθησίας ως VI_{ref} (και αποτελείται από τους ESI_{ref} και ACI_{ref}) και συγκρίνεται με τους διαφορετικούς VI που προκύπτουν κάνοντας αλλαγές στους παράγοντες αβεβαιότητας. Το πείραμα - προσομοίωση Monte Carlo (Metropolis & Ulam, 1949) πραγματοποιείται για τις αναλύσεις αβεβαιότητας και ευαισθησίας, και διερευνώνται όλες οι πιθανές συνέργειες μεταξύ των παραγόντων αβεβαιότητας.

Οι διαδικασίες που ακολουθούνται περιγράφονται αναλυτικά στις δύο επόμενες ενότητες.

Τα ερωτήματα στα οποία απαντούν οι αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν είναι τα ακόλουθα:

i. Κατά πόσο η επιλογή των επιμέρους δεικτών, η κανονικοποίησή τους ως προς την απόσταση των τιμών τους από μία τιμή αναφοράς και η στάθμισή τους, χρησιμοποιώντας την ανάλυση κύριων συνιστωσών, οδηγεί σε αξιόπιστα αποτελέσματα σχετικά με την τρωτότητα των υπό μελέτη λεκανών απορροής;
ii. Πόσο επηρεάζεται η τελική κατάταξη των λεκανών απορροής ως προς την τρωτότητα από τους διάφορες παράγοντες αβεβαιότητας;
iii. Ποιες λεκάνες απορροής ευνοούνται (χαμηλότερη τρωτότητα) και ποιες αδικούνται (υψηλότερη τρωτότητα) από συγκεκριμένες παραδοχές κατά την ανάπτυξη του VI και σε τι βαθμό;
iv. Σε ποια λεκάνη απορροής παρατηρείται η μεγαλύτερη και σε ποια η μικρότερη διακύμανση στις τιμές του VI;
v. Ποιος παράγοντας αβεβαιότητας επηρεάζει περισσότερο τα τελικά αποτελέσματα;

Ανάλυση Αβεβαιότητας

Η ανάλυση αβεβαιότητας (uncertainty analysis) εστιάζει στο πώς η αβεβαιότητα που υπάρχει στους παράγοντες εισόδου (input factors) του μοντέλου του σύνθετου δείκτη, διαδίδεται και πολλαπλασιάζεται κατά την ανάπτυξή του, επηρεάζοντας τα τελικά αποτελέσματα (Saisana et al., 2005). Όπως αναφέρεται και στην προηγούμενη ενότητα, στην παρούσα ανάλυση εξετάζονται οι εξής παράγοντες αβεβαιότητας: α) η μέθοδος κανονικοποίησης, β) η μέθοδος στάθμισης, και γ) οι επιμέρους δείκτες που επιλέγονται για τη σύνθεση.

Εφαρμόζεται το πείραμα - προσομοίωση Monte Carlo, κατά το οποίο πραγματοποιούνται πολλαπλοί υπολογισμοί του μοντέλου του VI για *k* τυχαία επιλεγμένους παράγοντες αβεβαιότητας. Η διαδικασία που ακολουθείται περιλαμβάνει τα ακόλουθα βήματα (OECD, 2008 και Saisana et al., 2005):

1. Απόδοση Συνάρτησης Πυκνότητας Πιθανότητας (ΣΠΠ) σε κάθε παράγοντα αβεβαιότητας X_i, $i = 1, 2, \ldots, k$.

Στη συγκεκριμένη ανάλυση εξετάζονται 4 παράγοντες αβεβαιότητας (k=4).

Ο πρώτος παράγοντας αβεβαιότητας, X_1, αφορά την επιλογή της μεθόδου κανονικοποίησης, και αποτελεί διακριτή τυχαία μεταβλητή που ακολουθεί κανονική κατανομή. Προκύπτει από την παραγωγή τυχαίων αριθμών ζ, οι οποίοι κατανέμονται ομοιόμορφα στο διάστημα [0,1], εφαρμόζοντας τον *αλγόριθμο Ρωσικής Ρουλέτας*, δηλαδή παίρνει την τιμή 1 αν το ζ ανήκει στο [0,0.5) και την τιμή 2 αν το ζ ανήκει στο [0.5,1]. Οι διακριτές τιμές που παίρνει ο παράγοντας X_1 για τους ESI και ACI και η σημασία τους παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.5.

Πίνακας 3.5: Τιμές παράγοντα αβεβαιότητας X_1

Σύνθετος Δείκτης	***X_1***	**Μέθοδος κανονικοποίησης**
ESI	1	Μέθοδος μεγίστου-ελαχίστου (Εξίσωση 20)
	2	Απόσταση τιμής δείκτη από οριακή τιμή (Εξίσωση 21)
ACI	1	Μέθοδος μεγίστου-ελαχίστου (Εξίσωση 23)
	2	Απόσταση τιμής δείκτη από οριακή τιμή (Εξίσωση 24)

Ο δεύτερος παράγοντας αβεβαιότητας, X_2, αφορά την επιλογή της μεθόδου στάθμισης, και αποτελεί επίσης διακριτή τυχαία μεταβλητή που ακολουθεί κανονική κατανομή. Προκύπτει όπως ο X_1, από την παραγωγή τυχαίων αριθμών ζ, οι οποίοι κατανέμονται ομοιόμορφα στο διάστημα [0,1], εφαρμόζοντας τον *αλγόριθμο Ρωσικής Ρουλέτας*, δηλαδή παίρνει την τιμή 1 αν το ζ ανήκει στο [0,0.5) και την τιμή 2 αν το ζ ανήκει στο [0.5,1]. Οι διακριτές τιμές που παίρνει ο παράγοντας X_2 για τους ESI και ACI και η σημασία τους παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.6.

Πίνακας 3.6: Τιμές παράγοντα αβεβαιότητας X_2

Σύνθετος Δείκτης	***X_2***	**Μέθοδος κανονικοποίησης**
ESI	1	Ίσα βάρη
	2	Ανάλυση κύριων συνιστωσών
ACI	1	Ίσα βάρη
	2	Ανάλυση κύριων συνιστωσών

Ο τρίτος παράγοντας αβεβαιότητας, X_3, αφορά τους επιμέρους δείκτες που συμμετέχουν στην ανάπτυξη των ESI και εξετάζει ποιος επιμέρους δείκτης θα μπορούσε να παραλειφθεί (να μην συμπεριληφθεί στην ανάλυση). Ο X_3 αποτελεί επίσης διακριτή τυχαία μεταβλητή και ακολουθεί κανονική κατανομή. Προκύπτει από την παραγωγή τυχαίων αριθμών ζ, οι οποίοι κατανέμονται ομοιόμορφα στο διάστημα [0,1], εφαρμόζοντας τον *αλγόριθμο Ρωσικής Ρουλέτας*. Η πιθανότητα να μην αποκλειστεί κανένας δείκτης από την ανάλυση είναι 1/(q+1), ενώ για πιθανότητα (1-1/(q+1)) ένας από τους επιμέρους δείκτες αποκλείεται (όπου q ο συνολικός αριθμός των επιμέρους δεικτών). Τα ενδεχόμενα να αποκλειστεί ένας από τους επιμέρους δείκτες είναι ισοπίθανα. Οι διακριτές τιμές που παίρνει ο παράγοντας X_3 και η σημασία τους παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.7. Κάθε φορά που αποκλείεται ένας δείκτης από την ανάλυση τα βάρη των υπόλοιπων δεικτών υπολογίζονται ξανά και ανάγονται στη μονάδα.

Πίνακας 3.7: Τιμές παράγοντα αβεβαιότητας X_3

ζ	X_3	Επιμέρους δείκτης που αποκλείεται από την ανάλυση
[0,1/6)	1	Κανένας (συμμετέχουν όλοι οι επιμέρους δείκτες στον ESI)
[1/6,2/6)	2	Δείκτης F
[2/6,3/6)	3	Δείκτης WW
[3/6,4/6)	4	Δείκτης WEI
[4/6,5/6)	5	Δείκτης SELF
[5/6,1]	6	Δείκτης DENSE

Ο τέταρτος παράγοντας αβεβαιότητας, X_4, αφορά τους επιμέρους δείκτες που συμμετέχουν στην ανάπτυξη του ACI, και εξετάζει ποιος επιμέρους δείκτης θα μπορούσε να παραλειφθεί (να μην συμπεριληφθεί στην ανάλυση). Ο X_4 αποτελεί επίσης διακριτή τυχαία μεταβλητή και ακολουθεί κανονική κατανομή. Προκύπτει από την παραγωγή τυχαίων αριθμών ζ, οι οποίοι κατανέμονται ομοιόμορφα στο διάστημα [0,1], εφαρμόζοντας τον *αλγόριθμο Ρωσικής Ρουλέτας*. Η πιθανότητα να μην αποκλειστεί κανένας δείκτης από την ανάλυση είναι 1/(q+1), ενώ για πιθανότητα (1-1/(q+1)) ένας από τους επιμέρους δείκτες αποκλείεται (όπου q, ο συνολικός αριθμός των επιμέρους δεικτών). Τα ενδεχόμενα να αποκλειστεί ένας από τους επιμέρους δείκτες είναι ισοπίθανα. Οι διακριτές τιμές που παίρνει ο παράγοντας X_4 και η σημασία τους παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.8. Κάθε φορά που αποκλείεται ένας δείκτης από την ανάλυση τα βάρη των υπόλοιπων δεικτών υπολογίζονται ξανά και ανάγονται στη μονάδα.

Πίνακας 3.8: Τιμές παράγοντα αβεβαιότητας X_4

ζ	X_4	Επιμέρους δείκτης που αποκλείεται από την ανάλυση
[0,1/6)	1	Κανένας (συμμετέχουν όλοι οι επιμέρους δείκτες στον ACI)
[1/6,2/6)	2	Δείκτης VEG
[2/6,3/6)	3	Δείκτης ALT
[3/6,4/6)	4	Δείκτης EC
[4/6,5/6)	5	Δείκτης ED
[5/6,1]	6	Δείκτης GDP

2. Παραγωγή τυχαίων N συνδυασμών για τους ανεξάρτητους παράγοντες αβεβαιότητας X^l, $l = 1, 2, \ldots, N$.

Κάθε σύνολο παραγόντων αβεβαιότητας $X^l=X_1^l, X_2^l, \ldots, X_k^l$ αποτελεί ένα δείγμα της ανάλυσης. Για κάθε δείγμα X^l επιλέγεται μέθοδος κανονικοποίησης, στάθμισης, δείκτες που συμμετέχουν στον ESI και δείκτες που συμμετέχουν στον ACI. Για κάθε συνδυασμό παραγόντων αβεβαιότητας υπολογίζεται το μοντέλο του VI και προκύπτουν τιμές για τις μεταβλητές VI_b. Η διάμεσος (median) των τιμών VI_b που προκύπτουν από την προσομοίωση Monte Carlo συγκρίνεται με τη VI_{ref}.

Επίσης, η αρχική κατάταξη της λεκάνης απορροής *b* ως προς τον VI_{ref}, που συμβολίζεται με *Rank* $(VI_{ref,b})$, συγκρίνεται με την κατάταξη της ως προς τη διάμεσο των τιμών VI_b.

Ανάλυση Ευαισθησίας

Η ανάλυση ευαισθησίας (sensitivity analysis) εξετάζει κατά πόσο συνεισφέρει ο κάθε παράγοντας αβεβαιότητας στη διακύμανση των τελικών αποτελεσμάτων (Saisana et al., 2005). Η μεταβλητή που εξετάζεται είναι ο σύνθετος δείκτης VI_b και αναλύεται η επίδραση που έχουν σε αυτόν οι τέσσερις παράγοντες αβεβαιότητας *Xi*.

Για τη συγκεκριμένη ανάλυση ευαισθησίας υιοθετήθηκε η μέθοδος του Sobol (Sobol, 1993), όπως εφαρμόζεται από τους Saltelli (2002) και Saisana et al. (2005). Η μέθοδος αυτή εξετάζει τη διακύμανση των τελικών αποτελεσμάτων (variance-based technique) και στηρίζεται στην ανάλυση του δείγματος των N τυχαίων μεταβλητών που προέκυψαν από την προσομοίωση Monte Carlo της ανάλυσης αβεβαιότητας.

Η σημασία κάθε παράγοντα αβεβαιότητας X_i στο σύνθετο δείκτη VI_b εκτιμάται υπολογίζοντας το δείκτη ευαισθησίας (sensitivity index), ο οποίος εκφράζει τη συνεισφορά του παράγοντα αβεβαιότητας X_i στη διακύμανση του VI_b.

Για *k* παράγοντες αβεβαιότητας (*k*=4 στην παρούσα ανάλυση) οι δείκτες ευαισθησίας υπολογίζονται από τις ακόλουθες εξισώσεις, οι οποίες αποσυνθέτουν τη συνολική διακύμανση των τελικών αποτελεσμάτων του μοντέλου VI_b:

$$V(Y) = \sum_i V_i + \sum_i \sum_{j>i} V_{ij} + \ldots + V_{12\ldots k} \tag{25}$$

$$V_i = V_{Xi}\left\{E_{X_i}\left(Y \middle| X_i\right)\right\} \tag{26}$$

$$V_{ij} = V_{XiXj}\left\{E_{X_ij}\left(Y \middle| X_i, X_j\right)\right\} - V_{Xi}\left\{E_{X_i}\left(Y \middle| X_i\right)\right\} - V_{Xj}\left\{E_{X_j}\left(Y \middle| X_j\right)\right\} \tag{27}$$

κ.ο.κ.

Όπου

V: Η διακύμανση
E: Η προσδοκώμενη (ή μέση) τιμή
Y: Τα αποτελέσματα του μοντέλου (μεταβλητή VI_b)
X: Οι παράγοντες αβεβαιότητας
k: Ο αριθμός των παραγόντων αβεβαιότητας, k=1,…,4
i=1,…,k
j=i+1,…., k

Ο δείκτης ευαισθησίας του παράγοντα αβεβαιότητας X_i δίνεται από τη σχέση:

$$S_i = \frac{V_i}{V} \tag{28}$$

Όπου

V_i: Η διακύμανση που οφείλεται στον παράγοντα αβεβαιότητας i
V: Η συνολική (αδέσμευτη) διακύμανση
S_i: Ο δείκτης ευαισθησίας του παράγοντα αβεβαιότητας i
i=1,…,k
k: Ο αριθμός των παραγόντων αβεβαιότητας, k=1,…,4

Οι όροι που έπονται του πρώτου όρου στην Εξίσωση 25 ονομάζονται αλληλεπιδράσεις (interactions). Ένα μοντέλο που δεν έχει καθόλου αλληλεπιδράσεις μεταξύ των παραγόντων αβεβαιότητάς του θεωρείται προσθετικό μοντέλο (additive model). Στην περίπτωση αυτή το άθροισμα των δεικτών ευαισθησίας του είναι ίσο με τη μονάδα, και μόνο οι δεσμευμένες διακυμάνσεις πρώτης τάξης της Εξίσωσης 26 αρκούν για την αποσύνθεση της συνολικής διακύμανσης του μοντέλου. Στα μη προσθετικά μοντέλα (non-additive models), πρέπει να υπολογιστούν οι δείκτες ευαισθησίας ανώτερης τάξης, οι οποίοι είναι υπεύθυνοι για τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των παραγόντων αβεβαιότητας. Για ένα μη προσθετικό μοντέλο με k παράγοντες αβεβαιότητάς, πρέπει να υπολογιστούν συνολικά 2^k-1 δείκτες ευαισθησίας (συμπεριλαμβανομένων και των δεικτών πρώτης τάξης). Επειδή η διαδικασία αυτή είναι ιδιαίτερα απαιτητική σε υπολογισμούς, συνήθως αντί των δεικτών ευαισθησίας ανώτερης τάξης υπολογίζονται οι δείκτες ευαισθησίας συνολικής επίδρασης (total effect sensitivity indices), οι οποίοι είναι τόσοι όσοι και οι παράγοντες αβεβαιότητας. Κάθε δείκτης ευαισθησίας συνολικής επίδρασης εκφράζει σε έναν μόνο όρο όλες τις αλληλεπιδράσεις στις οποίες συμμετέχει ο παράγοντας αβεβαιότητας X_i.

Για το μοντέλο της παρούσας ανάλυσης που περιλαμβάνει *k*=4 παράγοντες αβεβαιότητας, υπολογίζονται οι ακόλουθοι τέσσερις δείκτες ευαισθησίας συνολικής επίδρασης:

$$S_{T1} = \frac{V(Y) - V_{X2X3}\left\{E_{X1}\left(Y|X_2,X_3\right)\right\} - V_{X3X4}\left\{E_{X1}\left(Y|X_3,X_4\right)\right\} - V_{X2X4}\left\{E_{X1}\left(Y|X_2,X_4\right)\right\} - V_{X2X3X4}\left\{E_{X1}\left(Y|X_2,X_3,X_4\right)\right\}}{V(Y)} \tag{29}$$

$$S_{T1} = S_1 + S_{12} + S_{13} + S_{14} + S_{123} + S_{124} + S_{134} + S_{1234} \tag{30}$$

Ομοίως

$$S_{T2} = S_2 + S_{12} + S_{23} + S_{24} + S_{123} + S_{124} + S_{234} + S_{1234} \quad (31)$$

$$S_{T3} = S_3 + S_{13} + S_{23} + S_{34} + S_{123} + S_{134} + S_{234} + S_{1234} \quad (32)$$

$$S_{T4} = S_4 + S_{14} + S_{24} + S_{34} + S_{124} + S_{134} + S_{234} + S_{1234} \quad (33)$$

Η δεσμευμένη διακύμανση στην Εξίσωση 27 εκφράζει τη συνολική συνεισφορά στη διακύμανση του τελικού αποτελέσματος Y που οφείλεται σε όλους τους άλλους παράγοντες εκτός από τον X_i. Γενικά το άθροισμα των δεικτών ευαισθησίας συνολικής επίδρασης είναι μεγαλύτερο της μονάδας (και ίσο με τη μονάδα όταν δεν υπάρχουν καθόλου αλληλεπιδράσεις).

Οι δείκτες S_i και S_{Ti} παρέχουν μία επαρκή περιγραφή της ευαισθησίας του μοντέλου και βοηθούν στην ερμηνεία της δομής του. Κάθε ένας από τους παράγοντες αβεβαιότητας *Xi* θεωρείται πως έχει σημαντική επίδραση στον σύνθετο δείκτη τρωτότητας εάν ο αντίστοιχος δείκτης ευαισθησίας του εξηγεί ποσοστό μεγαλύτερο από 1/k της συνολικής διακύμανσης του VI_b (S_i > 0.25, k=4). Επίσης, μικρός S_i (S_i < 0.25) και σημαντική διαφορά ανάμεσα στους S_i και S_{Ti} ενός παράγοντα αβεβαιότητας υποδηλώνει σημαντική επίδραση των αλληλεπιδράσεων, στις οποίες συμμετέχει αυτός ο παράγοντας, στον VI_b. (Saisana et al., 2005).

3.4. ΒΗΜΑ 2: Αξιολόγηση Επεμβάσεων Ε&ΑΝ ως προς τη Μείωση της Τρωτότητας

Ο VI, όπως αναπτύχθηκε στο Βήμα 1 του προτεινόμενου μεθοδολογικού πλαισίου, χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση εναλλακτικών επεμβάσεων Ε&ΑΝ ως προς τη μείωση της τρωτότητας λόγω της χρήσης του ανακτημένου νερού. Αρχικά, προσδιορίζονται οι διάφοροι τύποι επεμβάσεων, καθώς και οι εναλλακτικές επεμβάσεις Ε&ΑΝ για κάθε τύπο, ανάλογα με την απαιτούμενη και τη διαθέσιμη ποιότητα και ποσότητα ανακτημένου νερού. Στη συνέχεια, υπολογίζεται ο VI για κάθε εναλλακτική επέμβαση και συγκρίνεται με τον VI της παρούσας κατάστασης. Ανάλογα με το ΔVI που προκύπτει από τη σύγκριση, οι εναλλακτικές επεμβάσεις Ε&ΑΝ ιεραρχούνται ως προς την αναμενόμενη συνεισφορά τους στη μείωση της τρωτότητας. Έτσι, ο VI αποτελεί μέτρο αξιολόγησης των πιθανών επεμβάσεων, βοηθώντας στον εντοπισμό των πλέον κατάλληλων μέτρων για την αντιμετώπιση της σπανιότητας ύδατος στην υπό μελέτη περιοχή.

3.4.1. Προσδιορισμός Επεμβάσεων Ε&ΑΝ

Ορίζονται πέντε τύποι επεμβάσεων Ε&ΑΝ, ανάλογα με τη χρήση του ανακτημένου νερού, ακολουθώντας την κατάταξη που προτείνεται από τους Asano et al., 2007 και US EPA, 2012:

- ***Τύπος #1: Άρδευση***

Χρήση ανακτημένου νερού για άρδευση γεωργικών καλλιεργειών (καρποί που είτε προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση και μπορούν να καταναλωθούν ακόμα και ωμοί, είτε δεν προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση ή καταναλώνονται μετά από θερμική ή άλλη επεξεργασία).

- ***Τύπος #2: Αστικές και περιαστικές χρήσεις***

Χρήση του ανακτημένου νερού στο αστικό και περιαστικό περιβάλλον, είτε σε χώρους που επιτρέπεται η πρόσβαση του κοινού και η επαφή του με το ανακτημένο νερό (δεν συμπεριλαμβάνεται η πόση του ανακτημένου νερού), είτε σε χώρους που η πρόσβαση του κοινού απαγορεύεται ή περιορίζεται (από φράχτες, χρονικούς περιορισμούς πρόσβασης κ.α.). Οι χρήσεις αυτές κυρίως αφορούν άρδευση χώρων αστικού και περιαστικού πρασίνου και χώρων αναψυχής, καθαρισμό οδών και πεζοδρομίων, και οικιακές χρήσεις (π.χ. ανακύκλωση γκρίζου νερού ή χρήση ανακτημένου νερού στην τουαλέτα).

- ***Τύπος #3: Βιομηχανικές χρήσεις***

Χρήση του ανακτημένου νερού σε διάφορες βιομηχανικές διεργασίες και εγκαταστάσεις (π.χ. νερό ψύξης, αναπλήρωση νερού στους λέβητες), παραγωγή ενέργειας και εξόρυξη ορυκτών καυσίμων.

- ***Τύπος #4: Περιβαλλοντική προστασία και ενίσχυση υπηρεσιών οικοσυστήματος***

Χρήση ανακτημένου νερού για αναπλάσεις και αναδασώσεις, δημιουργία νέων ή ενίσχυση υφιστάμενων υγροτόπων, τροφοδότηση επιφανειακών και υπόγειων υδατικών συστημάτων και εμπλουτισμό υπόγειων υδροφορέων (υδατικοί πόροι για μη πόσιμη χρήση).

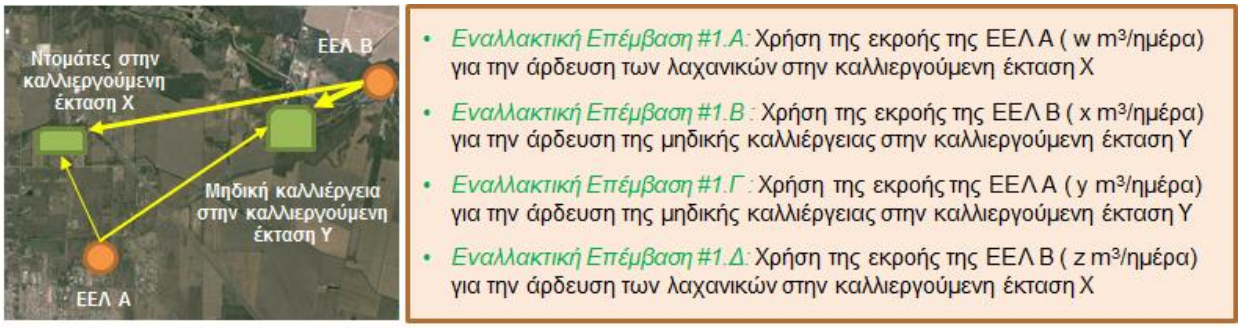
- ***Τύπος #5: Σύνθετα σχήματα για πολλαπλές χρήσεις***

Χρήση ανακτημένου νερού για την ενίσχυση διαφορετικών οικονομικών τομέων (συνδυασμός των παραπάνω τύπων).

Κάθε ένας από τους πέντε τύπους περιλαμβάνει εναλλακτικές επεμβάσεις - σενάρια Ε&ΑΝ ανάλογα με:

- Την τοποθεσία, τη διαθέσιμη ποσότητα και τη διαθέσιμη ποιότητα των πιθανών πηγών ανακτημένου νερού (εκροές εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων - ΕΕΛ)
- Την τοποθεσία των πιθανών χρηστών, καθώς και την επιθυμητή ποσότητα και την απαιτούμενη ποιότητα του ανακτημένου νερού ανάλογα με τη χρήση (π.χ. καλλιέργειες, αστικές περιοχές, βιομηχανίες, υδατικά συστήματα)

Ένα παράδειγμα εναλλακτικών σεναρίων επεμβάσεων Ε&ΑΝ Τύπου #1 (άρδευση γεωργικών καλλιεργειών) παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.6.



Εικόνα 3.6: Παράδειγμα εναλλακτικών επεμβάσεων Ε&ΑΝ Τύπου #1

3.4.2. Αξιολόγηση Επεμβάσεων Ε&ΑΝ

Η αξιολόγηση των εναλλακτικών επεμβάσεων Ε&ΑΝ γίνεται χρησιμοποιώντας τον VI. Ο VI υπολογίζεται πριν (σενάριο βάσης – παρούσα κατάσταση) και μετά από την εφαρμογή των επεμβάσεων Ε&ΑΝ (εναλλακτικά σενάρια), και οι εναλλακτικές επεμβάσεις Ε&ΑΝ ιεραρχούνται στη βάση του ΔVI, δηλαδή της αναμενόμενης μείωσης της τρωτότητας λόγω των επεμβάσεων.

3.4.2.1. Ελεγχόμενες Μεταβλητές ανά Τύπο Επέμβασης

Η τρωτότητα των υδατικών συστημάτων μίας λεκάνης απορροής στη σπανιότητα ύδατος εκτιμάται στη βάση των 10 επιμέρους δεικτών / μεταβλητών που συνθέτουν τον VI. Ένα υποσύνολο από τις 10 αυτές μεταβλητές, μπορούν να ελεγχθούν (να αλλάξουν) από την εφαρμογή εναλλακτικών επεμβάσεων Ε&ΑΝ στη λεκάνη απορροής. Οι ελεγχόμενες μεταβλητές ανά τύπο επέμβασης Ε&ΑΝ και η αναμενόμενη αλλαγή τους λόγω της εφαρμογής των επεμβάσεων Ε&ΑΝ περιγράφεται αναλυτικά παρακάτω:

- ***Τύπος #1: Άρδευση***

Η χρήση ανακτημένου νερού για την άρδευση γεωργικών καλλιεργειών προκαλεί μείωση στην τιμή του δείκτη WEI (Δείκτης Εκμετάλλευσης Ύδατος), καθώς η άρδευση γίνεται με ανακτημένο νερό και δεν πραγματοποιείται πλέον απόληψη της ποσότητας αυτής από επιφανειακούς και υπόγειους υδατικούς πόρους. Επίσης, αυξάνεται ο δείκτης ALT (κατανάλωση εναλλακτικών υδατικών πόρων), λόγω της χρήσης ανακτημένου νερού για άρδευση.

- ***Τύπος #2: Αστικές και περιαστικές χρήσεις***

Η χρήση ανακτημένου νερού στο αστικό και περιαστικό περιβάλλον προκαλεί μείωση στην τιμή του δείκτη WEI (Δείκτης Εκμετάλλευσης Ύδατος), καθώς δεν πραγματοποιείται πλέον απόληψη από επιφανειακούς και υπόγειους υδατικούς πόρους της ποσότητας που προέρχεται από ανακτημένο νερό. Επίσης, αυξάνεται ο δείκτης ALT (κατανάλωση εναλλακτικών υδατικών πόρων), λόγω της χρήσης ανακτημένου νερού. Στην περίπτωση που οι επεμβάσεις περιλαμβάνουν ανακύκλωση γκρίζου νερού μειώνεται και ο δείκτης WW (ανεπεξέργαστα υγρά απόβλητα προς τους ανανεώσιμους υδατικούς πόρους), καθώς μειώνεται η ποσότητα των συνολικών παραγόμενων λυμάτων.

- ***Τύπος #3: Βιομηχανικές χρήσεις***

Χρήση του ανακτημένου νερού σε διάφορες βιομηχανικές διεργασίες και υποδομές προκαλεί μείωση στην τιμή του δείκτη WEI (Δείκτης Εκμετάλλευσης Ύδατος), καθώς δεν πραγματοποιείται πλέον απόληψη από επιφανειακούς και υπόγειους υδατικούς πόρους της ποσότητας που προέρχεται από ανακτημένο νερό. Επίσης, αυξάνεται ο δείκτης ALT (κατανάλωση εναλλακτικών υδατικών πόρων), λόγω της χρήσης ανακτημένου νερού. Στην περίπτωση που οι επεμβάσεις περιλαμβάνουν ανακύκλωση νερού εντός της βιομηχανίας, μειώνεται και ο δείκτης WW (ανεπεξέργαστα υγρά απόβλητα προς τους ανανεώσιμους υδατικούς πόρους), καθώς μειώνεται η ποσότητα των συνολικών παραγόμενων λυμάτων.

- ***Τύπος #4: Περιβαλλοντική προστασία και ενίσχυση υπηρεσιών οικοσυστήματος***

Η χρήση ανακτημένου νερού για αναπλάσεις, αναδασώσεις και δημιουργία νέων ή ενίσχυση υφιστάμενων υγροτόπων αυξάνει τον δείκτη VEG (κάλυψη περιοχής από βλάστηση), καθώς αυξάνεται η βλάστηση της περιοχής. Επίσης, στην περίπτωση τροφοδότησης επιφανειακών και υπόγειων υδατικών συστημάτων με ανακτημένο νερό, το οποίο στη συνέχεια χρησιμοποιείται για καταναλωτικές χρήσεις (εκτός πόσης), π.χ. άρδευση και βιομηχανία, μειώνεται ο δείκτης WEI (Δείκτης Εκμετάλλευσης Ύδατος) και αυξάνεται ο δείκτης ALT αντίστοιχα (κατανάλωση εναλλακτικών υδατικών πόρων), καθώς ένα μέρος ή το σύνολο της ποσότητας που αντλείται από τα υδατικά συστήματα για τις χρήσεις αυτές προέρχεται από ανακτημένο νερό. Η ενίσχυση επιφανειακών και υπόγειων υδατικών συστημάτων με ανακτημένο νερό για περιβαλλοντική προστασία δεν θεωρείται καταναλωτική χρήση, επομένως επηρεάζεται ο δείκτης WEI στην περίπτωση αυτή.

- ***Τύπος #5: Σύνθετα σχήματα για πολλαπλές χρήσεις***

Στην περίπτωση που το ανακτημένο νερό χρησιμοποιείται για την ενίσχυση διαφορετικών οικονομικών τομέων (συνδυασμός των παραπάνω τύπων), επηρεάζονται αντίστοιχα οι επιμέρους δείκτες που αφορούν κάθε τύπο.

Μετά τον υπολογισμό του VI για τις πιθανές εναλλακτικές επεμβάσεις E&AN και του ΔVI που προκύπτει από τη σύγκριση με την παρούσα κατάσταση, οι εναλλακτικές επεμβάσεις E&AN ιεραρχούνται και εντοπίζονται οι πλέον κατάλληλες για τη μείωση της τρωτότητας των υδατικών συστημάτων της υπό μελέτη περιοχής.

3.5. ΒΗΜΑ 3: Εντοπισμός Εμποδίων & Κινήτρων για την Εφαρμογή Επεμβάσεων Ε&ΑΝ

Στο Βήμα 3 του προτεινόμενου μεθοδολογικού πλαισίου προσδιορίζονται οι πολιτικοί, οικονομικοί, κοινωνικοί, τεχνικοί, νομικοί και θεσμικοί παράγοντες που επηρεάζουν την εφαρμογή των επεμβάσεων Ε&ΑΝ, οι οποίες εντοπίστηκαν στο Βήμα 2. Οι παράγοντες αυτοί συνθέτουν το εξωτερικό περιβάλλον των προτεινόμενων επεμβάσεων Ε&ΑΝ, και μπορεί να λειτουργήσουν είτε ως εμπόδια είτε ως κίνητρα για την εφαρμογή τους. Η αναγνώριση των παραγόντων αυτών γίνεται στη βάση της Ανάλυσης PESTLE. Στη συνέχεια η πιθανή επιρροή των παραγόντων στην εφαρμογή των επεμβάσεων Ε&ΑΝ (αρνητική επίδραση: εμπόδιο / θετική επιρροή: κίνητρο) αξιολογείται από τους τοπικούς φορείς της υπό μελέτη περιοχής, μέσω κατάλληλα διαμορφωμένου ερωτηματολογίου.

3.5.1. Παράγοντες που Επηρεάζουν την Εφαρμογή Επεμβάσεων Ε&ΑΝ

Η ύπαρξη ευνοϊκού περιβάλλοντος για την εφαρμογή επεμβάσεων Ε&ΑΝ καθορίζεται από τους παράγοντες του εξωτερικού τους περιβάλλοντος, που είτε εμποδίζουν είτε ευνοούν την υλοποίηση των επεμβάσεων αυτών (Amjad et al., 2015).

Για την αναγνώριση των παραγόντων που συνθέτουν το εξωτερικό περιβάλλον των επεμβάσεων Ε&ΑΝ χρησιμοποιείται η ανάλυση PESTL, που αποτελεί συνήθη παραλλαγή της ανάλυσης PESTLE. Η ανάλυση PESTLE παρέχει ένα πλαίσιο για την ανάλυση του εξωτερικού περιβάλλοντος συστημάτων, στο οποίο οι παράγοντες που επηρεάζουν το υπό μελέτη σύστημα ομαδοποιούνται σε έξι κατηγορίες: πολιτικοί (Policy), οικονομικοί (Economic), κοινωνικοί (Social), τεχνικοί (Technical), νομικοί και θεσμικοί (Legal), και περιβαλλοντικοί (Environmental) παράγοντες. Το πλαίσιο αυτό έχει ευρεία εφαρμογή, καθώς τα υπό ανάλυση συστήματα μπορεί να είναι οργανισμοί και εταιρείες, προϊόντα ή υπηρεσίες, επιχειρηματικοί τομείς και οικονομικοί κλάδοι, συγκεκριμένες αγορές ή οικονομίες στο σύνολό τους (Srdjevic et al., 2012; Team FME, 2013).

Από τη διεξαγωγή της ανάλυσης PESTL για τις επεμβάσεις Ε&ΑΝ, εντοπίστηκαν 22 παράγοντες με πιθανή επιρροή (αρνητική ή θετική) στην εφαρμογή τους (5 πολιτικοί, 6 οικονομικοί, 3 τεχνικοί και 4 νομικοί και θεσμικοί παράγοντες). Η επιλογή των παραγόντων στηρίχτηκε στη σχετική βιβλιογραφία (Abu Madi et al., 2003; US EPA, 2004; Bixio et al., 2005; Bixio et al., 2006; Wade Miller 2006; Angelakis et al., 2007; Asano et al., 2007; MED WWR WG, 2007; General Electric Water & Process Technologies, 2008; Bahri, 2009; Bahri, 2012; NRDC, 2012; US EPA, 2012; BIO By Delloitte, 2015). Η περιβαλλοντική διάσταση του εξωτερικού περιβάλλοντος των επεμβάσεων Ε&ΑΝ δεν αναλύθηκε, καθώς έχει αναλυθεί ενδελεχώς στην εκτίμηση της τρωτότητας των υδατικών συστημάτων.

Οι πολιτικοί, οικονομικοί, κοινωνικοί, τεχνικοί, νομικοί και θεσμικοί παράγοντες που εντοπίστηκαν από την ανάλυση PESTL, καθώς και η πιθανή επιρροή τους στην εφαρμογή επεμβάσεων Ε&ΑΝ παρουσιάζονται στους Πίνακες 3.9 έως και 3.13.

Πίνακας 3.9: Οι πολιτικοί παράγοντες που μπορεί να επηρεάσουν την εφαρμογή επεμβάσεων Ε&ΑΝ

Πολιτικοί παράγοντες	
Περιγραφή	**Πιθανή επιρροή στην εφαρμογή Ε&ΑΝ**
Π1. Εθνικές / περιφερειακές πολιτικές σχετικά με τη διαχείριση των υδατικών πόρων	
Οι πολιτικές που αφορούν στην αειφορική χρήση και στην ορθολογική διαχείριση των υδατικών πόρων, π.χ.: • Μέτρα και στόχοι για την αποδοτική χρήση των υδατικών πόρων • Μειώσεις στις παρεχόμενες ποσότητες νερού (π.χ. σε περιόδους ξηρασίας) • Υποστήριξη της χρήσης εναλλακτικών υδατικών πόρων	Η ύπαρξη αυτών των πολιτικών επηρεάζει θετικά την εφαρμογή επεμβάσεων Ε&ΑΝ, ενώ η απουσία τους τη δυσχεραίνει, καθώς δεν παρέχονται κίνητρα για τη χρήση ανακτημένου νερού.
Π2. Εθνική ή περιφερειακή περιβαλλοντική πολιτική	
Η πολιτική που έχει στόχο τον περιορισμό της ρύπανσης των υδατικών πόρων, την προστασία των υδατικών οικοσυστημάτων, την προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή, κ.α., π.χ.: • Μέτρα και στόχοι για την ποιότητα και την ποσότητα των υδατικών σωμάτων • Κανονισμοί και απαιτήσεις σχετικά με τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα • Ποινές και κυρώσεις για παραβίαση ποιοτικών ορίων και επιβράβευση επίτευξης στόχων	Η ύπαρξη αυτών των πολιτικών επηρεάζει θετικά την εφαρμογή επεμβάσεων Ε&ΑΝ, ενώ η απουσία τους τη δυσχεραίνει, καθώς δεν παρέχονται κίνητρα για τη χρήση ανακτημένου νερού.
Π3. Πολιτικές χρήσης γης και χωροταξική στρατηγική	
Ο χωροταξικός σχεδιασμός που ρυθμίζει την πολεοδομική ανάπτυξη μίας περιοχής και την κατανομή και μελλοντική χρήση δημοσίων και ιδιωτικών εκτάσεων.	Η πολεοδομική ανάπτυξη επηρεάζει τόσο την τοποθεσία πιθανών εγκαταστάσεων επεξεργασίας ανακτημένου νερού, όσο και τη χρήση του ανακτημένου νερού, καθώς οι διάφορες χρήσεις γης έχουν διαφορετικές ποιοτικές και ποσοτικές υδατικές απαιτήσεις.
Π4. Διακρατικές ή διασυνοριακές συνθήκες και συμφωνίες	
Οι συμφωνίες σχετικά με τη χρήση νερού στην περίπτωση διασυνοριακών υδατικών σωμάτων, ή οι συνθήκες για την εισαγωγή υδατικών πόρων από γειτονικές περιοχές, λόγω περιορισμένων εγχώριων αποθεμάτων.	Ο καταμερισμός των υδατικών πόρων και η εξάρτηση από γειτονικές περιοχές μπορεί να προκαλέσει συγκρούσεις και να εμποδίσει την ανάπτυξη μίας περιοχής. Έτσι, ευνοείται η εφαρμογή επεμβάσεων Ε&ΑΝ οι οποίες βοηθούν στην αντιμετώπιση αυτών των ζητημάτων.

Πολιτικοί παράγοντες	
Περιγραφή	**Πιθανή επιρροή στην εφαρμογή Ε&ΑΝ**
Π5. Εμπορικές πολιτικές σχετικά με την εξαγωγή γεωργικών προϊόντων	
Οι εμπορικές συμφωνίες με άλλα κράτη για την εξαγωγή γεωργικών προϊόντων μπορεί να επηρεάσουν την εμπορευσιμότητα των καρπών που αρδεύονται με ανακτημένο νερό.	Οι εξαγωγές μπορεί να απαγορευτούν σε χώρες στις οποίες δεν επιτρέπεται η άρδευση με ανακτημένο νερό ή έχουν υιοθετηθεί πιο αυστηρά ποιοτικά όρια.

Πίνακας 3.10: Οι οικονομικοί παράγοντες που μπορεί να επηρεάσουν την εφαρμογή επεμβάσεων Ε&ΑΝ

Οικονομικοί παράγοντες	
Περιγραφή	**Πιθανή επιρροή στην εφαρμογή Ε&ΑΝ**
Ο1. Διαθεσιμότητα δημοσίων πόρων χρηματοδότησης έργων Ε&ΑΝ	
Τα άμεσα οικονομικά κίνητρα για επενδύσεις σε έργα Ε&ΑΝ, τα οποία προέρχονται από κρατικές πηγές χρηματοδότησης, όπως: • Μακροπρόθεσμα κρατικά ομόλογα • Φοροαπαλλαγές και επιδοτήσεις • Ανανεώσιμα κεφάλαια και χαμηλότοκα δάνεια	Η διαθεσιμότητα κρατικών πόρων μπορεί να διευκολύνει ή να δυσχεράνει σημαντικά (σε περίπτωση μειωμένης διαθεσιμότητας) την εφαρμογή επεμβάσεων Ε&ΑΝ.
Ο2. Έμμεσα οικονομικά κίνητρα	
Τα έμμεσα οικονομικά κίνητρα μπορεί να περιλαμβάνουν: • Αυξημένη φορολόγηση και τέλη για απολήψεις γλυκού νερού • Τέλη επεξεργασίας λυμάτων, ανάλογα με τα παραγόμενα υγρά απόβλητα κάθε χρήστη (π.χ. η αρχή «ο ρυπαίνων πληρώνει»)	Αν και τα μέτρα αυτά δεν χρηματοδοτούν άμεσα έργα Ε&ΑΝ, μπορούν να αποτελέσουν κίνητρο για την εφαρμογή τους, καθώς ενθαρρύνουν τη χρήση εναλλακτικών υδατικών πόρων και τις επενδύσεις σε αντίστοιχες τεχνολογίες.
Ο3. Σύστημα τιμολόγησης αρδευτικού νερού	
Ο4. Σύστημα τιμολόγησης νερού βιομηχανικής χρήσης	
Ο5. Σύστημα τιμολόγησης νερού για αστικές χρήσεις ***Ο5.1. Σύστημα τιμολόγησης για χρήση νερού σε δημόσιους αστικούς χώρους*** ***Ο5.2. Σύστημα τιμολόγησης για οικιακή χρήση νερού***	
Τα συστήματα τιμολόγησης νερού περιλαμβάνουν: α) Αρδευτικό νερό: δωρεάν παροχή, πολύ χαμηλή χρέωση, σταθερή χρέωση, χρέωση ανάλογα με την καλλιεργούμενη έκταση, κλιμακωτή τιμολόγηση ανάλογα με τον όγκο της κατανάλωσης β) Νερό για βιομηχανική χρήση: δωρεάν παροχή, πολύ χαμηλή χρέωση, σταθερή χρέωση, κλιμακωτή τιμολόγηση ανάλογα με τον όγκο της κατανάλωσης γ) Νερό για αστικές χρήσεις: δωρεάν παροχή, πολύ χαμηλή χρέωση, σταθερή χρέωση, κλιμακωτή τιμολόγηση ανάλογα με τον όγκο της κατανάλωσης.	Τα συστήματα τιμολόγησης νερού μπορεί είτε να προωθήσουν (στην περίπτωση κλιμακωτής τιμολόγησης), είτε να εμποδίσουν (στην περίπτωση που το νερό παρέχεται δωρεάν ή με σταθερή χρέωση) τη διατήρηση των διαθέσιμων αποθεμάτων, και κατ' επέκταση τη χρήση εναλλακτικών υδατικών πόρων.
Ο6. Λειτουργικά έξοδα γεωργικών εκμεταλλεύσεων	
Οι ενεργειακές δαπάνες για άντληση νερού, και το κόστος των λιπασμάτων μπορεί να συνεισφέρουν σημαντικά στα συνολικά λειτουργικά έξοδα της αγροτικής παραγωγής. Η χρήση ανακτημένου νερού μπορεί να μειώσει αυτές τις δαπάνες.	Τα υψηλά λειτουργικά έξοδα λόγω άντλησης νερού και εφαρμογής λιπασμάτων μπορεί να αποτελέσουν κίνητρο για τους αγρότες για τη χρήση ανακτημένου νερού.

Πίνακας 3.11: Οι κοινωνικοί παράγοντες που μπορεί να επηρεάσουν την εφαρμογή επεμβάσεων Ε&ΑΝ

Κοινωνικοί παράγοντες	
Περιγραφή	**Πιθανή επιρροή στην εφαρμογή Ε&ΑΝ**
Κ1. Ευαισθητοποίηση & ενημέρωση του κοινού σχετικά με τους περιορισμένους υδατικούς πόρους	
Το επίπεδο ευαισθητοποίησης και ενημέρωσης του κοινού σχετικά με την περιορισμένη διαθεσιμότητα και την υποβαθμισμένη ποιότητα των υδατικών πόρων, καθώς και με τις συνέπειες των προβλημάτων αυτών στην ποιότητα ζωής και στην οικονομική ανάπτυξη της περιοχής.	Αυξημένα επίπεδα ευαισθητοποίησης και ενημέρωσης του κοινού σχετικά με τα ζητήματα αυτά ευνοούν την αποδοχή και τη χρήση ανακτημένου νερού, καθώς το κοινό εκτιμά την αξία του και τα πιθανά του οφέλη.
Κ2. Ενημέρωση του κοινού σχετικά με την Ε&ΑΝ	
Το επίπεδο ενημέρωσης σχετικά με τις διεργασίες και τις τεχνολογίες επεξεργασίας του ανακτημένου νερού, τις διαφορετικές εφαρμογές Ε&ΑΝ και την πιθανή συνεισφορά του ανακτημένου νερού στην ενίσχυση των διαθέσιμων υδατικών πόρων, στην περιβαλλοντική προστασία, στην βελτίωση της ποιότητας ζωής και στην οικονομική ευημερία.	Αυξημένα επίπεδα ενημέρωσης του κοινού σχετικά με τις δυνατότητες και τα πιθανά οφέλη της Ε&ΑΝ βοηθούν στο να ξεπερνιούνται οι ανησυχίες σχετικά με τον κίνδυνο για τη δημόσια υγεία, να μειώνεται η αηδία, η αποστροφή και η άρνηση της χρήσης ανακτημένου νερού. Η έλλειψη πληροφόρησης μπορεί να μειώσει την κοινωνική αποδοχή έργων Ε&ΑΝ.
Κ3. Προθυμία για την κατανάλωση καρπών που αρδεύονται με ανακτημένο νερό	
Η προθυμία των πολιτών να αγοράσουν και να καταναλώσουν καρπούς που αρδεύονται με ανακτημένο νερό.	Οι αρνητικές κοινωνικές αντιλήψεις σχετικά με την κατανάλωση των καρπών που αρδεύονται με ανακτημένο νερό επηρεάζουν την εμπορευσιμότητα αυτών των προϊόντων και ενδέχεται να εμποδίσουν έργα επαναχρησιμοποίησης για άρδευση.
Κ4. Συμμετοχή διαφορετικών φορέων στις διαδικασίες λήψης αποφάσεων	
Η εμπλοκή διαφορετικών κοινωνικών ομάδων και φορέων (π.χ. αγρότες, εκπρόσωποι της βιομηχανίας, απλοί πολίτες, εκπρόσωποι περιβαλλοντικών οργανώσεων) στις διαδικασίες λήψης αποφάσεων σχετικά με ζητήματα διαχείρισης υδατικών πόρων.	Οι διαδικασίες λήψης αποφάσεων, στις οποίες εκπροσωπούνται και συμμετέχουν διαφορετικές κοινωνικές ομάδες και φορείς, είναι περισσότερο ικανές να στηρίξουν και να υλοποιήσουν επεμβάσεις Ε&ΑΝ.

Πίνακας 3.12: Οι τεχνικοί παράγοντες που μπορεί να επηρεάσουν την εφαρμογή επεμβάσεων Ε&ΑΝ

Τεχνικοί παράγοντες	
Περιγραφή	**Πιθανή επιρροή στην εφαρμογή Ε&ΑΝ**
Τ1. Τεχνογνωσία και εμπειρία για την επεξεργασία και παροχή του ανακτημένου νερού	
Τ1.1. Για άρδευση καρπών που προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση	
Τ1.2. Για άρδευση καρπών που δεν προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση	
Τ1.3. Για αστικές χρήσεις που επιτρέπεται η πρόσβαση και η επαφή του κοινού με το ανακτημένο νερό	
Τ1.4. Για αστικές χρήσεις που δεν επιτρέπεται η πρόσβαση και η επαφή του κοινού με το ανακτημένο νερό	
Τ1.5. Για βιομηχανικές χρήσεις	
Τ1.6. Για περιβαλλοντική προστασία και ενίσχυση υπηρεσιών οικοσυστήματος	
Το επίπεδο τεχνικών γνώσεων και διαχειριστικής ικανότητας των υπηρεσιών ύδρευσης και αποχέτευσης για την αξιόπιστη παραγωγή και διανομή του ανακτημένου νερού: • Εξειδικευμένο και άρτια εκπαιδευμένο προσωπικό για τη σωστή λειτουργία και συντήρηση των μονάδων επεξεργασίας. • Αποτελεσματικά προγράμματα παρακολούθησης, ελέγχου και συντήρησης των εγκαταστάσεων. • Εξοπλισμός και εγκαταστάσεις έκτακτης ανάγκης για την αποφυγή της διαταραχής της ορθής λειτουργίας των μονάδων επεξεργασίας, λόγω διακοπών ρεύματος, τεχνικών αστοχιών, πλημμύρας, διακυμάνσεων υδραυλικού ή ρυπαντικού φορτίου, κ.α.	Υψηλό επίπεδο τεχνικών γνώσεων και διαχειριστικής ικανότητας επηρεάζει θετικά την εφαρμογή επεμβάσεων Ε&ΑΝ, καθώς ενισχύει την κοινωνική αποδοχή του ανακτημένου νερού και ελαχιστοποιεί τους κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον. Αντιθέτως, στην περίπτωση περιορισμένης τεχνογνωσίας και απουσίας σχετικής εμπειρίας η εφαρμογή επεμβάσεων Ε&ΑΝ επηρεάζεται αρνητικά.
Τ2. Τεχνογνωσία και εμπειρία για τη χρήση του ανακτημένου νερού	
Τ2.1. Τεχνογνωσία και εμπειρία των αγροτών και των εργατών στα χωράφια	
Τ2.2. Τεχνογνωσία και εμπειρία των εργαζόμενων στις βιομηχανίες	
Τ2.3. Τεχνογνωσία και εμπειρία των πολιτών	
Η ικανότητα των πιθανών χρηστών (αγρότες, εργάτες, πολίτες) να χρησιμοποιούν το ανακτημένο νερό και να μεταχειρίζονται τον σχετικό εξοπλισμό με ασφάλεια. Η ύπαρξη ενώσεων χρηστών νερού (water user associations) ενισχύει την ασφαλή χρήση του ανακτημένου νερού, καθώς τα μέλη της έχουν καλύτερη πρόσβαση σε πληροφορίες και τεχνική υποστήριξη.	Η τεχνογνωσία και η εμπειρία των πιθανών χρηστών για την ασφαλή χρήση του ανακτημένου νερού ελαχιστοποιεί τους κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον, και ευνοεί την επιτυχή εφαρμογή επεμβάσεων Ε&ΑΝ.

Τεχνικοί παράγοντες	
Περιγραφή	**Πιθανή επιρροή στην εφαρμογή Ε&ΑΝ**
Τ3. Μέθοδος άρδευσης	
Η πιο διαδεδομένη και ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδος άρδευσης στην περιοχή: • Επιφανειακή άρδευση με βαρύτητα: κατάκλιση, περιορισμένη διάχυση, αυλάκια • Επιφανειακή άρδευση υπό πίεση: τεχνητή βροχή ή καταιονισμός, στάγδην επιφανειακή άρδευση, μικροεκτοξευτήρες • Υπόγεια άρδευση υπό πίεση: στάγδην υπόγεια άρδευση. Η μέθοδος άρδευσης επηρεάζει σημαντικά την έκθεση στο ανακτημένο νερό. Η ποιότητα του ανακτημένου νερού και το είδος των καρπών που αρδεύονται ορίζουν τη μέθοδο άρδευσης που πρέπει να χρησιμοποιείται. Γενικά, οι μέθοδοι στάγδην άρδευσης παρέχουν το μεγαλύτερο βαθμό ασφάλειας και προστασίας της ανθρώπινης υγείας, καθώς περιορίζεται στο ελάχιστο η ανθρώπινη έκθεση στο ανακτημένο νερό, και δεν συνοδεύονται από ειδικά μέτρα ασφαλείας. Αντιθέτως, η χρήση επιφανειακών μεθόδων άρδευσης συνοδεύεται από πολλούς περιορισμούς σχετικά με την απαιτούμενη ποιότητα του ανακτημένου νερού και το είδος της προς άρδευση καλλιέργειας.	Αν η πιο διαδεδομένη και ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδος άρδευσης στην περιοχή είναι η στάγδην άρδευση, η άρδευση με ανακτημένο νερό μπορεί να εφαρμοστεί πιο εύκολα. Διαφορετικά, μπορεί να απαιτείται η υιοθέτηση μέτρων ασφαλείας ή ακόμα και η αλλαγή της υπάρχουσας μεθόδου άρδευσης, γεγονός που μπορεί να εμποδίσει την εφαρμογή γεωργικών επεμβάσεων Ε&ΑΝ.

Πίνακας 3.13: Οι νομικοί παράγοντες που μπορεί να επηρεάσουν την εφαρμογή επεμβάσεων Ε&ΑΝ

Νομικοί και θεσμικοί παράγοντες	
Περιγραφή	**Πιθανή επιρροή στην εφαρμογή Ε&ΑΝ**
Ν1. Ιδιοκτησία ανακτημένου νερού – Άδειες και δικαιώματα χρήσης νερού	
Το σύστημα αδειών και δικαιωμάτων χρήσης νερού (water rights), το οποίο ορίζει και την ιδιοκτησία του ανακτημένου νερού, δηλαδή τα δικαιώματα χρήσης και πώλησής του.	Το σύστημα αδειών και δικαιωμάτων χρήσης νερού μπορεί να ενθαρρύνει ή να εμποδίσει σημαντικά την εφαρμογή επεμβάσεων Ε&ΑΝ, ανάλογα με το πόσο ξεκάθαρα οριοθετείται η ιδιοκτησία του ανακτημένου νερού. Συγκρούσεις σχετικά με τα δικαιώματα χρήσης και πώλησης του ανακτημένου νερού μεταξύ των παραγωγών των υγρών αποβλήτων, των χρηστών και των προμηθευτών πόσιμου νερού, μπορούν να αποτρέψουν την εφαρμογή επεμβάσεων Ε&ΑΝ.
Ν2. Κανονιστικό πλαίσιο για Ε&ΑΝ	
Το υπάρχον κανονιστικό πλαίσιο που περιλαμβάνει κανονισμούς και οδηγίες, οι οποίες προσδιορίζουν τα απαιτούμενα ποιοτικά όρια για κάθε τύπο Ε&ΑΝ, τις τεχνολογίες επεξεργασίας και τα μέτρα διασφάλισης της ανθρώπινης υγείας και της περιβαλλοντικής προστασίας.	Η ύπαρξη κανονισμών και οδηγιών για Ε&ΑΝ επηρεάζει θετικά την εφαρμογή επεμβάσεων Ε&ΑΝ, ενώ η απουσία τους τη δυσχεραίνει.
Ν3. Εφαρμογή κανονισμών και νομοθεσίας	
Ύπαρξη θεσμικών οργάνων και μηχανισμών που ορίζουν ποινές και συλλέγουν τα πρόστιμα σε περίπτωση παραβίασης των κανονισμών και της νομοθεσίας.	Η ύπαρξη θεσμικών οργάνων και κανονισμών για την εφαρμογή της νομοθεσίας ευνοεί την εφαρμογή επεμβάσεων Ε&ΑΝ, καθώς υπάρχει εμπιστοσύνη στις αρμόδιες υπηρεσίες για την ορθή επεξεργασία των υγρών αποβλήτων και την τήρηση των ποιοτικών ορίων και των κανονισμών.
Ν4. Οριοθέτηση αρμοδιοτήτων μεταξύ των εμπλεκόμενων φορέων	
Το επίπεδο στο οποίο κατακερματίζονται και αλληλεπικαλύπτονται οι αρμοδιότητες και οι ρόλοι μεταξύ των εμπλεκόμενων φορέων σε θέματα διαχείρισης υδατικών πόρων (π.χ. υπηρεσίες και αρχές που προσφέρουν, διαχειρίζονται και ρυθμίζουν την ποιότητα του νερού, την παροχή υπηρεσιών ύδρευσης και αποχέτευσης, την τιμολόγηση του νερού, κ.α.).	Σαφώς καθορισμένοι ρόλοι και αρμοδιότητες μεταξύ των εμπλεκόμενων φορέων διευκολύνουν την εφαρμογή επεμβάσεων Ε&ΑΝ. Σε περίπτωση αντικρουόμενων δικαιοδοσιών και έλλειψης συνεργασίας μεταξύ των εμπλεκόμενων φορέων, η υλοποίηση σχετικών επεμβάσεων ενδέχεται να παρεμποδιστεί.

Από τους 22 παράγοντες που εντοπίστηκαν συνολικά, ορισμένοι αντιστοιχούν μόνο σε έναν από τους πέντε τύπους επεμβάσεων Ε&ΑΝ που ορίστηκαν στο Βήμα 2, ενώ άλλοι αφορούν την Ε&ΑΝ γενικότερα και θεωρούνται σχετικοί με όλους τους πιθανούς τύπους επεμβάσεων. Η συσχέτιση μεταξύ παραγόντων επιρροής και τύπων επεμβάσεων Ε&ΑΝ παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.14.

Πίνακας 3.14: Συσχέτιση παραγόντων επιρροής και τύπων επεμβάσεων Ε&ΑΝ

Τύπος Επέμβασης Ε&ΑΝ	**Σχετικοί παράγοντες**
Τύπος #1: Άρδευση	• Π1, Π2, Π3, Π4, Π5 • Ο1, Ο2, Ο3, Ο6 • Κ1, Κ2, Κ3, Κ4 • Τ1.1, Τ1.2, Τ2.1, Τ3 • Ν1, Ν2, Ν3, Ν4
Τύπος #2: Αστικές και περιαστικές χρήσεις	• Π1, Π2, Π3, Π4 • Ο1, Ο2, Ο5.1, Ο5.2 • Κ1, Κ2, Κ4 • Τ1.3, Τ1.4, Τ2.3 • Ν1, Ν2, Ν3, Ν4
Τύπος #3: Βιομηχανικές χρήσεις	• Π1, Π2, Π3, Π4 • Ο1, Ο2, Ο4 • Κ1, Κ2, Κ4 • Τ1.5, Τ2.2 • Ν1, Ν2, Ν3, Ν4
Τύπος #4: Περιβαλλοντική προστασία & ενίσχυση υπηρεσιών οικοσυστήματος	• Π1, Π2, Π3, Π4 • Ο1, Ο2 • Κ1, Κ2, Κ4 • Τ1.6 • Ν1, Ν2, Ν3, Ν4
Τύπος #5: Σύνθετα σχήματα για πολλαπλές χρήσεις	Συνδυασμός των αντίστοιχων παραγόντων

3.5.2. Αξιολόγηση Επιρροής Παραγόντων

Η επιρροή των 22 παραγόντων που εντοπίστηκαν αξιολογείται και οι παράγοντες χαρακτηρίζονται ως εμπόδια ή κίνητρα για την εφαρμογή των προτεινόμενων επεμβάσεων Ε&ΑΝ. Η αξιολόγηση αυτή γίνεται μέσα από την αλληλεπίδραση, τη διαβούλευση και την ενεργή συμμετοχή των τοπικών φορέων της υπό μελέτη περιοχής, ώστε να εντοπιστούν τα εμπόδια και τα κίνητρα για την εφαρμογή Ε&ΑΝ σε τοπικό επίπεδο.

Για την αξιολόγηση αυτή διαμορφώθηκε το διαδικτυακό ερωτηματολόγιο PESTL (το οποίο παρατίθεται στο Παράρτημα ΙΙΙ), μέσω του οποίου αποτυπώνονται οι απόψεις των τοπικών φορέων και των ενδιαφερόμενων μερών σχετικά με:

- Το είδος της επιρροής που έχει ο κάθε παράγοντας στην εφαρμογή επεμβάσεων Ε&ΑΝ (θετική ή αρνητική)
- Τη σημασία της επιρροής αυτής (μικρή / μέτρια / μεγάλη)
- Προτάσεις για να ξεπεραστεί η αρνητική επιρροή των παραγόντων.

Οι εκπρόσωποι των τοπικών φορέων που συμπληρώνουν το ερωτηματολόγιο κατηγοριοποιούνται σε επτά διαφορετικές ομάδες, ανάλογα με το επαγγελματικό και ακαδημαϊκό τους υπόβαθρο, ώστε να εντοπιστούν διαφορές στις απόψεις ανάλογα με την κατάρτιση, τις γνώσεις, τα ενδιαφέροντα και την εμπειρία τους. Οι επτά ομάδες τοπικών φορέων προέκυψαν κατόπιν ανάλυσης στις περιοχές μελέτης του ερευνητικού Ευρωπαϊκού έργου COROADO για την αναγνώριση των άμεσα ενδιαφερόμενων και επηρεαζόμενων ομάδων από επεμβάσεις Ε&ΑΝ (Karavitis et al., 2011; Porto et al., 2012; Assimacopoulos et al., 2014). Τουλάχιστον δύο εκπρόσωποι από τις παρακάτω ομάδες τοπικών φορέων (τουλάχιστον 14 άτομα συνολικά) πρέπει να συμμετέχουν στην έρευνα ερωτηματολογίων, ώστε τα αποτελέσματά της να θεωρηθούν αντιπροσωπευτικά της υφιστάμενης τοπικής κατάστασης:

1. Εκπρόσωποι των εταιρειών ύδρευσης ή/και αποχέτευσης
2. Εκπρόσωποι της κυβέρνησης, της τοπικής αυτοδιοίκησης και των αρχών διαχείρισης υδατικών πόρων
3. Εκπρόσωποι της βιομηχανίας
4. Αγρότες
5. Απλοί πολίτες
6. Περιβαλλοντικές – μη κερδοσκοπικές οργανώσεις
7. Επιστήμονες, εμπειρογνώμονες και ερευνητές σε θέματα διαχείρισης υδατικών πόρων

Κατά την ανάλυση των αποτελεσμάτων του ερωτηματολογίου, ανάλογα με τον τύπο της προτεινόμενης επέμβασης Ε&ΑΝ αποδίδεται διαφορετική βαρύτητα στις απαντήσεις κάθε ομάδας, για να ληφθεί υπόψη ο διαφορετικός βαθμός συσχέτισης της κάθε ομάδας με τους διάφορους τύπους πιθανών επεμβάσεων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η επιρροή συγκεκριμένων παραγόντων να διαφέρει ανάλογα με τον τύπο της προτεινόμενης επέμβασης Ε&ΑΝ.

Επιπλέον, μπορούν να προταθούν πιο εξειδικευμένοι τοπικοί παράγοντες που θεωρείται ότι ενδέχεται να αποτελέσουν κίνητρα ή εμπόδια, ενώ οι απαντήσεις σε ερωτήματα ανοιχτού τύπου κατηγοριοποιούνται και αναλύονται για εντοπισμό μοτίβων ομοιοτήτων και διαφορών.

Το διαδικτυακό ερωτηματολόγιο PESTL που αναπτύχθηκε συνοδεύεται από λεξικό όρων, στο οποίο παρατίθενται οι ορισμοί των όρων και των εννοιών που χρησιμοποιούνται, και από βέλτιστες πρακτικές, επεξηγήσεις και παραδείγματα για τη διευκόλυνση της συμπλήρωσής του.

Το διαδικτυακό ερωτηματολόγιο PESTL υλοποιήθηκε από την ομάδα EEMRU του ΕΜΠ χρησιμοποιώντας το ανοιχτό λογισμικό LimeSurvey (LimeSurvey GmbH, 2016: https://www.limesurvey.org/; GNU – General Public License) και είναι διαθέσιμο στον ιστότοπο: http://environ.chemeng.ntua.gr/CoroadoSurvey/. Στιγμιότυπα οθόνης του διαδικτυακού ερωτηματολογίου PESTL παρουσιάζονται στην Εικόνα 3.7.

Εικόνα 3.7: Στιγμιότυπα οθόνης του διαδικτυακού PESTL ερωτηματολογίου

3.6. ΒΗΜΑ 4: Προσδιορισμός Προτεραιοτήτων Επέμβασης

Τα πολιτικά, οικονομικά, κοινωνικά, τεχνικά, νομικά και θεσμικά εμπόδια που εντοπίστηκαν στο Βήμα 3 του προτεινόμενου μεθοδολογικού πλαισίου, αναλύονται στο βήμα αυτό, και αναγνωρίζονται τα πιο σημαντικά, δηλαδή εκείνα τα οποία δυσχεραίνουν περισσότερο την εφαρμογή των επεμβάσεων Ε&ΑΝ. Η αλλαγή των συγκεκριμένων εμποδίων σε κίνητρα αναμένεται να έχει πολύ σημαντική θετική επιρροή στο υπό μελέτη σύστημα, διαμορφώνοντας συνθήκες ευνοϊκού περιβάλλοντος για την προώθηση επεμβάσεων Ε&ΑΝ. Από την Ανάλυση των Αλληλεξαρτήσεων (Cross-Impact Analysis - CIA) των εμποδίων και τον προσδιορισμό του συστημικού τους ρόλου (Ανάλυση Συστήματος - System Analysis), εντοπίζονται τα σημαντικά εμπόδια και κατ' επέκταση οι απαιτούμενες προτεραιότητες επέμβασης σε τοπικό επίπεδο. Στη βάση αυτών των προτεραιοτήτων επέμβασης, προτείνονται υποστηρικτικά μέτρα και ενέργειες για την ανάπτυξη ευνοϊκού περιβάλλοντος και την προώθηση της εφαρμογή των επεμβάσεων Ε&ΑΝ.

Η μέθοδος που υιοθετήθηκε για τον εντοπισμό των σημαντικών εμποδίων στην εφαρμογή επεμβάσεων Ε&ΑΝ, ακολουθεί την προσέγγιση που αναπτύχθηκε από τον Frederic Vester (Vester, 1988), η οποία στοχεύει στην κατανόηση της δυναμικής συμπεριφοράς και εξέλιξης σύνθετων συστημάτων, μέσα από την ανάλυση της δομής, των κανόνων, και των μηχανισμών που διέπουν τα συστήματα αυτά. Η προσέγγιση αυτή, εμπνευσμένη από τη μοριακή βιολογία και τα οικοσυστήματα, δεν εξετάζει μεμονωμένα τους παράγοντες που συνθέτουν ένα σύστημα, αλλά επικεντρώνεται στις αλληλεπιδράσεις μεταξύ τους, αναγνωρίζοντας μοτίβα συμπεριφοράς. Μέσα από την ανάλυση της αλληλεπίδρασης των παραγόντων, εντοπίζεται ο συστημικός τους ρόλος, δηλαδή η επίδραση του κάθε παράγοντα, λόγω των αλληλεπιδράσεων του με τους άλλους, στην τελική κατάσταση του συστήματος. Σύμφωνα με τον Vester, οι παράγοντες, ανάλογα με το συστημικό τους ρόλο, κατηγοριοποιούνται ως εξής:

- Παράγοντες που *έχουν σημαντική επιρροή* στους υπόλοιπους
- Παράγοντες που *επηρεάζονται σημαντικά* από τους υπόλοιπους
- Παράγοντες που *έχουν σημαντική επιρροή και επηρεάζονται σημαντικά* από τους υπόλοιπους
- Παράγοντες που *ούτε έχουν σημαντική επιρροή ούτε επηρεάζονται σημαντικά* από τους υπόλοιπους.

Η μέθοδος αυτή, όπως διαμορφώθηκε στα πλαίσια της παρούσας Διατριβής, περιγράφεται στις επόμενες ενότητες.

3.6.1. Αξιολόγηση Αλληλεξαρτήσεων μεταξύ Εμποδίων

Οι αλληλεξαρτήσεις και η αμοιβαία επιρροή μεταξύ των εμποδίων που εντοπίστηκαν στο Βήμα 3, αξιολογούνται μέσω της CIA, η οποία παρέχει ένα πλαίσιο για τον εντοπισμό των αλληλεξαρτήσεων μεταξύ των παραγόντων που συνθέτουν σύνθετα συστήματα (Gordon & Hayward, 1968).

Για την εκτέλεση της CIA κατασκευάζεται ο πίνακας αλληλεξαρτήσεων (Cross-Impact Matrix - CIM). Τα εμπόδια που εντοπίστηκαν τοποθετούνται με την ίδια σειρά στις γραμμές και στις στήλες του πίνακα. Ο CIM περιλαμβάνει τις σχέσεις αιτίας-αποτελέσματος για κάθε ζεύγος εμποδίων. Για τη συμπλήρωση του CIM, αξιολογείται η επιρροή κάθε εμποδίου που βρίσκεται στις γραμμές του πίνακα (εμπόδιο i) πάνω σε κάθε εμπόδιο που βρίσκεται στις στήλες του πίνακα (εμπόδιο j) μέσα από την ακόλουθη ερώτηση:

«Εάν το εμπόδιο i μετατραπεί σε κίνητρο για την εφαρμογή της επέμβασης E&AN, πώς θα επηρεαστεί από τη μετατροπή αυτή το εμπόδιο j;»

Οι απαντήσεις στην ερώτηση αυτή ποσοτικοποιούνται και αποδίδεται τιμή στην αλληλεξάρτηση των δύο εμποδίων, ως εξής:

- Ο: Καμία μετατροπή / βελτίωση στο εμπόδιο j
- 1: Μικρή / ελαφρά βελτίωση στο εμπόδιο j
- 2: Σημαντική βελτίωση στο εμπόδιο j
- 3: Πολύ σημαντική βελτίωση, το εμπόδιο j μετατρέπεται σε κίνητρο

Οι εκπρόσωποι των τοπικών φορέων της υπό μελέτης περιοχής αποδίδουν τιμές στην αλληλεξάρτηση κάθε ζεύγους εμποδίων, και συμπληρώνουν τον CIM. Ένα παράδειγμα συμπληρωμένου CIM δίνεται στην Εικόνα 3.8.

Επιρροή στο του	E 1	E 2	E 3	E 4
E 1		3	3	1
E 2	0		3	2
E 3	1	1		2
E 4	3	3	1	

Εικόνα 3.8: Παράδειγμα CIM. Κάθε κελί εκφράζει την επιρροή του εμποδίου της γραμμής (E i) στο εμπόδιο της στήλης (E j)

3.6.2. Ανάλυση Αλληλεξαρτήσεων & Προσδιορισμός Συστημικού Ρόλου Εμποδίων

Για κάθε ένα από τα εμπόδια του CIM υπολογίζονται δύο ακόμα τιμές, το ενεργητικό άθροισμα (active sum – AS) και το παθητικό άθροισμα (passive sum - PS). Το AS είναι το άθροισμα των τιμών των αλληλεξαρτήσεων κατά μήκος μίας σειράς του CIM, και εκφράζει τη συνολική επιρροή του εμποδίου, που αντιστοιχεί στη σειρά αυτή, σε όλα τα υπόλοιπα εμπόδια. Το PS είναι το άθροισμα των τιμών των αλληλεξαρτήσεων κατά μήκος μίας στήλης του CIM, και εκφράζει τη συνολική επιρροή όλων των υπόλοιπων εμποδίων στο εμπόδιο που αντιστοιχεί στη στήλη αυτή (Εικόνα 3.9).

Επιρροή στο του	Ε 1	Ε 2	Ε 3	Ε 4	Ενεργητικό άθροισμα (AS)
Ε 1		3	3	1	7
Ε 2	0		3	2	5
Ε 3	1	1		2	4
Ε 4	3	3	1		7
Παθητικό άθροισμα (PS)	4	7	7	5	

Εικόνα 3.9: Τα ενεργητικά (AS) και παθητικά (PS) αθροίσματα των εμποδίων

Τα AS και PS χρησιμοποιούνται για να προσδιοριστεί ο συστημικός ρόλος των εμποδίων. Για κάθε εμπόδιο υπολογίζεται το γινόμενο P (P = AS x PS) και το πηλίκο Q (Q = AS/PS) του ενεργητικού και του παθητικού του αθροίσματος. Τα εμπόδια στη συνέχεια κατηγοριοποιούνται στη βάση των P και Q, ως εξής (Gausemeier et al., 1996; Linss & Fried, 2010; Vester, 1991; Wolff et al., 2009):

- ***Ενεργητικά εμπόδια (active barriers):*** Τα εμπόδια αυτά έχουν υψηλές τιμές Q (τιμές Q μεγαλύτερες του 1.30). Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή Q τόσο πιο ισχυρή είναι η επιρροή του αντίστοιχου εμποδίου στο σύστημα. Τα εμπόδια αυτής της κατηγορίας έχουν έντονη επιρροή στα υπόλοιπα εμπόδια του συστήματος, αλλά δεν επηρεάζονται το ίδιο έντονα από αυτά. Αυτά τα εμπόδια συμβάλλουν αποτελεσματικά στη ρύθμιση του συστήματος, καθώς πιθανές μετατροπές σε αυτά επηρεάζουν καταλυτικά το σύστημα.
- ***Παθητικά εμπόδια (reactive barriers):*** Τα εμπόδια αυτά έχουν χαμηλές τιμές Q (τιμές Q μικρότερες του 0.75). Τα εμπόδια αυτής της κατηγορίας επηρεάζονται έντονα από τα υπόλοιπα εμπόδια του συστήματος, αλλά δεν ασκούν σημαντική επιρροή σε αυτά. Αυτά τα εμπόδια δεν συμβάλλουν στη ρύθμιση του συστήματος, και μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο ως δείκτες για την παρακολούθηση της κατάστασης του.

- ***Κρίσιμα εμπόδια (critical barriers):*** Τα εμπόδια αυτά έχουν υψηλές τιμές P (τιμές P μεγαλύτερες από 1.3×(μέση τιμή των AS)^2). Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή P τόσο πιο ενσωματωμένο είναι το εμπόδιο μέσα στο σύστημα. Τα εμπόδια αυτής της κατηγορίας έχουν έντονη επιρροή στα υπόλοιπα εμπόδια του συστήματος, αλλά επηρεάζονται και το ίδιο έντονα από αυτά. Αυτά τα εμπόδια δεν ελέγχονται εύκολα, καθώς επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από τις αλληλεξαρτήσεις των υπόλοιπων εμποδίων, και πιθανές μετατροπές σε αυτά ενδέχεται να διαταράξουν την ισορροπία του συστήματος.
- ***Αδρανή εμπόδια (buffering barriers):*** Τα εμπόδια αυτά έχουν χαμηλές τιμές P (μικρότερες από 0.75×(μέση τιμή των PS)^2), και είναι το ακριβώς αντίθετο των κρίσιμων, δηλαδή δεν είναι ενσωματωμένα στο σύστημα. Τα εμπόδια αυτής της κατηγορίας δεν επηρεάζονται από τα υπόλοιπα εμπόδια του συστήματος, ούτε έχουν επιρροή σε αυτά. Παραμένουν αδρανή στις μεταβολές του συστήματος και πρέπει να εξετάζονται ξεχωριστά από αυτό.

Η κατηγοριοποίηση των εμποδίων, στη βάση των τιμών Q και P γίνεται, σύμφωνα με τον Πίνακα 3.15 (Vester, 1991). Τα εμπόδια των οποίων οι τιμές Q και P βρίσκονται στα διαστήματα 0.76-1.30 και 0.81-1.20×(n-1)^2 αντίστοιχα, θεωρούνται **ουδέτερα εμπόδια** και δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν ούτε για τη ρύθμιση, ούτε για την παρακολούθηση του συστήματος.

*Πίνακας 3.15: Προσδιορισμός συστημικού ρόλου εμποδίων στη βάση των τιμών Q και P**

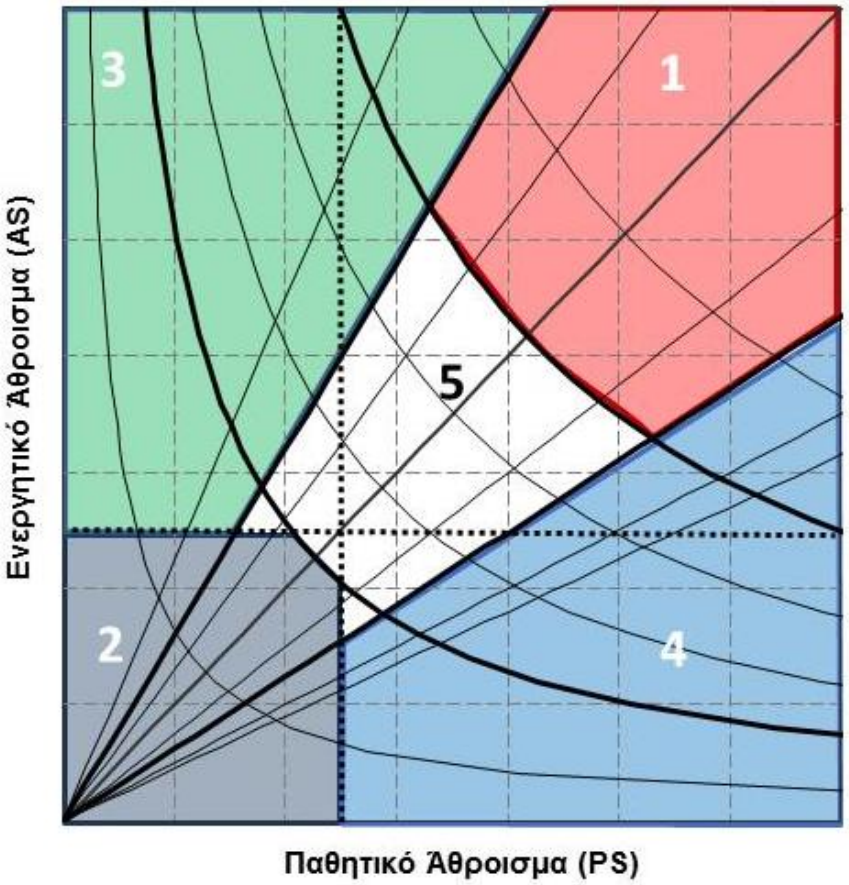
Συστημικός ρόλος	Τιμή Q	Συστημικός ρόλος	Τιμή P
Εξαιρετικά ενεργητικά	>2.25	Εξαιρετικά κρίσιμα	>2.50×(n-1)^2
Ενεργητικά	1.61-2.25	Κρίσιμα	1.71-2.50×(n-1)^2
Μετρίως ενεργητικά	1.31-1.60	Μετρίως κρίσιμα	1.21-1.70×(n-1)^2
Ουδέτερα	0.76-1.30	Ουδέτερα	0.81-1.20×(n-1)^2
Μετρίως παθητικά	0.63-0.75	Μετρίως αδρανή	0.51-0.80×(n-1)^2
Παθητικά	0.45-0.62	Αδρανή	0.16-0.50×(n-1)^2
Απολύτως παθητικά	<0.45	Απολύτως αδρανή	<0.16×(n-1)^2
Ουδέτερη γραμμή	1.00	Ουδέτερη γραμμή	(n-1)^2

*n: ο αριθμός των εμποδίων

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 3.15, ο βαθμός της επιρροής ενός εμποδίου στα υπόλοιπα εξαρτάται μόνο από τα AS και PS, ενώ ο βαθμός στον οποίο το εμπόδιο είναι ενσωματωμένο στο σύστημα εξαρτάται και από το σύνολο των εμποδίων του συστήματος.

Στη βάση των AS, PS, Q και P κατασκευάζεται το πλέγμα αλληλεξαρτήσεων (Cross-Impact Grid), στο οποίο απεικονίζεται ο συστημικός ρόλος των εμποδίων. Το πλέγμα αλληλεξαρτήσεων είναι ένα διάγραμμα δύο διαστάσεων (άξονες: AS και PS), στο οποίο η θέση κάθε εμποδίου εκφράζει το συστημικό του ρόλο. Το πλέγμα αποτελείται από ένα σύνολο ευθειών και υπερβολών, οι οποίες το χωρίζουν σε διαφορετικά πεδία / περιοχές, καθεμία από τις οποίες εκφράζει διαφορετικό βαθμό επιρροής και ενσωμάτωσης στο σύστημα (Vester, 1991; Gausemeier et al., 1996; Wolff et al., 2009).

Στην παρούσα Διατριβή, το πλέγμα αλληλεξαρτήσεων χωρίζεται σε πέντε πεδία, που εκφράζουν τους διαφορετικούς συστημικούς ρόλους των εμποδίων, ακολουθώντας την προσέγγιση του Gausemeier et al., 1996. Ο διαχωρισμός του πλέγματος στα επιμέρους πεδία γίνεται χρησιμοποιώντας την οριζόντια ευθεία y = μέση τιμή των AS, την κατακόρυφη ευθεία x = μέση τιμή των PS, τις ευθείες y/x =1.30 και y/x = 0.75, και τις υπερβολές x×y = 1.3×(μέση τιμή των AS)^2 και x×y = 0.75×(μέση τιμή των PS)^2 (Εικόνα 3.10). Το πεδίο 1 περιέχει τα κρίσιμα εμπόδια, των οποίων τα AS και PS είναι μεγαλύτερα από τις αντίστοιχες μέσες τιμές, οι τιμές των Q κυμαίνονται μεταξύ 0.75 και 1.30, και οι τιμές των P είναι μεγαλύτερες από 1.3×(μέση τιμή των AS)^2. Στο πεδίο 2 βρίσκονται τα αδρανή εμπόδια, των οποίων τα AS και PS είναι μικρότερα από τις αντίστοιχες μέσες τιμές, και οι τιμές των P είναι μικρότερες από 0.75×(μέση τιμή των PS)^2. Το πεδίο 3 είναι το πεδίο των ενεργητικών εμποδίων, τα οποία έχουν AS μεγαλύτερα από τη μέση τιμή των AS, και τιμές Q ≥ 1.30. Στο πεδίο 4 βρίσκονται τα παθητικά εμπόδια, τα οποία έχουν PS μεγαλύτερα από τη μέση τιμή των PS, και τιμές Q ≤ 0.75. Το πεδίο 5 αποτελεί τη μεταβατική ζώνη, στην οποία βρίσκονται τα ουδέτερα εμπόδια (neutral barriers).



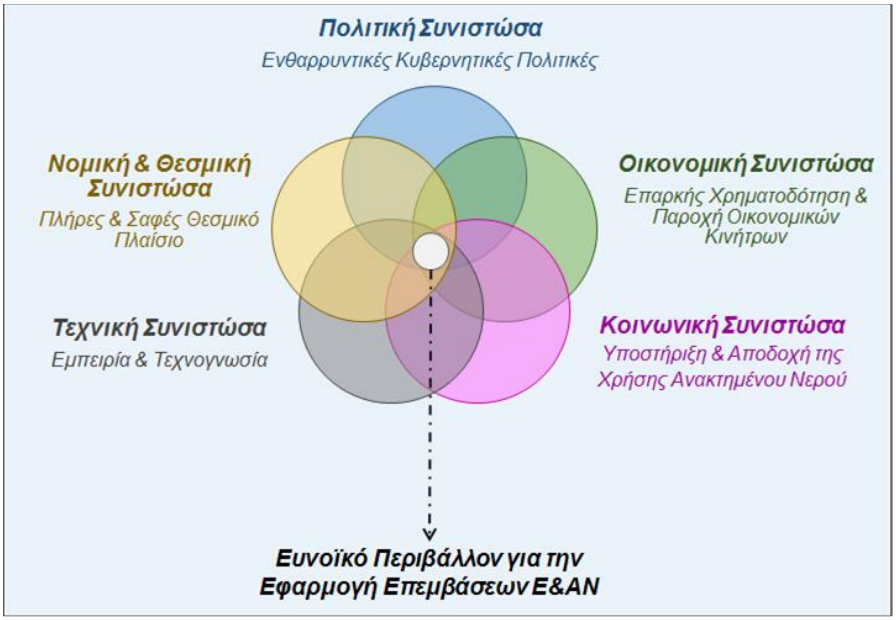
Εικόνα 3.10: Το πλέγμα αλληλεξαρτήσεων (Cross-Impact Grid) και τα πέντε πεδία του (Προσαρμογή από Gausemeier et al., 1996)

Τα **σημαντικά εμπόδια**, στα οποία πρέπει να δοθεί προτεραιότητα κατά τη διαμόρφωση πολιτικών με στόχο την ανάπτυξη ευνοϊκού περιβάλλοντος για την εφαρμογή των επεμβάσεων Ε&ΑΝ, είναι τα **ενεργητικά εμπόδια**, τα οποία αναμένεται να έχουν τη μεγαλύτερη θετική επιρροή στο σύστημα, και τα **αδρανή εμπόδια**, τα οποία δεν μπορούν να επηρεαστούν και να μετατραπούν σε κίνητρα με άλλο τρόπο.

3.6.3. Υποστηρικτικά Μέτρα για την Ανάπτυξη Ευνοϊκού Περιβάλλοντος

Έχοντας πλέον εντοπίσει τα σημαντικά εμπόδια, τα οποία δυσχεραίνουν την εφαρμογή των επεμβάσεων Ε&ΑΝ, έχουν αναγνωριστεί οι παράγοντες στους οποίους πρέπει να δοθεί προτεραιότητα για να επιτευχθεί η επιτυχής ένταξη των συστημάτων Ε&ΑΝ στα υφιστάμενα πλαίσια διαχείρισης υδατικών πόρων. Η αλλαγή αυτών των παραγόντων από εμπόδια σε κίνητρα δημιουργεί ευνοϊκό περιβάλλον για την εφαρμογή των επεμβάσεων Ε&ΑΝ.

Στην παρούσα ανάλυση (όπως περιγράφεται και στο Κεφάλαιο 2), το ευνοϊκό περιβάλλον για την εφαρμογή επεμβάσεων Ε&ΑΝ θεωρείται ότι αποτελείται από πέντε συνιστώσες, την πολιτική, την οικονομική, την κοινωνική, την τεχνική, τη νομική - θεσμική, οι οποίες περιλαμβάνουν τους αντίστοιχους παράγοντες που πρέπει να είναι σε ισχύ, ώστε να επιτευχθεί η επιτυχής πραγματοποίηση των επεμβάσεων Ε&ΑΝ και η χρήση του ανακτημένου νερού (Εικόνα 3.11).



Εικόνα 3.11: Οι πέντε συνιστώσες του ευνοϊκού περιβάλλοντος (Adapted from Lüthi et al., 2011)

Οι πολιτικοί, οικονομικοί, κοινωνικοί, τεχνικοί, νομικοί και θεσμικοί παράγοντες και οι αντίστοιχες συνθήκες που πρέπει να ισχύουν για την ύπαρξη ευνοϊκού περιβάλλοντος, ώστε να προωθείται

η εφαρμογή των επεμβάσεων E&AN, όπως αναγνωρίστηκαν από τη βιβλιογραφία (Baumann 1983; Blumenthal et al., 2000; Lawrence et al., 2002; Abu Madi et al., 2003; EPA Victoria, 2003; US EPA, 2004; Bixio et al., 2005; UNEP, 2005a & 2005b; Bixio et al., 2006a & 2006b; Wade Miller 2006; Toze, 2006; World Bank, 2006; UNDP, 2006; Angelakis et al., 2007; Asano et al., 2007; MED WWR WG, 2007; Qadir et al., 2007; Bakopoulou et al., 2008; General Electric Water & Process Technologies, 2008 & 2011; Bahri, 2009 & 2012; UN-Habitat, 2009; Condarin et al., 2010; Parsons et al., 2010; US Department of Agriculture Economic Research Service, 2010; Krpan, 2011; Lüthi et al., 2011; Condom et al., 2012; NRDC, 2012; US EPA, 2012; Chellaney, 2013; UNW-DPC, 2013; Sanz & Gawlik, 2014; BIO By Delloitte, 2015; Freedman & Enssle, 2015), παρουσιάζονται στους Πίνακες 3.16-3.20. Οι παράγοντες αυτοί είναι σε αντιστοιχία με τους παράγοντες του Βήματος 3. Κάθε παράγοντας συνοδεύεται από τα αντίστοιχα υποστηρικτικά μέτρα, για την επίτευξη των συνθηκών που περιγράφει, δηλαδή για την ανάπτυξη ενθαρρυντικών πολιτικών, την παροχή οικονομικών κινήτρων, την ενίσχυση της κοινωνικής αποδοχής, τη βελτίωση του επιπέδου τεχνικής κατάρτισης και τη διαμόρφωση κατάλληλου νομικού και θεσμικού πλαισίου. Έτσι, για κάθε εμπόδιο που εντοπίστηκε στο Βήμα 3 του μεθοδολογικού πλαισίου, προτείνονται τα κατάλληλα υποστηρικτικά μέτρα, ώστε αυτό να ξεπεραστεί και να αποτελεί πλέον κίνητρο.

Πίνακας 3.16: Πολιτικοί παράγοντες & υποστηρικτικά μέτρα για την ανάπτυξη ευνοϊκού περιβάλλοντος

Πολιτικοί παράγοντες & υποστηρικτικά μέτρα	
Παράγοντες	**Υποστηρικτικά μέτρα**
Π1. Εθνικές / περιφερειακές πολιτικές διαχείρισης που προωθούν την ορθολογική και αειφορική χρήση των υδατικών πόρων	• Προσαρμογή και αναδιάρθρωση των υφιστάμενων πολιτικών διαχείρισης υδατικών πόρων, λαμβάνοντας υπόψη την διαθεσιμότητα των υδατικών πόρων και την ανάγκη προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή • Υιοθέτηση και χρήση μεθόδων και μοντέλων παρακολούθησης για την εκτίμηση της τρέχουσας και την πρόβλεψη της μελλοντικής ζήτησης νερού για διάφορες χρήσεις • Εγκατάσταση μετρητών νερού για τη μέτρηση της ιδιωτικής και της δημοτικής υδατικής κατανάλωσης • Μείωση απωλειών δικτύων • Υιοθέτηση μέτρων και στόχων για την αποδοτική χρήση των πόρων (π.χ. μειώσεις στις παρεχόμενες ποσότητες νερού σε περιόδους ξηρασίας, έλεγχος απολήψεων)

Πολιτικοί παράγοντες & υποστηρικτικά μέτρα	
Παράγοντες	**Υποστηρικτικά μέτρα**
Π2. Εθνικές / περιφερειακές περιβαλλοντικές πολιτικές με στόχο τον περιορισμό της ρύπανσης των υδατικών πόρων, την προστασία των υδατικών οικοσυστημάτων και την προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή	• Ανάπτυξη και εφαρμογή κανονισμών για την επεξεργασία και τη διάθεση των υγρών αποβλήτων στους υδατικούς αποδέκτες (ποινές και κυρώσεις για παραβίαση ποιοτικών ορίων και επιβράβευση συμμόρφωσης με τους κανονισμούς) • Υιοθέτηση στόχων και μέτρων για την ποιότητα των επιφανειακών και υπόγειων υδατικών πόρων • Ανάπτυξη περιβαλλοντικών πολιτικών που θα στοχεύουν στην υιοθέτηση των πρακτικών Ε&ΑΝ από τη βιομηχανία, καθιστώντας απαραίτητη την ενσωμάτωση των εννοιών της κυκλικής οικονομίας και της βιομηχανικής συμβίωσης στο πλαίσιο της εταιρικής κοινωνικής ευθύνης των επιχειρήσεων • Επιβράβευση επιχειρήσεων και ιδιωτών που εφαρμόζουν πρακτικές και τεχνολογίες που ενισχύουν την ορθολογική χρήση των πόρων και την περιβαλλοντική προστασία (συμπεριλαμβανομένων των πρακτικών Ε&ΑΝ) • Ανάπτυξη διαύλων επικοινωνίας μεταξύ δυνητικών χρηστών (π.χ. αγρότες) και θεσμικών οργάνων • Παρακολούθηση της ποιότητας του ανακτημένου νερού σε όλο το μήκος της προμηθευτικής αλυσίδας • Ανάπτυξη ειδικών ομάδων / αρχών που αποτελούνται από επιστήμονες και εμπειρογνώμονες για την παρακολούθηση της εφαρμογής των περιβαλλοντικών πολιτικών
Π3. Ένταξη της χρήσης ανακτημένου νερού στις πολιτικές χρήσης γης & χωροταξικής στρατηγικής	• Προσαρμογή και αναδιάρθρωση των υφιστάμενων πολιτικών χρήσης γης στη βάση της μελλοντικής πυκνότητας πληθυσμού, της ποιότητας και διαθεσιμότητας υδατικών πόρων, και των τάσεων οικονομικής ανάπτυξης • Χρήση ανακτημένου νερού για την ενίσχυση της ανάπτυξης των περιοχών που βρίσκονται κοντά στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων • Προώθηση της χρήσης ανακτημένου νερού για άρδευση καλλιεργειών κατά την καλοκαιρινή περίοδο, για την αποφυγή της συρρίκνωσης των καλλιεργούμενων εκτάσεων και τον περιορισμό των οικονομικών απωλειών των αγροτών λόγω της περιορισμένης διαθεσιμότητας νερού • Χρήση ανακτημένου νερού σε οικιστικά και βιομηχανικά συγκροτήματα, κοινωνικές κατοικίες και δημόσια κτίρια • Αναβάθμιση περιοχών με ανάπτυξη χώρων αστικού πρασίνου αρδευόμενων με ανακτημένο νερό

Πολιτικοί παράγοντες & υποστηρικτικά μέτρα	
Παράγοντες	**Υποστηρικτικά μέτρα**
Π5. Εμπορικές πολιτικές για την εξαγωγή γεωργικών προϊόντων αρδευόμενων με ανακτημένο νερό που διασφαλίζουν την προστασίας της ανθρώπινης υγείας	• Ανάπτυξη / υιοθέτηση ποιοτικών ορίων για την άρδευση καρπών με ανακτημένο νερό, και κανονισμών για τη διασφάλιση της δημόσιας υγείας, λαμβάνοντας υπόψη τις ποιοτικές απαιτήσεις και τις προδιαγραφές που ισχύουν στις χώρες εξαγωγής • Παρακολούθηση και συνεχής έλεγχος της ποιότητας του ανακτημένου νερού μέσω χημικών αναλύσεων; Κοινοποίηση των αποτελεσμάτων των αναλύσεων για την ενημέρωση του κοινού και την αποφυγή αντιδράσεων • Εφαρμογή κανονισμών και ορίων (ποινές και κυρώσεις για παραβίαση ποιοτικών ορίων και επιβράβευση συμμόρφωσης με τους κανονισμούς) • Πιστοποίηση καλλιεργειών και παραγωγών που ακολουθούν τους κανονισμούς και εφαρμόζουν τα απαιτούμενα μέτρα για τη διασφάλιση της δημόσιας υγείας

Πίνακας 3.17: Οικονομικοί παράγοντες & υποστηρικτικά μέτρα για την ανάπτυξη ευνοϊκού περιβάλλοντος

Οικονομικοί παράγοντες & υποστηρικτικά μέτρα	
Παράγοντες	**Υποστηρικτικά μέτρα**
Ο1. Μηχανισμοί χρηματοδότησης έργων Ε&ΑΝ (άμεσα οικονομικά κίνητρα)	• Διεύρυνση των υπαρχόντων μηχανισμών χρηματοδότησης για έργα Ε&ΑΝ. Πιθανοί μηχανισμοί χρηματοδότησης που μπορούν να εισαχθούν σε τοπικό επίπεδο για να υποστηρίξουν επεμβάσεις Ε&ΑΝ είναι: ○ *Κρατικά ή δημοτικά ομόλογα:* χρηματοδότηση του κόστους κεφαλαίου των συστημάτων Ε&ΑΝ μέσω της πώλησης μακροχρόνιων ομολόγων (20-30 χρόνια). ○ *Εθνικά ή τοπικά προγράμματα επιδοτήσεων.* ○ *Ανανεώσιμα κεφάλαια (revolving funds) και δάνεια με χαμηλό επιτόκιο:* προγράμματα οικονομικής βοήθειας που χορηγούνται από τοπικά χρηματοπιστωτικά ιδρύματα για την υποστήριξη της κατασκευής μονάδων Ε&ΑΝ. Τα επιτόκια δανεισμού είναι μικρότερα από τα τρέχοντα επιτόκια δανεισμού της αγοράς και η αποπληρωμή του δανείου συνήθως αρχίζει μετά την πάροδο ενός έτους από την ολοκλήρωση του έργου. Οι αποδόσεις των δανείων επιστρέφουν στο ταμείο του ιδρύματος για να δανειοδοτηθούν άλλα έργα. ○ *Πιστώσεις από ιδιωτικές ή κρατικές τράπεζες.* ○ *Στοχευμένα κυβερνητικά κεφάλαια:* π.χ. επιδοτήσεις για καινοτόμα ή φιλικά προς το περιβάλλον έργα, κίνητρα για επενδύσεις σε τεχνολογίες εξοικονόμησης νερού, ειδικά προγράμματα οικονομικών κινήτρων για την άρδευση με ανακτημένο νερό, επιδοτήσεις για μικρές / απομονωμένες κοινότητες ή κοινότητες που βρίσκονται κάτω από συγκεκριμένα εισοδηματικά όρια. ○ *Συμπράξεις δημόσιου & ιδιωτικού τομέα* ○ *Συνεισφορά από τους χρήστες:* σε ορισμένες περιπτώσεις, συνήθως στην περίπτωση συστημάτων Ε&ΑΝ για βιομηχανική χρήση, το κεφάλαιο για τη χρηματοδότηση των απαιτούμενων υποδομών (εγκαταστάσεις επεξεργασίας και δίκτυο διανομής) παρέχεται από τους βασικούς χρήστες του ανακτημένου νερού που θα επωφεληθούν περισσότερο από τις υποδομές αυτές. ○ *Χρηματοδοτικά προγράμματα από εθνικούς ή διεθνείς οργανισμούς (π.χ. US EPA, World Bank κλπ.)* • Υιοθέτηση ρυθμίσεων που διευκολύνουν την κινητοποίηση κεφαλαίων. • Ενίσχυση της ενημέρωσης και διευκόλυνση της πρόσβασης πιθανών επενδυτών στα κρατικά κεφάλαια.

Οικονομικοί παράγοντες & υποστηρικτικά μέτρα	
Παράγοντες	**Υποστηρικτικά μέτρα**
Ο2. Έμμεσα οικονομικά κίνητρα για χρήση ανακτημένου νερού και επενδύσεις σε τεχνολογίες Ε&ΑΝ	• Παροχή έμμεσων οικονομικών κινήτρων τα οποία ενθαρρύνουν την αποδοτική χρήση των υδατικών πόρων και επιβραβεύουν την υιοθέτηση πρακτικών Ε&ΑΝ. Πιθανά οικονομικά κίνητρα που μπορούν να δοθούν σε τοπικό επίπεδο για να υποστηρίξουν επεμβάσεις Ε&ΑΝ είναι: ○ *Αυξημένη φορολόγηση και τέλη για απολήψεις γλυκού νερού:* επιβολή οικονομικών επιβαρύνσεων στους χρήστες με τη μεγαλύτερη κατανάλωση, π.χ. βιομηχανίες, αγρότες, με στόχο τη μείωση της χρήσης γλυκού νερού. Οι χρήστες του ανακτημένου νερού θα μπορούσαν να εξαιρούνται από αυτές τις επιβαρύνσεις. ○ *Τέλη επεξεργασίας λυμάτων:* επιβολή οικονομικών επιβαρύνσεων στους χρήστες στη βάση της ποιότητας και της ποσότητας των υγρών αποβλήτων που απορρίπτουν στο αποχετευτικό δίκτυο (π.χ. η αρχή «ο ρυπαίνων πληρώνει»). ○ *Φοροαπαλλαγές:* παροχή φοροελαφρύνσεων ή επιστροφών φόρου επί του κόστους των τεχνολογιών και του εξοπλισμού Ε&ΑΝ, και επί της πώλησης/αγοράς ανακτημένου νερού. ○ *Προγράμματα εμπορίας της ποιότητας του νερού (water quality trading programs):* έκδοση ή πώληση αδειών για διάθεση συγκεκριμένων ποσοτήτων συγκεκριμένων ρύπων ανά χρονική περίοδο. Οι παραγωγοί υγρών αποβλήτων υποχρεούνται να κατέχουν άδειες για καθορισμένα ποιοτικά επίπεδα διατιθέμενων λυμάτων, και σε περίπτωση που επιθυμούν να υπερβούν τα επίπεδα αυτά πρέπει να αγοράσουν τις αντίστοιχες άδειες από άλλους παραγωγούς, πρόθυμους να τις πουλήσουν. ○ *Προγράμματα εμπορίας της ζήτησης του νερού (water demand trading programs):* έκδοση ή πώληση προσωρινών ή μόνιμων δικαιωμάτων πρόσβασης στους υδατικούς πόρους (ονομάζονται επίσης και δικαιώματα χρήσης νερού) στους διάφορους χρήστες μίας λεκάνης απορροής.

Οικονομικοί παράγοντες & υποστηρικτικά μέτρα	
Παράγοντες	**Υποστηρικτικά μέτρα**
Ο3. Σύστημα τιμολόγησης αρδευτικού νερού που προωθεί τη χρήση εναλλακτικών υδατικών πόρων	• Εισαγωγή κλιμακωτής τιμολόγησης ανάλογα με τον όγκο της κατανάλωσης για άρδευση και υιοθέτηση μοντέλων τιμολόγησης ανάκτησης κόστους (cost-recovery models), λαμβάνοντας υπόψη το οικονομικό και περιβαλλοντικό κόστος της χρήσης υδατικών πόρων. • Διαμόρφωση τιμών ανάλογα με τις υφιστάμενες συνθήκες διαθεσιμότητας και ζήτησης νερού για άρδευση. • Εγκατάσταση μετρητών νερού για τον έλεγχο της κατανάλωσης. • Προσφορά του ανακτημένου νερού δωρεάν ή με πολύ μικρό κόστος (χαμηλότερη τιμή από αυτήν του γλυκού νερού) στους αγρότες.
Ο4. Σύστημα τιμολόγησης νερού βιομηχανικής χρήσης που προωθεί τη χρήση εναλλακτικών υδατικών πόρων	• Εισαγωγή κλιμακωτής τιμολόγησης (και για τις δημοτικές υδατικές χρήσεις) ανάλογα με τον όγκο της κατανάλωσης και υιοθέτηση μοντέλων τιμολόγησης ανάκτησης κόστους (cost-recovery models), λαμβάνοντας υπόψη το οικονομικό και περιβαλλοντικό κόστος της χρήσης υδατικών πόρων. • Διαμόρφωση τιμών ανάλογα με τις υφιστάμενες συνθήκες διαθεσιμότητας και διαφοροποίηση τιμολογίου ανάλογα με την απαιτούμενη ποσότητα και ποιότητα νερού για τις διάφορες χρήσεις (οικιακοί καταναλωτές και επαγγελματίες / οικιακές ή δημοτικές χρήσεις). • Επιβολή ξεχωριστών επιπρόσθετων χρεώσεων για τις υπηρεσίες αποχέτευσης. • Εγκατάσταση μετρητών νερού για τον έλεγχο της κατανάλωσης. • Προσφορά του ανακτημένου νερού στις βιομηχανίες δωρεάν ή με πολύ μικρό κόστος (χαμηλότερη τιμή από αυτήν του γλυκού νερού).
Ο5. Σύστημα τιμολόγησης νερού αστικής χρήσης που προωθεί τη χρήση εναλλακτικών υδατικών πόρων	• Εισαγωγή κλιμακωτής τιμολόγησης ανάλογα με τον όγκο της κατανάλωσης και υιοθέτηση μοντέλων τιμολόγησης ανάκτησης κόστους (cost-recovery models), λαμβάνοντας υπόψη το οικονομικό και περιβαλλοντικό κόστος της χρήσης υδατικών πόρων. • Διαμόρφωση τιμών ανάλογα με τις υφιστάμενες συνθήκες διαθεσιμότητας και ζήτησης νερού. • Προσφορά του ανακτημένου νερού με πολύ μικρό κόστος (χαμηλότερο από το κόστος του γλυκού νερού).

Πίνακας 3.18: Κοινωνικοί παράγοντες & υποστηρικτικά μέτρα για την ανάπτυξη ευνοϊκού περιβάλλοντος

Κοινωνικοί παράγοντες & υποστηρικτικά μέτρα	
Παράγοντες	**Υποστηρικτικά μέτρα**
Κ1. Ευαισθητοποίηση & ενημέρωση του κοινού σχετικά με τους περιορισμένους υδατικούς πόρους	• Ενίσχυση της ενημέρωσης των πολιτών σχετικά με τα ζητήματα της περιορισμένης ποσότητας και της υποβαθμισμένης ποιότητας των υδατικών πόρων, ώστε να συνειδητοποιήσουν την ανάγκη για εξοικονόμηση και επαναχρησιμοποίηση νερού. Τεχνικές για την ευαισθητοποίηση και την ενημέρωση των πολιτών σχετικά με τα ζητήματα αυτά είναι: ○ *Ενημερωτικά προγράμματα για μαθητές:* εισαγωγή σχετικών μαθημάτων και σεμιναρίων στα προγράμματα σπουδών σχολείων και πανεπιστημίων. ○ *Ενημερωτικές καμπάνιες για το ευρύ κοινό:* δημοσιεύσεις στον τοπικό και εθνικό τύπο, ενημερωτικές εκπομπές και ντοκιμαντέρ, τηλεοπτικές και ραδιοφωνικές συνεντεύξεις. ○ *Εκδηλώσεις για συγκεκριμένες ομάδες καταναλωτών (π.χ. αγρότες):* στοχευμένα σεμινάρια, ημερίδες, και συζητήσεις με ειδικούς. ○ *Διανομή έντυπου ενημερωτικού υλικού:* ενημερωτικά φυλλάδια, δελτία και εγχειρίδια. ○ Διαδικτυακές ενημερωτικές καμπάνιες: πληροφόρηση του κοινού με τη χρήση των μέσων κοινωνικής δικτύωσης και των ιστοσελίδων των σχετικών οργανισμών και υπηρεσιών.

Κοινωνικοί παράγοντες & υποστηρικτικά μέτρα	
Παράγοντες	**Υποστηρικτικά μέτρα**
Κ2. Ενημέρωση του κοινού σχετικά με την Ε&ΑΝ	• Ενημέρωση των πολιτών σχετικά με τα περιβαλλοντικά, οικονομικά και κοινωνικά οφέλη των πρακτικών Ε&ΑΝ, καθώς και με την προέλευση, τη φύση και την ορθή χρήση του ανακτημένου νερού. Πρωτοβουλίες ενημέρωσης του κοινού σχετικά με την Ε&ΑΝ συνήθως περιλαμβάνουν: ○ *Ενημερωτικά προγράμματα για μαθητές:* εισαγωγή μαθημάτων και σεμιναρίων σχετικά με τις τεχνολογίες, τις εφαρμογές, τις βέλτιστες πρακτικές και τα οφέλη της Ε&ΑΝ στα προγράμματα σπουδών σχολείων και πανεπιστημίων. ○ *Ενημερωτικές καμπάνιες για το ευρύ κοινό:* δημοσιεύσεις στον τοπικό και εθνικό τύπο, ενημερωτικές εκπομπές και ντοκιμαντέρ, τηλεοπτικές και ραδιοφωνικές συνεντεύξεις. ○ *Εκδηλώσεις για συγκεκριμένες ομάδες καταναλωτών (π.χ. αγρότες):* στοχευμένα σεμινάρια, ημερίδες, και συζητήσεις με ειδικούς για την προώθηση της Ε&ΑΝ. ○ *Διανομή έντυπου ενημερωτικού υλικού:* ενημερωτικά φυλλάδια, δελτία και εγχειρίδια. ○ *Διαδικτυακές ενημερωτικές καμπάνιες:* πληροφόρηση του κοινού σχετικά με την Ε&ΑΝ γενικά καθώς και σχετικά συγκεκριμένες προβλεπόμενες ή υφιστάμενες επεμβάσεις Ε&ΑΝ, με τη χρήση των μέσων κοινωνικής δικτύωσης και των ιστοσελίδων των σχετικών οργανισμών και υπηρεσιών. ○ *Διανομή οπτικοακουστικού υλικού:* παρουσίαση προσομοιώσεων του υδρολογικού κύκλου και μοντέλων Ε&ΑΝ και τεχνολογιών επεξεργασίας λυμάτων για την ενίσχυση της κατανόησης της διαδικασίας παραγωγής και της χρήσης του ανακτημένου νερού. ○ *Δημοσίευση ετήσιων εκθέσεων:* διάδοση δεδομένων και στοιχείων των υφιστάμενων συστημάτων Ε&ΑΝ σχετικά με την ποιότητα του ανακτημένου νερού, την οικονομική τους απόδοση, τη λειτουργία και τις προκλήσεις που αντιμετώπισαν τα συστήματα αυτά. ○ *Οργανωμένες επισκέψεις του κοινού στις εγκαταστάσεις των έργων Ε&ΑΝ:* επίσκεψη στα εργοστάσια επεξεργασίας λυμάτων ή στις περιοχές χρήσης του ανακτημένου νερού (π.χ. αρδευόμενες εκτάσεις και βιομηχανίες) για την ενίσχυση της εμπιστοσύνης του κοινού στις αρμόδιες εταιρίες επεξεργασίας και διανομής του ανακτημένου νερού.

Κοινωνικοί παράγοντες & υποστηρικτικά μέτρα	
Παράγοντες	**Υποστηρικτικά μέτρα**
Κ3. Προθυμία για κατανάλωση καρπών που αρδεύονται με ανακτημένο νερό	• Ενημέρωση των καταναλωτών σχετικά με την ασφάλεια των γεωργικών προϊόντων που αρδεύονται με ανακτημένο νερό, ώστε να ενισχυθεί η προθυμία του κοινού για την κατανάλωση αυτών των καρπών. • Διάδοση πληροφοριών σχετικά με την παρακολούθηση της ποιότητας του ανακτημένου νερού και την τήρηση των σχετικών κανονισμών για τη διασφάλιση της δημόσιας υγείας. • Συνεχής δημοσίευση ποιοτικών αποτελεσμάτων και δημιουργία ενημερωτικών ιστοσελίδων, στις οποίες οι καταναλωτές να μπορούν να έχουν ελεύθερη πρόσβαση, καθώς και γραμμών επικοινωνίας για επίλυση αποριών και παροχή συμβουλών από ειδικούς. • Οργάνωση επισκέψεων στα εργοστάσια επεξεργασίας λυμάτων ή στις εκτάσεις που αρδεύονται με ανακτημένο νερό για την ενίσχυση της εμπιστοσύνης του κοινού στις αρμόδιες εταιρίες επεξεργασίας και διανομής του ανακτημένου νερού. • Πιστοποίηση καλλιεργειών και παραγωγών που ακολουθούν τους κανονισμούς και εφαρμόζουν τα απαιτούμενα μέτρα για τη διασφάλιση της δημόσιας υγείας, και επισήμανση των πιστοποιημένων τροφίμων με ειδικές ετικέτες. • Πώληση των καρπών που αρδεύονται με ανακτημένο νερό σε χαμηλότερη / ανταγωνιστικότερη τιμή από τους υπόλοιπους για την προώθησή τους στην αγορά.

Κοινωνικοί παράγοντες & υποστηρικτικά μέτρα	
Παράγοντες	**Υποστηρικτικά μέτρα**
Κ4. Συμμετοχή διαφορετικών φορέων στις διαδικασίες λήψης αποφάσεων	• Αναγνώριση όλων των πιθανών ενδιαφερόμενων μερών και φορέων οι οποίοι θα μπορούσαν να επηρεαστούν από τις επεμβάσεις Ε&ΑΝ και άμεση εμπλοκή τους στις σχετικές διαδικασίες λήψης αποφάσεων (π.χ. αγρότες / κοινοπραξίες αγροτών, ομάδες πολιτών, εκπρόσωποι της βιομηχανίας και των εταιρειών παραγωγής ενέργειας, εταιρίες ύδρευσης και αποχέτευσης, περιβαλλοντικοί οργανισμοί και ΜΚΟ, σωματεία και οργανισμοί για τη διασφάλιση της δημόσιας υγείας και την προστασία των καταναλωτών). • Ανάπτυξη νομικών μηχανισμών, οι οποίοι θα ορίζουν τις προϋποθέσεις συμμετοχής καθώς και τους ρόλους των διάφορων φορέων στις διαδικασίες λήψης αποφάσεων. • Δημιουργία διαδικτυακής πλατφόρμας συμμετοχής και ενημέρωσης, η οποία θα είναι ανοικτή σε όλα τα πιθανά ενδιαφερόμενα μέρη και θα επιτρέπει την έκφραση των αναγκών και την ανταλλαγή απόψεων και γνώσης μεταξύ των διαφόρων μερών, θα διευκολύνει το διάλογο, την επικοινωνία και τη διαβούλευση με τους πολίτες, και θα βοηθά στην έγκαιρη αναγνώριση και επίλυση πιθανών προβλημάτων και διαφωνιών.

Πίνακας 3.19: Τεχνικοί παράγοντες & υποστηρικτικά μέτρα για την ανάπτυξη ευνοϊκού περιβάλλοντος

Τεχνικοί παράγοντες & υποστηρικτικά μέτρα	
Παράγοντες	**Υποστηρικτικά μέτρα**
Τ1. Αυξημένη τεχνογνωσία και εμπειρία για την επεξεργασία και παροχή του ανακτημένου νερού	• Χρήση σύγχρονων, κατάλληλων τεχνολογιών και υποδομών επεξεργασίας και διανομής του ανακτημένου νερού. • Στελέχωση των εγκαταστάσεων επεξεργασίας και διανομής με κατάλληλα καταρτισμένο προσωπικό, το οποίο διαθέτει υψηλές αναλυτικές ικανότητες και ικανότητες επίλυσης προβλημάτων (κατάλληλα καταρτισμένο τεχνικό και διοικητικό προσωπικό). • Ενίσχυση των ικανοτήτων του προσωπικού μέσω σεμιναρίων και εκπαιδευτικών προγραμμάτων για τη σωστή λειτουργία και συντήρηση των μονάδων επεξεργασίας και του μηχανολογικού εξοπλισμού, καθώς και για τη διαχείριση καταστάσεων έκτακτης ανάγκης και απρόβλεπτων περιστατικών. • Συμμόρφωση της λειτουργίας των εγκαταστάσεων Ε&ΑΝ με τις οδηγίες που προτείνονται από διεθνώς αναγνωρισμένους οργανισμούς και φορείς, και πραγματοποίηση τακτικών ελέγχων για την διασφάλιση της συμμόρφωσης με τις οδηγίες αυτές. • Υιοθέτηση πρωτοκόλλων διασφάλισης ποιότητας και ελέγχου διαδικασιών και συνεχής παρακολούθηση των υποδομών. • Επιλογή της κατάλληλης στρατηγικής παρακολούθησης της ποιότητας του ανακτημένου νερού, λαμβάνοντας υπόψη τα απαιτούμενα ποιοτικά όρια, τις τεχνολογίες επεξεργασίας που χρησιμοποιούνται, καθώς και τις αντίστοιχες διαδικασίες, το χρόνο και το κόστος που περιλαμβάνει η στρατηγική αυτή. • Εγκατάσταση ειδικού / εφεδρικού εξοπλισμού και ανάπτυξη σχεδίων έκτακτης ανάγκης για την έγκαιρη αναγνώριση και την αντιμετώπιση έκτακτων περιστατικών, όπως μηχανικές αστοχίες και βλάβες, διακοπές ρεύματος και αιχμές στα εισερχόμενα υδραυλικά και ρυπαντικά φορτία. • Εφαρμογή όλων των προτεινόμενων κανόνων κατασκευής και λειτουργείας για την αποφυγή ανεπιθύμητων συνδέσεων του δικτύου ανακτημένου νερού με το δίκτυο πόσιμου νερού. • Υιοθέτηση κατάλληλου συστήματος παρακολούθησης της ποιότητας και της ποσότητας του ανακτημένου νερού σε διάφορα σημεία μεταφοράς και διανομής του, για την ανίχνευση μεταβολών στο υδραυλικό και το ρυπαντικό φορτίο, την ανάλυση δεδομένων και τη διαμόρφωση τάσεων, καθώς και τη σήμανση συναγερμού σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης. • Ανάπτυξη σχεδίου διαχείρισης κινδύνων για την πρόληψη και τη διαχείριση ανεπιθύμητων συνδέσεων του δικτύου ανακτημένου νερού με το δίκτυο πόσιμου νερού. • Διάδοση πληροφοριών σχετικά με τη λειτουργία των εγκαταστάσεων Ε&ΑΝ τόσο στο τεχνικό προσωπικό των εγκαταστάσεων όσο και στο ευρύ κοινό, για την ανάπτυξη αποτελεσματικής επικοινωνίας μεταξύ των παρόχων και των χρηστών του ανακτημένου νερού, οι οποίοι θα πρέπει να ενημερώνονται άμεσα σε περίπτωση αστοχίας του συστήματος.

Τεχνικοί παράγοντες & υποστηρικτικά μέτρα	
Παράγοντες	**Υποστηρικτικά μέτρα**
Τ2. Αυξημένη τεχνογνωσία και εμπειρία για την ορθή χρήση του ανακτημένου νερού	
Τ2.1 Ορθή χρήση του ανακτημένου νερού από τους αγρότες και τους εργάτες στα χωράφια	• Ενημέρωση / εκπαίδευση σχετικά με τους δυνητικούς κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία που σχετίζονται με την έκθεση στο ανακτημένο νερό (π.χ. εισπνοή σωματιδίων), καθώς και με την ορθή χρήση του ανακτημένου νερού (π.χ. ασφαλείς μέθοδοι άρδευσης και συγκομιδής καρπών). • Υιοθέτηση μέτρων υγιεινής ανάλογα με την ποιότητα του ανακτημένου νερού, συμπεριλαμβανομένης της αλλαγής του συστήματος άρδευσης που χρησιμοποιείται (οι μέθοδοι στάγδην άρδευσης παρέχουν το μεγαλύτερο βαθμό προστασίας της ανθρώπινης υγείας), της εγκατάστασης νιπτήρων, καθώς και της χρήσης προστατευτικού ιματισμού και εξοπλισμού (π.χ. μπότες, γάντια, κλπ.). • Πιθανή ανοσοποίηση των αγροτών και των εργατών στα χωράφια έναντι συγκεκριμένων ασθενειών (π.χ. τύφος και ηπατίτιδα Α) και πραγματοποίηση τακτικών ελέγχων υγείας. • Δημιουργία ζωνών προστασίας γύρω από τις περιοχές που αρδεύονται με ανακτημένο νερό για τον περιορισμό της έκθεσης του κοινού σε αυτό. • Υιοθέτηση πρόσθετων μέτρων προστασίας όπου αυτό απαιτείται, όπως περιορισμοί σχετικοί με τα ωράρια και τη χρονική διάρκεια της άρδευσης καθώς και με την πρόσβαση στις αρδευόμενες εκτάσεις. • Σήμανση αρδευόμενων καλλιεργειών με ανακτημένο νερό με ειδικές πινακίδες και σήματα. • Δημιουργία ενώσεων αγροτών / χρηστών νερού για άρδευση (water user associations / farmers associations) για την ενίσχυση της τεχνικής κατάρτισης των αγροτών και της ασφαλούς χρήσης του ανακτημένου νερού, καθώς τα μέλη αυτών των οργανισμών έχουν καλύτερη πρόσβαση σε πληροφορίες και τεχνική υποστήριξη.

Τεχνικοί παράγοντες & υποστηρικτικά μέτρα	
Παράγοντες	**Υποστηρικτικά μέτρα**

Τ2.2 Ορθή χρήση του ανακτημένου νερού από τους εργαζόμενους στις βιομηχανίες	• Ενημέρωση / εκπαίδευση των εργαζομένων σχετικά με τους δυνητικούς κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία που σχετίζονται με την έκθεση στο ανακτημένο νερό (π.χ. εισπνοή σωματιδίων).
	• Χρήση ειδικών εξαρτημάτων και εξοπλισμού για τη διανομή του ανακτημένου νερού και τακτικός έλεγχος του εξοπλισμού από εξουσιοδοτημένο προσωπικό.
	• Ορθή λειτουργία και συντήρηση του εξοπλισμού για την αποφυγή διάβρωσης, απόφραξης, ανάπτυξης βακτηρίων και ρύπανσης των εσωτερικών επιφανειών των εξαρτημάτων και για τον περιορισμό της απελευθέρωσης αερολυμάτων κατά τις διεργασίες ψύξης:
	  ○ *Ελαχιστοποίηση στασιμότητας νερού*
	  ○ *Μείωση απωλειών κατά τη διαδικασία ψύξης, καθώς τα θερμά ρεύματα δημιουργούν κατάλληλες συνθήκες για την ανάπτυξη βακτηρίων*
	  ○ *Τακτική καθαριότητα των μηχανημάτων και του εξοπλισμού για την αποφυγή της συσσώρευσης ιζημάτων και θρεπτικών συστατικών για βακτήρια και άλλους παθογόνους οργανισμούς*
	  ○ *Εφαρμογή κατάλληλων υλικών που αποτρέπουν τη διάβρωση του εξοπλισμού*
	  ○ *Ελαχιστοποίηση της διαφυγής σωματιδίων από πύργους ψύξης*
	• Χρήση κατάλληλης σήμανσης για την ενημέρωση των εργαζομένων σχετικά με την προέλευση και την επιτρεπόμενη χρήση του ανακτημένου νερού (προειδοποιητικά σύμβολα και ανακοινώσεις πάνω στον εξοπλισμό).
	• Υιοθέτηση μέτρων υγιεινής ανάλογα με την ποιότητα του ανακτημένου νερού, συμπεριλαμβανομένης της εγκατάστασης κατάλληλου συστήματος εξαερισμού, για την εξασφάλιση του απαραίτητου εξαερισμού των εγκαταστάσεων, της εγκατάστασης νιπτήρων, καθώς και της χρήσης προστατευτικού ιματισμού και εξοπλισμού (π.χ. μπότες, γάντια, κλπ.).

Τεχνικοί παράγοντες & υποστηρικτικά μέτρα	
Παράγοντες	**Υποστηρικτικά μέτρα**
Τ2.3 Ορθή χρήση του ανακτημένου νερού από τους πολίτες	• Ενημέρωση των πολιτών σχετικά με την ορθή χρήση (επιτρεπόμενες και απαγορευμένες χρήσεις), καθώς και με την προέλευση και τη φύση του ανακτημένου νερού. • Χρήση ειδικών εξαρτημάτων και εξοπλισμού για τη διανομή του ανακτημένου νερού και τακτικός έλεγχος του εξοπλισμού από εξουσιοδοτημένο προσωπικό. • Κατάλληλη σήμανση των εξαρτημάτων και του εξοπλισμού που συνδέονται με το σύστημα διανομής του ανακτημένου νερού. • Καθοδήγηση και πληροφόρηση σχετικά με το χειρισμό των υδραυλικών συστημάτων, για την αποφυγή ανεπιθύμητων συνδέσεων του δικτύου ανακτημένου νερού με το δίκτυο πόσιμου νερού. • Απαγόρευση των υδραυλικών εργασιών από μη εξουσιοδοτημένο και καταρτισμένο προσωπικό. • Χρήση κατάλληλης σήμανσης για την ενημέρωση του κοινού σχετικά με την προέλευση και την επιτρεπόμενη χρήση του ανακτημένου νερού (προειδοποιητικά σύμβολα και ανακοινώσεις πάνω στον εξοπλισμό ή στα σημεία διάθεσης του ανακτημένου νερού). • Υιοθέτηση κατάλληλων μέτρων για να αποφευχθεί η επαφή των κατοικίδιων ζώων με το ανακτημένο νερό. • Εγκατάσταση μεθόδων στάγδην άρδευσης για τη μείωση της ανθρώπινης έκθεσης στο ανακτημένο νερό, στην περίπτωση άρδευσης κήπων. • Υιοθέτηση των μέτρων υγιεινής και προστασίας που ισχύουν για την άρδευση καρπών με ανακτημένο νερό, σε περίπτωση άρδευσης χώρων αστικού και περιαστικού πρασίνου και χώρων αναψυχής. • Δημιουργία ενώσεων πολιτών / χρηστών νερού (water user associations / civil associations) για την ενίσχυση της τεχνικής κατάρτισης των πολιτών και της ασφαλούς χρήσης του ανακτημένου νερού, καθώς τα μέλη αυτών των οργανισμών έχουν καλύτερη πρόσβαση σε πληροφορίες και τεχνική υποστήριξη.

Τεχνικοί παράγοντες & υποστηρικτικά μέτρα	
Παράγοντες	**Υποστηρικτικά μέτρα**
Τ3. Υιοθέτηση κατάλληλων μεθόδων άρδευσης για τη μείωση της έκθεσης στο ανακτημένο νερό	• Διεξαγωγή σεμιναρίων για την ενημέρωση των αγροτών σχετικά με τις ασφαλείς μεθόδους άρδευσης. • Επένδυση στη δημιουργία συλλογικών δικτύων άρδευσης και εκσυγχρονισμός αρδευτικού εξοπλισμού. • Απαγόρευση της χρήσης επιφανειακών μεθόδων άρδευσης με βαρύτητα (κατάκλιση, περιορισμένη διάχυση, αυλάκια) για άρδευση με ανακτημένο νερό. • Τριτοβάθμια επεξεργασία και απολύμανση ανακτημένου νερού σε περίπτωση μεθόδων επιφανειακής άρδευσης υπό πίεση (τεχνητή βροχή ή καταιονισμός, στάγδην επιφανειακή άρδευση, μικροεκτοξευτήρες). Δεν συνιστάται η χρήση των μεθόδων αυτών για την άρδευση βρώσιμων καρπών. • Υιοθέτηση μεθόδων υπόγειας άρδευσης υπό πίεση (στάγδην υπόγεια άρδευση), καθώς οι μέθοδοι αυτές παρέχουν το μεγαλύτερο βαθμό ασφάλειας και προστασίας της ανθρώπινης υγείας και δεν συνοδεύονται από ειδικά μέτρα ασφαλείας. • Υιοθέτηση μέτρων αποφυγής της απόφραξης στα συστήματα στάγδην άρδευσης, διεξαγωγή τακτικών ελέγχων ποιότητας και ποσότητας του ανακτημένου νερού και περιοδική απολύμανση εξοπλισμού άρδευσης.

Πίνακας 3.20: Νομικοί παράγοντες & υποστηρικτικά μέτρα για την ανάπτυξη ευνοϊκού περιβάλλοντος

Νομικοί και θεσμικοί παράγοντες & υποστηρικτικά μέτρα	
Παράγοντες	**Υποστηρικτικά μέτρα**
Ν1. Ξεκάθαρο νομικό πλαίσιο σχετικά με την ιδιοκτησία / δικαιώματα χρήσης του ανακτημένου νερού	• Αποσαφήνιση των δικαιωμάτων ιδιοκτησίας, χρήσης και πώλησης του ανακτημένου νερού, λαμβάνοντας υπόψη την προέλευσή του (αστικά υγρά απόβλητα, βιομηχανικά υγρά απόβλητα, γκρίζο νερό), καθώς και τις πιθανές κοινωνικο-οικονομικές και περιβαλλοντικές συνέπειες λόγω της Ε&ΑΝ (π.χ. επιπτώσεις στους υδατικούς αποδέκτες και στους χρήστες κατάντη των ΕΕΛ). • Υιοθέτηση μέτρων για την προστασία των χρηστών που βρίσκονται κατάντη των ΕΕΛ, σε περίπτωση μείωσης των διαθέσιμων υδατικών πόρων, λόγω πώλησης των επεξεργασμένων αποβλήτων από τις ΕΕΛ σε άλλους χρήστες. Τέτοια μέτρα περιλαμβάνουν χρηματικές αποζημιώσεις, ορισμό ελάχιστης ποσότητας επεξεργασμένων λυμάτων που θα απορρίπτονται στους κατάντη αποδέκτες, παροχή εναλλακτικών υδατικών πόρων ή προγραμμάτων κατάρτισης για να ακολουθήσουν αυτοί οι χρήστες εναλλακτικά επαγγέλματα. • Εξασφάλιση επαρκούς ποσότητας νερού στους υδατικούς αποδέκτες κατάντη των ΕΕΛ για την προστασία των υδατικών οικοσυστημάτων. • Ανάπτυξη νομικών μηχανισμών, οι οποίοι θα ορίζουν τις προϋποθέσεις παραχώρησης των δικαιωμάτων χρήσης του ανακτημένου νερού καθώς και τις υποχρεώσεις των χρηστών και τη διάρκεια των δικαιωμάτων αυτών.

Νομικοί και θεσμικοί παράγοντες & υποστηρικτικά μέτρα	
Παράγοντες	**Υποστηρικτικά μέτρα**
N2. Κανονιστικό πλαίσιο για Ε&ΑΝ	• Ανάπτυξη κανονιστικού πλαισίου για Ε&ΑΝ, λαμβάνοντας υπόψη τις τρέχουσες κοινωνικο-οικονομικές και περιβαλλοντικές συνθήκες, την ισχύουσα νομοθεσία σχετικά με τη διαχείριση των υδατικών πόρων και των υγρών αποβλήτων, καθώς και τον οικοδομικό κώδικα της περιοχής. Τα κανονιστικά πλαίσια περιλαμβάνουν είτε κανονισμούς, οι οποίοι είναι νομικά δεσμευτικοί και υποχρεωτικοί, είτε οδηγίες / κατευθυντήριες γραμμές, οι οποίες είναι συμβουλευτικές και η εφαρμογή τους είναι προαιρετική. Συνήθως, τα κανονιστικά πλαίσια τα οποία αναπτύσσονται σε περιοχές που δεν έχουν εμπειρία στην Ε&ΑΝ, στηρίζονται στις οδηγίες που έχουν αναπτυχθεί από διεθνείς οργανισμούς (π.χ. WHO και US EPA) ή στους κανονισμούς που ισχύουν σε άλλες περιοχές του κόσμου με μακροχρόνια εμπειρία στην Ε&ΑΝ (π.χ. στην πολιτεία της Καλιφόρνια στις ΗΠΑ). Τα κυριότερα ζητήματα που προσδιορίζονται / αναλύονται στα κανονιστικά πλαίσια Ε&ΑΝ είναι: ○ *Ποιοτικά κριτήρια για τις χρήσεις ανακτημένου νερού* ○ *Μέθοδοι και τεχνολογίες επεξεργασίας* ○ *Απαιτήσεις παρακολούθησης και ελέγχου της ποιότητας του ανακτημένου νερού* ○ *Πρωτόκολλα και προδιαγραφές λειτουργίας εγκαταστάσεων Ε&ΑΝ* ○ *Μέτρα προστασίας της ανθρώπινης υγείας και του περιβάλλοντος* ○ *Εργαλεία και τεχνικές για την ενίσχυση της κοινωνικής αποδοχής του ανακτημένου νερού* • Σαφής προσδιορισμός των νομικών ευθυνών τόσο των προμηθευτών όσο και των χρηστών του ανακτημένου νερού (κανόνες σχετικά με την κατασκευή των συστημάτων Ε&ΑΝ, τις συνδέσεις στο δίκτυο, την επιθεώρηση και τη διαχείριση των εγκαταστάσεων, κ.α.). • Θεσμοθέτηση των νομικών αρχών, οι οποίες θα είναι υπεύθυνες για την έγκριση και την αδειοδότηση συστημάτων Ε&ΑΝ.

Νομικοί και θεσμικοί παράγοντες & υποστηρικτικά μέτρα	
Παράγοντες	**Υποστηρικτικά μέτρα**
Ν3. Εφαρμογή κανονισμών και νομοθεσίας	• Εισαγωγή μηχανισμών για τη συμμόρφωση των προμηθευτών και των χρηστών του ανακτημένου νερού με τους κανονισμούς και την εφαρμογή της σχετικής νομοθεσίας. Οι μηχανισμοί αυτοί έχουν διαφορετικά επίπεδα αυστηρότητας ανάλογα με το βαθμό και τη σοβαρότητα των συνεπειών της μη συμμόρφωσης στους ισχύοντες κανονισμούς και μπορεί να περιλαμβάνουν υποχρεωτικά προγράμματα ποιοτικής παρακολούθησης και ελέγχου των εγκαταστάσεων, πρόστιμα, φόρους και ποινικές διώξεις σε περίπτωση παραβάσεων (π.χ. αναστολή ή ανάκληση αδείας παροχής ανακτημένου νερού). • Θεσμοθέτηση των αρμόδιων ρυθμιστικών αρχών και φορέων, που θα είναι υπεύθυνοι για την αποτελεσματική εφαρμογή της σχετικής νομοθεσίας και την επιβολή των μηχανισμών συμμόρφωσης. Οι φορείς αυτοί είναι συνήθως κυβερνητικοί οργανισμοί, οι οποίοι μπορούν να αναθέτουν σε τρίτους (π.χ. ιδιωτικές εταιρείες) συγκεκριμένες δράσεις (π.χ. δειγματοληψία και χημική ανάλυση δειγμάτων). Η λειτουργία και οι αρμοδιότητες των αρχών αυτών πρέπει να καθορίζεται σαφώς από σχετικό νομικό πλαίσιο. • Ενίσχυση της τεχνικής κατάρτισης και της χρηματοδότησης των αρμόδιων ρυθμιστικών αρχών και φορέων για την εξασφάλιση της αποτελεσματικής λειτουργίας τους. • Συνεχής ενημέρωση των προμηθευτών και των χρηστών του ανακτημένου νερού σχετικά με τις ισχύουσες διατάξεις, τους κανονισμούς και τους μηχανισμούς συμμόρφωσης. • Ενημέρωση και ευαισθητοποίηση των πολιτών σχετικά με τους κινδύνους που συνεπάγεται η μη εφαρμογή της νομοθεσίας για τη δημόσια υγεία και το περιβάλλον, και ενθάρρυνση του κοινού να αναφέρει περιστατικά παραβιάσεων στις αρμόδιες αρχές. • Επιβράβευση εταιρειών, οργανισμών και ιδιωτών που ακολουθούν τη νομοθεσία και συμμορφώνονται με τους κανονισμούς.

Νομικοί και θεσμικοί παράγοντες & υποστηρικτικά μέτρα	
Παράγοντες	**Υποστηρικτικά μέτρα**
Ν4. Οριοθέτηση αρμοδιοτήτων μεταξύ των εμπλεκόμενων φορέων	• Συγκέντρωση των ρόλων, των ευθυνών και των αρμοδιοτήτων σε μία κεντρική αρχή που θα επιβλέπει τις πολιτικές που αφορούν στη διαχείριση των υδατικών πόρων και την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων, και θα αναθέτει δικαιοδοσίες σε συγκεκριμένους φορείς. • Σαφής προσδιορισμός των ρόλων, των ευθυνών και των αρμοδιοτήτων μεταξύ των εμπλεκόμενων φορέων (π.χ. εταιρείες ύδρευσης και αποχέτευσης, φορείς της τοπικής αυτοδιοίκησης, ρυθμιστικές αρχές, υπηρεσίες για την προστασία της δημόσιας υγείας και του περιβάλλοντος, μη κυβερνητικές οργανώσεις, ενώσεις χρηστών), σε περίπτωση που δεν μπορεί να επιτευχθεί η συγκέντρωσή τους σε μία αρχή. Ο προσδιορισμός των ρόλων και η ανάθεση αρμοδιοτήτων πρέπει να γίνεται σύμφωνα με την τεχνική κατάρτιση και τη σχετική εμπειρία του κάθε φορέα. • Θεσμοθέτηση αρμόδιων οργάνων ή επιτροπών (π.χ. γενικές γραμματείες) υπεύθυνων για το συντονισμό της επικοινωνίας και την αποτελεσματική συνεργασία μεταξύ των εμπλεκόμενων φορέων. • Ανάπτυξη σχεδίου διαχείρισης των υγρών αποβλήτων, στο οποίο θα επαναπροσδιορίζονται οι ρόλοι και θα ανατίθενται αρμοδιότητες στους εμπλεκόμενους φορείς. • Απλοποίηση των μηχανισμών επικοινωνίας και διευκόλυνση της συνεργασίας μεταξύ των διαφορετικών φορέων, μέσω κατάλληλων θεσμικών μεταρρυθμίσεων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟΥ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ

4.1. Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εφαρμογής του προτεινόμενου μεθοδολογικού πλαισίου για την εκτίμηση της τρωτότητας των υδατικών συστημάτων στη σπανιότητα ύδατος, την αξιολόγηση της συνεισφοράς εναλλακτικών επεμβάσεων Ε&ΑΝ στη μείωση της τρωτότητας, και την ανάπτυξη ευνοϊκού περιβάλλοντος (πρόταση υποστηρικτικών μέτρων) για την εφαρμογή επεμβάσεων Ε&ΑΝ σε τοπικό επίπεδο. Τα τέσσερα βήματα της προτεινόμενης μεθοδολογικής προσέγγισης, που περιγράφονται αναλυτικά στο Κεφάλαιο 3, εφαρμόστηκαν στις 46 Λεκάνες Απορροής των 14 Υδατικών Διαμερισμάτων της Ελλάδας (Βήμα 1 και Βήμα 2) καθώς και στη Λεκάνη Απορροής του Ποταμού Copiapó στη Χιλή (Βήμα 3 και Βήμα 4). Η Λεκάνη Απορροής του Ποταμού Copiapó αποτελεί μελέτη περίπτωσης του χρηματοδοτούμενου από την Ευρωπαϊκή Ένωση ερευνητικού έργου COROADO (διάρκεια έργου: 2011-2015), το οποίο είχε στόχο να προάγει την εφαρμογή επεμβάσεων Ε&ΑΝ στη Λατινική Αμερική, και επιλέχθηκε καθώς υπήρχαν διαθέσιμα δεδομένα για την εφαρμογή της μεθοδολογικής προσέγγισης της παρούσας Διατριβής.

Στις ενότητες αυτού του κεφαλαίου, αρχικά περιγράφονται οι περιοχές μελέτης και οι πηγές των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση (Ενότητα 4.2), και στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εφαρμογής του μεθοδολογικού πλαισίου στις περιοχές μελέτης. Στην Ενότητα 4.3 γίνεται εκτίμηση της τρωτότητας των 46 ελληνικών Λεκανών Απορροής Ποταμών (ΛΑΠ) στη σπανιότητα ύδατος. Οι ελληνικές ΛΑΠ αξιολογούνται τόσο στη βάση των δέκα επιμέρους δεικτών τρωτότητας (Ενότητα 4.3.1), όσο και στη βάση του σύνθετου δείκτη τρωτότητας (VI), ο οποίος αναπτύχθηκε για τις 46 συγκεκριμένες ΛΑΠ (Ενότητα 4.3.2). Από τη συγκριτική αξιολόγηση και την ιεράρχηση των 46 ελληνικών ΛΑΠ ως προς τον VI, προκύπτει η περισσότερο (ΛΑΠ του Λεκανοπεδίου Αττικής - GR26) και η λιγότερο τρωτή ΛΑΠ (ΛΑΠ Θάσου Σαμοθράκης – GR42) (Εφαρμογή Βήματος 1). Κατόπιν, εξετάζεται η ευρωστία του VI (μέσω των Αναλύσεων Αβεβαιότητας και Ευαισθησίας της Ενότητας 4.3.3), και εντοπίζονται πιθανές εναλλακτικές επεμβάσεις Ε&ΑΝ για την περισσότερο τρωτή ΛΑΠ, τη ΛΑΠ του Λεκανοπεδίου Αττικής, στη βάση των προτάσεων που παρουσιάζονται στο «Στρατηγικό Σχέδιο (Master Plan) για την Επαναχρησιμοποίηση των Εκροών των ΕΕΛ στην Αττική» (Υπουργείο Υποδομών, Μεταφορών και Δικτύων, 2009). Οι επεμβάσεις αυτές αξιολογούνται ως προς τη συνεισφορά τους στη μείωση της τρωτότητας της περιοχής (Ενότητα 4.4) (Εφαρμογή Βήματος 2). Στην Ενότητα 4.5 εφαρμόζεται η προτεινόμενη μέθοδος (Βήματα 3 και 4) για την ανάπτυξη ευνοϊκού περιβάλλοντος που θα ενθαρρύνει την εφαρμογή επιλεγμένων επεμβάσεων Ε&ΑΝ στη ΛΑΠ Copiapó στη Χιλή. Αρχικά, αναγνωρίζονται οι πολιτικοί, οικονομικοί, κοινωνικοί, τεχνικοί, νομικοί και θεσμικοί παράγοντες που εμποδίζουν την ένταξη των προτεινόμενων συστημάτων Ε&ΑΝ στην περιοχή, και στη συνέχεια προτείνονται υποστηρικτικά μέτρα για την αντιμετώπιση των εμποδίων και τη δημιουργία ευνοϊκού περιβάλλοντος για την εφαρμογή τους.

4.2. Περιοχές Μελέτης και Δεδομένα

4.2.1. Λεκάνες Απορροής Ελλάδας

Η Ελλάδα έχει έκταση 131,957 km^2 (ΕΛΣΤΑΤ, 2015) και ο συνολικός μόνιμος πληθυσμός της ανέρχεται σε 10,816,286 κατοίκους (ΕΛΣΤΑΤ, 2011α). Λόγω της ιδιαίτερης γεωμορφολογίας της (έντονο ανάγλυφο, περιορισμένη ενδοχώρα και μεγάλο ανάπτυγμα ακτών) διαιρείται σε πολλές μικρές λεκάνες απορροής ποταμών με επιφανειακή απορροή που χαρακτηρίζεται από πλημμυρική δίαιτα. Οι μέσες ετήσιες κατακρημνίσεις στη χώρα είναι περίπου 871 mm (Βάση δεδομένων Eurostat), με τη Δυτική Ελλάδα να δέχεται το μεγαλύτερο μέρος των βροχοπτώσεων συγκριτικά με την Ανατολική, τα νησιά του Αιγαίου και την Κρήτη (η μέση ετήσια βροχόπτωση κυμαίνεται από 1700 mm στην Κέρκυρα έως 350 mm στις Κυκλάδες) (Κουτσογιάννης, κ.α. 2008). Περίπου το 90% των αποθεμάτων γλυκού νερού της χώρας είναι επιφανειακά και το υπόλοιπο 10% υπόγεια, ενώ οι ποταμοί της Ηπειρωτικής Ελλάδας έχουν μέση ετήσια απορροή που ανέρχεται σε 35 δις m^3 (Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων, 2007).

Το συνολικό ετήσιο υδατικό δυναμικό της χώρας (συνολικά διαθέσιμοι επιφανειακοί και υπόγειοι υδατικοί πόροι μαζί με την εξωτερική συνεισφορά νερού από τις γειτονικές χώρες) θα επαρκούσε για την κάλυψη των ετήσιων αναγκών της, αν ήταν πραγματικά εκμεταλλεύσιμο (συνολικό ετήσιο υδατικό δυναμικό χώρας: 68.4 δις m^3, σύμφωνα με τη βάση δεδομένων AQUASTAT του FAO[3]; 72 δις m^3, σύμφωνα με τη βάση δεδομένων της Eurostat; 72.8 δις m^3, σύμφωνα με την παρούσα ανάλυση - Κεφάλαιο 4.3.1[4]). Ωστόσο, η αξιοποίηση του υδατικού δυναμικού για την κάλυψη των αναγκών σε τοπικό επίπεδο περιορίζεται κυρίως από (Κουτσογιάννης, κ.α. 2008):

- Την ανισοκατανομή των υδατικών πόρων σε χωρικό και χρονικό επίπεδο
- Την ανομοιόμορφη κατανομή της ζήτησης σε χωρικό και χρονικό επίπεδο, η οποία δεν ταυτίζεται με την κατανομή της προσφοράς
- Το έντονο ανάγλυφο της χώρας και το μεγάλο ανάπτυγμα των ακτών της
- Την εξάρτηση της Βόρειας Ελλάδας από τις επιφανειακές απορροές των ποταμών της Αλβανίας, πρώην Γιουγκοσλαβικής Δημοκρατίας της Μακεδονίας (Π.Γ.Δ.Μ), Βουλγαρίας και Τουρκίας (20% του συνόλου των υδατικών πόρων)
- Το μεγάλο αριθμό των άνυδρων και απομακρυσμένων νησιών της

Η κυριότερη όμως αιτία που δεν αξιοποιούνται επαρκώς οι διαθέσιμοι υδατικοί πόροι είναι η έλλειψη συντονισμένης και αποτελεσματικής διαχείρισης των υδατικών πόρων της χώρας (Κουτσογιάννης, κ.α. 2008).

Στην προσπάθεια οργάνωσης και συντονισμού της διαχείρισης των υδατικών πόρων της χώρας, θεσμοθετήθηκε η διαίρεσή της σε 14 περιοχές Λεκανών Απορροής Ποταμών (ΛΑΠ) στη βάση των υδρολογικών – υδρογεωλογικών τους χαρακτηριστικών (δεν υπάρχει ταύτιση μεταξύ της διοικητικής και της υδρολογικής διαίρεσης της χώρας) (Ν. 1739/1987 «Διαχείριση των υδατικών

[3] http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/index.html?lang=en

[4] Για την εκτίμηση της AQUASTAT έχει θεωρηθεί μέση ετήσια βροχόπτωση 652 mm /έτος, ενώ για την εκτίμηση της Eurostat έχει θεωρηθεί μέση ετήσια βροχόπτωση 871 mm /έτος.

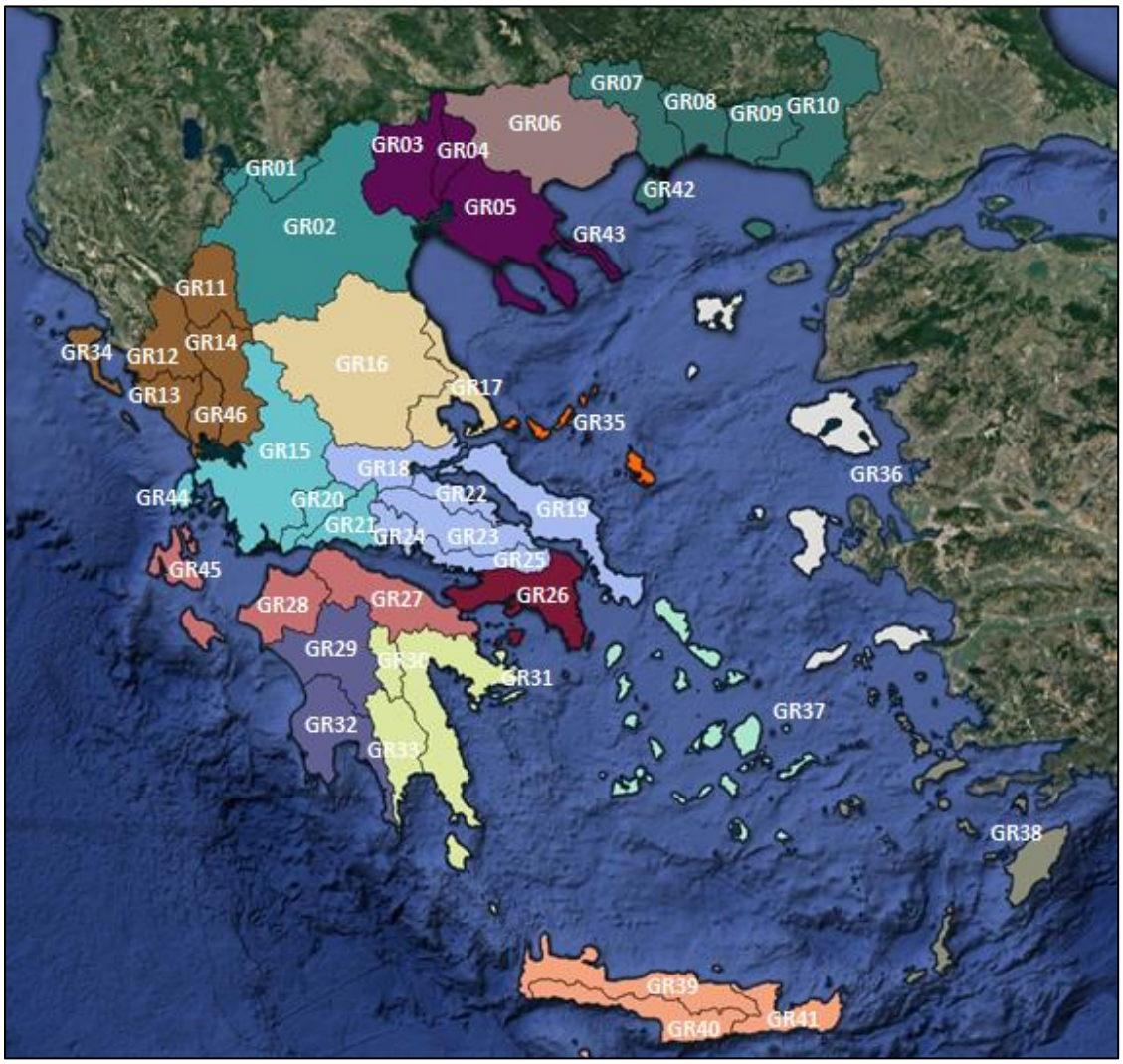
πόρων και άλλες διατάξεις» - ΦΕΚ Α' 201/19-20.11.1987 του Υπουργείου Ανάπτυξης). Οι περιοχές αυτές ονομάζονται Υδατικά Διαμερίσματα (River Basin Districts) και αποτελούν την ενδεδειγμένη μονάδα χώρου για την εκπόνηση διαχειριστικών μελετών, σύμφωνα με την Οδηγία 2000/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου «για τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων» (http://www.ypeka.gr/LinkClick.aspx?fileticket=F1AF2ARLHmo%3D&tabid=248&language=el-GR). Πέντε από τα 14 Υδατικά Διαμερίσματα της Ελλάδας είναι διασυνοριακά με την Αλβανία, την Π.Γ.Δ.Μ, τη Βουλγαρία και την Τουρκία.

Με απόφαση της Εθνικής Επιτροπής Υδάτων[5] το 2010, πραγματοποιήθηκε η λεπτομερής οριοθέτηση των 14 Υδατικών Διαμερισμάτων της χώρας, και ορίστηκαν οι 45 ΛΑΠ[6] που τα συνθέτουν, ενώ διευθετήθηκαν οι αρμοδιότητες και οι συναρμοδιότητες των διοικητικών Περιφερειών στα Υδατικά Διαμερίσματα (απόφαση 706/16-7-2010, ΦΕΚ 1383/8/2-9-10 και ΦΕΚ 1572/Β/28-9-10). Οι αρχικά ορισμένες 45 ΛΑΠ της χώρας, αυξήθηκαν σε 46 μετά τη διάσπαση της ΛΑΠ του Αχέροντα σε δύο ξεχωριστές λεκάνες (ΛΑΠ Αχέροντα και Λούρου), κατά τη διαδικασία κατάρτισης του Σχεδίου Διαχείρισης των ΛΑΠ του Υδατικού Διαμερίσματος της Ηπείρου (ΥΠΕΚΑ, 2013δ). Οι 46 ΛΑΠ της Ελλάδας (Εικόνα 4.1 και Πίνακας 4.1) έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά και αντιμετωπίζουν διαφορετικά προβλήματα, ενώ καθεμία απαιτεί διαφορετική πολιτική διαχείρισης υδατικών πόρων (Κουτσογιάννης κ.α., 2008).

Σύμφωνα με το Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων (2007), οι οχτώ ΛΑΠ της Πελοποννήσου παρουσιάζουν κοινά περιβαλλοντικά προβλήματα κυρίως σχετικά με την ποιότητα των υπόγειων υδατικών πόρων, όμως διαφοροποιούνται σημαντικά ως προς τη γεωμορφολογία τους, το κλίμα και τους διαθέσιμους υδατικούς πόρους. Σύμφωνα με την παρούσα ανάλυση, ο μόνιμος πληθυσμός στις ΛΑΠ της Πελοποννήσου κυμαίνεται από 55,000 κατοίκους στη ΛΑΠ του Ευρώτα (GR33) έως 168,000 στη ΛΑΠ Ρεμάτων Αργολικού Κόλπου (GR31), η οποία έχει και τη μεγαλύτερη έκταση ανάμεσα στις οχτώ ΛΑΠ (5,300 χλμ^2). Οι διαθέσιμοι υδατικοί πόροι κυμαίνονται από 918 εκατ. m^3 / έτος στη ΛΑΠ του Ευρώτα (GR33) έως 2,331 εκατ. m^3 / έτος στη ΛΑΠ του Αλφειού (GR29).

Η Στερεά Ελλάδα, η Ήπειρος και η Θεσσαλία διαιρούνται από υδρολογικής άποψης σε δύο κύρια τμήματα, στο ανατολικό με τις ΛΑΠ των Υδατικών Διαμερισμάτων της Αττικής (06), της Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας (07), και της Θεσσαλίας (08), και στο δυτικό με τις ΛΑΠ των Υδατικών Διαμερισμάτων της Δυτικής Στερεάς Ελλάδας (04) και της Ηπείρου (05). Η διάκριση αυτή οφείλεται τόσο στη γεωμορφολογία της περιοχής (οροσειρά Πίνδου), όσο και στη μεγάλη διαφορά μεταξύ διαθεσιμότητας υδατικών πόρων (Δυτική Στερεά Ελλάδα: 8,860 εκατ. m^3 / έτος, Ανατολική Στερεά Ελλάδα: 4,290 εκατ. m^3 / έτος, Αττική: 490 εκατ. m^3 / έτος, Ήπειρος: 10,450 εκατ. m^3 / έτος, Θεσσαλία: 4,100 εκατ. m^3 / έτος) και ρυθμού ανάπτυξης μεταξύ ανατολικού και δυτικού τμήματος (Δυτική Στερεά Ελλάδα: 280,000 κάτοικοι, Ανατολική Στερεά Ελλάδα: 585,000 κάτοικοι, Αττική 3,770,000 κάτοικοι, Ήπειρος: 425,000 κάτοικοι, Θεσσαλία: 709,500 κάτοικοι).

[5] Η Εθνική Επιτροπή Υδάτων ιδρύθηκε το 2003 (Ν. 3199/2003).



Εικόνα 4.1: Οι 46 ΛΑΠ της Ελλάδας (Πηγή: Google Earth, 2016[7] & EEMRU, 2016[8])

Οι ΛΑΠ των Υδατικών Διαμερισμάτων Δυτικής (09), Κεντρικής (10) και Ανατολικής Μακεδονίας (11), και Θράκης (12) παρουσιάζουν πολλές ομοιότητες ως προς τη διαθεσιμότητα και την ποιοτική κατάσταση των υδατικών πόρων (Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων, 2007). Στις ΛΑΠ αυτές το θεωρητικά διαθέσιμο υδατικό δυναμικό, αν και μεγάλο (Δυτική Μακεδονία: 3,600 εκατ. m^3 / έτος, Κεντρική Μακεδονία: 5,800 εκατ. m^3 / έτος, Ανατολική Μακεδονία: 4,840 εκατ. m^3 / έτος, Θράκη: 14,675 εκατ. m^3 / έτος), δεν αξιοποιείται επαρκώς, ενώ οι υδατικοί πόροι χρησιμοποιούνται για την κάλυψη τόσο των ίδιων αναγκών τους όσο και των αναγκών των γειτονικών ΛΑΠ της Αλβανίας, της Π.Γ.Δ.Μ, της Βουλγαρίας και της Τουρκίας.

[7] https://www.google.com/earth/
[8] http://environ.chemeng.ntua.gr/en/

Πίνακας 4.1: Τα ονόματα και οι κωδικοί αριθμοί των 46 ελληνικών ΛΑΠ[9]

Κωδ. Αρ.	ΛΑΠ	Κωδ. Αρ.	ΛΑΠ
GR01	Πρεσπών	**GR24**	Άμφισσας
GR02	Αλιάκμονα	**GR25**	Ασωπού
GR03	Αξιού	**GR26**	Λεκανοπεδίου Αττικής
GR04	Γαλλικού	**GR27**	Ρεμάτων Παραλίας Βορείας Πελοποννήσου
GR05	Χαλκιδικής	**GR28**	Πείρου - Βέργα - Πηνειού
GR06	Στρυμόνα	**GR29**	Αλφειού
GR07	Νέστου	**GR30**	Οροπεδίου Τρίπολης
GR08	Ρεμ Ξάνθης - Ξηρορέματος	**GR31**	Ρεμάτων Αργολικού Κόλπου
GR09	Ρεμ Κομοτηνής - Λουτρού Έβρου	**GR32**	Πάμισου -Νέδοντος - Νέδα
GR10	Έβρου	**GR33**	Ευρώτα
GR11	Αώου	**GR34**	Κέρκυρας - Παξών
GR12	Καλαμά	**GR35**	Σποράδων
GR13	Αχέροντα	**GR36**	Ανατολικού Αιγαίου
GR14	Άραχθου	**GR37**	Κυκλάδων
GR15	Αχελώου	**GR38**	Δωδεκανήσων
GR16	Πηνειού	**GR39**	Ρεμάτων Βορείου Τμήματος Χανίων - Ρεθύμνου - Ηρακλείου
GR17	Ρεμάτων Αλμυρού - Πηλίου	**GR40**	Ρεμάτων Νοτίου Τμήματος Χανίων - Ρεθύμνου - Ηρακλείου
GR18	Σπερχειού	**GR41**	Ρεμάτων Ανατολικής Κρήτης
GR19	Εύβοιας	**GR42**	Θάσου - Σαμοθράκης
GR20	Εύηνου	**GR43**	Άθως
GR21	Μόρνου	**GR44**	Λευκάδας
GR22	ΒΑ Παραλίας Καλλιδρόμου	**GR45**	Κεφαλονιάς - Ιθάκης - Ζακύνθου
GR23	Βοιωτικού Κηφισού	**GR46**	Λούρου

Το Υδατικό Διαμέρισμα Νήσων Αιγαίου (14) περιλαμβάνει τις ΛΑΠ του Ανατολικού Αιγαίου (GR36), των Κυκλάδων (GR37) και των Δωδεκανήσων (GR38). Ο κατακερματισμός της έκτασης του Υδατικού Διαμερίσματος (9,104 χλμ^2) στα χιλιάδες νησιά (στο Αιγαίο υπάρχουν 7,582 νησιά και βραχονησίδες, το 90% των οποίων έχουν έκταση μικρότερη από 10 χλμ^2, ενώ μόνο δύο νησιά

[9] Ως λεκάνη απορροής ποταμού ορίζεται η εδαφική έκταση από την οποία αποστραγγίζεται το σύνολο της απορροής (βροχόπτωση, χιονόπτωση) μιας περιοχής, μέσω του υδρογραφικού δικτύου της (διαδοχικών ρευμάτων, χειμάρρων, ποταμών, και πιθανώς λιμνών) και παροχετεύεται στη θάλασσα μέσω της εκβολής (ή δέλτα) ποταμού (ΥΠΕΚΑ, 2013ε).

του Υδατικού Διαμερίσματος, η Λέσβος και η Ρόδος, ξεπερνούν σε έκταση τα 1,000 χλμ^2) επιβάλλει την προσέγγιση και ανάλυση του Υδατικού Διαμερίσματος ανά νησί, η συνολική έκταση του κάθε νησιού θεωρείται ξεχωριστή υδρολογική-υδρογεωλογική ενότητα (Triantis & Mylonas, 2009; ΥΠΕΚΑ, 2015β). Στα νησιά του Αιγαίου δεν αναπτύσσονται αξιόλογες υδρολογικές λεκάνες λόγω της μικρής τους έκτασης (εξαιρούνται τα νησιά Λέσβος, Χίος και Ρόδος, η έκταση των οποίων ξεπερνά τα 500 χλμ^2), ενώ τα μικρή ύψη βροχής που δέχονται σε συνδυασμό με τη γεωλογική τους διαμόρφωση οδηγούν στο σχηματισμό περιορισμένης έκτασης υδροφορέων, κυρίως καρστικών. Οι υδροφορείς αυτοί εκφορτίζονται είτε σε πηγές επαφής είτε σε παραθαλάσσιες ή υποθαλάσσιες πηγές. Οι πηγές αυτές δεν έχουν αξιόλογο μέγεθος και πολλές φορές η ποιοτική τους κατάσταση είναι υποβαθμισμένη (υφαλμύρινση), όμως γενικά τα ρυθμιστικά αποθέματα αυτών των πηγών συμβάλλουν σημαντικά στην κάλυψη της ζήτησης των νησιών. Τα νησιά του Αιγαίου παρουσιάζουν σημαντικά προβλήματα λειψυδρίας και σπανιότητας ύδατος, και μπορούν να διακριθούν σε πέντε ομάδες με παρεμφερή υδρολογικά χαρακτηριστικά (Κουτσογιάννης κ.α., 2008; ΥΠΕΚΑ, 2015β):

- Κεντρικές και νότιες Κυκλάδες: Φολέγανδρος, Πάρος, Μήλος, Κίμωλος, Σίφνος, Σέριφος, Σύρος, Μύκονος, Νάξος, Αμοργός, Ανάφη, Θήρα, Ίος, Σίκινος (μέση ετήσια βροχόπτωση 379 mm)
- Βόρειες Κυκλάδες: Κύθνος, Κέα, Άνδρος, Τήνος (μέση ετήσια βροχόπτωση 349 mm)
- Βόρειο Αιγαίο: Λήμνος, Άγιος Ευστράτιος (μέση ετήσια βροχόπτωση 520 mm)
- Ανατολικό Αιγαίο: Λέσβος, Χίος, Ψαρά, Ικαρία, Σάμος, Φούρνοι, Πάτμος (μέση ετήσια βροχόπτωση 603 mm)
- Δωδεκάνησα: Λέρος, Κάλυμνος, Κως, Νίσυρος, Σύμη, Τήλος, Χάλκη, Ρόδος, Κάρπαθος, Κάσος, Αστυπάλαια (μέση ετήσια βροχόπτωση 818 mm).

Τέλος, το Υδατικό Διαμέρισμα της Κρήτης (13) περιλαμβάνει τρεις ΛΑΠ: των Ρεμάτων Βορείου Τμήματος Χανίων - Ρεθύμνου - Ηρακλείου (GR39), των Ρεμάτων Νοτίου Τμήματος Χανίων - Ρεθύμνου - Ηρακλείου (GR40) και των Ρεμάτων Ανατολικής Κρήτης (GR41). Η Κρήτη είναι το μεγαλύτερο νησί της Ελλάδας και πέμπτο μεγαλύτερο στη Μεσόγειο, με έκταση 8,345 χλμ^2 και χαρακτηρίζεται από έντονο ανάγλυφο με μεγάλα ορεινά συγκροτήματα, και μεγάλη ποικιλία γεωλογικών σχηματισμών. Στους πρόποδες των ορεινών όγκων διαμορφώνονται τα πεδινά, εύφορα τμήματα του νησιού. Η μέση ετήσια βροχόπτωση στο νησί είναι 927 mm (πάνω από το 60% χάνεται στην εξατμισοδιαπνοή) και παρουσιάζει αύξηση από τα Ανατολικά προς τα Δυτικά, ενώ οι υδατικοί πόροι του νησιού θεωρούνται περιορισμένοι (Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων, 2007; ΥΠΕΚΑ, 2015β).

4.2.1.1. Πηγές Δεδομένων

Στην παρούσα Διατριβή, οι δέκα επιμέρους δείκτες τρωτότητας υπολογίστηκαν για κάθε μία από τις 46 ΛΑΠ, χρησιμοποιώντας κυρίως δεδομένα από τα Προσχέδια και τα Σχέδια Διαχείρισης των Λεκανών Απορροής των Υδατικών Διαμερισμάτων της χώρας, τα οποία καταρτίστηκαν από την Ειδική Γραμματεία Υδάτων του ΥΠΕΚΑ. Πιο συγκεκριμένα, οι πηγές των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό των δεικτών τρωτότητας (εκτίμηση σχετικών μεταβλητών) για τις ΛΑΠ των 14 Υδατικών Διαμερισμάτων (ΥΔ) παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.2, ενώ τα ακριβή στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν από κάθε πηγή και ο τρόπος υπολογισμού των δεικτών τρωτότητας για κάθε μία από τις 46 ΛΑΠ περιγράφονται αναλυτικά στο Τεύχος: «Υπολογισμός Δεικτών Τρωτότητας για τις 46 ελληνικές Λεκάνες Απορροής Ποταμών», που συνοδεύει τη Διατριβή.

Πίνακας 4.2: Πηγές Δεδομένων & Στοιχείων για τον Υπολογισμό των Δεικτών Τρωτότητας στις 46 ΛΑΠ

Μεταβλητές Δεικτών Τρωτότητας	**Πηγές Δεδομένων & Στοιχείων**
Χρήσεις Γης στις ΛΑΠ	
Έκταση	• Προσχέδια Διαχείρισης των ΛΑΠ Αλφειού (GR29), Πάμισου – Νέδοντος – Νέδα (GR32), Κεφαλλονιάς – Ιθάκης – Ζακύνθου (GR45), Πηνειού – Πείρου – Βέργα (GR28), Ρεμάτων παραλίας Βόρειας Πελοποννήσου (GR27), Οροπεδίου Τρίπολης (GR30), Ευρώτα (GR33), Ρεμάτων Αργολικού Κόλπου (GR31) (ΥΠΕΚΑ, 2011α – 2011η) • Σχέδια Διαχείρισης των ΥΔ 04 – 14 (ΥΠΕΚΑ, 2013δ – 2013η, 2014α – 2014δ; 2015α, 2015β)
Δάση και δασικές εκτάσεις	• Σχέδια Διαχείρισης των ΥΔ 01, 02, 03, 06, 07, 09, 10, 13 (ΥΠΕΚΑ, 2013α – 2013γ, 2013ε, 2013στ, 2014γ, 2014δ; 2015α) • Παραδοτέο 8: «Ανάλυση Ανθρωπογενών Πιέσεων και των Επιπτώσεών τους στα Επιφανειακά και στα Υπόγεια Υδατικά Συστήματα» για την κατάρτιση των Σχεδίων Διαχείρισης των ΥΔ 04, 05, 08 (ΥΠΕΚΑ, 2012α, 2012β, 2012ε) • Στρατηγικές Μελέτες Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΣΜΠΕ) των Σχεδίων Διαχείρισης των ΥΔ 11, 12,14 (ΥΠΕΚΑ, 2012η, 2013κ, 2015γ)

Μεταβλητές Δεικτών Τρωτότητας	**Πηγές Δεδομένων & Στοιχείων**
Δημογραφικά & Κοινωνικο-οικονομικά Στοιχεία των ΛΑΠ	
Μόνιμος πληθυσμός	• Προσχέδια Διαχείρισης των ΛΑΠ Αλφειού (GR29), Πάμισου – Νέδοντος – Νέδα (GR32), Κεφαλλονιάς – Ιθάκης – Ζακύνθου (GR45), Πηνειού – Πείρου – Βέργα (GR28), Ρεμάτων παραλίας Βόρ. Πελοποννήσου (GR27), Οροπεδίου Τρίπολης (GR30), Ευρώτα (GR33), Ρεμάτων Αργολικού Κόλπου (GR31) (ΥΠΕΚΑ, 2011α – 2011η) • Σχέδια Διαχείρισης των ΥΔ 04 – 14 (ΥΠΕΚΑ, 2013δ – 2013η, 2014α – 2014δ; 2015α, 2015β) • Υποστήριξη της κατάρτισης Εθνικού Προγράμματος Διαχείρισης και Προστασίας των Υδατικών Πόρων (Κουτσογιάννης κ.α., 2008) • Διαδραστικός Χάρτης Βασικών Δεικτών ανά Διοικητική Υποδιαίρεση της Ελληνικής Στατιστικής Αρχής (Ελληνική Στατιστική Αρχή [ΕΛΣΤΑΤ], 2011α)
Αριθμός απασχολούμενων & ανέργων	ΕΛΣΤΑΤ, Πίνακας Β15: Οικονομικά ενεργός και μη ενεργός πληθυσμός κατά επίπεδο εκπαίδευσης (ΕΛΣΤΑΤ, 2011β)
Επίπεδο εκπαίδευσης πληθυσμού	
Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν (ΑΕΠ)	ΕΛΣΤΑΤ, Χρονοσειρά: Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν κατά Περιφέρεια και Νομό (2000-2013) (ΕΛΣΤΑΤ, 2011γ)

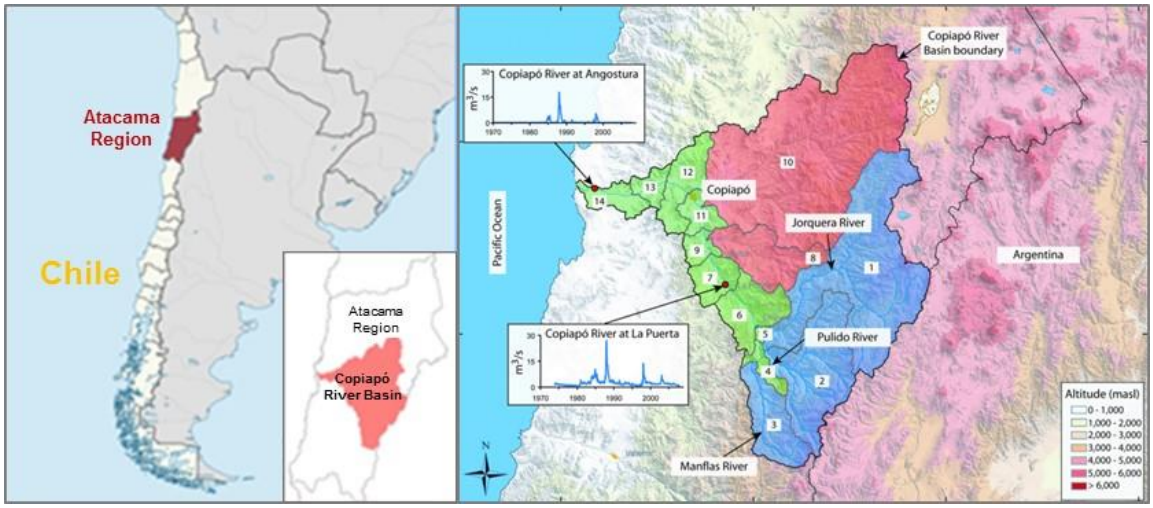
Προσφορά & Κατανάλωση Υδατικών Πόρων στις ΛΑΠ	
Θεωρητικά διαθέσιμο υδατικό δυναμικό (μεικτή απορροή ή μέση ετήσια βροχόπτωση & εξατμισοδιαπνοή)	• Σχέδια Διαχείρισης των ΥΔ 01, 02, 03, 09, 10, 12, 13 (ΥΠΕΚΑ, 2013α – 2013γ, 2013η, 2014γ, 2014δ; 2015α) • Υποστήριξη της κατάρτισης Εθνικού Προγράμματος Διαχείρισης και Προστασίας των Υδατικών Πόρων (Κουτσογιάννης κ.α., 2008)
Απολήψεις από ίδιους πόρους (επιφανειακούς & υπόγειους) για κατανάλωση εντός ΛΑΠ	• Σχέδια Διαχείρισης των ΥΔ 01-14 (ΥΠΕΚΑ, 2013α – 2013η, 2014α – 2014δ; 2015α, 2015β) • Προσχέδια Διαχείρισης των ΛΑΠ Αλφειού (GR29), Πάμισου – Νέδοντος – Νέδα (GR32), Κεφαλλονιάς – Ιθάκης – Ζακύνθου (GR45), Πηνειού – Πείρου – Βέργα (GR28), Ρεμάτων παραλίας Βόρ. Πελοποννήσου (GR27), Οροπεδίου Τρίπολης (GR30), Ευρώτα (GR33), Ρεμάτων Αργολικού Κόλπου (GR31) (ΥΠΕΚΑ, 2011α – 2011η) • Υποστήριξη της κατάρτισης Εθνικού Προγράμματος Διαχείρισης και Προστασίας των Υδατικών Πόρων (Κουτσογιάννης κ.α., 2008) • Διπλωματική εργασία με θέμα την ανάπτυξη μοντέλου συνδυασμένης διαχείρισης των Λεκανών Απορροής Αχελώου και Πηνειού (Νικολόπουλος, 2015) • Παραδοτέο 8: «Ανάλυση Ανθρωπογενών Πιέσεων και των Επιπτώσεών τους στα Επιφανειακά και στα Υπόγεια Υδατικά Συστήματα» για την κατάρτιση των Σχεδίων Διαχείρισης των ΥΔ 04, 09, 10 (ΥΠΕΚΑ, 2012α, 2013θ, 2013ι) • ΚΥΑ για την Έγκριση της ΣΜΠΕ του Σχεδίου Διαχείρισης του ΥΔ 12 (Ελληνική Δημοκρατία, 2013β)
Απολήψεις από ίδιους πόρους (επιφανειακούς & υπόγειους) για κατανάλωση σε άλλες ΛΑΠ	
Απολήψεις από άλλες ΛΑΠ	
Κατανάλωση αφαλατωμένου νερού	• Παραδοτέο 8: «Ανάλυση Ανθρωπογενών Πιέσεων και των Επιπτώσεών τους στα Επιφανειακά και στα Υπόγεια Υδατικά Συστήματα» για την κατάρτιση των Σχεδίων Διαχείρισης των ΥΔ 01-12 (ΥΠΕΚΑ, 2011θ – 2011κ, 2012α – 2012ζ, 2013θ, 2013ι) • Ερευνητική εργασία των Kartalidis et al. (2016) με τίτλο: “Responding to water challenges in Greece through desalination: energy considerations”
Κατανάλωση ανακτημένου νερού	• Ερευνητική εργασία των Ilias et al. (2014): “Wastewater Recycling in Greece: The Case of Thessaloniki” • Ερευνητική εργασία των Karamanos et al. (2005): “Non- conventional water use in Greece” • Οδηγίες για την Ε&ΑΝ της Υπηρεσίας Προστασίας του Περιβάλλοντος των Ηνωμένων Πολιτειών (US EPA, 2004)

Παραγωγή & Επεξεργασία Υγρών Αποβλήτων στις ΛΑΠ	
Πληθυσμός που εξυπηρετείται από ΕΕΛ	• Παραδοτέο 8: «Ανάλυση Ανθρωπογενών Πιέσεων και των Επιπτώσεών τους στα Επιφανειακά και στα Υπόγεια Υδατικά Συστήματα» για την κατάρτιση των Σχεδίων Διαχείρισης των ΥΔ 01-12 (ΥΠΕΚΑ, 2011θ – 2011κ, 2012α – 2012ζ, 2013θ, 2013ι) • Προσχέδια Διαχείρισης των ΛΑΠ Οροπεδίου Τρίπολης (GR30), Ευρώτα (GR33), Ρεμάτων Αργολικού Κόλπου (GR31) (ΥΠΕΚΑ, 2011στ – 2011η) • Σχέδια Διαχείρισης των ΥΔ 13 & 14 (ΥΠΕΚΑ, 2015α, 2015β) • Βάση δεδομένων της Ειδικής Γραμματείας Υδάτων για τις Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων (http://astikalimata.ypeka.gr/)
Μέση ημερήσια οικιακή υδατική κατανάλωση	Παραδοτέο 8: «Ανάλυση Ανθρωπογενών Πιέσεων και των Επιπτώσεών τους στα Επιφανειακά και στα Υπόγεια Υδατικά Συστήματα» για την κατάρτιση των Σχεδίων Διαχείρισης των ΥΔ 01-12 (ΥΠΕΚΑ, 2011θ – 2011κ, 2012α – 2012ζ, 2013θ, 2013ι)
Ποσοστό οικιακής υδατικής κατανάλωσης που μετατρέπεται σε παροχή ακαθάρτων	Σχεδιασμός Αστικών Δικτύων Αποχέτευσης (Κουτσογιάννης, 1999)

4.2.2. Λεκάνη Απορροής Ποταμού Copiapó, Χιλή

Η ΛΑΠ Copiapó (Copiapó River Basin) βρίσκεται στην Έρημο Ατακάμα (Atacama) της Χιλής (Εικόνα 4.2) και καταλαμβάνει έκταση 18,538 χλμ^2. Ο πληθυσμός της περιοχής αυξάνεται εκθετικά τα τελευταία 40 χρόνια, και ανέρχεται σε 188,015 κατοίκους (απογραφή 2012). Οι μεγαλύτεροι οικισμοί βρίσκονται στις πόλεις Copiapó, Los Loros και Tierra Amarilla και είναι εγκατεστημένοι κατά μήκος του ποταμού Copiapó (Porto et al., 2012).

Το κλίμα της ΛΑΠ είναι ξηρό - ημίξηρο, με μέση ετήσια θερμοκρασία τους 15.2 °C στα κεντρικά της λεκάνης, και μέσο ετήσιο ύψος βροχής τα 28 mm. Η κατανομή της βροχόπτωσης ακολουθεί το ανάγλυφο της περιοχής (Εικόνα 4.3), και το μέσο ετήσιο ύψος βροχής κυμαίνεται από 500 mm στις κορυφές των Άνδεων, στα ανάντη της λεκάνης (ανατολικά όρια – υδροκρίτης της λεκάνης στα σύνορα με την Αργεντινή), έως 20 mm στην πόλη του Copiapó, που βρίσκεται 60 χλμ. από την έξοδο του ποταμού Copiapó στον Ειρηνικό Ωκεανό (Porto et al., 2012).

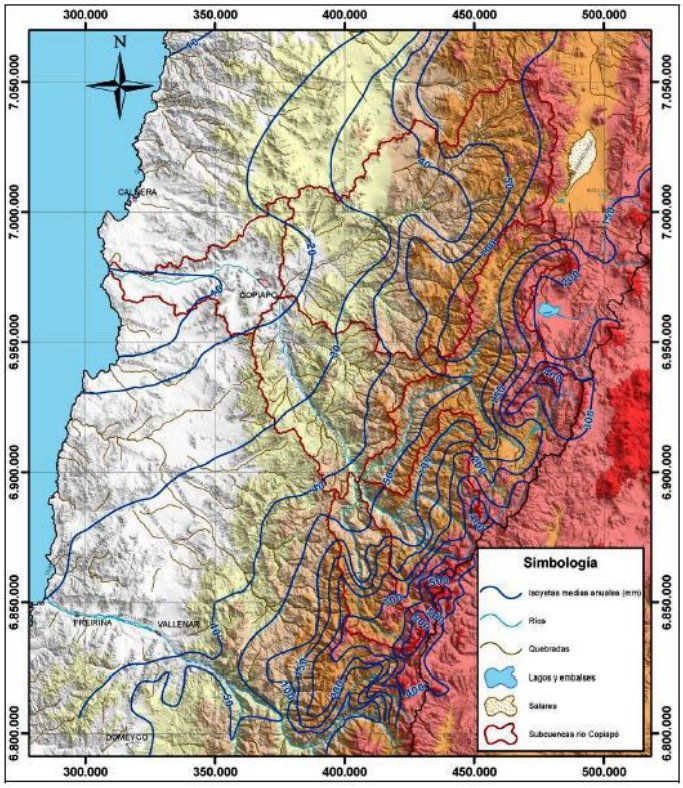


Εικόνα 4.2: Η ΛΑΠ Copiapó στη Χιλή (Πηγή: Porto et al., 2012 & Suárez et al., 2014)

Ο ποταμός Copiapó είναι η παλαιότερη πηγή νερού στην περιοχή και η μέση μηνιαία ροή του κυμαίνεται μεταξύ 1.49 m^3/s και 1.82 m^3/s. Αποτελεί την κύρια πηγή τροφοδοσίας του υπόγειου υδροφορέα της περιοχής, καθώς η διήθηση του νερού της βροχής είναι αμελητέα. Ο υπόγειος υδροφορέας της λεκάνης του Copiapó, ανατροφοδοτείται με ρυθμό 4 m^3/s και μπορεί να χωριστεί σε έξι ανεξάρτητα τμήματα με διαφορετική συμπεριφορά (Porto et al., 2012).

Οι βασικές οικονομικές δραστηριότητες, και ταυτόχρονα μεγαλύτεροι καταναλωτές ύδατος στη ΛΑΠ Copiapó, είναι η γεωργία και η εξόρυξη μεταλλευμάτων. Η γεωργία καταναλώνει το 77% της συνολικής προσφοράς νερού, ενώ τα ορυχεία καταναλώνουν το 6%. Στην περιοχή δεν υπάρχουν ξηρικές καλλιέργειες, λόγω του κλίματος που επικρατεί, και οι καρποί αρδεύονται από επιφανειακούς (η ροή του ποταμού Copiapó στο σύνολό της χρησιμοποιείται για την άρδευση των καλλιεργειών) και υπόγειους υδατικούς πόρους (μέσω γεωτρήσεων). Για τις εξορυκτικές δραστηριότητες χρησιμοποιούνται κυρίως υπόγειοι υδατικοί πόροι, καθώς και αφαλατωμένο νερό (διάφορα έργα αφαλάτωσης έχουν δρομολογηθεί για να καλύψουν τις ολοένα και αυξανόμενες υδατικές ανάγκες της εξορυκτικής βιομηχανίας) (Porto et al., 2012).

Στη ΛΑΠ Copiapó έχει αναπτυχθεί ένα ιδιαίτερο καθεστώς σχετικά με την παραχώρηση δικαιωμάτων ιδιοκτησίας και χρήσης νερού, που επηρεάζει δυσμενώς τη διαθεσιμότητα και τη διαχείριση των υδατικών πόρων. Ιδιωτικά δικαιώματα απεριόριστης χρήσης παραχωρούνται εδώ και χρόνια από την κυβέρνηση στους διάφορους χρήστες νερού, τα οποία δεν μπορούν να ανακληθούν, ούτε σε ειδικές περιπτώσεις εξαιρετικά περιορισμένης διαθεσιμότητας πόρων, όπως μία ξηρασία. Οι χρήστες μεταπωλούν τα δικαιώματα αυτά σε άλλους χρήστες, δημιουργώντας έτσι μία αγορά νερού. Το εμπόριο των δικαιωμάτων χρήσης νερού στο Copiapó έχει οδηγήσει στην ανεξέλεγκτη χρήση των υδατικών πόρων κατά τις τελευταίες δεκαετίες, καθώς έχουν εκδοθεί πάρα πολλές άδειες χρήσης που πλέον δεν αντιστοιχούν στις χρήσεις για τις οποίες εκδόθηκαν (π.χ. το δικαίωμα που είχε αρχικά παραχωρηθεί σε έναν γεωργό και προέβλεπε υδροληψία από το ποτάμι για 8 ώρες την ημέρα, για 4 μήνες το χρόνο, έχει μεταπωληθεί σε ένα ορυχείο, με αποτέλεσμα να γίνεται συνεχής 24ωρη απόληψη ύδατος καθ' όλη τη διάρκεια του έτους).



Εικόνα 4.3: Μέσες ετήσιες ισοϋέτιες καμπύλες στη ΛΑΠ Copiapó (Πηγή: Porto et al., 2012)

Η υπερεκμετάλλευση των διαθέσιμων πόρων, λόγω του ανεξέλεγκτου εμπορίου των δικαιωμάτων χρήσης νερού, σε συνδυασμό με την αυξημένη ζήτηση του γεωργικού και του εξορυκτικού κλάδου, αποτελούν τις κυρίαρχες προκλήσεις στο θέμα της διαχείρισης των υδατικών πόρων στη ΛΑΠ Copiapó. Η ταχεία ανάπτυξη της εξορυκτικής βιομηχανίας και η αύξηση του πληθυσμού αναμένεται να περιορίσουν ακόμα περισσότερο τους ήδη περιορισμένους υδατικούς πόρους και να εντείνουν τον ανταγωνισμό μεταξύ των διαφορετικών χρηστών νερού (Porto et al., 2012).

4.2.2.1. Πηγές Δεδομένων

Δεδομένα για την εφαρμογή της προτεινόμενης μεθόδου σχετικά με την ανάπτυξη ευνοϊκού περιβάλλοντος για την προώθηση της εφαρμογής επεμβάσεων Ε&ΑΝ στη ΛΑΠ Copiapó λήφθηκαν από το χρηματοδοτούμενο από την ΕΕ ερευνητικό έργο COROADO (http://www.coroado-project.eu/), το οποίο είχε στόχο να προάγει την εφαρμογή επεμβάσεων Ε&ΑΝ στη Λατινική Αμερική. Επίσης, πληροφορίες σχετικά με την τρωτότητα στη ΛΑΠ Copiapó, και την αξιολόγηση διαφορετικών επεμβάσεων Ε&ΑΝ στην περιοχή λήφθηκαν από τα παραδοτέα 2.1 (Porto et al., 2012), 4.1 (Verzandvoort et al., 2013), 4.2 (Verzandvoort et al., 2015), 8.1 (Assimacopoulos et al., 2014) και 8.2 (Assimacopoulos et al., 2015) του έργου COROADO, καθώς και από την εργασία των Stathatou et al. (2016).

4.3. Εκτίμηση Τρωτότητας Υδατικών Συστημάτων στις Λεκάνες Απορροής της Ελλάδας

4.3.1. Επιμέρους Δείκτες Τρωτότητας

Όπως αναφέρεται και στην Ενότητα 4.2.1.1, οι δέκα επιμέρους δείκτες τρωτότητας υπολογίστηκαν για κάθε ΛΑΠ, χρησιμοποιώντας κυρίως δεδομένα από τα Προσχέδια και τα Σχέδια Διαχείρισης των Λεκανών Απορροής των Υδατικών Διαμερισμάτων της χώρας. Στην ενότητα αυτή αρχικά, δίνεται ένα παράδειγμα υπολογισμού των δέκα επιμέρους δεικτών τρωτότητας για τη ΛΑΠ Αλφειού (GR29) του ΥΔ Δυτικής Πελοποννήσου (ΥΔ 01) (ο τρόπος υπολογισμού των δεικτών τρωτότητας για τις υπόλοιπες ΛΑΠ περιγράφεται αναλυτικά στο Τεύχος: «Υπολογισμός Δεικτών Τρωτότητας για τις 46 ελληνικές Λεκάνες Απορροής Ποταμών»), και στη συνέχεια παρατίθενται τα αποτελέσματα των υπολογισμών (δείκτες έκθεσης και ευαισθησίας και δείκτες προσαρμοστικής ικανότητας) για τις 46 ελληνικές ΛΑΠ.

4.3.1.1. Παράδειγμα Υπολογισμού Δεικτών Τρωτότητας: Υπολογισμοί για τη ΛΑΠ Αλφειού (GR29)

Η συνολική **έκταση** της ΛΑΠ Αλφειού είναι 3,810.00 χλμ^2, όπως δίνεται από το Προσχέδιο Διαχείρισής της (ΥΠΕΚΑ, 2011α). Η έκταση της ΛΑΠ συμμετέχει ως μεταβλητή στον υπολογισμό των δεικτών Πυκνότητα πληθυσμού (DENS) και Κάλυψη περιοχής από βλάστηση (VEG). Η **κάλυψη της περιοχής από βλάστηση (VEG)** δίνεται από το Σχέδιο Διαχείρισης του ΥΔ 01 (ΥΠΕΚΑ, 2013α), ίση με 50.00%.

Ο **μόνιμος πληθυσμός** της ΛΑΠ συμμετέχει ως μεταβλητή στον υπολογισμό των δεικτών Falkenmark (F), Ανεπεξέργαστα υγρά απόβλητα προς τους ανανεώσιμους υδατικούς πόρους (WW), Πυκνότητα πληθυσμού (DENS), Οικονομικά ενεργός πληθυσμός (EC), Πληθυσμός που δεν προχώρησε στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση (ED), και Κατά κεφαλήν Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν (GDP).

Σύμφωνα με την ΕΛΣΤΑΤ (2014α), ως μόνιμος πληθυσμός ορίζεται ο συνολικός πληθυσμός που δήλωσε ως μόνιμη κατοικία του κατά την απογραφή του τον συγκεκριμένο τόπο, ανεξάρτητα από το πού βρέθηκε και απογράφηκε στην επικράτεια της χώρας. Για παράδειγμα, κάποιος που την ώρα της απογραφής βρέθηκε τυχαία, ή ήταν περαστικός από την Πάτρα, όμως διαμένει μόνιμα στη Λάρισα, καταγράφεται στον πραγματικό πληθυσμό Πάτρας (αφού απογράφηκε εκεί) και ταυτόχρονα στο μόνιμο πληθυσμό Λάρισας (αφού μόνιμα διαμένει στη Λάρισα).

Για τον υπολογισμό των ποσοστών του πληθυσμού των Δήμων και των Δημοτικών Ενοτήτων, οι οποίοι βρίσκονται εντός της ΛΑΠ, συνδυάστηκαν στοιχεία από το Προσχέδιο Διαχείρισης της ΛΑΠ Αλφειού (ΥΠΕΚΑ, 2011α), τους Κουτσογιάννης κ.α. (2008) και το Διαδραστικό Χάρτη Βασικών Δεικτών ανά Διοικητική Υποδιαίρεση της ΕΛΣΤΑΤ (ΕΛΣΤΑΤ, 2011α). Τα ποσοστά αυτά πολλαπλασιάστηκαν με τους αντίστοιχους μόνιμους πληθυσμούς των Δημοτικών Ενοτήτων και των Δήμων, σύμφωνα με τα στοιχεία της ΕΛΣΤΑΤ (ΕΛΣΤΑΤ, 2011α), και προέκυψε ο μόνιμος πληθυσμός της ΛΑΠ Αλφειού, όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 4.3.

Ο δείκτης **Πυκνότητα πληθυσμού (DENS)** είναι ίσος με 25.38 κατοίκους / χλμ^2 και υπολογίστηκε διαιρώντας το μόνιμο πληθυσμό με την έκταση της ΛΑΠ.

Πίνακας 4.3: Υπολογισμός Μόνιμου Πληθυσμού ΛΑΠ Αλφειού

ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ ΛΑΠ ΑΛΦΕΙΟΥ (GR29)					
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ	**ΔΗΜΟΣ**	**ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ (ΔΕ)**	**ΠΟΣΟΣΤΟ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ ΔΕ ΕΝΤΟΣ ΛΑΠ**	**ΜΟΝΙΜΟΣ ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ ΔΗΜΟΥ / ΔΕ**	**ΜΟΝΙΜΟΣ ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ ΤΗΣ ΛΑΠ**
ΑΡΚΑΔΙΑΣ	ΓΟΡΤΥΝΙΑΣ		100.00%	10,109	10,109
ΑΡΚΑΔΙΑΣ	ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗΣ	ΓΟΡΤΥΝΟΣ	100.00%	720	720
ΑΡΚΑΔΙΑΣ	ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗΣ	ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗΣ	90.63%	7,890	7,151
ΑΡΚΑΔΙΑΣ	ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗΣ	ΦΑΛΑΙΣΙΑΣ	57.48%	2,077	1,194
ΑΡΚΑΔΙΑΣ	ΤΡΙΠΟΛΗΣ	ΒΑΛΤΕΤΣΙΟΥ	76.64%	917	703
ΑΡΚΑΔΙΑΣ	ΤΡΙΠΟΛΗΣ	ΛΕΒΙΔΙΟΥ	16.61%	3,094	514
ΑΡΚΑΔΙΑΣ	ΤΡΙΠΟΛΗΣ	ΣΚΙΡΙΤΙΔΑΣ	30.42%	1,265	385
ΑΡΚΑΔΙΑΣ	ΤΡΙΠΟΛΗΣ	ΦΑΛΑΝΘΟΥ	90.38%	402	363
ΑΧΑΪΑΣ	ΚΑΛΑΒΡΥΤΩΝ	ΑΡΟΑΝΙΑΣ	100.00%	1,619	1,619
ΑΧΑΪΑΣ	ΚΑΛΑΒΡΥΤΩΝ	ΚΑΛΑΒΡΥΤΩΝ	3.92%	6,011	236
ΑΧΑΪΑΣ	ΚΑΛΑΒΡΥΤΩΝ	ΚΛΕΙΤΟΡΙΑΣ	100.00%	2,360	2,360
ΑΧΑΪΑΣ	ΚΑΛΑΒΡΥΤΩΝ	ΠΑΪΩΝ	100.00%	1,055	1,055
ΗΛΕΙΑΣ	ΑΝΔΡΙΤΣΑΙΝΑΣ - ΚΡΕΣΤΕΝΩΝ	ΑΛΙΦΕΙΡΑΣ	100.00%	2,008	2,008
ΗΛΕΙΑΣ	ΑΝΔΡΙΤΣΑΙΝΑΣ - ΚΡΕΣΤΕΝΩΝ	ΑΝΔΡΙΤΣΑΙΝΗΣ	86.29%	1,798	1,551
ΗΛΕΙΑΣ	ΑΝΔΡΙΤΣΑΙΝΑΣ - ΚΡΕΣΤΕΝΩΝ	ΣΚΙΛΛΟΥΝΤΟΣ	100.00%	10,303	10,303
ΗΛΕΙΑΣ	ΑΡΧΑΙΑΣ ΟΛΥΜΠΙΑΣ	ΑΡΧ. ΟΛΥΜΠΙΑΣ	100.00%	8,128	8,128
ΗΛΕΙΑΣ	ΑΡΧΑΙΑΣ ΟΛΥΜΠΙΑΣ	ΛΑΜΠΕΙΑΣ	92.77%	1,000	928
ΗΛΕΙΑΣ	ΑΡΧΑΙΑΣ ΟΛΥΜΠΙΑΣ	ΦΟΛΟΗΣ	77.17%	2,969	2,291
ΗΛΕΙΑΣ	ΖΑΧΑΡΩΣ	ΖΑΧΑΡΩΣ	94.86%	7,582	7,192
ΗΛΕΙΑΣ	ΠΥΡΓΟΥ	ΒΩΛΑΚΟΣ	100.00%	2,935	2,935
ΗΛΕΙΑΣ	ΠΥΡΓΟΥ	ΠΥΡΓΟΥ	88.83%	35,572	31,598
ΗΛΕΙΑΣ	ΠΥΡΓΟΥ	ΩΛΕΝΗΣ	57.71%	5,815	3,356
				ΣΥΝΟΛΟ	**96,699**

Γνωρίζοντας το μόνιμο πληθυσμό, προκύπτει και το ποσοστό του **οικονομικά ενεργού πληθυσμού**, καθώς και του **πληθυσμού που δεν προχώρησε στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση**, με βάση τα στοιχεία της ΕΛΣΤΑΤ (ΕΛΣΤΑΤ, 2011β).

Σύμφωνα με την ΕΛΣΤΑΤ (2014β), στον οικονομικά ενεργό πληθυσμό υπάγονται όλα τα άτομα που πληρούν τις προϋποθέσεις για την κατάταξή τους μεταξύ των απασχολουμένων ή των ανέργων. Απασχολούμενοι θεωρούνται όλα τα άτομα ηλικίας 15 ετών και άνω, τα οποία είτε ασκούν τουλάχιστον επί μία ώρα εργασία έναντι αμοιβής ή κέρδους, σε μετρητά ή σε είδος, είτε απουσιάζουν προσωρινά από τη θέση εργασίας στην οποία έχουν ήδη εργαστεί και με την οποία διατηρούν επίσημη σύνδεση, ή από τη δραστηριότητα αυτοαπασχόλησής τους. Άνεργοι θεωρούνται όλα τα άτομα ηλικίας 15 ετών και άνω, τα οποία δήλωσαν είτε «χωρίς εργασία», δηλαδή δεν είχαν αμειβόμενη απασχόληση ούτε αυτοαπασχόληση, είτε «διαθέσιμα για εργασία κατ' αυτή την περίοδο», δηλαδή έτοιμα για έναρξη δραστηριότητας ως μισθωτοί ή αυτοαπασχολούμενοι κατά τη διάρκεια της προηγούμενης από την απογραφή του 2011 εβδομάδας και επί δύο εβδομάδες μετά από αυτήν. Επίσης, στους ανέργους συγκαταλέγονται και οι «αιτούντες εργασία», δηλαδή εκείνοι που είχαν λάβει συγκεκριμένα μέτρα για την επιδίωξη αμειβόμενης απασχόλησης ή αυτοαπασχόλησης εντός τεσσάρων εβδομάδων από τη λήξη της προηγούμενης από την απογραφή του 2011 εβδομάδας. Στον οικονομικά μη ενεργό πληθυσμό περιλαμβάνονται τα άτομα κάτω από την εθνική ελάχιστη απαιτούμενη ηλικία για την άσκηση οικονομικής δραστηριότητας (15 έτη), καθώς και οι συνταξιούχοι, οι εισοδηματίες κοκ.

Ο οικονομικά ενεργός πληθυσμός της ΛΑΠ Αλφειού, προκύπτει, όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 4.4, ίσος με 34,226 άτομα, αποτελεί δηλαδή ποσοστό 35.39% του συνολικού μόνιμου πληθυσμού.

Πίνακας 4.4: Υπολογισμός Οικονομικά Ενεργού Πληθυσμού ΛΑΠ Αλφειού

ΔΗΜΟΣ	**ΜΟΝΙΜΟΣ ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ ΕΝΤΟΣ ΛΑΠ**	**ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΕΝΕΡΓΟΣ ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ ΕΝΤΟΣ ΛΑΠ**	**ΠΟΣΟΣΤΟ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΕΝΕΡΓΟΥ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ**
ΓΟΡΤΥΝΙΑΣ	10,109	2,677	**35.39%**
ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗΣ	9,065	3,168	
ΤΡΙΠΟΛΗΣ	1,965	825	
ΚΑΛΑΒΡΥΤΩΝ	5,270	1,727	
ΑΝΔΡΙΤΣΑΙΝΑΣ - ΚΡΕΣΤΕΝΩΝ	13,862	4,862	
ΑΡΧΑΙΑΣ ΟΛΥΜΠΙΑΣ	11,347	3,855	
ΖΑΧΑΡΩΣ	7,192	2,532	
ΠΥΡΓΟΥ	37,889	14,580	
ΣΥΝΟΛΟ	**96,699**	**34,226**	

Σύμφωνα με την ΕΛΣΤΑΤ (2011β), στον πληθυσμό που δεν προχώρησε στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση περιλαμβάνεται ο πληθυσμός που: α) αποφοίτησε μόνο από το Δημοτικό β) εγκατέλειψε το Δημοτικό, αλλά γνωρίζει γραφή και ανάγνωση, γ) ολοκλήρωσε την προσχολική αγωγή, δ) δε γνωρίζει γραφή και ανάγνωση, ή ε) γεννήθηκε μετά την 1/1/2005.

Ο πληθυσμός που δεν προχώρησε στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση στη ΛΑΠ Αλφειού προκύπτει, όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 4.5, ίσος με 52,472 άτομα, αποτελεί δηλαδή ποσοστό 54.26% του συνολικού μόνιμου πληθυσμού.

Πίνακας 4.5: Υπολογισμός Πληθυσμού που δεν προχώρησε στη β' βάθμια εκπαίδευση στη ΛΑΠ Αλφειού

ΔΗΜΟΣ	**ΜΟΝΙΜΟΣ ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ ΕΝΤΟΣ ΛΑΠ**	**ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ ΠΟΥ ΔΕΝ ΠΡΟΧΩΡΗΣΕ ΣΤΗ Β' ΒΑΘΜΙΑ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΕΝΤΟΣ ΛΑΠ**	**ΠΟΣΟΣΤΟ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ ΠΟΥ ΔΕΝ ΠΡΟΧΩΡΗΣΕ ΣΤΗ Β' ΒΑΘΜΙΑ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ**
ΓΟΡΤΥΝΙΑΣ	10,109	6,580	**54.26%**
ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗΣ	9,065	4,551	
ΤΡΙΠΟΛΗΣ	1,965	845	
ΚΑΛΑΒΡΥΤΩΝ	5,270	3,131	
ΑΝΔΡΙΤΣΑΙΝΑΣ - ΚΡΕΣΤΕΝΩΝ	13,862	8,113	
ΑΡΧΑΙΑΣ ΟΛΥΜΠΙΑΣ	11,347	6,712	
ΖΑΧΑΡΩΣ	7,192	3,980	
ΠΥΡΓΟΥ	37,889	18,560	
ΣΥΝΟΛΟ	**96,699**	**52,472**	

Ο δείκτης **Κατά κεφαλήν Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν (GDP)** προέκυψε διαιρώντας τη συνολική ακαθάριστη αξία από όλα τα προϊόντα και τα αγαθά που παράγει η τοπική οικονομία σε διάστημα ενός έτους (ΑΕΠ), προς τον πληθυσμό της ΛΑΠ. Το ΑΕΠ της ΛΑΠ Αλφειού προκύπτει λαμβάνοντας υπόψη το κατά κεφαλήν ΑΕΠ ανά Περιφερειακή Ενότητα, που δίνεται από την ΕΛΣΤΑΤ (2011γ), και το ποσοστό του πληθυσμού της Περιφερειακής Ενότητας που βρίσκεται εντός της ΛΑΠ. Έτσι, το κατά κεφαλήν ΑΕΠ για τη ΛΑΠ Αλφειού προκύπτει ίσο με 13,529 € / κάτοικο, όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 4.6.

Πίνακας 4.6: Υπολογισμός Κατά Κεφαλήν ΑΕΠ στη ΛΑΠ Αλφειού

ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ (ΠΕ)	ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ ΠΕ ΕΝΤΟΣ ΛΑΠ	ΚΑΤΑ ΚΕΦΑΛΗΝ ΑΕΠ ΠΕ (€ / κάτοικο)	ΑΕΠ ΛΑΠ (€)	ΚΑΤΑ ΚΕΦΑΛΗΝ ΑΕΠ ΛΑΠ (€ / κάτοικο)
ΑΡΚΑΔΙΑΣ	21,139	17,110	361,688,290	**13,529**
ΑΧΑΪΑΣ	5,270	15,355	80,920,850	
ΗΛΕΙΑΣ	70,290	12,315	865,621,350	
ΣΥΝΟΛΟ	**96,699**	-	**1,308,230,490**	

Στην παρούσα Διατριβή, η συνολική ποσότητα των ανανεώσιμων υδατικών πόρων (επιφανειακών και υπόγειων) που εισέρχεται ετησίως στη ΛΑΠ, η οποία χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του δείκτη **Falkenmark (F)**, θεωρήθηκε ίση με τη μεικτή απορροή της ΛΑΠ, που δίνεται στο Σχέδιο Διαχείρισης του ΥΔ 01 (ΥΠΕΚΑ, 2013α). Σύμφωνα με το ΥΠΕΚΑ (2013α), το φυσικό υδατικό ισοζύγιο της ΛΑΠ (χωρίς απολήψεις ύδατος και ανθρώπινες παρεμβάσεις) ορίζεται από την Εξίσωση 34:

$$\text{Κατακρημνίσματα} + \text{Εισροές} = \text{Εξατμισοδιαπνοή} + \text{Μικτή Απορροή} \quad (34)$$

Όπου

Κατακρημνίσματα: Η μέση βροχόπτωση στη ΛΑΠ, όπως υπολογίστηκε από τα πρωτογενή δεδομένα βροχόπτωσης, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο Thiessen
Εισροές: Οι επιπλέον ποσότητες νερού που εισάγονται στη ΛΑΠ από άλλες γειτονικές μέσω της εκφόρτισης των πηγών
Εξατμισοδιαπνοή: Η ποσότητα του νερού που εξατμίζεται από το έδαφος και διαπνέεται από τα φυτά
Μικτή Απορροή: Η μεικτή απορροή περιλαμβάνει:

- *Την επιφανειακή απορροή: άμεση απορροή του νερού της κατακρήμνισης ή συνεισφορά του εκφορτιζόμενου νερού της υποδερμικής ζώνης.*
- *Την υπόγεια απορροή: το ποσοστό της βροχόπτωσης που κατεισδύει, και εξαρτάται από τους γεωλογικούς σχηματισμούς της περιοχής. Ένα μέρος της ποσότητας αυτής επανατροφοδοτεί την επιφανειακή απορροή.*
- *Τις διαφυγές νερού: η ποσότητα του νερού που χάνεται από τα όρια της εξεταζόμενης ΛΑΠ και μετατρέπεται σε εισροή σε άλλη ΛΑΠ.*

Η μεικτή φυσική απορροή για τη ΛΑΠ Αλφειού δίνεται ίση με $2{,}331\times10^6$ m^3, και επομένως ο δείκτης Falkenmark (F), που ισούται με τη μεικτή απορροή προς το μόνιμο πληθυσμό της ΛΑΠ, προκύπτει 24,105.73 m^3 / κάτοικο / έτος.

Οι ετήσιες απολήψεις από τους υδατικούς πόρους (επιφανειακούς και υπόγειους) της ΛΑΠ για την παροχή των καταναλωτικών χρήσεων [10], δηλαδή της ύδρευσης, της άρδευσης, της βιομηχανίας και της παραγωγής ενέργειας, καθώς και της κτηνοτροφίας, δίνονται στο Σχέδιο Διαχείρισης του ΥΔ 01 (ΥΠΕΚΑ, 2013α), και παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.7. Σύμφωνα με το Προσχέδιο Διαχείρισης της ΛΑΠ Αλφειού (ΥΠΕΚΑ, 2011α), το σύνολο των απολήψεων καταναλώνεται εντός της ΛΑΠ (δεν πραγματοποιείται μεταφορά νερού σε άλλες ΛΑΠ), ενώ οι διάφορες χρήσεις τροφοδοτούνται μόνο από ίδιους πόρους (δεν πραγματοποιείται μεταφορά νερού από άλλες ΛΑΠ).

Πίνακας 4.7: Απολήψεις Ύδατος στη ΛΑΠ Αλφειού

ΑΠΟΛΗΨΕΙΣ ΥΔΑΤΟΣ ΛΑΠ ΑΛΦΕΙΟΥ (GR29)			
Καταναλωτική Χρήση	**Απολήψεις από ίδιους πόρους για κατανάλωση εντός ΛΑΠ (10^6 m^3 / έτος)**	**Απολήψεις από ίδιους πόρους για κατανάλωση σε άλλες ΛΑΠ (10^6 m^3 / έτος)**	**Απολήψεις από άλλες ΛΑΠ (10^6 m^3 / έτος)**
Ύδρευση	20.00	0.00	0.00
Άρδευση	133.50	0.00	0.00
Βιομηχανία & Παραγωγή Ενέργειας	21.50	0.00	0.00
Κτηνοτροφία	2.10	0.00	0.00
ΣΥΝΟΛΟ	**177.10**	**0.00**	**0.00**

Ο **Δείκτης Εκμετάλλευσης Ύδατος – (Water Exploitation Index - WEI)** ισούται με το λόγο των μέσων ετήσιων συνολικών απολήψεων υδατικών πόρων για την κάλυψη των αναγκών της ΛΑΠ (σύνολο απολήψεων από ίδιους πόρους και μεταφορά από άλλες ΛΑΠ) προς τη συνολική ποσότητα των ανανεώσιμων υδατικών πόρων στη ΛΑΠ (όπως υπολογίστηκαν για το δείκτη Falkenmark). Επομένως, ο WEI για τη ΛΑΠ Αλφειού προκύπτει 7.60%.

Για τον υπολογισμό του δείκτη **Αυτάρκεια υδατικών πόρων (Water self-sufficiency - SELF)**, διαιρέθηκαν οι εισερχόμενοι υδατικοί πόροι από άλλες ΛΑΠ για την κάλυψη των αναγκών της ΛΑΠ Αλφειού με το σύνολο των υδατικών πόρων που καταναλώνονται εντός αυτής. Συνεπώς, ο δείκτης SELF προέκυψε ίσος με 0.00, καθώς δεν πραγματοποιείται μεταφορά νερού από άλλες ΛΑΠ (ΛΑΠ Αλφειού υδατικά αυτάρκης).

Ο δείκτης **Κατανάλωση εναλλακτικών υδατικών πόρων (ALT)** εκφράζει το ποσοστό της συνολικής υδατικής παροχής για κάλυψη των αναγκών που προέρχεται από Ε&ΑΝ ή αφαλάτωση. Σύμφωνα με το Παραδοτέο 8: «Ανάλυση Ανθρωπογενών Πιέσεων και των Επιπτώσεών τους στα

[10] Η παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας δεν θεωρείται καταναλωτική χρήση, καθώς το νερό επιστρέφει στα υδατικά σώματα μετά τη χρήση (Κουτσογιάννης κ.α., 2008).

Επιφανειακά και στα Υπόγεια Υδατικά Συστήματα» για την κατάρτιση του Σχεδίου Διαχείρισης του ΥΔ 01 (ΥΠΕΚΑ, 2011θ) και τους Kartalidis et al. (2016), δεν υπάρχουν μονάδες αφαλάτωσης στη ΛΑΠ Αλφειού. Επίσης, στη ΛΑΠ Αλφειού δεν πραγματοποιείται Ε&ΑΝ (US EPA, 2004; Karamanos et al., 2005; Ilias et al., 2014). Επομένως, ο δείκτης ALT είναι 0.00.

Για τον υπολογισμό του δείκτη **Ανεπεξέργαστα υγρά απόβλητα προς τους ανανεώσιμους υδατικούς πόρους (WW)** διαιρείται η ποσότητα των μη επεξεργασμένων αστικών υγρών αποβλήτων που διατίθενται στα επιφανειακά και υπόγεια υδατικά συστήματα κατά τη διάρκεια ενός έτους με τους ανανεώσιμους υδατικούς πόρους. Σύμφωνα με το Παραδοτέο 8: «Ανάλυση Ανθρωπογενών Πιέσεων και των Επιπτώσεών τους στα Επιφανειακά και στα Υπόγεια Υδατικά Συστήματα» για την κατάρτιση του Σχεδίου Διαχείρισης του ΥΔ 01 (ΥΠΕΚΑ, 2011θ), μη επεξεργασμένα αστικά υγρά απόβλητα θεωρούνται τα λύματα των οικισμών που δεν μεταφέρονται σε κάποια ΕΕΛ (είτε μέσω δικτύου αποχέτευσης είτε μέσω βυτίων) ή που καταλήγουν σε σηπτικές δεξαμενές – απορροφητικούς βόθρους, καθώς το ρυπαντικό φορτίο που διαπερνά τις σηπτικές δεξαμενές και τους απορροφητικούς βόθρους επιβαρύνει τόσο τα επιφανειακά όσο και τα υπόγεια υδατικά συστήματα. Για τον υπολογισμό της ποσότητας αυτής, υπολογίζεται αρχικά ο πληθυσμός που δεν εξυπηρετείται από ΕΕΛ στη ΛΑΠ Αλφειού, λαμβάνοντας υπόψη τους οικισμούς που εξυπηρετούνται από ΕΕΛ στη ΛΑΠ και το ποσοστό εξυπηρέτησης αυτών των ΕΕΛ, όπως δίνονται από το ΥΠΕΚΑ (2011θ), καθώς και τον μόνιμο πληθυσμό των οικισμών αυτών, όπως δίνεται από την ΕΛΣΤΑΤ (2011α) (Πίνακας 4.8).

Πίνακας 4.8: Υπολογισμός Πληθυσμού που Εξυπηρετείται από ΕΕΛ στη ΛΑΠ Αλφειού

ΟΙΚΙΣΜΟΙ ΠΟΥ ΕΞΥΠΗΡΕΤΟΥΝΤΑΙ ΑΠΟ ΕΕΛ	ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ ΟΙΚΙΣΜΩΝ	ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΞΥΠΗΡΕΤΗΣΗΣ	ΕΞΥΠΗΡΕΤΟΥΜΕΝΟΣ ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ
ΚΑΤΑΚΟΛΟ	508	100%	508
ΚΛΕΙΤΟΡΙΑ	708	100%	708
ΠΛΑΝΗΤΕΡΟ	186	100%	186
ΠΥΡΓΟΣ	25,062	100%	25,062
ΚΟΛΙΡΙ	975	100%	975
ΜΕΓΑΛΟΠΟΛΗ	5,223	100%	5,223
ΚΡΕΣΤΕΝΑ	2,353	97%	2,282
ΚΑΛΛΙΚΩΜΟ	1,054	97%	1,022
ΣΑΜΙΚΟ	387	97%	375
ΡΑΧΕΣ	387	60%	232
ΜΑΚΡΙΣΙΑ	1,745	40%	698
ΖΑΧΑΡΩ	3,455	55%	1,900
ΑΡΧ. ΟΛΥΜΠΙΑ	1,201	90%	1,081
ΣΥΝΟΛΟ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ ΠΟΥ ΕΞΥΠΗΡΕΤΕΙΤΑΙ ΑΠΟ ΕΕΛ			**40,252**

Αφαιρώντας τον πληθυσμό που εξυπηρετείται από ΕΕΛ από το μόνιμο πληθυσμό προκύπτει ο πληθυσμός της ΛΑΠ Αλφειού που δεν εξυπηρετείται από ΕΕΛ. Η ποσότητα των λυμάτων που παράγει ο πληθυσμός που δεν εξυπηρετείται από ΕΕΛ (μη επεξεργασμένα αστικά υγρά απόβλητα), θεωρείται ίση με το 80% (Κουτσογιάννης, 1999) της οικιακής υδατικής κατανάλωσης, η οποία είναι 250 λίτρα / κάτοικο / ημέρα (ΥΠΕΚΑ, 2011θ). Έτσι, υπολογίζεται η συνολική ποσότητα των μη επεξεργασμένων αστικών υγρών αποβλήτων, η οποία για τη ΛΑΠ Αλφειού ισούται με 4.12×10^6 m^3 / έτος. Διαιρώντας την ποσότητα αυτή με τους ανανεώσιμους υδατικούς πόρους στη ΛΑΠ Αλφειού ($2,331\times10^6$ m^3) προκύπτει η τιμή του δείκτη WW, η οποία είναι ίση με 0.18%.

4.3.1.2. Δείκτες Έκθεσης και Ευαισθησίας

Όπως περιγράφεται στο Κεφάλαιο 3, πέντε δείκτες επιλέχθηκαν για την εκτίμηση της έκθεσης και της ευαισθησίας των 46 ελληνικών ΛΑΠ στη σπανιότητα ύδατος. Οι δείκτες που επιλέχθηκαν για την εκτίμηση της έκθεσης των ΛΑΠ στη σπανιότητα ύδατος, δηλαδή της φύσης, του βαθμού, της διάρκειας ή / και της έκτασης κατά την οποία τα υδατικά συστήματα της κάθε ΛΑΠ εκτίθενται στη σπανιότητα ύδατος, είναι ο δείκτης ***Falkenmark (F)*** και ο δείκτης ***Ανεπεξέργαστα υγρά απόβλητα προς τους ανανεώσιμους υδατικούς πόρους (WW)***. Οι δείκτες που επιλέχθηκαν για την εκτίμηση της ενδογενούς ευαισθησίας των ΛΑΠ στη σπανιότητα ύδατος, δηλαδή του βαθμού στον οποίο τα υδατικά συστήματα των ΛΑΠ μπορούν να τροποποιηθούν ή να επηρεαστούν (αρνητικά ή θετικά, άμεσα ή έμμεσα) από τη σπανιότητα ύδατος, είναι ο ***Δείκτης Εκμετάλλευσης Ύδατος – (Water Exploitation Index - WEI)***, ο δείκτης ***Αυτάρκεια υδατικών πόρων (Water self-sufficiency - SELF)***, και ο δείκτης ***Πυκνότητα πληθυσμού (DENS)***. Η έκθεση και η ευαισθησία αλληλοσυνδέονται και συσχετίζονται θετικά με την τρωτότητα, καθώς εκφράζουν τις ενδεχόμενες επιπτώσεις στα υδατικά συστήματα. Οι τιμές των δεικτών έκθεσης και ευαισθησίας για τις 46 ελληνικές ΛΑΠ παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στους Πίνακες 4.9 και 4.10 αντίστοιχα. Στη συνέχεια, οι κανονικοποιημένες τιμές των δεικτών (κλίμακα 0-1), σύμφωνα με τη μέθοδο που περιγράφεται στο Κεφάλαιο 3, συγκρίνονται με τις οριακές τους τιμές (0.20). Οι δείκτες έκθεσης και ευαισθησίας με τιμές μεγαλύτερες των οριακών εκφράζουν τους παράγοντες που προκαλούν την τρωτότητα των υδατικών συστημάτων στις αντίστοιχες ΛΑΠ.

Πίνακας 4.9: Οι τιμές των Δεικτών Έκθεσης για τις 46 ελληνικές ΛΑΠ

Α/Α	Λεκάνη Απορροής	Δείκτης F (m^3/ κατ./ έτος)	Δείκτης WW (%)
1	Αλφειού (GR29)	24,105.73	0.18
2	Πάμισου -Νέδοντος - Νέδα (GR32)	11,023.99	0.33
3	Ρεμάτων Παραλίας Βορ. Πελοποννήσου (GR27)	4,393.67	0.62
4	Πείρου - Βέργα - Πηνειού (GR28)	6,475.11	0.73
5	Κεφαλονιάς - Ιθάκης - Ζακύνθου (GR45)	11,855.97	0.25
6	Οροπεδίου Τρίπολης (GR30)	9,185.77	0.32
7	Ρεμάτων Αργολικού Κόλπου (GR31)	10,573.16	0.35
8	Ευρώτα (GR33)	16,688.18	0.28
9	Αχελώου (GR15)	29,998.69	0.10
10	Εύηνου (GR20)	51,048.20	0.10
11	Μόρνου (GR21)	45,440.37	0.04
12	Λευκάδας (GR44)	10,506.48	0.16
13	Αώου (GR11)	471,134.82	0.01
14	Καλαμά (GR12)	18,239.80	0.02
15	Αχέροντα (GR13)	21,231.56	0.03
16	Άραχθου (GR14)	43,988.47	0.04
17	Κέρκυρας - Παξών (GR34)	6,166.66	0.27
18	Λούρου (GR46)	19,718.48	0.22
19	Λεκανοπεδίου Αττικής (GR26)	129.82	5.62
20	Σπερχειού (GR18)	8,231.66	0.25
21	Εύβοιας (GR19)	8,376.90	0.21
22	ΒΑ Παραλίας Καλλιδρόμου (GR22)	9,600.56	0.33
23	Βοιωτικού Κηφισού (GR23)	6,543.24	0.56
24	Άμφισσας (GR24)	11,036.32	0.09
25	Ασωπού (GR25)	4,169.01	1.03
26	Σποράδων (GR35)	4,110.69	0.46
27	Πηνειού (GR16)	6,469.68	0.38
28	Ρεμάτων Αλμυρού - Πηλίου (GR17)	3,684.89	0.08
29	Πρεσπών (GR01)	10,688.57	0.09

Α/Α	Λεκάνη Απορροής	Δείκτης F (m^3/ κατ./ έτος)	Δείκτης WW (%)
30	Αλιάκμονα (GR02)	6,001.21	0.29
31	Αξιού (GR03)	24,418.71	0.19
32	Γαλλικού (GR04)	3,174.06	1.28
33	Χαλκιδικής (GR05)	580.43	1.29
34	Άθως (GR43)	7,294.33	0.16
35	Στρυμόνα (GR06)	12,745.51	0.25
36	Νέστου (GR07)	19,954.61	0.28
37	Ρεμ Ξάνθης - Ξηρορέματος (GR08)	4,718.35	0.86
38	Ρεμ Κομοτηνής - Λουτρού Έβρου (GR09)	7,728.61	0.04
39	Έβρου (GR10)	83,407.84	0.02
40	Θάσου - Σαμοθράκης (GR42)	6,657.31	0.37
41	Ρεμάτων Βορείου Τμήματος Χανίων - Ρεθύμνου - Ηρακλείου (GR39)	2,568.30	0.07
42	Ρεμάτων Νοτίου Τμήματος Χανίων - Ρεθύμνου - Ηρακλείου (GR40)	11,508.27	0.54
43	Ρεμάτων Ανατολικής Κρήτης (GR41)	7,605.59	0.32
44	Ανατολικού Αιγαίου (GR36)	4,217.40	0.66
45	Κυκλάδων (GR37)	1,994.35	1.44
46	Δωδεκανήσων (GR38)	5,928.26	0.68
ΟΡΙΑΚΗ ΤΙΜΗ ΔΕΙΚΤΗ		**1,700.00**	**10.00**

Πίνακας 4.10: Οι τιμές των Δεικτών Ευαισθησίας για τις 46 ελληνικές ΛΑΠ

Α/Α	Λεκάνη Απορροής	WEI (%)	Δείκτης SELF	Δείκτης DENS (κατ./χλμ^2)
1	Αλφειού (GR29)	7.60	0.00	25.38
2	Πάμισου -Νέδοντος - Νέδα (GR32)	9.66	0.00	48.71
3	Ρεμάτων Παραλίας Βορ. Πελοποννήσου (GR27)	15.91	0.00	101.30
4	Πείρου - Βέργα - Πηνειού (GR28)	43.09	0.00	59.27
5	Κεφαλονιάς - Ιθάκης - Ζακύνθου (GR45)	2.54	0.00	60.91
6	Οροπεδίου Τρίπολης (GR30)	6.67	0.00	49.45
7	Ρεμάτων Αργολικού Κόλπου (GR31)	20.54	0.00	31.71
8	Ευρώτα (GR33)	16.18	0.00	24.57
9	Αχελώου (GR15)	7.10	0.00	28.31
10	Εύηνου (GR20)	26.50	0.00	16.64
11	Μόρνου (GR21)	17.71	0.37	18.69
12	Λευκάδας (GR44)	2.41	0.50	64.91
13	Αώου (GR11)	0.74	0.00	2.16
14	Καλαμά (GR12)	3.66	0.00	56.21
15	Αχέροντα (GR13)	4.83	0.04	52.82
16	Άραχθου (GR14)	3.28	0.00	24.02
17	Κέρκυρας - Παξών (GR34)	4.81	0.00	165.41
18	Λούρου (GR46)	8.97	0.00	54.32
19	Λεκανοπεδίου Αττικής (GR26)	103.32	0.80	1,183.18
20	Σπερχειού (GR18)	21.54	0.00	50.58
21	Εύβοιας (GR19)	10.46	0.00	39.73
22	ΒΑ Παραλίας Καλλιδρόμου (GR22)	21.23	0.00	37.37
23	Βοιωτικού Κηφισού (GR23)	35.40	0.01	61.48
24	Άμφισσας (GR24)	6.24	0.03	32.51
25	Ασωπού (GR25)	23.14	0.03	56.27
26	Σποράδων (GR35)	3.85	0.00	33.65
27	Πηνειού (GR16)	32.94	0.10	48.22
28	Ρεμάτων Αλμυρού - Πηλίου (GR17)	16.77	0.00	84.67
29	Πρεσπών (GR01)	14.64	0.00	28.93

Α/Α	Λεκάνη Απορροής	WEI (%)	Δείκτης SELF	Δείκτης DENS (κατ./χλμ^2)
30	Αλιάκμονα (GR02)	35.18	0.00	43.51
31	Αξιού (GR03)	14.97	0.02	60.60
32	Γαλλικού (GR04)	34.78	0.00	56.06
33	Χαλκιδικής (GR05)	64.50	0.79	208.13
34	Άθως (GR43)	6.54	0.00	22.89
35	Στρυμόνα (GR06)	18.32	0.00	51.84
36	Νέστου (GR07)	13.16	0.00	23.42
37	Ρεμ Ξάνθης - Ξηρορέματος (GR08)	34.68	0.00	62.66
38	Ρεμ Κομοτηνής - Λουτρού Έβρου (GR09)	29.85	0.00	38.25
39	Έβρου (GR10)	2.73	0.00	35.55
40	Θάσου - Σαμοθράκης (GR42)	14.45	0.00	29.47
41	Ρεμάτων Βορείου Τμήματος Χανίων - Ρεθύμνου - Ηρακλείου (GR39)	15.20	0.00	126.33
42	Ρεμάτων Νοτίου Τμήματος Χανίων - Ρεθύμνου - Ηρακλείου (GR40)	13.52	0.00	28.19
43	Ρεμάτων Ανατολικής Κρήτης (GR41)	15.77	0.00	42.66
44	Ανατολικού Αιγαίου (GR36)	8.07	0.00	51.94
45	Κυκλάδων (GR37)	16.66	0.01	46.21
46	Δωδεκανήσων (GR38)	4.18	0.01	70.37
ΟΡΙΑΚΗ ΤΙΜΗ ΔΕΙΚΤΗ		**40.00**	**0.25**	**56.00**

Δείκτης Falkenmark (F)

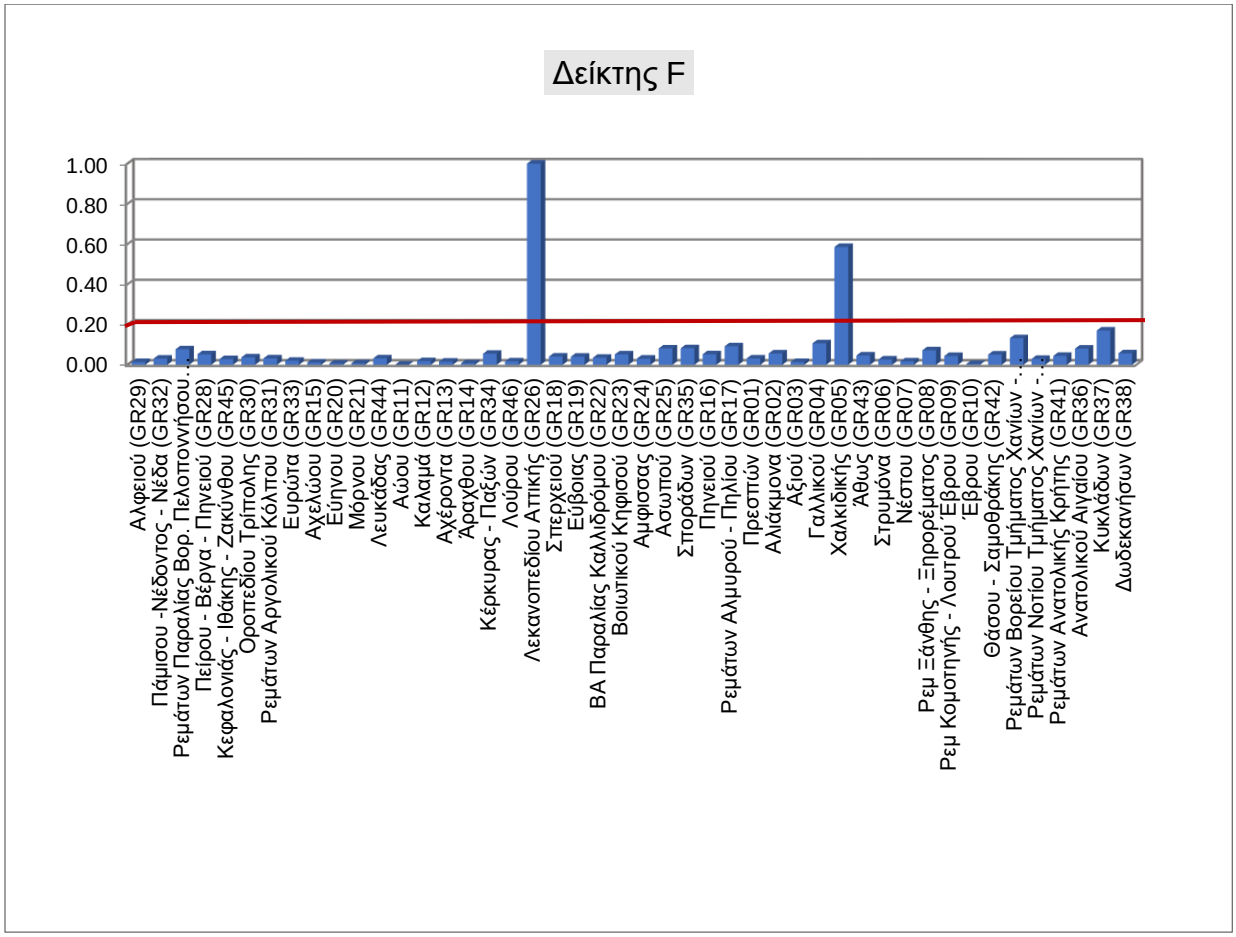
Ο δείκτης F είναι ένας από τους πιο ευρέως διαδεδομένους δείκτες για την αξιολόγηση της διαθεσιμότητας των υδατικών πόρων. Ορίζεται ως η συνολική ποσότητα ανανεώσιμων υδατικών πόρων (επιφανειακών και υπόγειων) που εισέρχεται ετησίως σε μία περιοχή και είναι δυνητικά διαθέσιμη προς εκμετάλλευση για την κάλυψη των υδατικών αναγκών της, προς τον πληθυσμό της περιοχής αυτής (Falkenmark, 1989). Ανανεώσιμοι θεωρούνται οι υδατικοί πόροι που παράγονται σε μία περιοχή λόγω των κατακρημνισμάτων (μικτή απορροή – μέγιστο θεωρητικό υδατικό δυναμικό), χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση, και αποτελούν τις μέσες μακροχρόνιες (τουλάχιστον 20 ετών) τιμές της ετήσιας παροχής των ποταμών (επιφανειακή απορροή) και του εμπλουτισμού των υπόγειων υδροφορέων (υπόγεια απορροή).

Ο Falkenmark ανέπτυξε αυτόν το δείκτη θεωρώντας πώς η ελάχιστη ποσότητα νερού που απαιτείται ημερησίως για την κάλυψη των οικιακών αναγκών είναι 100 / λίτρα / κάτοικο, ενώ για τις γεωργικές και βιομηχανικές χρήσεις η ποσότητα που απαιτείται είναι από 5 έως 20 φορές μεγαλύτερη (Hinrichsen et al., 1998; EEA, 2004). Ο δείκτης F εκφράζει την πίεση που ασκεί ο πληθυσμός στους διαθέσιμους υδατικούς πόρους, θεωρώντας ότι εάν σε μία περιοχή οι δυνητικά διαθέσιμοι προς εκμετάλλευση υδατικοί πόροι ξεπερνούν τα 1,700.00 m³ / κατ / έτος, τα προβλήματα έλλειψης νερού εμφανίζονται σπάνια. Κάτω από το όριο των 1,700.00 m³ / κατ / έτος προβλήματα λειψυδρίας αρχίζουν να εμφανίζονται τακτικά, ενώ κάτω από τα 1,000.00 m³ / κατ / έτος η σπανιότητα ύδατος περιορίζει σημαντικά την οικονομική ανάπτυξη και την κοινωνική ευημερία (Hinrichsen et al., 1998; Cosgrove et al., 2000; EEA, 2004).

Ο Shiklomanov όρισε τις ακόλουθες κλάσεις διαθεσιμότητας υδατικών πόρων στη βάση του δείκτη F (σε m^3/cap/year) (EEA, 2004):

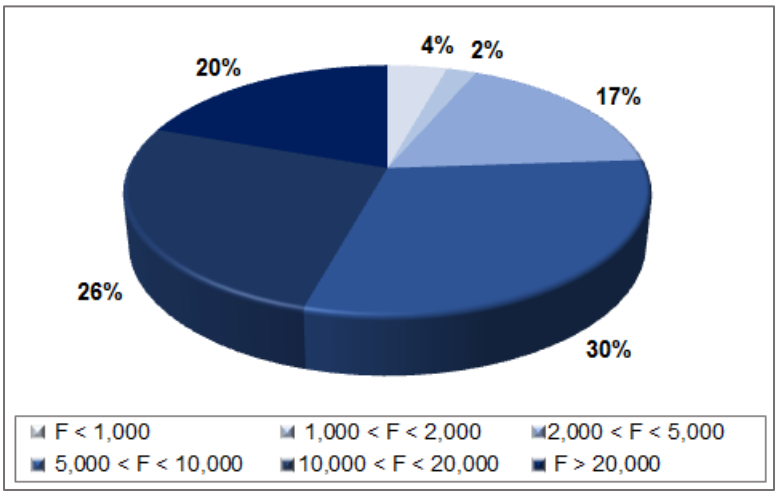
- F < 1,000: καταστροφικά χαμηλή τιμή
- 1,000 < F < 2,000: πολύ περιορισμένη διαθεσιμότητα
- 2,000 < F < 5,000: περιορισμένη διαθεσιμότητα
- 5,000 < F < 10,000: μέτρια διαθεσιμότητα
- 10,000 < F < 20,000: υψηλή διαθεσιμότητα
- F > 20,000: πολύ υψηλή διαθεσιμότητα

Ο δείκτης F για το σύνολο της χώρας προέκυψε περίπου 6,735.00 m³ / κατ / έτος (μέτρια διαθεσιμότητα κατά τον Shiklomanov), και βρίσκεται πολύ κοντά στις τιμές που υπολογίστηκαν από την EEA (2004) (περίπου 7,000. 00 m³ / κατ / έτος), τη Eurostat (2010) (6,400.00 m³ / κατ / έτος), την έκθεση Ευρωπαϊκής Επιτροπής (Kirhensteine et al., 2016) (6,543.00 m³ / κατ / έτος για το 2011), και τη βάση δεδομένων AQUASTAT του FAO (2017) (6,244.00 m³ / κατ / έτος για το 2014). Στην παρούσα ανάλυση, ως οριακή τιμή του δείκτη θεωρήθηκαν τα 1,700.00 m³ / κατ / έτος. Οι κανονικοποιημένες τιμές του δείκτη F για τις 46 ελληνικές ΛΑΠ και η σύγκρισή τους με την οριακή τιμή παρατίθενται στο διάγραμμα της Εικόνας 4.4.



Εικόνα 4.4: Οι κανονικοποιημένες τιμές του δείκτη F για τις 46 ελληνικές ΛΑΠ. Η κόκκινη γραμμή αντιπροσωπεύει την οριακή τιμή του δείκτη.

Η ποσοστιαία κατανομή των ελληνικών ΛΑΠ στις έξι κλάσεις διαθεσιμότητας που ορίζονται από τον Shiklomanov, ανάλογα με την τιμή του δείκτη F παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.5.



Εικόνα 4.5: Ποσοστιαία Κατανομή των 46 ελληνικών ΛΑΠ στις έξη κλάσεις διαθεσιμότητας υδατικών πόρων του Shiklomanov, ανάλογα με την τιμή του δείκτη F

Σε δύο από τις 46 ελληνικές ΛΑΠ (4%), στις ΛΑΠ Λεκανοπεδίου Αττικής και Χαλκιδικής, οι τιμές του δείκτη F ξεπερνούν την οριακή τιμή του δείκτη (μικρότερες από 1,700 m³ / κατ / έτος) υποδηλώνοντας ανεπάρκεια των διαθέσιμων υδατικών πόρων να καλύψουν τις ανάγκες του πληθυσμού στις περιοχές αυτές. Οι τιμές του δείκτη μάλιστα για τις δύο αυτές ΛΑΠ είναι κάτω από 1,000 m³ / κατ / έτος (130 m³ / κατ / έτος για τη ΛΑΠ Λεκανοπεδίου Αττικής και 580 m³ / κατ / έτος για τη ΛΑΠ Χαλκιδικής) και σύμφωνα με τον Shiklomanov (ΕΕΑ, 2004) θεωρούνται καταστροφικά χαμηλές. Αυτός είναι και ο λόγος που οι ΛΑΠ αυτές τροφοδοτούνται κυρίως από μεταφορά υδατικών πόρων από άλλες περιοχές (κυρίως της δυτικής Ελλάδας).

Η ΛΑΠ με την τρίτη μικρότερη τιμή μετά τις ΛΑΠ Λεκανοπεδίου Αττικής και Χαλκιδικής είναι η ΛΑΠ Κυκλάδων στην οποία οι διαθέσιμοι υδατικοί πόροι είναι 1,995 m³ / κατ / έτος (το 2% της ποσοστιαίας κατανομής στην Εικόνα 4.5). Λόγω της περιορισμένης διαθεσιμότητας υδατικών πόρων στα νησιά των Κυκλάδων πραγματοποιείται μεταφορά νερού με υδροφόρα πλοία από την Αττική, κυρίως στα νησιά Αμοργός, Κουφονήσι, Κίμωλος, Ηρακλειά, Σχοινούσα, Δονούσα, Φολέγανδρος, Σίκινος και Θηρασία.

Η διαθεσιμότητα των υδατικών πόρων στις υπόλοιπες ΛΑΠ ξεπερνά τα 2,000 m³ / κατ / έτος, ενώ για την πλειοψηφία των ΛΑΠ (35 από τις 46) ξεπερνά τα 5,000 m³ / κατ / έτος, γεγονός που υποδηλώνει πώς οι δυνητικά διαθέσιμοι πόροι επαρκούν θεωρητικά για την κάλυψη των αναγκών. Στις ΛΑΠ της Πελοποννήσου η διαθεσιμότητα ξεπερνά τα 5,000 m³ / κατ / έτος, ενώ στη δυτική πλευρά της χώρας (ΥΔ Δυτικής Στερεάς Ελλάδας και Ηπείρου) η διαθεσιμότητα στην πλειοψηφία των ΛΑΠ ξεπερνά τα 20,000 m³ / κατ / έτος (συνθήκες μεγάλης προσφοράς σχετικά με τη ζήτηση). Στο ΥΔ Ηπείρου μάλιστα βρίσκεται η ΛΑΠ με τη μεγαλύτερη διαθεσιμότητα υδατικών πόρων κατά κεφαλήν ετησίως (ΛΑΠ Αώου: 471,185 m³ / κατ / έτος). Στην ανατολική πλευρά της χώρας (ΥΔ Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας και Θεσσαλίας) η διαθεσιμότητα είναι αρκετά χαμηλότερη σε σχέση με τη δυτική. Εξαιτίας της διαφοράς μεταξύ διαθεσιμότητας υδατικών πόρων και ρυθμού ανάπτυξης ανάμεσα στο ανατολικό και στο δυτικό τμήμα της χώρας

αναπτύσσεται σχέση εξάρτησης των ανατολικών από τα δυτικά ΥΔ, με αποτέλεσμα τη μεταφορά πόρων από τα δυτικά για την κάλυψη των αναγκών στα ανατολικά ΥΔ.

Στο σημείο αυτό όμως θα πρέπει να σημειωθεί πως ο δείκτης F εκτιμά το θεωρητικό υδατικό δυναμικό μίας περιοχής και δεν αφορά τους πραγματικά εκμεταλλεύσιμους υδατικούς πόρους, καθώς δεν λαμβάνει υπόψη την ποιότητα των υδατικών πόρων, ούτε την ύπαρξη κατάλληλων υποδομών και μέσων για την εκμετάλλευση τους.

Δείκτης Ανεπεξέργαστα υγρά απόβλητα προς τους ανανεώσιμους υδατικούς πόρους (WW)

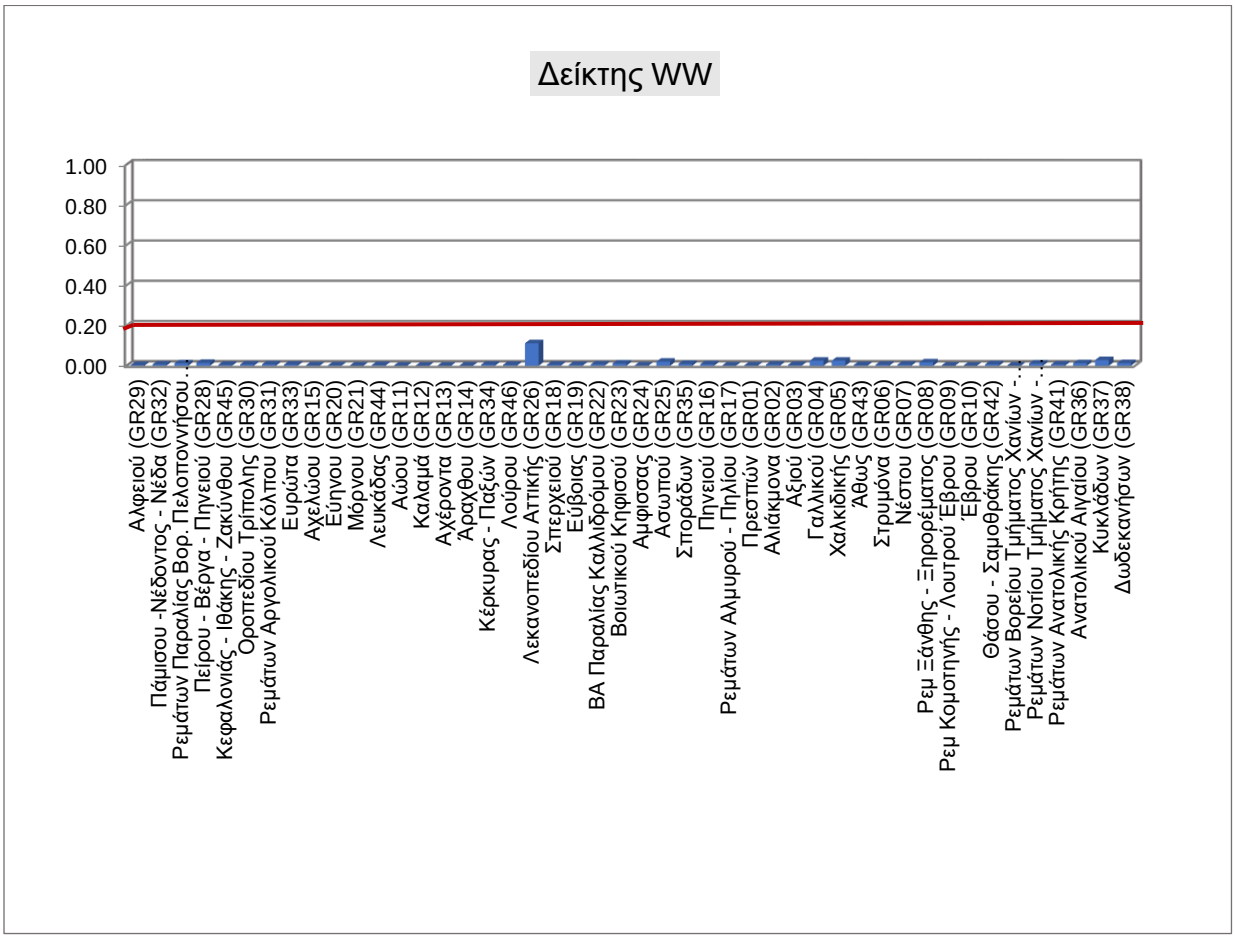
Ο δείκτης WW ορίζεται ως η ποσότητα των μη επεξεργασμένων αστικών υγρών αποβλήτων που διατίθενται στα επιφανειακά και υπόγεια υδατικά συστήματα, προς τους ανανεώσιμους υδατικούς πόρους, κατά τη διάρκεια ενός έτους (Huang & Cai, 2009).

Τα αστικά λύματα που διατίθενται μη επεξεργασμένα στους επιφανειακούς και τους υπόγειους αποδέκτες, αποτελούν βασική πηγή ρύπανσης, καθώς επηρεάζουν τη φυσική κατάσταση των αποδεκτών και τροποποιούν τα οικοσυστήματα (αύξηση αγωγιμότητας και χλωριόντων, άμεση επίδραση τοξικών ουσιών, αυξημένα αιωρούμενα στερεά, αλλαγή στο καθεστώς οξυγόνου λόγω της οργανικής ύλης). Ως μη επεξεργασμένα αστικά υγρά απόβλητα θεωρούνται τα λύματα των οικισμών που δεν μεταφέρονται σε κάποια ΕΕΛ, είτε μέσω δικτύου αποχέτευσης είτε μέσω βυτίων, ή που καταλήγουν σε σηπτικές δεξαμενές – απορροφητικούς βόθρους, καθώς το ρυπαντικό φορτίο που διαπερνά τις σηπτικές δεξαμενές και τους απορροφητικούς βόθρους επιβαρύνει τόσο τα επιφανειακά όσο και τα υπόγεια υδατικά συστήματα (ΥΠΕΚΑ, 2011θ).

Σε περίπτωση που η ποσότητα των ανεπεξέργαστων υγρών αποβλήτων ξεπερνάει το 10% της ποσότητας των θεωρητικά διαθέσιμων ανανεώσιμων υδατικών πόρων μίας περιοχής, θεωρείται πώς υπάρχει κίνδυνος ρύπανσης των υδατικών συστημάτων (10.00 % οριακή τιμή του δείκτη) (Huang & Cai, 2009).

Σύμφωνα με την παρούσα ανάλυση, το 73% του ελληνικού πληθυσμού εξυπηρετείται από ΕΕΛ, ενώ η ποσότητα των αστικών λυμάτων που διατίθενται μη επεξεργασμένα στους επιφανειακούς και τους υπόγειους αποδέκτες για το σύνολο της χώρας προέκυψε περίπου 189×10^6 m³ / έτος. Το ποσοστό του εξυπηρετούμενου πληθυσμού σχεδόν ταυτίζεται με το ποσοστό που δίνεται από την ΕΛΣΤΑΤ για το 2012, σύμφωνα με την οποία το 92.03% του μόνιμου πληθυσμού των οικισμών μεγαλύτερων των 2,000 κατοίκων (8,404,110 κάτοικοι) εξυπηρετούνται από ΕΕΛ, με το 85.75% να υφίσταται τριτοβάθμια επεξεργασία (72% στο σύνολο του μόνιμου πληθυσμού).

Οι κανονικοποιημένες τιμές του δείκτη WW για τις 46 Ελληνικές ΛΑΠ και η σύγκρισή τους με την οριακή τιμή (10%) παρατίθενται στο διάγραμμα της Εικόνας 4.6.



Εικόνα 4.6: Οι κανονικοποιημένες τιμές του δείκτη WW για τις 46 ελληνικές ΛΑΠ. Η κόκκινη γραμμή αντιπροσωπεύει την οριακή τιμή του δείκτη.

Η κανονικοποιημένη τιμή του δείκτη WW και για τις 46 Ελληνικές ΛΑΠ είναι κατά πολύ μικρότερη της οριακής, καθώς μόνο σε 5 από αυτές (ΛΑΠ Λεκανοπεδίου Αττικής, Ασωπού, Γαλλικού, Χαλκιδικής και Κυκλάδων) η τιμή του δείκτη WW ξεπερνά το 1%. Η ΛΑΠ του Λεκανοπεδίου Αττικής έχει τη μεγαλύτερη τιμή του δείκτη (5.62%), η οποία οφείλεται στη μικρή ποσότητα των ανανεώσιμων πόρων (490×10^6 m^3 / έτος) και όχι στην παραγόμενη ποσότητα ανεπεξέργαστων λυμάτων (ο πληθυσμός που δεν εξυπηρετείται από ΕΕΛ στη ΛΑΠ του Λεκανοπεδίου Αττικής είναι περίπου 377,000 κάτοικοι, αποτελεί δηλαδή 11% του συνολικού πληθυσμού της). Η μικρότερη τιμή του δείκτη WW εμφανίζεται στη ΛΑΠ Αώου (0.01%) λόγω της μεγάλης ποσότητας ανανεώσιμων υδατικών πόρων σε αυτήν ($2,402\times10^6$ m^3 / έτος). Στη ΛΑΠ Αώου δεν υπάρχουν ΕΕΛ, καθώς οι οικισμοί της είναι μικρότεροι των 2,000 κατοίκων, όμως η παραγόμενη ποσότητα των ανεπεξέργαστων λυμάτων είναι πολύ μικρή συγκριτικά με τους διαθέσιμους υδατικούς πόρους.

Δείκτης Εκμετάλλευσης Ύδατος – (Water Exploitation Index - WEI)

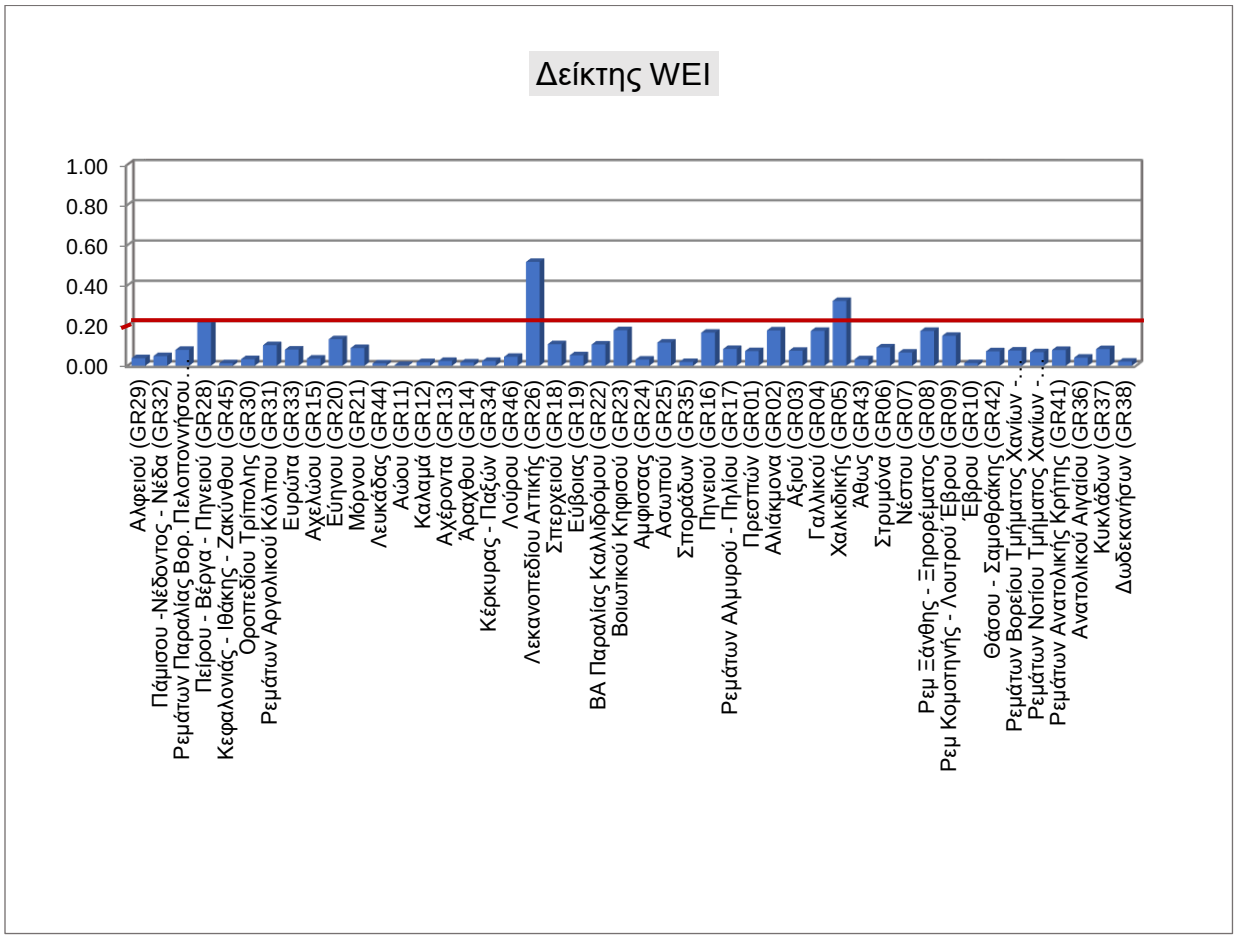
Ο δείκτης WEI ισούται με το λόγο των μέσων ετήσιων συνολικών απολήψεων υδατικών πόρων (επιφανειακών και υπόγειων) για την κάλυψη των αναγκών μίας περιοχής προς τα διαθέσιμα αποθέματα ανανεώσιμων υδατικών πόρων στην περιοχή αυτή (EEA, 2004). Οι συνολικές υδατικές απολήψεις μίας ΛΑΠ περιλαμβάνουν τις μέσες ετήσιες απολήψεις από τους υδατικούς πόρους της ΛΑΠ για την τροφοδότηση διαφόρων καταναλωτικών χρήσεων[11] είτε εντός της ΛΑΠ είτε σε άλλες ΛΑΠ, καθώς και το σύνολο των υδατικών πόρων που μεταφέρεται από άλλες ΛΑΠ και καταναλώνεται εντός αυτής.

Ο δείκτης WEI εκφράζει την πίεση που ασκείται στους διαθέσιμους πόρους λόγω της αυξημένης ζήτησης νερού, και χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό των περιοχών που είναι επιρρεπείς στο να εμφανίσουν προβλήματα έλλειψης νερού, καθότι καταναλώνουν μεγάλες ποσότητες σε σχέση με τους διαθέσιμους σε αυτές πόρους (μη βιώσιμος ρυθμός απολήψεων σε σχέση με τους διαθέσιμους πόρους μακροπρόθεσμα) (EEA, 2004). Σύμφωνα με τους Raskin et al. (1997) και Lane et al. (1999), η οριακή τιμή για το δείκτη WEI, η οποία υποδηλώνει προβλήματα έλλειψης νερού σε μία περιοχή, είναι το 20%. Σοβαρά προβλήματα λειψυδρίας ή σπανιότητας νερού θεωρείται ότι εκδηλώνονται όταν η τιμή του δείκτη WEI ξεπεράσει το 40%. Ορισμένοι ερευνητές - ειδικοί θεωρούν το 40% πολύ αυστηρό όριο, εκτιμώντας πως τα προβλήματα αυτά ξεκινούν να εκδηλώνονται για τιμές του δείκτη μεγαλύτερες του 60%. Άλλοι υποστηρίζουν ότι τα υδάτινα οικοσυστήματα τίθενται σε κίνδυνο εάν γίνεται τόσο εντατική χρήση των υδατικών πόρων όσο υποδεικνύουν τιμές του δείκτη άνω του 40% (Alcamo et al., 2000; EEA, 2004).

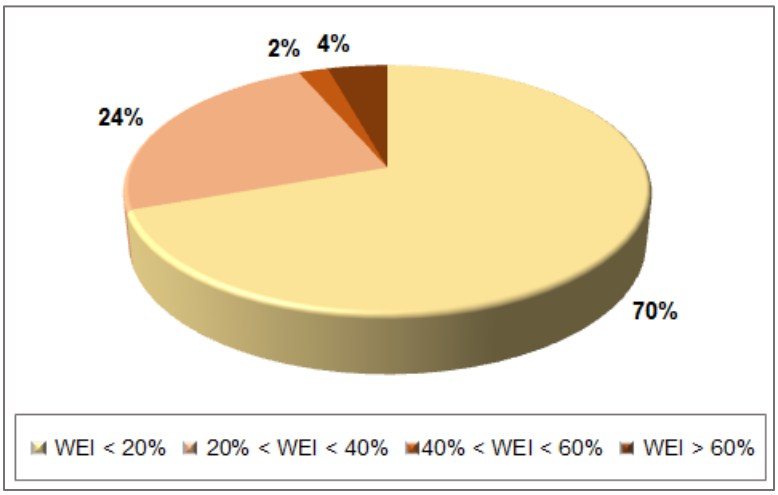
Στην παρούσα ανάλυση, ως οριακή τιμή του δείκτη θεωρήθηκε το 40%. Ο δείκτης WEI για το σύνολο της χώρας προέκυψε περίπου 14.12%, υποδηλώνοντας πως σε εθνικό επίπεδο ο ρυθμός απολήψεων σε σχέση με τους διαθέσιμους πόρους είναι βιώσιμος μακροπρόθεσμα. Η τιμή αυτή είναι πολύ κοντά σε αυτές που υπολογίστηκαν από τη Eurostat (2010) (13% για το 2007), και τη βάση δεδομένων AQUASTAT του FAO (2017) (14.02% για το 2007). Οι κανονικοποιημένες τιμές του δείκτη WEI για τις 46 ελληνικές ΛΑΠ και η σύγκρισή τους με την οριακή τιμή παρατίθενται στο διάγραμμα της Εικόνας 4.7, ενώ στην Εικόνα 4.8 παρουσιάζεται η ποσοστιαία κατανομή των 46 ΛΑΠ ανάλογα με την τιμή του WEI στις ακόλουθες κλάσεις:

- WEI < 20%
- 20% < WEI < 40%
- 40% < WEI < 60%
- WEI > 60%

[11] Ως καταναλωτικές χρήσεις θεωρούνται η ύδρευση, η άρδευση, η βιομηχανία και η παραγωγή ενέργειας, καθώς και η κτηνοτροφία. Η παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας δεν θεωρείται καταναλωτική χρήση, καθώς το νερό επιστρέφει στα υδατικά συστήματα μετά τη χρήση (Κουτσογιάννης κ.α., 2008).



Εικόνα 4.7: Οι κανονικοποιημένες τιμές του δείκτη WEI για τις 46 ελληνικές ΛΑΠ. Η κόκκινη γραμμή αντιπροσωπεύει την οριακή τιμή του δείκτη.



Εικόνα 4.8: Ποσοστιαία κατανομή των 46 ελληνικών ΛΑΠ σε τέσσερις κλάσεις ανάλογα με την τιμή του WEI

Σε τρεις από τις 46 ελληνικές ΛΑΠ (4%), στις ΛΑΠ Λεκανοπεδίου Αττικής, Χαλκιδικής και Πείρου - Βέργα - Πηνειού, οι τιμές του δείκτη WEI ξεπερνούν την οριακή τιμή (μεγαλύτερες από 40%) υποδηλώνοντας αυξημένη πίεση στους διαθέσιμους υδατικούς πόρους λόγω των υδατικών απολήψεων. Οι τιμές του δείκτη μάλιστα για τις ΛΑΠ Λεκανοπεδίου Αττικής και Χαλκιδικής είναι μεγαλύτερες από 60% (103 % για τη ΛΑΠ Λεκανοπεδίου Αττικής και 65% για τη ΛΑΠ Χαλκιδικής) γεγονός που υποδεικνύει πως οι ρυθμοί απολήψεων σε σχέση με τη διαθεσιμότητα νερού είναι μη βιώσιμοι. Ειδικότερα στην περίπτωση του Λεκανοπεδίου Αττικής, ο WEI είναι μεγαλύτερος από 100%, εκφράζοντας πως οι διαθέσιμοι πόροι της περιοχής έχουν εξαντληθεί πλήρως και δεν επαρκούν για την κάλυψη της ζήτησης, γι αυτό και απαιτείται απόληψη και μεταφορά νερού από άλλες ΛΑΠ (θεωρητικά διαθέσιμοι πόροι: 489×10^6 m^3 / έτος; σύνολο απολήψεων: 506×10^6 m^3 / έτος). Συνεπώς, παρατηρείται πως παρόλο που σε εθνικό επίπεδο η τιμή του δείκτη WEI υποδηλώνει βιώσιμο ρυθμό απολήψεων, σε τοπικό επίπεδο υπάρχουν διαφοροποιήσεις και έντονα προβλήματα περιορισμένης προσφοράς σε σχέση με τη ζήτηση των υδατικών πόρων.

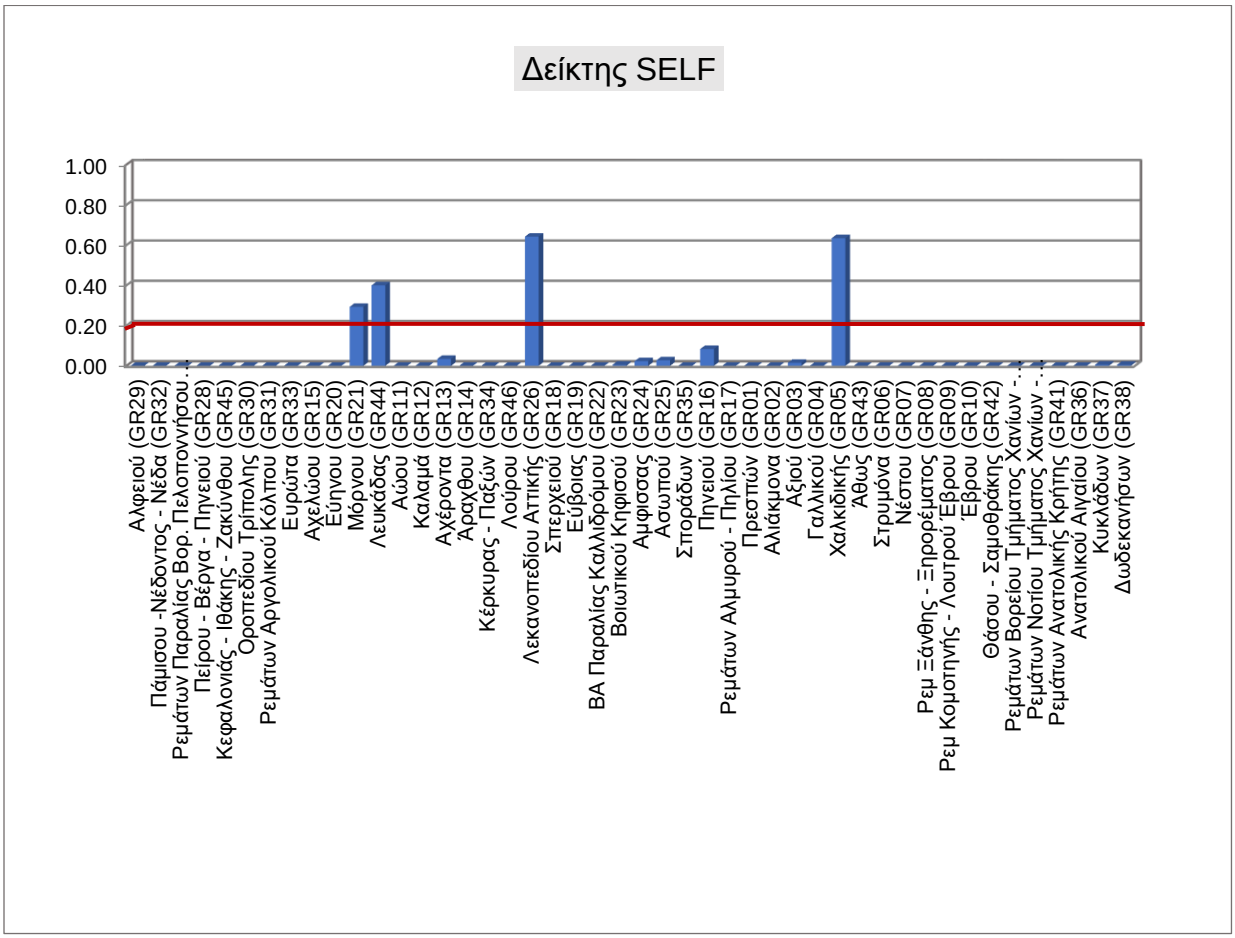
Πολύ κοντά στην οριακή τιμή του WEI βρίσκονται οι ΛΑΠ Βοιωτικού Κηφισού (35.40%), Αλιάκμονα (35.18%), Γαλλικού (34.78%), Ρεμάτων Ξάνθης – Ξηρορέματος (34.68%) και Πηνειού (32.94%). Οι τιμές του δείκτη WEI για την πλειοψηφία των ελληνικών ΛΑΠ (70% σύμφωνα με την Εικόνα 4.8) είναι μικρότερες από 20%, δηλαδή ο ρυθμός των απολήψεων για την κάλυψη της ζήτησης είναι βιώσιμος και δεν εξαντλεί τους διαθέσιμους πόρους. Η μικρότερη τιμή του δείκτη WEI εμφανίζεται στη ΛΑΠ Αώου (0.74%), λόγω της αφθονίας διαθέσιμων πόρων (θεωρητικά διαθέσιμοι πόροι: $2,402\times10^6$ m^3 / έτος) σε σύγκριση με τις υδατικές απαιτήσεις του πληθυσμού (5,098 κάτοικοι, σύνολο απολήψεων: 18×10^6 m^3 / έτος).

Δείκτης Αυτάρκεια υδατικών πόρων (Water self-sufficiency - SELF)

Ο δείκτης SELF ισούται με το λόγο των υδατικών πόρων που εισέρχονται στην περιοχή μελέτης για την κάλυψη των υδατικών της αναγκών από άλλες περιοχές, προς το σύνολο των υδατικών πόρων (επιφανειακών και υπόγειων) που καταναλώνονται στην περιοχή μελέτης. Μία περιοχή θεωρείται αυτάρκης (τιμή δείκτη = 0) όταν οι ανάγκες της καλύπτονται αποκλειστικά από ίδιους πόρους, και απόλυτα εξαρτημένη (τιμή δείκτη = 1) όταν οι ανάγκες της καλύπτονται αποκλειστικά από εισερχόμενους πόρους (World Bank, 2007).

Ο δείκτης SELF εκφράζει την υπέρβαση της δυναμικότητας (φέρουσας ικανότητας) των υδατικών συστημάτων της υπό μελέτη περιοχής και την εξάρτηση της από άλλα συστήματα για να εξυπηρετήσει τις υδατικές της ανάγκες. Οριακή τιμή του δείκτη θεωρείται το 0.25, δηλαδή αν οι εισερχόμενοι υδατικοί πόροι σε μία περιοχή ξεπερνούν το 25% της συνολικής υδατικής κατανάλωσης, τότε η περιοχή αυτή είναι επιρρεπής σε προβλήματα λειψυδρίας, καθώς η κάλυψη των αναγκών της εξαρτάται από υδατικούς πόρους άλλων περιοχών (Hamouda, 2009).

Οι κανονικοποιημένες τιμές του δείκτη WEI για τις 46 ελληνικές ΛΑΠ και η σύγκρισή τους με την οριακή τιμή παρατίθενται στο διάγραμμα της Εικόνας 4.9.



Εικόνα 4.9: Οι κανονικοποιημένες τιμές του δείκτη SELF για τις 46 ελληνικές ΛΑΠ. Η κόκκινη γραμμή αντιπροσωπεύει την οριακή τιμή του δείκτη.

Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 4.9, σε τέσσερις ελληνικές ΛΑΠ, στις ΛΑΠ Λεκανοπεδίου Αττικής, Χαλκιδικής, Λευκάδας και Μόρνου, οι τιμές του δείκτη SELF ξεπερνούν την οριακή τιμή (μεγαλύτερες από 25%) υποδηλώνοντας εξάρτηση από άλλες ΛΑΠ.

Η περισσότερο εξαρτημένη από εξωτερικούς υδατικούς πόρους είναι η ΛΑΠ Λεκανοπεδίου Αττικής (δείκτης SELF: 0.80). Οι ανάγκες ύδρευσης στη ΛΑΠ Αττικής (405.67×10^6 m^3 / έτος) καλύπτονται αποκλειστικά από επιφανειακούς πόρους εκτός της ΛΑΠ (Υδραγωγεία Εύηνου, Μόρνου και Υλίκης). Ειδικότερα, στο υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας αξιοποιούνται υδατικοί πόροι, οι οποίοι είναι κατά κύριο λόγο επιφανειακοί, και μπορούν να διακριθούν σε κύριους (ποταμοί Μόρνος, Εύηνος) και βοηθητικούς (λίμνη Υλίκη, ταμιευτήρας Μαραθώνα) (ΥΠΕΚΑ, 2013ε).

Σε πολύ μεγάλο βαθμό εξαρτημένη από εξωτερικούς υδατικούς πόρους είναι και η ΛΑΠ Χαλκιδικής (δείκτης SELF: 0.79). Σύμφωνα με το ΥΠΕΚΑ (2013ι), μεταφέρονται ετησίως 342.79×10^6 m^3 από τον ταμιευτήρα Αγ. Βαρβάρας (ΥΔ 09) για την κάλυψη των υδατικών αναγκών της ΛΑΠ Χαλκιδικής, μέσω της ενωτικής διώρυγας Αλιάκμονα-Χαλκιδικής. Από τα 342.79×10^6 m^3,

τα 43×10^6 m^3 συμβάλλουν στην κάλυψη των αναγκών ύδρευσης και τροφοδοτούν τις ανάγκες του Πολεοδομικού Συγκροτήματος Θεσσαλονίκης μέσω του δικτύου της ΕΥΑΘ, τα 6.59×10^6 m^3 συμβάλλουν στην κάλυψη των υδατικών αναγκών της βιομηχανίας, ενώ τα 293.20×10^6 m^3 καλύπτουν τις αρδευτικές ανάγκες των εκτάσεων του Γενικού Οργανισμού Εγγείων Βελτιώσεων Θεσσαλονίκης-Λαγκαδά.

Στη ΛΑΠ Λευκάδας (δείκτης SELF: 0.50) μεταφέρονται 3×10^6 m^3 / έτος από τη ΛΑΠ Λούρου (Υδατικό Διαμέρισμα Θεσσαλίας, ΥΔ05) για την κάλυψη των αναγκών ύδρευσης (ΥΠΕΚΑ, 2012α).

Στη ΛΑΠ Μόρνου (δείκτης SELF: 0.37) οι διάφορες καταναλωτικές χρήσεις τροφοδοτούνται κυρίως από ίδιους πόρους, ενώ γίνεται απόληψη 10×10^6 m^3 / έτος από το υπόγειο υδατικό σύστημα GR0400130 που εντάσσεται στην ΛΑΠ Αχελώου. Επίσης, πραγματοποιείται απόληψη 189×10^6 m^3 / έτος από τη ΛΑΠ Μόρνου για την κάλυψη των αναγκών ύδρευσης της Αθήνας (ΥΠΕΚΑ, 2012α).

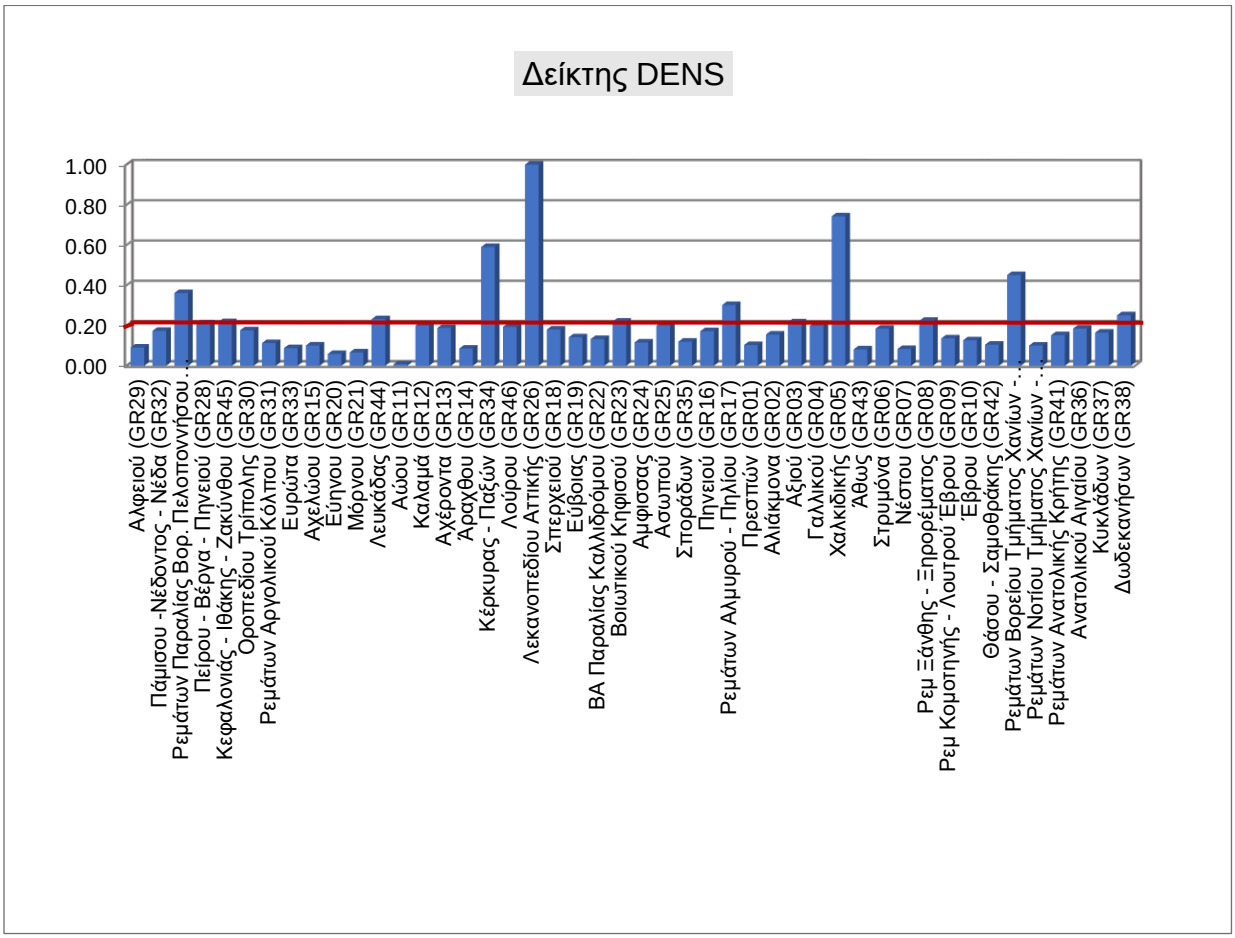
Εκτός από τις τέσσερις αυτές ΛΑΠ που παρουσιάζουν εξάρτηση από εξωτερικούς υδατικούς πόρους, ο δείκτης SELF έχει τιμή μεγαλύτερη του 0 σε οχτώ ακόμα ΛΑΠ στις οποίες πραγματοποιείται μεταφορά νερού από άλλες ΛΑΠ, αλλά σε μικρά ποσοστά σε σχέση με τη συνολική υδατική τους κατανάλωση. Πιο συγκεκριμένα, οι ΛΑΠ αυτές είναι η ΛΑΠ Αχέροντα (δείκτης SELF: 0.04), η ΛΑΠ Άμφισσας (δείκτης SELF: 0.03), η ΛΑΠ Ασωπού (δείκτης SELF: 0.03), η ΛΑΠ Αξιού (δείκτης SELF: 0.02), η ΛΑΠ Βοιωτικού Κηφισού (δείκτης SELF: 0.01), η ΛΑΠ Πηνειού (δείκτης SELF: 0.01), η ΛΑΠ Κυκλάδων (δείκτης SELF: 0.01), και η ΛΑΠ Δωδεκανήσων (δείκτης SELF: 0.01). Οι τιμές του δείκτη SELF για τις υπόλοιπες ελληνικές ΛΑΠ (74% του συνόλου) είναι ίσες με 0 υποδηλώνοντας αυτάρκεια υδατικών πόρων και πλήρη κάλυψη των αναγκών τους από ίδιους πόρους.

Δείκτης Πυκνότητα πληθυσμού (DENS)

Ο δείκτης DENS ορίζεται ως ο αριθμός των μόνιμων κατοίκων μίας περιοχής προς την έκταση της περιοχής αυτής (ΕΛΣΤΑΤ, 2001) και εκφράζει την τοπική πίεση που ασκείται στα υδατικά συστήματα από τις ανάγκες του πληθυσμού (Hamouda et al., 2009). Ως μόνιμος πληθυσμός ορίζεται ο συνολικός πληθυσμός που δήλωσε ως μόνιμη κατοικία του κατά την απογραφή του τον συγκεκριμένο τόπο, ανεξάρτητα από το πού βρέθηκε και απογράφηκε στην επικράτεια της χώρας (ΕΛΣΤΑΤ, 2014α).

Ως οριακή τιμή του δείκτη DENS στην παρούσα ανάλυση θεωρήθηκε η παγκόσμια μέση τιμή για το 2014, η οποία σύμφωνα με τη World Bank (World Bank Open Data) ήταν 56 κατ/χλμ^2.

Η πυκνότητα του πληθυσμού για το σύνολο της χώρας προέκυψε 82%. Οι κανονικοποιημένες τιμές του δείκτη DENS για τις 46 ελληνικές ΛΑΠ και η σύγκρισή τους με την οριακή τιμή παρουσιάζονται στο διάγραμμα της Εικόνας 4.10.



Εικόνα 4.10: Οι κανονικοποιημένες τιμές του δείκτη DENS για τις 46 ελληνικές ΛΑΠ. Η κόκκινη γραμμή αντιπροσωπεύει την οριακή τιμή του δείκτη.

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.10, σε 16 από τις 46 ελληνικές ΛΑΠ (35% του συνόλου) η πυκνότητα του πληθυσμού ξεπερνά την οριακή τιμή των 56 κατ/χλμ^2. Οι ΛΑΠ αυτές περιλαμβάνουν τα μεγάλα αστικά κέντρα της χώρας και τα πυκνοκατοικημένα νησιά. Η πλέον πυκνοκατοικημένη ΛΑΠ, με διαφορά από τις υπόλοιπες, είναι αυτή του Λεκανοπεδίου Αττικής με πυκνότητα πληθυσμού 1,183 κατ/χλμ^2 (τιμή περίπου 21 φορές μεγαλύτερη από την οριακή). Ακολουθεί η ΛΑΠ Χαλκιδικής με 208.13 κατ/χλμ^2, η ΛΑΠ Κέρκυρας – Παξών με 165 κατ/χλμ^2, η ΛΑΠ Ρεμάτων Βορείου Τμήματος Χανίων - Ρεθύμνου – Ηρακλείου στην Κρήτη με 126 κατ/χλμ^2, η ΛΑΠ Ρεμάτων Παραλίας Βορ. Πελοποννήσου (περιλαμβάνει την πόλη της Πάτρας) με 101 κατ/χλμ^2, η ΛΑΠ Ρεμάτων Αλμυρού – Πηλίου με 85 κατ/χλμ^2, η ΛΑΠ Δωδεκανήσων (περιλαμβάνει τα νησιά Ρόδος, Κως και Κάλυμνος) με 70 κατ/χλμ^2, η ΛΑΠ Λευκάδας με 65 κατ/χλμ^2, η ΛΑΠ Ρεμ Ξάνθης – Ξηρορέματος με 63 κατ/χλμ^2, η ΛΑΠ Βοιωτικού Κηφισού (περιλαμβάνει τον πληθυσμό της Λειβαδιάς και τμήμα του πληθυσμού της Χαλκίδας) με 62 κατ/χλμ^2, η ΛΑΠ Κεφαλονιάς - Ιθάκης – Ζακύνθου με 61 κατ/χλμ^2, η ΛΑΠ Αξιού με 61 κατ/χλμ^2, η ΛΑΠ Πείρου - Βέργα - Πηνειού στη Βόρεια Πελοπόννησο με 59 κατ/χλμ^2, και οι ΛΑΠ Ασωπού, Καλαμά στην Ήπειρο και Γαλλικού

με 56 κατ/χλμ^2.Τη μικρότερη πυκνότητα πληθυσμού έχει η ΛΑΠ Αώου με δείκτη DENS ίσο με 2 κατ/χλμ^2.

4.3.1.3. Δείκτες Προσαρμοστικής Ικανότητας

Η εκτίμηση της προσαρμοστικής ικανότητας των 46 ελληνικών ΛΑΠ στη σπανιότητα ύδατος έγινε στη βάση πέντε δεικτών. Οι δείκτες που επιλέχθηκαν για την εκτίμηση της προσαρμοστικής ικανότητας των ΛΑΠ στη σπανιότητα ύδατος, δηλαδή της ικανότητας τους να προσαρμόζονται στις διαταραχές, να μετριάζουν πιθανές ζημιές, να επωφελούνται από τις ευκαιρίες, ή να αντιμετωπίζουν τις συνέπειες των μετασχηματισμών που τους συμβαίνουν, είναι ο δείκτης ***Κάλυψη περιοχής από βλάστηση (VEG)***, ο δείκτης ***Κατανάλωση εναλλακτικών υδατικών πόρων (ALT)***, ο δείκτης ***Οικονομικά ενεργός πληθυσμός (EC)***, ο δείκτης ***Πληθυσμός που δεν προχώρησε στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση (ED)*** και ο δείκτης ***Κατά κεφαλήν Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν (ΑΕΠ) (GDP)***. Η προσαρμοστική ικανότητα είναι αρνητικά συσχετισμένη με την τρωτότητα, καθώς εκφράζει την ικανότητα των υδατικών συστημάτων να αντιμετωπίζουν και να ξεπερνούν τους κινδύνους. Οι τιμές των δεικτών προσαρμοστικής ικανότητας για τις 46 ελληνικές ΛΑΠ παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον Πίνακα 4.11. Στη συνέχεια, οι κανονικοποιημένες τιμές των δεικτών (κλίμακα 0-1), σύμφωνα με τη μέθοδο που περιγράφεται στο Κεφάλαιο 3, συγκρίνονται με τις οριακές τους τιμές (0.20). Οι δείκτες προσαρμοστικής ικανότητας με τιμές μικρότερες των οριακών εκφράζουν τους παράγοντες που καθιστούν τα υδατικά συστήματα στις αντίστοιχες ΛΑΠ λιγότερο ικανά να αντιμετωπίσουν ενδεχόμενα προβλήματα λειψυδρίας, και άρα περισσότερο τρωτά.

Πίνακας 4.11: Οι τιμές των Δεικτών Προσαρμοστικής Ικανότητας για τις 46 ελληνικές ΛΑΠ

Α/Α	Λεκάνη Απορροής	Κάλυψη περιοχής από βλάστηση (%)	Κατανάλωση εναλλακτικών υδατικών πόρων (%)	Οικονομικά ενεργός πληθυσμός (%)	Πληθυσμός που δεν προχώρησε στη β' βάθμια εκπαίδευση (%)	*Κατά κεφαλήν ΑΕΠ (€ / κατ)*
1	Αλφειού (GR29)	50.00	0.00	35.39	54.26	13,529.00
2	Πάμισου -Νέδοντος - Νέδα (GR32)	37.00	0.00	40.06	46.61	13,783.00
3	Ρεμάτων Παραλίας Βορ. Πελοποννήσου (GR27)	46.00	0.00	40.76	41.38	15,163.00
4	Πείρου - Βέργα - Πηνειού (GR28)	24.00	0.00	39.31	55.12	13,514.00
5	Κεφαλονιάς - Ιθάκης - Ζακύνθου (GR45)	33.00	1.07	42.94	47.75	17,749.00
6	Οροπεδίου Τρίπολης (GR30)	42.00	7.28	41.93	43.14	17,110.00
7	Ρεμάτων Αργολικού Κόλπου (GR31)	50.00	0.01	40.89	51.11	16,444.00
8	Ευρώτα (GR33)	42.00	0.00	39.93	47.62	13,928.00
9	Αχελώου (GR15)	58.00	0.00	35.98	55.67	12,795.00
10	Εύηνου (GR20)	72.00	0.00	35.51	49.18	13,043.00
11	Μόρνου (GR21)	69.00	0.00	32.94	48.56	12,786.00
12	Λευκάδας (GR44)	39.00	0.00	40.79	49.37	14,414.00
13	Αώου (GR11)	80.00	0.00	32.54	61.04	13,246.00
14	Καλαμά (GR12)	43.00	0.00	40.10	43.74	13,625.00
15	Αχέροντα (GR13)	38.00	0.00	38.97	54.27	13,864.00

Α/Α	Λεκάνη Απορροής	Κάλυψη περιοχής από βλάστηση (%)	Κατανάλωση εναλλακτικών υδατικών πόρων (%)	Οικονομικά ενεργός πληθυσμός (%)	Πληθυσμός που δεν προχώρησε στη β' βάθμια εκπαίδευση (%)	*Κατά κεφαλήν ΑΕΠ (€ / κατ)*
16	Άραχθου (GR14)	56.00	0.00	36.46	52.68	12,569.00
17	Κέρκυρας - Παξών (GR34)	14.00	0.48	42.89	48.48	16,287.00
18	Λούρου (GR46)	29.00	0.00	37.75	52.68	12,615.00
19	Λεκανοπεδίου Αττικής (GR26)	46.00	0.02	46.10	32.51	25,373.00
20	Σπερχειού (GR18)	60.00	0.86	38.90	45.44	15,176.00
21	Εύβοιας (GR19)	40.00	0.51	40.22	47.90	14,789.00
22	ΒΑ Παραλίας Καλλιδρόμου (GR22)	50.00	0.00	37.78	52.48	15,341.00
23	Βοιωτικού Κηφισού (GR23)	28.00	0.11	43.02	47.33	19,610.00
24	Άμφισσας (GR24)	42.00	0.28	38.74	46.26	14,711.00
25	Ασωπού (GR25)	25.00	0.00	39.42	42.95	24,433.00
26	Σποράδων (GR35)	50.00	0.00	41.91	46.48	14,407.00
27	Πηνειού (GR16)	34.00	0.42	38.33	51.78	13,035.00
28	Ρεμάτων Αλμυρού - Πηλίου (GR17)	56.00	0.00	38.98	43.94	14,334.00
29	Πρεσπών (GR01)	50.00	0.00	38.20	50.86	19,544.00
30	Αλιάκμονα (GR02)	57.00	0.00	38.72	50.72	14,476.00
31	Αξιού (GR03)	30.00	2.62	38.54	53.62	13,023.00
32	Γαλλικού (GR04)	20.00	0.00	57.75	73.13	14,397.00
33	Χαλκιδικής (GR05)	43.00	2.76	42.60	37.58	15,980.00

Α/Α	Λεκάνη Απορροής	Κάλυψη περιοχής από βλάστηση (%)	Κατανάλωση εναλλακτικών υδατικών πόρων (%)	Οικονομικά ενεργός πληθυσμός (%)	Πληθυσμός που δεν προχώρησε στη β' βάθμια εκπαίδευση (%)	*Κατά κεφαλήν ΑΕΠ (€ / κατ)*
34	Άθως (GR43)	80.00	0.00	39.91	49.93	14,941.00
35	Στρυμόνα (GR06)	53.00	0.00	37.07	51.94	11,971.00
36	Νέστου (GR07)	80.00	0.00	38.82	56.00	12,911.00
37	Ρεμ Ξάνθης - Ξηρορέματος (GR08)	50.00	0.00	38.48	60.16	12,243.00
38	Ρεμ Κομοτηνής - Λουτρού Έβρου (GR09)	35.00	0.00	38.48	63.58	12,515.00
39	Έβρου (GR10)	45.00	0.00	38.76	51.03	14,611.00
40	Θάσου - Σαμοθράκης (GR42)	95.00	0.00	39.40	54.90	14,694.00
41	Ρεμάτων Βορείου Τμήματος Χανίων - Ρεθύμνου - Ηρακλείου (GR39)	26.00	1.16	44.08	42.61	15,528.00
42	Ρεμάτων Νοτίου Τμήματος Χανίων - Ρεθύμνου - Ηρακλείου (GR40)	27.00	0.00	38.23	59.54	15,401.00
43	Ρεμάτων Ανατολικής Κρήτης (GR41)	28.00	0.39	43.87	47.91	15,160.00
44	Ανατολικού Αιγαίου (GR36)	35.00	1.05	38.46	47.07	14,669.00
45	Κυκλάδων (GR37)	27.00	9.82	43.60	47.94	23,442.00
46	Δωδεκανήσων (GR38)	44.00	1.93	46.36	44.25	17,476.00
ΟΡΙΑΚΗ ΤΙΜΗ ΔΕΙΚΤΗ		**31.00**	**10.00**	**68.70**	**26.90**	**23,200.00**

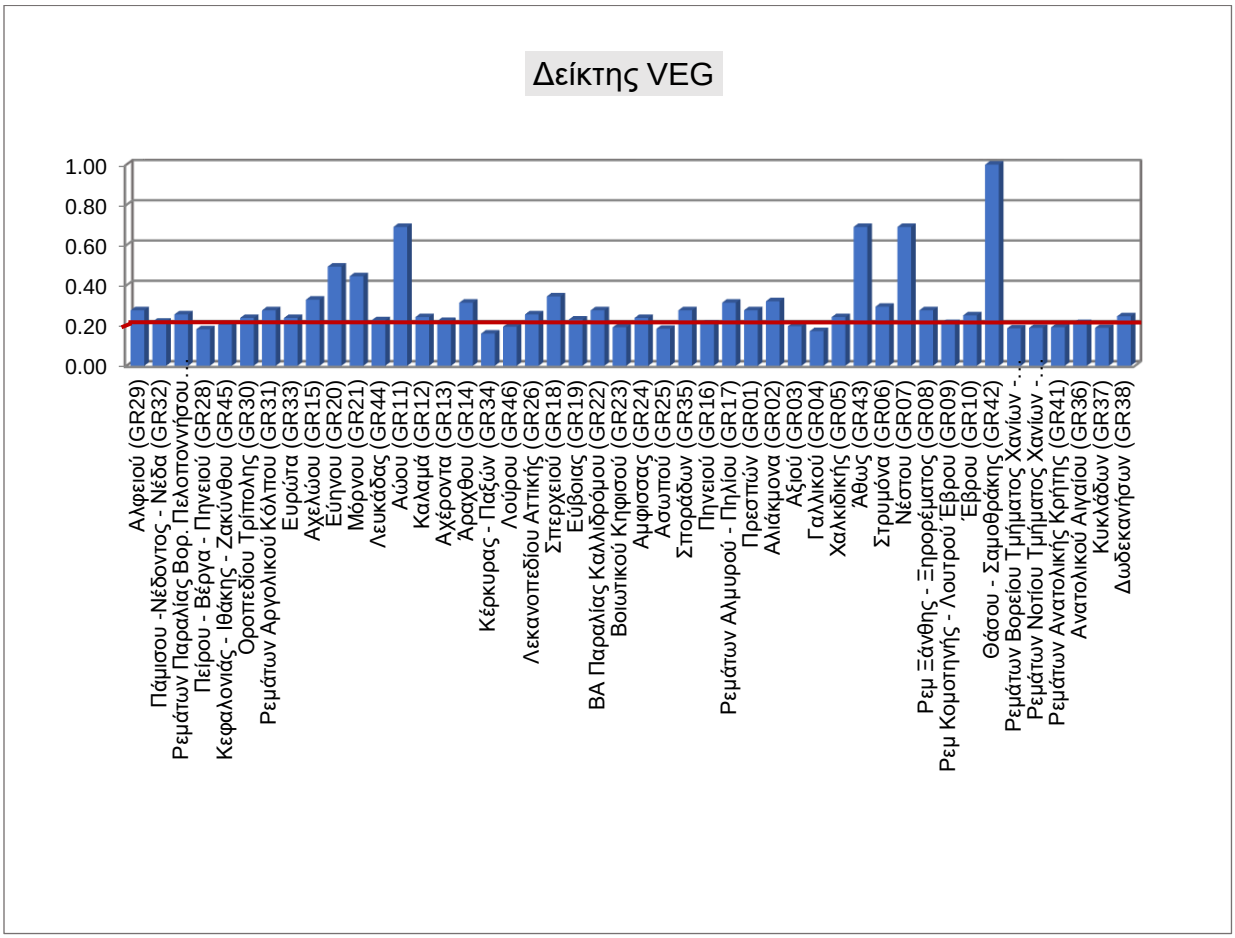
Κάλυψη περιοχής από βλάστηση (VEG)

Ο δείκτης VEG ορίζεται ως το ποσοστό της συνολικής έκτασης μίας περιοχής που καλύπτεται από βλάστηση, π.χ. δάση και υγρότοποι, και εκφράζει την κατάσταση των υδάτινων οικοσυστημάτων και τη δυνατότητα αποφυγής των κινδύνων πλημμύρας και διάβρωσης των εδαφών. Η αφαίρεση της βλάστησης μπορεί να επηρεάσει τον υδρολογικό κύκλο και να αλλάξει τις υδρολογικές ιδιότητες στην επιφάνεια του εδάφους μίας περιοχής προκαλώντας αρνητικές επιπτώσεις στη λειτουργία των υδάτινων οικοσυστημάτων και συμβάλλοντας στην τρωτότητα των υδατικών πόρων. Επίσης, η αποψίλωση των δασών μπορεί να αυξήσει τη μεταβλητότητα των βροχοπτώσεων σημαντικά, προκαλώντας ταυτόχρονα διάβρωση των εδαφών και καθίζηση ιζημάτων στον πυθμένα των ποταμών (Babel et al., 2011).

Η κάλυψη της συνολικής έκτασης της χώρας από βλάστηση προέκυψε περίπου 45%[12]. Ως οριακή τιμή του δείκτη VEG στην παρούσα ανάλυση θεωρήθηκε η παγκόσμια μέση τιμή κάλυψης των εδαφών από βλάστηση για το 2015, η οποία σύμφωνα με τη World Bank (World Bank Open Data) ήταν 31%. Οι κανονικοποιημένες τιμές του δείκτη VEG για τις 46 ελληνικές ΛΑΠ και η σύγκρισή τους με την οριακή τιμή παρουσιάζονται στο διάγραμμα της Εικόνας 4.11.

Σε 11 από τις 46 ελληνικές ΛΑΠ (24% του συνόλου) η τιμή του δείκτη VEG είναι μικρότερη της οριακής τιμής, ενώ στην πλειοψηφία των ΛΑΠ το ποσοστό των εδαφών που καλύπτεται από βλάστηση είναι μεγαλύτερο του 31%. Οι ΛΑΠ στις οποίες το ποσοστό των εδαφών που καλύπτεται από βλάστηση είναι μικρότερο του 31% είναι η ΛΑΠ Κέρκυρας – Παξών (14%), που αποτελεί και τη ΛΑΠ με τη μικρότερη τιμή του δείκτη, η ΛΑΠ Γαλλικού (20%) και η ΛΑΠ Αξιού (30%) στην κεντρική Μακεδονία, η ΛΑΠ Πείρου-Βέργα-Πηνειού στη Βόρεια Πελοπόννησο (24%), η ΛΑΠ Ασωπού (25%) και η ΛΑΠ Βοιωτικού Κηφισού (28%) στην Ανατολική Στερεά Ελλάδα, οι ΛΑΠ Ρεμάτων Βορείου Τμήματος Χανίων - Ρεθύμνου – Ηρακλείου (26%), Ρεμάτων Νοτίου Τμήματος Χανίων - Ρεθύμνου – Ηρακλείου (27%) και Ρεμάτων Ανατολικής Κρήτης (28%), η ΛΑΠ Κυκλάδων (27%), και η ΛΑΠ Λούρου στην Ήπειρο (29%). Τη μεγαλύτερη έκταση σε βλάστηση έχει η ΛΑΠ Θάσου Σαμοθράκης (95%), ενώ πολύ μεγάλη έκταση βλάστησης έχουν και οι ΛΑΠ Αώου (80%), Άθως (80%) και Νέστου (80%), καθώς και οι ΛΑΠ Εύηνου (72%) και Μόρνου (69%).

[12] Σύμφωνα με τη World Bank, το 2015 η κάλυψη της χώρας από δασικές εκτάσεις ήταν 31.5% (World Bank Open Data).



Εικόνα 4.11: Οι κανονικοποιημένες τιμές του δείκτη VEG για τις 46 ελληνικές ΛΑΠ. Η κόκκινη γραμμή αντιπροσωπεύει την οριακή τιμή του δείκτη.

Κατανάλωση εναλλακτικών υδατικών πόρων (ALT)

Ο δείκτης ALT ορίζεται ως το ποσοστό της συνολικής υδατικής παροχής για κάλυψη των αναγκών μίας περιοχής που προέρχεται από εναλλακτικούς – μη συμβατικούς υδατικούς πόρους. Ως εναλλακτικοί – μη συμβατικοί υδατικοί πόροι θεωρούνται οι πόροι που προέρχονται από την αφαλάτωση θαλασσινού και υφάλμυρου νερού και από την Ε&ΑΝ επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων. Η χρήση μη συμβατικών υδατικών πόρων για την κάλυψη των υδατικών αναγκών μειώνει την εξάρτηση από τους συμβατικούς πόρους και τις κλιματικές συνθήκες, και συνεπώς αυξάνει την ικανότητα προσαρμογής των υδατικών συστημάτων σε συνθήκες περιορισμένης διαθεσιμότητας νερού (Stathatou et al., 2016).

Σύμφωνα με την παρούσα ανάλυση το 0.6% της συνολικής κατανάλωσης υδατικών πόρων της χώρας προέρχεται από μη συμβατικούς πόρους, τιμή που επιβεβαιώνεται και από τη Eurostat και την ΕΕ (Kirhensteine et al., 2016), σύμφωνα με τους οποίους λιγότερο από 1% των συνολικών

απολήψεων στην Ελλάδα προέρχονται από αφαλατωμένο ή ανακτημένο νερό, ενώ το ανακτημένο νερό είναι λιγότερο από το 5% της συνολικής ποσότητας των επεξεργασμένων λυμάτων. Οι εκτιμήσεις που έχουν καταγραφεί σχετικά με τη χρήση ανακτημένου νερού στην Ελλάδα διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους (Kirhensteine et al., 2016). Η μέση ποσότητα ανακτημένου νερού που χρησιμοποιείται ημερησίως εκτιμάται περίπου στα 28,000 m^3 (ή 10.2×10^6 m^3 το έτος) σύμφωνα με τους Kellis et al. (2013), ενώ σύμφωνα με το χρηματοδοτούμενο από την ΕΕ ερευνητικό έργο AQUAREC[13] (διάρκεια 2003 – 2006) η ποσότητα αυτή ήταν το 2006 περίπου 23×10^6 m^3 το έτος (Hochstrat et al., 2006). Η συνολική ποσότητα ανακτημένου νερού που χρησιμοποιείται, όπως υπολογίστηκε στην παρούσα Διατριβή, είναι 33×10^6 m^3 ετησίως, ενώ η συνολική ποσότητα αφαλατωμένου νερού προέκυψε περίπου 18×10^6 m^3 το έτος. Η τιμή της ποσότητας ανακτημένου νερού που χρησιμοποιείται είναι κοντά στην τιμή που δίνεται από τη βάση δεδομένων AQUASTAT του FAO για το 2003 (27×10^6 m^3), αλλά απέχει πολύ από την τιμή που δίνεται για το 2010 (104×10^6 m^3).

Ως οριακή τιμή του δείκτη θεωρήθηκε το 10% (Stathatou et al., 2016). Οι κανονικοποιημένες τιμές του δείκτη ALT για τις 46 ελληνικές ΛΑΠ και η σύγκρισή τους με την οριακή τιμή παρουσιάζονται στο διάγραμμα της Εικόνας 4.12.

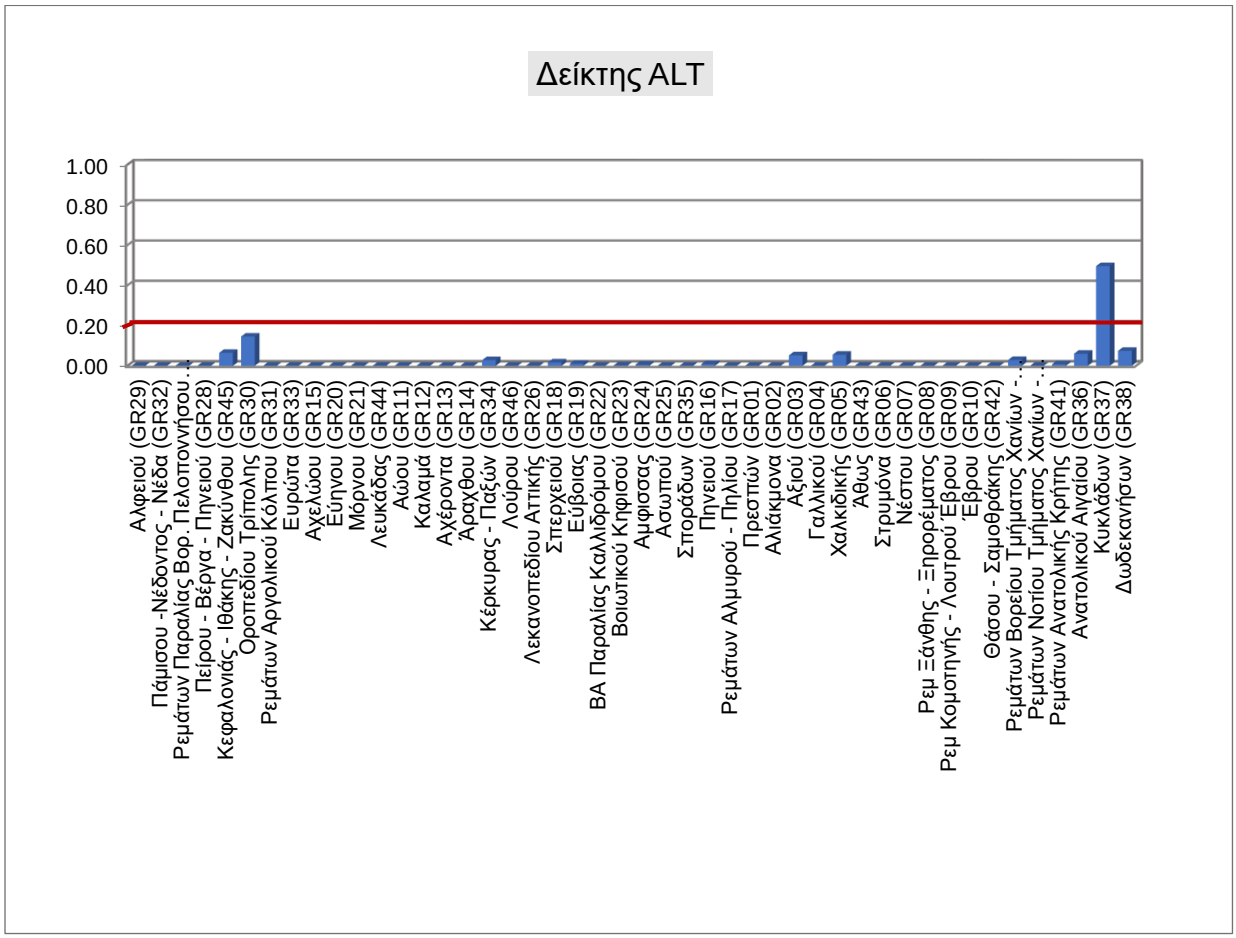
Η κανονικοποιημένη τιμή του δείκτη ALT και για τις 46 Ελληνικές ΛΑΠ είναι κατά πολύ μικρότερη της οριακής, ενώ μόνο σε 9 από αυτές (ΛΑΠ Κεφαλονιάς – Ιθάκης - Ζακύνθου, Οροπεδίου Τρίπολης, Αξιού, Χαλκιδικής, Ρεμάτων Βορείου τμήματος Χανίων – Ρεθύμνου – Ηρακλείου, Ανατολικού Αιγαίου, Κυκλάδων και Δωδεκανήσων) η τιμή του δείκτη ξεπερνά το 1%. Στην πλειοψηφία των ΛΑΠ (σε 29 από τις 46 ΛΑΠ) η τιμή του δείκτη ισούται με το 0, γεγονός που υποδηλώνει ότι η χρήση εναλλακτικών υδατικών πόρων στην Ελλάδα είναι ακόμα πολύ περιορισμένη.

Τη μεγαλύτερη τιμή του δείκτη ALT έχει η ΛΑΠ Κυκλάδων (24.78%). Σύμφωνα με τους Kartalidis et al. (2016), λειτουργούν μονάδες αφαλάτωσης στα νησιά Τήνος, Μύκονος, Σύρος, Σίφνος, Πάρος, Κίμωλος, Μήλος, Φολέγανδρος, Σίκινος, Σαντορίνη, Θηρασία, Ίος, Κουφονήσι και Σχοινούσα με συνολική δυναμικότητα 35,360.00 m^3 την ημέρα. Για να υπολογιστεί η χρήση αφαλατωμένου νερού στη ΛΑΠ η ποσότητα αυτή πολλαπλασιάστηκε επί 365.00 και στη συνέχεια επί το συντελεστή 0.33, ο οποίος προέκυψε κάνοντας την παραδοχή πως οι μονάδες αφαλάτωσης λειτουργούν όπως οι μονάδες αφαλάτωσης της Σύρου, οι οποίες έχουν δυναμικότητα 8,340.00 m^3 την ημέρα και ετησίως παράγουν 1,000,000 m^3 (Kartalidis et al., 2016). Συνεπώς, οι μονάδες αφαλάτωσης τροφοδοτούν με 4.26×10^6 m^3 ετησίως τη ΛΑΠ. Επίσης, στη ΛΑΠ Κυκλάδων πραγματοποιείται επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για άρδευση κήπων και πάρκων στον οικισμό Κένταρχος της Σερίφου (100 m^3 / ημέρα για έκταση 50 στρεμμάτων), χρησιμοποιώντας συνολικά περίπου 0.01×10^6 m^3 ανακτημένου νερού ετησίως (θεωρήθηκε περίοδος κατανάλωσης 120 ημέρες) (US EPA, 2004; Karamanos et al., 2005; Ilias et al., 2014).

Την αμέσως μεγαλύτερη τιμή του δείκτη ALT μετά τη ΛΑΠ Κυκλάδων έχει η ΛΑΠ Οροπεδίου Τρίπολης (7.28%). Σύμφωνα με το ΥΠΕΚΑ (2011ι) και τους Kartalidis et al. (2016), δεν υπάρχουν

[13] http://www.eugris.info/DisplayProject.asp?P=4592

μονάδες αφαλάτωσης στη ΛΑΠ Οροπεδίου Τρίπολης, ενώ πραγματοποιείται έμμεση επαναχρησιμοποίηση 2.16×10^6 m^3 ανακτημένου νερού το έτος για άρδευση (18,000 m^3 την ημέρα για 120 ημέρες το χρόνο) (Ilias et al., 2014).



Εικόνα 4.12: Οι κανονικοποιημένες τιμές του δείκτη ALT για τις 46 ελληνικές ΛΑΠ. Η κόκκινη γραμμή αντιπροσωπεύει την οριακή τιμή του δείκτη.

Η μεγαλύτερη ποσότητα αφαλατωμένου νερού ετησίως χρησιμοποιείται στη ΛΑΠ Χαλκιδικής. Σύμφωνα με το ΥΠΕΚΑ (2013ι), για τη λειτουργία του ΑΗΣ Θεσσαλονίκης χρησιμοποιούνται 12×10^6 m^3 απιονισμένου νερού υψηλής καθαρότητας ετησίως, που παράγονται από αφαλάτωση θαλασσινού νερού, το οποίο μεταφέρεται στη μονάδα με αγωγούς μήκους 6.50 χλμ. από το Θερμαϊκό κόλπο μέσω αντλιοστασίου που έχει εγκατασταθεί στην παραλία.

Η μεγαλύτερη ποσότητα ανακτημένου νερού χρησιμοποιείται στη ΛΑΠ Αξιού, όπου πραγματοποιείται επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για άρδευση καλλιεργειών καλαμποκιού, ζαχαρότευτλων και ρυζιού, έκτασης 25,000.00 στρεμμάτων, χρησιμοποιώντας περίπου 19.80×10^6 m^3 ανακτημένου νερού ετησίως (165,000.00 m^3 την ημέρα για 120 ημέρες) (Karamanos et al., 2005).

Οικονομικά ενεργός πληθυσμός (ΕC)

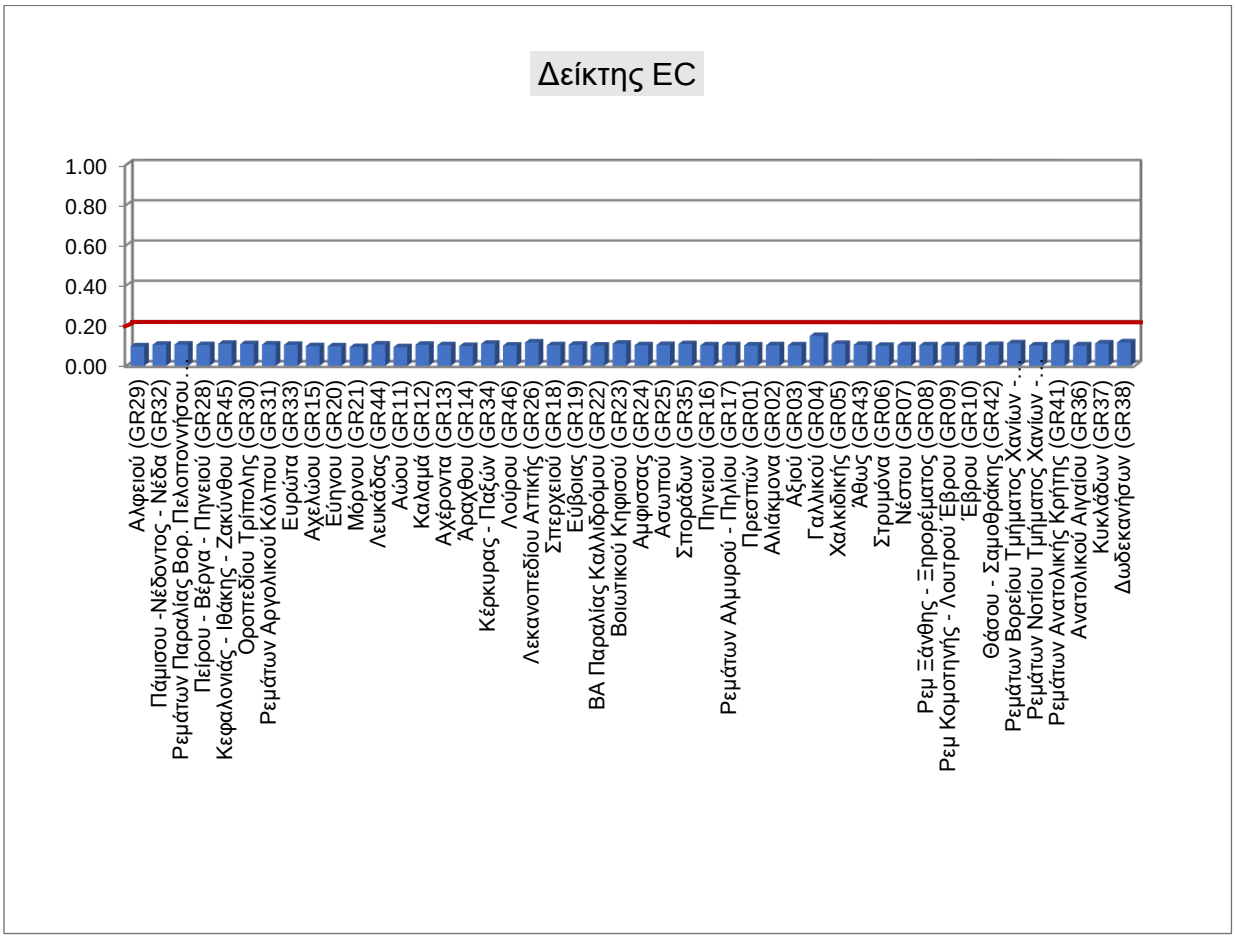
Ο δείκτης ΕC ορίζεται ως το ποσοστό του μόνιμου πληθυσμού μίας περιοχής που ανήκει στον οικονομικά ενεργό πληθυσμό. Σύμφωνα με την ΕΛΣΤΑΤ (2014β), στον οικονομικά ενεργό πληθυσμό υπάγονται όλα τα άτομα που πληρούν τις προϋποθέσεις για την κατάταξή τους μεταξύ των απασχολουμένων ή των ανέργων.

Απασχολούμενοι θεωρούνται όλα τα άτομα ηλικίας 15 ετών και άνω, τα οποία είτε ασκούν τουλάχιστον επί μία ώρα εργασία έναντι αμοιβής ή κέρδους, σε μετρητά ή σε είδος, είτε απουσιάζουν προσωρινά από τη θέση εργασίας στην οποία έχουν ήδη εργαστεί και με την οποία διατηρούν επίσημη σύνδεση, ή από τη δραστηριότητα αυτοαπασχόλησής τους. Άνεργοι θεωρούνται όλα τα άτομα ηλικίας 15 ετών και άνω, τα οποία δήλωσαν είτε «χωρίς εργασία», δηλαδή δεν είχαν αμειβόμενη απασχόληση ούτε αυτοαπασχόληση, είτε «διαθέσιμα για εργασία κατ' αυτή την περίοδο», δηλαδή έτοιμα για έναρξη δραστηριότητας ως μισθωτοί ή αυτοαπασχολούμενοι κατά τη διάρκεια της προηγούμενης από την απογραφή του 2011 εβδομάδας και επί δύο εβδομάδες μετά από αυτήν. Επίσης, στους ανέργους συγκαταλέγονται και οι «αιτούντες εργασία», δηλαδή εκείνοι που είχαν λάβει συγκεκριμένα μέτρα για την επιδίωξη αμειβόμενης απασχόλησης ή αυτοαπασχόλησης εντός τεσσάρων εβδομάδων από τη λήξη της προηγούμενης από την απογραφή του 2011 εβδομάδας. Στον οικονομικά μη ενεργό πληθυσμό περιλαμβάνονται τα άτομα κάτω από την εθνική ελάχιστη απαιτούμενη ηλικία για την άσκηση οικονομικής δραστηριότητας (15 έτη), καθώς και οι συνταξιούχοι, οι εισοδηματίες κοκ.

Συνεπώς, ο δείκτης ΕC εκφράζει το ποσοστό του πληθυσμού που είναι μεταξύ 15 και 60 ετών. Το ποσοστό αυτό θεωρείται ότι έχει πρόσβαση στους οικονομικούς πόρους και μπορεί να προσαρμοστεί πιο εύκολα σε τυχόν αλλαγές που μπορούν να επιφέρουν στον τρόπο ζωής οι συνθήκες περιορισμένης διαθεσιμότητας υδατικών πόρων (Babel et al., 2011).

Στο σύνολο της χώρας ο οικονομικά ενεργός πληθυσμός αποτελεί το 42% (ΕΛΣΤΑΤ, 2011β). Ως οριακή τιμή του δείκτη ΕC στην παρούσα ανάλυση θεωρήθηκε η παγκόσμια μέση τιμή για το 2014, η οποία σύμφωνα με τη World Bank (World Bank Open Data) ήταν 69%. Οι κανονικοποιημένες τιμές του δείκτη ΕC για τις 46 ελληνικές ΛΑΠ και η σύγκρισή τους με την οριακή τιμή παρουσιάζονται στο διάγραμμα της Εικόνας 4.13.

Η κανονικοποιημένη τιμή του δείκτη ΕC σε όλες τις ΛΑΠ είναι μικρότερη της οριακής, και κυμαίνεται μεταξύ 33% (ΛΑΠ Μόρνου) και 58% (ΛΑΠ Γαλλικού) με μέση τιμή το 40%. Οι τιμές του δείκτη ΕC για τις 46 ελληνικές ΛΑΠ υποδηλώνουν πως το μεγαλύτερο ποσοστό του πληθυσμού είναι οικονομικά μη ενεργό και ενδέχεται να δυσκολεύεται να προσαρμοστεί σε πιθανές αλλαγές.



Εικόνα 4.13: Οι κανονικοποιημένες τιμές του δείκτη EC για τις 46 ελληνικές ΛΑΠ. Η κόκκινη γραμμή αντιπροσωπεύει την οριακή τιμή του δείκτη.

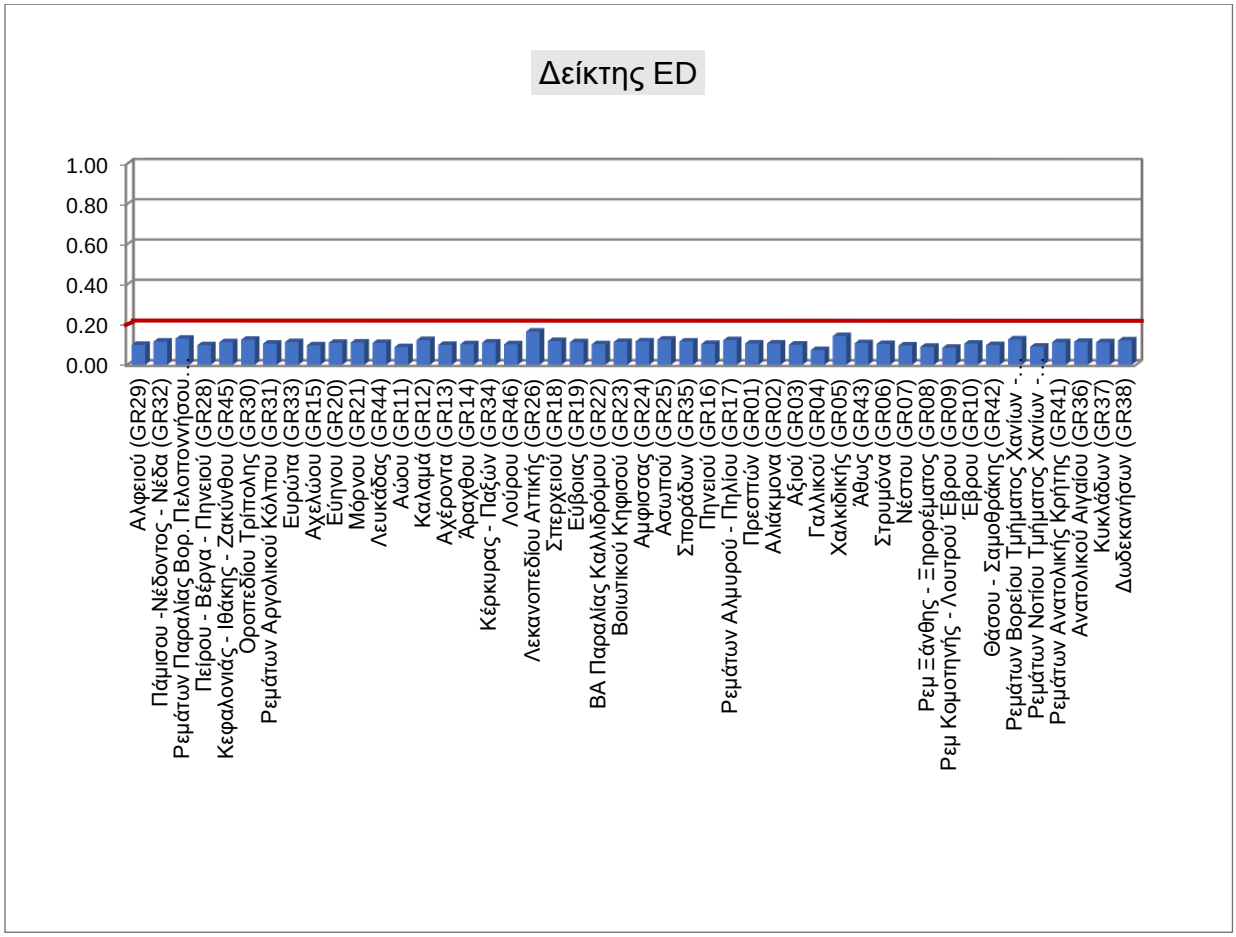
Πληθυσμός που δεν προχώρησε στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση (ED)

Ο δείκτης ED ορίζεται ως το ποσοστό του μόνιμου πληθυσμού μίας περιοχής που δεν προχώρησε στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση. Στον πληθυσμό που δεν προχώρησε στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση περιλαμβάνεται ο πληθυσμός που: α) αποφοίτησε από το δημοτικό και δεν συνέχισε τις σπουδές του, β) εγκατέλειψε το δημοτικό, αλλά γνωρίζει γραφή και ανάγνωση, γ) ολοκλήρωσε την προσχολική αγωγή, δ) δεν γνωρίζει γραφή και ανάγνωση, και ε) γεννήθηκε μετά την 01/01/2005 (ΕΛΣΤΑΤ, 2011β).

Ο δείκτης ED εκφράζει το μορφωτικό επίπεδο του πληθυσμού. Ο πληθυσμός που δεν προχώρησε στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση θεωρείται ότι δυσκολεύεται να προσαρμοστεί σε τυχόν αλλαγές που μπορούν να επιφέρουν στον τρόπο ζωής οι συνθήκες περιορισμένης διαθεσιμότητας υδατικών πόρων, καθώς έχει μειωμένη πρόσβαση στην τεχνολογία, τη γνώση και την ενημέρωση (Babel et al., 2011).

Στο σύνολο της χώρας ο πληθυσμός που δεν προχώρησε στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση αποτελεί το 42% (ΕΛΣΤΑΤ, 2011β). Ως οριακή τιμή του δείκτη ED στην παρούσα ανάλυση θεωρήθηκε η μέση τιμή για την Ευρωπαϊκή Ένωση το 2013, η οποία σύμφωνα με τη βάση δεδομένων της Eurostat ήταν 27%. Οι κανονικοποιημένες τιμές του δείκτη ED για τις 46 ελληνικές ΛΑΠ και η σύγκρισή τους με την οριακή τιμή παρουσιάζονται στο διάγραμμα της Εικόνας 4.14.

Για το σύνολο των ελληνικών ΛΑΠ η κανονικοποιημένη τιμή του δείκτη ED είναι αρκετά μικρότερη της οριακής, υποδηλώνοντας πως το μορφωτικό επίπεδο του πληθυσμού της χώρας δεν είναι υψηλό σε σύγκριση με τα υπόλοιπα Κράτη Μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Το χαμηλότερο μορφωτικό επίπεδο στη βάση του δείκτη ED έχει η ΛΑΠ Γαλλικού στην κεντρική Μακεδονία, με ποσοστό 73% να μην έχει προχωρήσει στη δεύτερη βαθμίδα της εκπαίδευσης, και το υψηλότερο έχει η ΛΑΠ Λεκανοπεδίου Αττικής με ποσοστό 33% να μην έχει προχωρήσει στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση. Η μέση τιμή του δείκτη για τις 46 ελληνικές ΛΑΠ είναι 50%. Συνεπώς, η προσαρμοστική ικανότητα του πληθυσμού σε ενδεχόμενες αλλαγές θεωρείται μικρή.



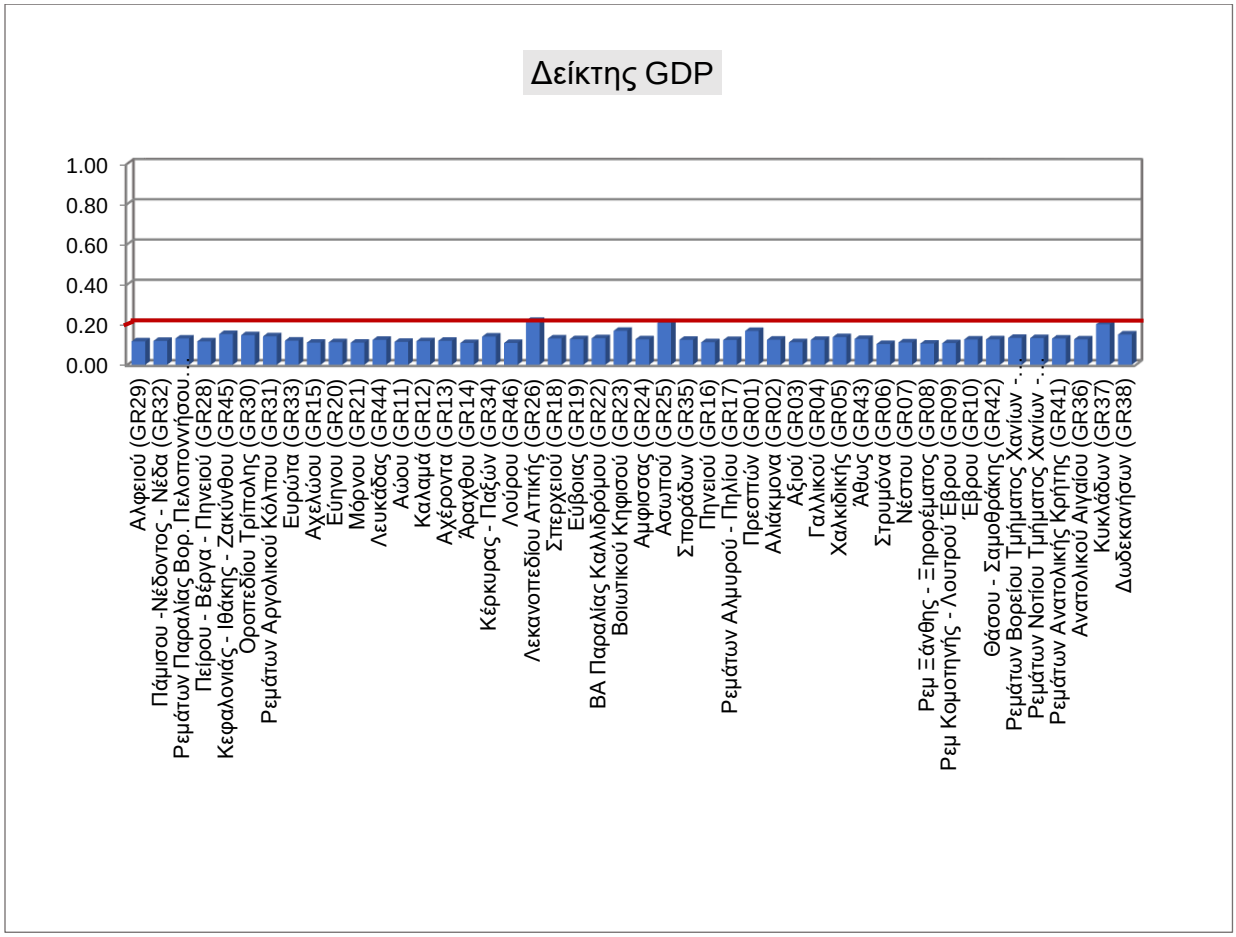
Εικόνα 4.14: Οι κανονικοποιημένες τιμές του δείκτη ED για τις 46 ελληνικές ΛΑΠ. Η κόκκινη γραμμή αντιπροσωπεύει την οριακή τιμή του δείκτη.

Κατά κεφαλήν ΑΕΠ (GDP)

Ο δείκτης GDP προκύπτει διαιρώντας τη συνολική ακαθάριστη αξία από όλα τα προϊόντα και τα αγαθά που παράγει η τοπική οικονομία μίας ΛΑΠ σε διάστημα ενός έτους (ΑΕΠ), προς τον πληθυσμό της ΛΑΠ (World Bank Open Data).

Ο δείκτης GDP εκφράζει το βιοτικό επίπεδο του πληθυσμού της ΛΑΠ. Μεγάλες τιμές του δείκτη εκφράζουν αυξημένη πρόσβαση του πληθυσμού σε τεχνολογία και οικονομικούς πόρους, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αντιμετωπιστούν ενδεχόμενα προβλήματα λειψυδρίας και σπανιότητας ύδατος (Babel et al., 2011).

Στο σύνολο της χώρας το κατά κεφαλήν ΑΕΠ είναι 18,643 € / κάτοικο (ΕΛΣΤΑΤ, 2011γ). Ως οριακή τιμή του δείκτη GDP στην παρούσα ανάλυση θεωρήθηκε η μέση τιμή για την Ευρωπαϊκή Ένωση το 2013, η οποία σύμφωνα με τη βάση δεδομένων της Eurostat ήταν 23,200 € / κάτοικο. Οι κανονικοποιημένες τιμές του δείκτη GDP για τις 46 ελληνικές ΛΑΠ και η σύγκρισή τους με την οριακή τιμή παρουσιάζονται στο διάγραμμα της Εικόνας 4.15.



Εικόνα 4.15: Οι κανονικοποιημένες τιμές του δείκτη GDP για τις 46 ελληνικές ΛΑΠ. Η κόκκινη γραμμή αντιπροσωπεύει την οριακή τιμή του δείκτη.

Για την πλειοψηφία των ελληνικών ΛΑΠ η κανονικοποιημένη τιμή του δείκτη GDP είναι μικρότερη της οριακής, υποδηλώνοντας πως το βιοτικό επίπεδο του πληθυσμού της χώρας δεν είναι υψηλό σε σύγκριση με τα υπόλοιπα Κράτη Μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Μόνο τρεις από τις 46 ΛΑΠ (ποσοστό 6.5%) έχουν τιμή του δείκτη μεγαλύτερη της οριακής, η ΛΑΠ Λεκανοπεδίου Αττικής (GDP: 25,373 € / κάτοικο), η ΛΑΠ Ασωπού (GDP: 24,433 € / κάτοικο) και η ΛΑΠ Κυκλάδων (GDP: 23,442 € / κάτοικο). Τη μικρότερη τιμή του δείκτη έχει η ΛΑΠ Στρυμόνα με GDP 11,971 € / κάτοικο.

4.3.2. Σύνθετος Δείκτης Τρωτότητας (VI)

Οι δέκα επιμέρους δείκτες τρωτότητας που υπολογίστηκαν για κάθε ΛΑΠ (πέντε δείκτες έκθεσης και ευαισθησίας και πέντε δείκτες προσαρμοστικής ικανότητας) συνδυάζονται στο Σύνθετο Δείκτη Τρωτότητας (VI), ο οποίος αποτελείται από δύο επιμέρους σύνθετους δείκτες, το σύνθετο δείκτη έκθεσης και ευαισθησίας (ESI), και το σύνθετο δείκτη προσαρμοστικής ικανότητας (ACI) (Κεφάλαιο 3). Στη βάση του VI πραγματοποιείται η συγκριτική αξιολόγηση του επιπέδου τρωτότητας μεταξύ των 46 ΛΑΠ. Στην ενότητα αυτή αρχικά, περιγράφονται τα αποτελέσματα της εφαρμογής της Ανάλυσης Κύριων Συνιστωσών στο δείγμα δεδομένων των 46 ελληνικών ΛΑΠ για τους δέκα επιμέρους δείκτες τρωτότητας, από την οποία προέκυψαν τα βάρη των δεικτών που αποτελούν τον VI. Στη συνέχεια παρουσιάζεται ο σύνθετος δείκτης VI και οι τιμές αυτού για τις 46 ελληνικές ΛΑΠ.

4.3.2.1. Στάθμιση Δεικτών με τη μέθοδο Ανάλυσης Κύριων Συνιστωσών

Η στατιστική μέθοδος στάθμισης Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών (ΑΚΣ) εφαρμόστηκε ξεχωριστά στους πέντε επιμέρους δείκτες έκθεσης και ευαισθησίας και στους πέντε επιμέρους δείκτες προσαρμοστικής ικανότητας για την ανάπτυξη των σύνθετων δεικτών ESI και ACI αντίστοιχα, χρησιμοποιώντας το δείγμα δεδομένων των 46 ελληνικών ΛΑΠ. Η εφαρμογή της ΑΚΣ για την ανάπτυξη των ESI και ACI περιγράφεται αναλυτικά στη συνέχεια.

Εφαρμογή της ΑΚΣ για την ανάπτυξη του ESI

Ο σύνθετος δείκτης ESI περιλαμβάνει τους 5 επιμέρους δείκτες έκθεσης και ευαισθησίας:

- Δείκτης Falkenmark (F)
- Δείκτης Ανεπεξέργαστα υγρά απόβλητα προς τους ανανεώσιμους υδατικούς πόρους (WW)
- Δείκτης Εκμετάλλευσης Ύδατος (WEI)
- Δείκτης Αυτάρκεια υδατικών πόρων (SELF)
- Δείκτης Πυκνότητα πληθυσμού (DENS)

Η αναλογία μεταξύ περιπτώσεων (46 ΛΑΠ και οριακή περίπτωση για κάθε μεταβλητή) και μεταβλητών (5 δείκτες) είναι 9.4 προς 1 και θεωρείται απολύτως ικανοποιητική. Για τον έλεγχο της καταλληλότητας του δείγματος και τη διεξαγωγή της ΑΚΣ, ώστε να υπολογιστούν οι βαρύτητες των επιμέρους δεικτών για την ανάπτυξη του ESI, χρησιμοποιήθηκε το πακέτο λογισμικού στατιστικών αναλύσεων IBM SPSS Statistics (version 23). Τα κυριότερα αποτελέσματα από τους ελέγχους και την ανάλυση παρουσιάζονται παρακάτω:

- Οι συσχετίσεις μεταξύ των δεικτών είναι ικανοποιητικές (μέγιστη συσχέτιση: 0.856)
- Ο έλεγχος σφαιρικότητας του Bartlett είναι στατιστικά σημαντικός
- Ο δείκτης KMO έχει τιμή 0.798 (καλή επάρκεια δείγματος)
- Επιλέχθηκε να παραμείνουν στην ανάλυση οι δύο πρώτες ΚΣ. Για την επιλογή των ΚΣ θεωρήθηκε ότι πρέπει να ισχύουν τουλάχιστον τα δύο από τα τρία ακόλουθα κριτήρια:

- Ποσοστό συνολικής διακύμανσης που ερμηνεύεται ≥ 80%. Κάθε μία από τις ΚΣ εξηγεί τουλάχιστον 10% της συνολικής διακύμανσης.
- Κριτήριο του Kaiser: Οι ΚΣ έχουν ιδιοτιμές ίσες ή μεγαλύτερες της μονάδας.
- Οι ΚΣ αντιστοιχούν στο κομμάτι του διαγράμματος ιδιοτιμών που προηγείται της απότομης μεταβολής της κλίσης της καμπύλης που ενώνει τις τιμές των ιδιοτιμών.

- Η συμμετοχικότητα του κάθε επιμέρους δείκτη στις ΚΣ που επιλέχθηκαν είναι > 0.50 (ελάχιστη συμμετοχικότητα 0.770)
- Επιλέχθηκε η μέθοδος περιστροφής varimax.

Τα παραγοντικά φορτία των δύο επιλεγμένων ΚΣ μετά την περιστροφή τους, και τα τελικά βάρη των επιμέρους δεικτών για την ανάπτυξη του ESI, όπως προέκυψαν από την εφαρμογή της προσέγγισης που προτείνεται από τους Nicoletti et al. (2000) και OECD (2008), παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.12.

Πίνακας 4.12: Παραγοντικά φορτία και τελικά βάρη των επιμέρους δεικτών που απαρτίζουν τον ESI

Επιμέρους Δείκτες	**Παραγοντικά φορτία (μετά την περιστροφή)**		**Τετράγωνα παραγοντικών φορτίων (ανηγμένα στη μονάδα)**		**Ενδιάμεσες βαρύτητες**	**Τελικά βάρη**
	ΚΣ 1	**ΚΣ 2**	**ΚΣ 1**	**ΚΣ 2**		
F	0.90	0.38	***0.27***	*0.10*	0.19	**0.21**
WW	0.23	0.96	*0.02*	***0.66***	0.21	**0.24**
WEI	0.73	0.50	***0.18***	*0.17*	0.12	**0.14**
SELF	0.84	0.27	***0.24***	*0.05*	0.16	**0.19**
DENS	0.92	0.12	***0.29***	*0.02*	0.20	**0.22**
Άθροισμα			**1.00**	**1.00**	**0.88**	**1.00**
Ποσοστό διακύμανσης που ερμηνεύεται από την ΚΣ 1						**0.68**
Ποσοστό διακύμανσης που ερμηνεύεται από την ΚΣ 2						**0.32**

Λαμβάνοντας υπόψη τις βαρύτητες που προέκυψαν από την ΑΚΣ, ο ESI δίνεται από την Εξίσωση 35:

$$ESI = 0.21 \cdot F + 0.24 \cdot WW + 0.14 \cdot WEI + 0.19 \cdot SELF + 0.22 \cdot DENS \quad (35)$$

Όπου,
ESI: Σύνθετος δείκτης έκθεσης και ευαισθησίας
F: Δείκτης Falkenmark
WW: Ανεπεξέργαστα υγρά απόβλητα προς τους ανανεώσιμους υδατικούς πόρους
WEI: Δείκτης Εκμετάλλευσης Ύδατος
SELF: Αυτάρκεια υδατικών πόρων
DENS: Πυκνότητα πληθυσμού

Εφαρμογή της ΑΚΣ για την ανάπτυξη του ACI

Ο σύνθετος δείκτης ACI περιλαμβάνει τους 5 επιμέρους δείκτες προσαρμοστικής ικανότητας:

- Κάλυψη περιοχής από βλάστηση (VEG)
- Κατανάλωση εναλλακτικών υδατικών πόρων (ALT)
- Οικονομικά ενεργός πληθυσμός (EC)
- Πληθυσμός που δεν προχώρησε στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση (ED)
- Κατά κεφαλήν ΑΕΠ (GDP)

Η αναλογία μεταξύ περιπτώσεων (46 ΛΑΠ και οριακή περίπτωση για κάθε μεταβλητή) και μεταβλητών (πέντε δείκτες) είναι 9.4 προς 1 και θεωρείται απολύτως ικανοποιητική. Για τον έλεγχο της καταλληλότητας του δείγματος και τη διεξαγωγή της ΑΚΣ, ώστε να υπολογιστούν οι βαρύτητες των επιμέρους δεικτών για την ανάπτυξη του ACI χρησιμοποιήθηκε το πακέτο λογισμικού στατιστικών αναλύσεων IBM SPSS Statistics (version 23). Τα κυριότερα αποτελέσματα από τους ελέγχους και την ανάλυση παρουσιάζονται παρακάτω:

- Οι συσχετίσεις μεταξύ των δεικτών είναι ικανοποιητικές (μέγιστη συσχέτιση: 0.652)
- Ο έλεγχος σφαιρικότητας του Bartlett είναι στατιστικά σημαντικός
- Ο δείκτης KMO έχει τιμή 0.754 (καλή επάρκεια δείγματος)
- Επιλέχθηκε να παραμείνουν στην ανάλυση οι τρεις πρώτες ΚΣ. Για την επιλογή των ΚΣ θεωρήθηκε ότι πρέπει να ισχύουν τουλάχιστον τα δύο από τα τρία ακόλουθα κριτήρια:
    - Ποσοστό συνολικής διακύμανσης που ερμηνεύεται ≥ 80%. Κάθε μία από τις ΚΣ εξηγεί τουλάχιστον 10% της συνολικής διακύμανσης.
    - Κριτήριο του Kaiser: Οι ΚΣ έχουν ιδιοτιμές ίσες ή μεγαλύτερες της μονάδας.
    - Οι ΚΣ αντιστοιχούν στο κομμάτι του διαγράμματος ιδιοτιμών που προηγείται της απότομης μεταβολής της κλίσης της καμπύλης που ενώνει τις τιμές των ιδιοτιμών.
- Η συμμετοχικότητα του κάθε επιμέρους δείκτη στις ΚΣ που επιλέχθηκαν είναι > 0.50 (ελάχιστη συμμετοχικότητα 0.766)
- Επιλέχθηκε η μέθοδος περιστροφής varimax.

Τα παραγοντικά φορτία των τριών επιλεγμένων ΚΣ μετά την περιστροφή τους, και τα τελικά βάρη των επιμέρους δεικτών για την ανάπτυξη του ACI, όπως προέκυψαν από την εφαρμογή της προσέγγισης που προτείνεται από τους Nicoletti et al. (2000) και OECD (2008), παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.13.

Πίνακας 4.13: Παραγοντικά φορτία και τελικά βάρη των επιμέρους δεικτών που απαρτίζουν τον ACI

Επιμέρους Δείκτες	**Παραγοντικά φορτία (μετά την περιστροφή)**			**Τετράγωνα παραγοντικών φορτίων (ανηγμένα στη μονάδα)**			**Ενδιάμεσες βαρύτητες**	**Τελικά βάρη**
	ΚΣ 1	**ΚΣ 2**	**ΚΣ3**	**ΚΣ 1**	**ΚΣ 2**	**ΚΣ 3**		
VEG	-0.09	-0.11	0.99	*0.00*	*0.01*	***0.96***	0.23	**0.26**
ALT	0.25	0.86	-0.06	*0.04*	***0.47***	*0.00*	0.17	**0.19**
EC	0.34	0.80	-0.14	*0.07*	***0.40***	*0.02*	0.15	**0.17**
ED	0.84	0.35	-0.02	***0.43***	*0.08*	*0.00*	0.17	**0.18**
GDP	0.87	0.25	-0.14	***0.46***	*0.04*	*0.02*	0.18	**0.20**
Άθροισμα				**1.00**	**1.00**	**1.00**	**0.90**	**1.00**
Ποσοστό διακύμανσης που ερμηνεύεται από την ΚΣ 1								**0.39**
Ποσοστό διακύμανσης που ερμηνεύεται από την ΚΣ 2								**0.37**
Ποσοστό διακύμανσης που ερμηνεύεται από την ΚΣ 3								**0.24**

Λαμβάνοντας υπόψη τις βαρύτητες που προέκυψαν από την ΑΚΣ, ο ACI δίνεται από την Εξίσωση 36:

$$ACI = 0.26 \cdot VEG + 0.19 \cdot ALT + 0.17 \cdot EC + 0.18 \cdot ED + 0.20 \cdot GDP \quad (36)$$

Όπου,
ACI: Σύνθετος δείκτης προσαρμοστικής ικανότητας
VEG: Κάλυψη περιοχής από βλάστηση
ALT: Κατανάλωση εναλλακτικών υδατικών πόρων
EC: Οικονομικά ενεργός πληθυσμός
ED: Πληθυσμός που δεν προχώρησε στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση
GDP: Κατά κεφαλήν ΑΕΠ

4.3.2.2. Ανάπτυξη και Ερμηνεία του VI

Η ανάπτυξη του VI ακολουθεί το εννοιολογικό πλαίσιο εκτίμησης της τρωτότητας (Κεφάλαια 2 και 3) και αποτελείται από τους δύο σύνθετους δείκτες ESI και ACI ως εξής:

$$VI = ESI - ACI \tag{37}$$

Όπου,

VI: Ο σύνθετος δείκτης τρωτότητας
ESI: Ο σύνθετος δείκτης έκθεσης και ευαισθησίας
ACI: Ο σύνθετος δείκτης προσαρμοστικής ικανότητας

Λαμβάνοντας υπόψη τις Εξισώσεις 35, 36 και 37 προκύπτει ο VI για τις46 ελληνικές ΛΑΠ:

$$\begin{gathered} VI = \left(0.21 \cdot F + 0.24 \cdot WW + 0.14 \cdot WEI + 0.19 \cdot SELF + 0.22 \cdot DENS\right) - \\ (0.26 \cdot VEG + 0.19 \cdot ALT + 0.17 \cdot EC + 0.18 \cdot ED + 0.20 \cdot GDP) \end{gathered} \tag{38}$$

Όπου,

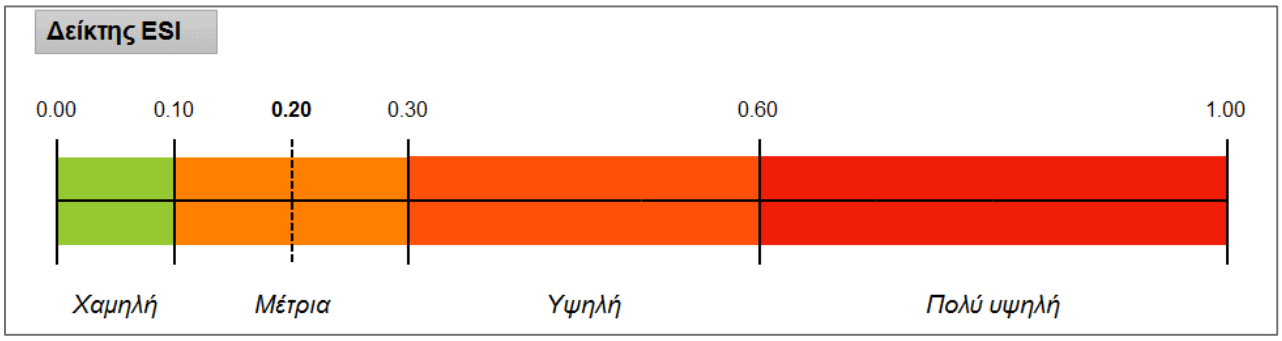
VI: Σύνθετος δείκτης τρωτότητας
F: Δείκτης Falkenmark
WW: Ανεπεξέργαστα υγρά απόβλητα προς τους ανανεώσιμους υδατικούς πόρους
WEI: Δείκτης Εκμετάλλευσης Ύδατος
SELF: Αυτάρκεια υδατικών πόρων
DENS: Πυκνότητα πληθυσμού
VEG: Κάλυψη περιοχής από βλάστηση
ALT: Κατανάλωση εναλλακτικών υδατικών πόρων
EC: Οικονομικά ενεργός πληθυσμός
ED: Πληθυσμός που δεν προχώρησε στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση
GDP: Κατά κεφαλήν ΑΕΠ

Διαφορετικά επίπεδα τρωτότητας μπορούν να προκύψουν σύμφωνα με τον VI, ανάλογα με τους διαφορετικούς συνδυασμούς έκθεσης, ευαισθησίας και προσαρμοστικής ικανότητας των υπό μελέτη συστημάτων. Για παράδειγμα σε περιοχές με αυξημένη έκθεση, η υψηλή τρωτότητα είναι αποτέλεσμα αυξημένης ευαισθησίας και χαμηλής προσαρμοστικής ικανότητας, ενώ αντίθετα η ανθεκτικότητα είναι μεγάλη σε συστήματα με υψηλή προσαρμοστική ικανότητα, και ας εκτίθενται σε κινδύνους (Εικόνα 4.16).

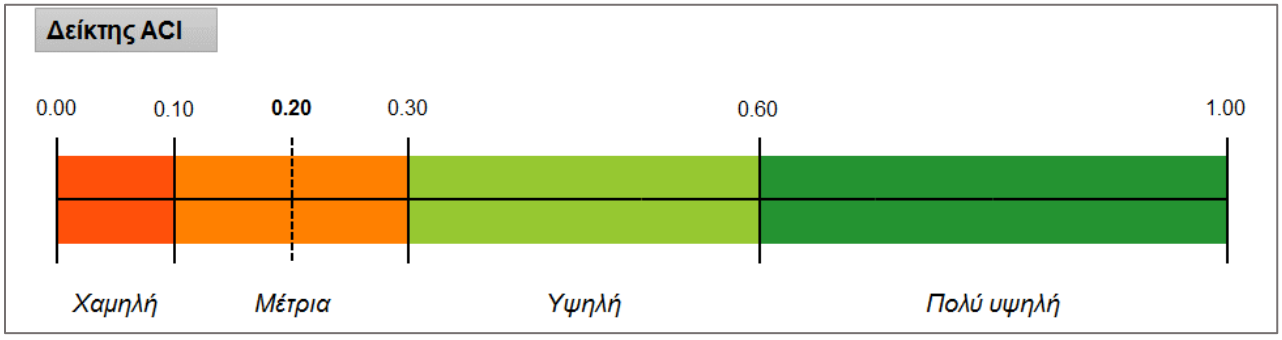
Υπο Μελέτη Συστήματα		
Ευαισθησία	**Προσαρμοστική Ικανότητα**	
	Χαμηλή	***Υψηλή***
Υψηλή	Τρωτό σύστημα	Προσαρμοζόμενο σύστημα
Χαμηλή	Άκαμπτο σύστημα	Ανθεκτικό σύστημα

Εικόνα 4.16: Διαφορετικά επίπεδα τρωτότητας σε συστήματα με αυξημένη έκθεση σε κινδύνους (Πηγή: Ringius, 2002)

Οι τιμές των σύνθετων δεικτών ESI και ACI κυμαίνονται σε κλίμακα από 0 έως 1 με το 0.20 να αποτελεί την οριακή τιμή που υποδηλώνει αυξημένη έκθεση και ευαισθησία, και προσαρμοστική ικανότητα του υπό μελέτη συστήματος αντίστοιχα. Για την ερμηνεία των δεικτών ESI και ACI, η κλίμακα 0 έως 1 έχει χωριστεί σε τέσσερα διαστήματα τιμών, κάθε ένα από τα οποία υποδηλώνει διαφορετικές συνθήκες έκθεσης, ευαισθησίας, και προσαρμοστικής ικανότητας των υπό μελέτη συστημάτων, όπως παρουσιάζονται στις Εικόνες 4.17 και 4.18 αντίστοιχα.

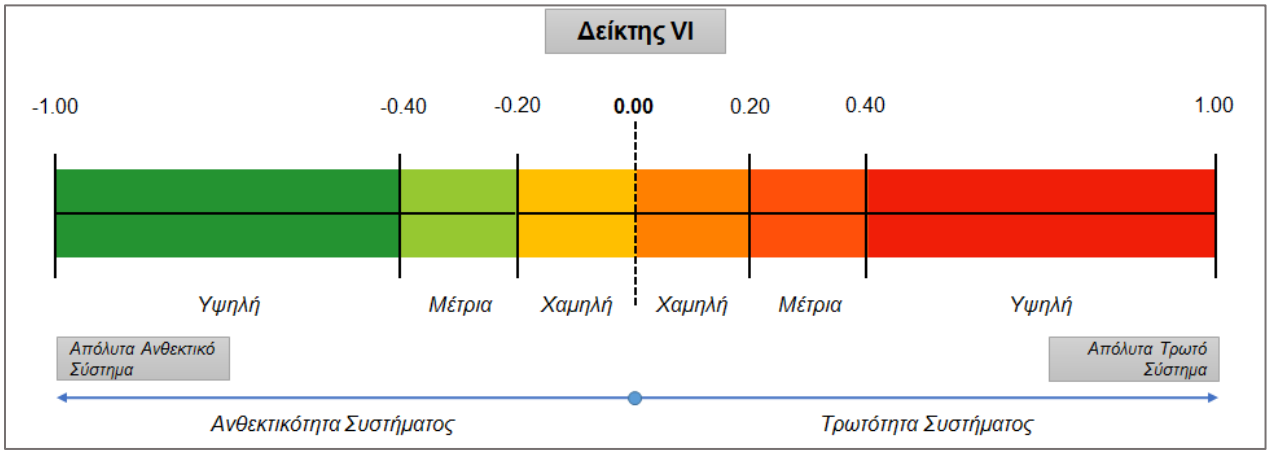


Εικόνα 4.17: Οι τέσσερις κλάσεις του δείκτη ESI και οι αντίστοιχες συνθήκες έκθεσης και ευαισθησίας που υποδηλώνουν



Εικόνα 4.18: Οι τέσσερις κλάσεις του δείκτη ACI και οι αντίστοιχες συνθήκες προσαρμοστικής ικανότητας που υποδηλώνουν

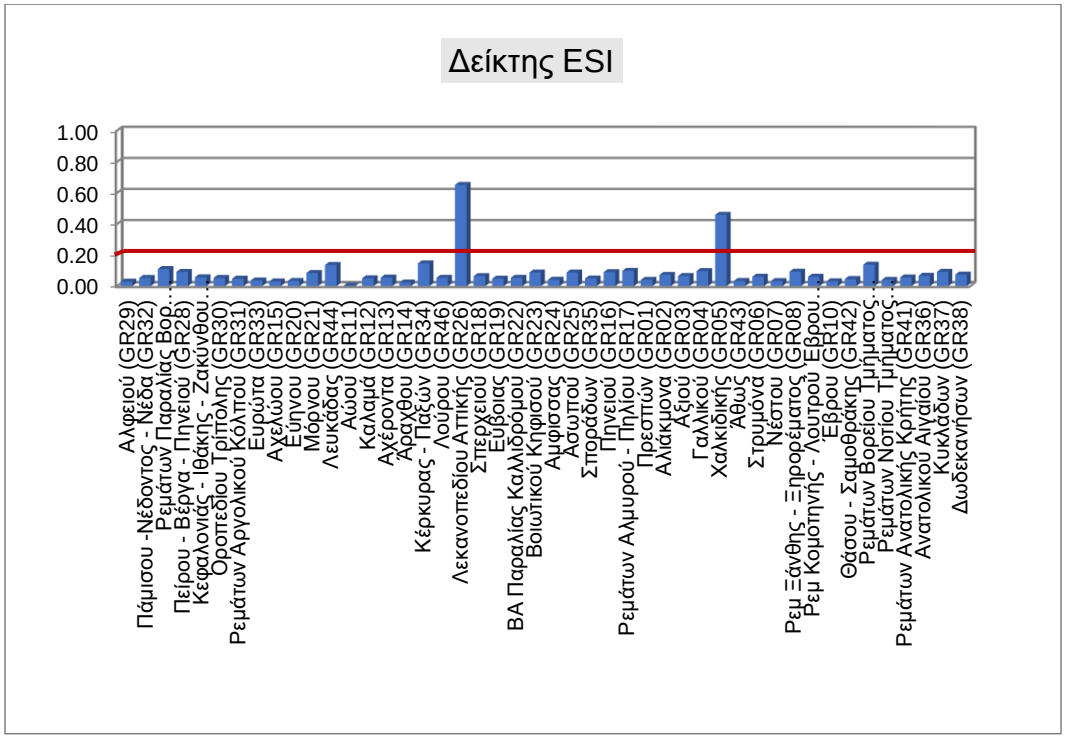
Οι τιμές του σύνθετου δείκτη VI κυμαίνονται σε κλίμακα από -1 έως 1, με το 0 να αποτελεί την οριακή τιμή η οποία καθορίζει εάν το σύστημα είναι τρωτό ή ανθεκτικό στη σπανιότητα ύδατος (την τιμή 0 την παίρνει ο VI όταν οι τιμές όλων των επιμέρους δεικτών έκθεσης, ευαισθησίας και προσαρμοστικής ικανότητας ισούνται με τις αντίστοιχες οριακές τους τιμές). Τιμές του VI μεγαλύτερες του 0 υποδηλώνουν τρωτό σύστημα στη σπανιότητα ύδατος, ενώ τιμές του VI μικρότερες του 0 υποδηλώνουν ανθεκτικό σύστημα. Για την ερμηνεία του VI η κλίμακα -1 έως 1 έχει χωριστεί σε έξι διαστήματα τιμών, κάθε ένα από τα οποία υποδηλώνει διαφορετικές συνθήκες τρωτότητας ή ανθεκτικότητας των υπό μελέτη συστημάτων, όπως παρουσιάζονται στην Εικόνα 4.19.



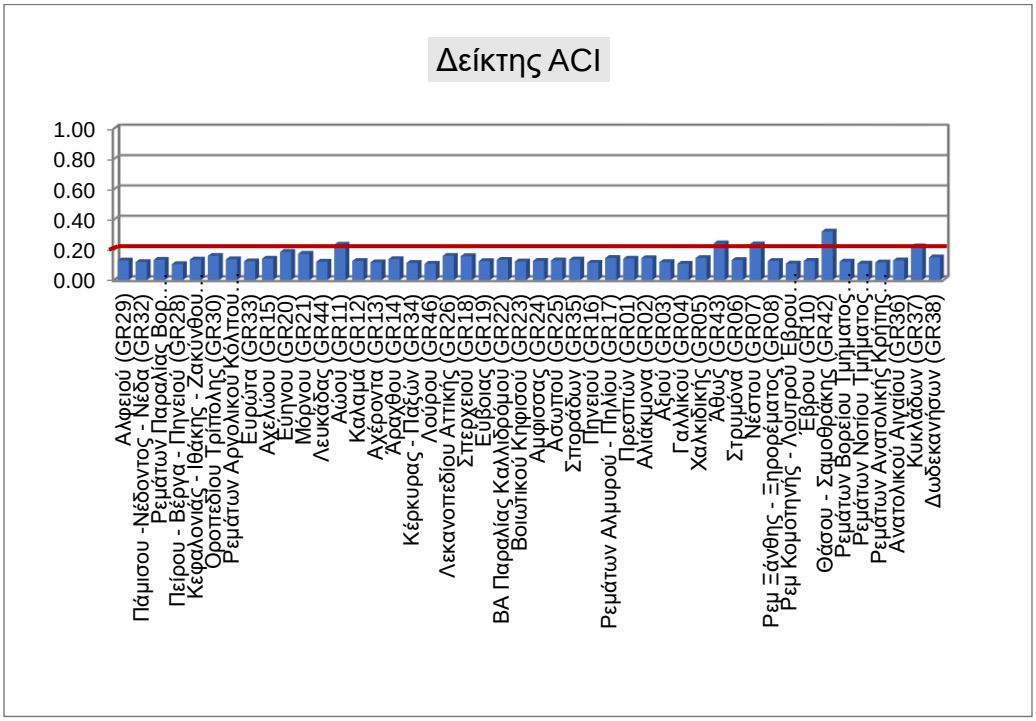
Εικόνα 4.19: Οι έξι κλάσεις του VI και η ερμηνεία τους

Οι τιμές των ESI και ACI για τις 46 Ελληνικές ΛΑΠ

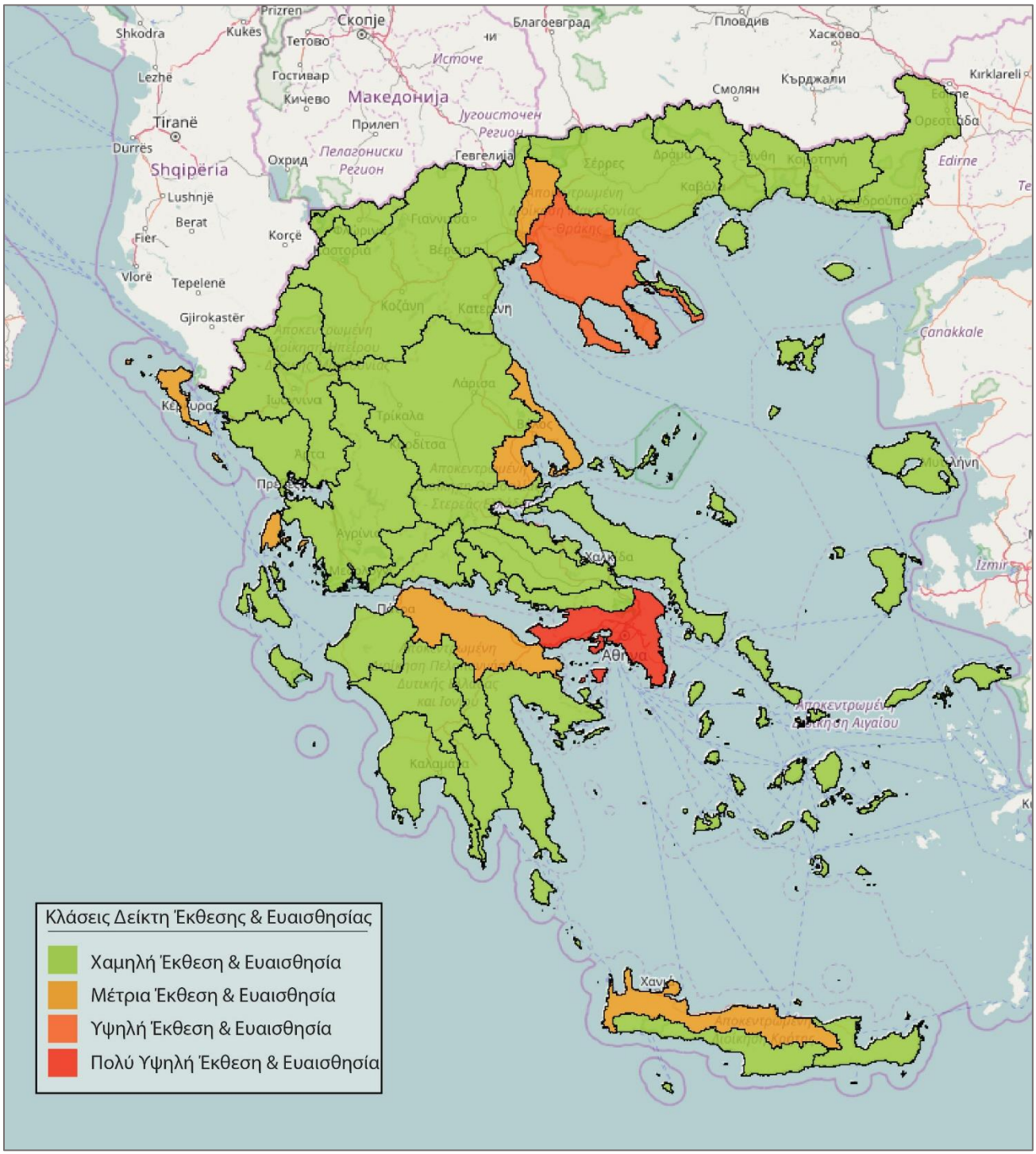
Οι τιμές των σύνθετων δεικτών ESI και ACI υπολογίστηκαν για τις 46 ελληνικές ΛΑΠ. Στις Εικόνες 4.20 και 4.21 παρουσιάζονται οι τιμές των σύνθετων δεικτών ESI και ACI αντίστοιχα για κάθε ΛΑΠ σε σύγκριση με την οριακή τιμή. Στη βάση των τιμών αυτών κατασκευάστηκαν οι θεματικοί χάρτες κατανομής των κλάσεων έκθεσης και ευαισθησίας και προσαρμοστικής ικανότητας της Ελλάδας (σε κλίμακα λεκάνης απορροής), οι οποίοι απεικονίζονται στις Εικόνες 4.22 και 4.23 αντίστοιχα.



Εικόνα 4.20: Οι τιμές του σύνθετου δείκτη ESI για τις 46 ελληνικές ΛΑΠ. Η κόκκινη γραμμή αντιπροσωπεύει την οριακή τιμή του δείκτη.



Εικόνα 4.21: Οι τιμές του σύνθετου δείκτη ESI για τις 46 ελληνικές ΛΑΠ. Η κόκκινη γραμμή αντιπροσωπεύει την οριακή τιμή του δείκτη.



Εικόνα 4.22: Θεματικός χάρτης κατανομής των κλάσεων έκθεσης και ευαισθησίας των ΛΑΠ της Ελλάδας

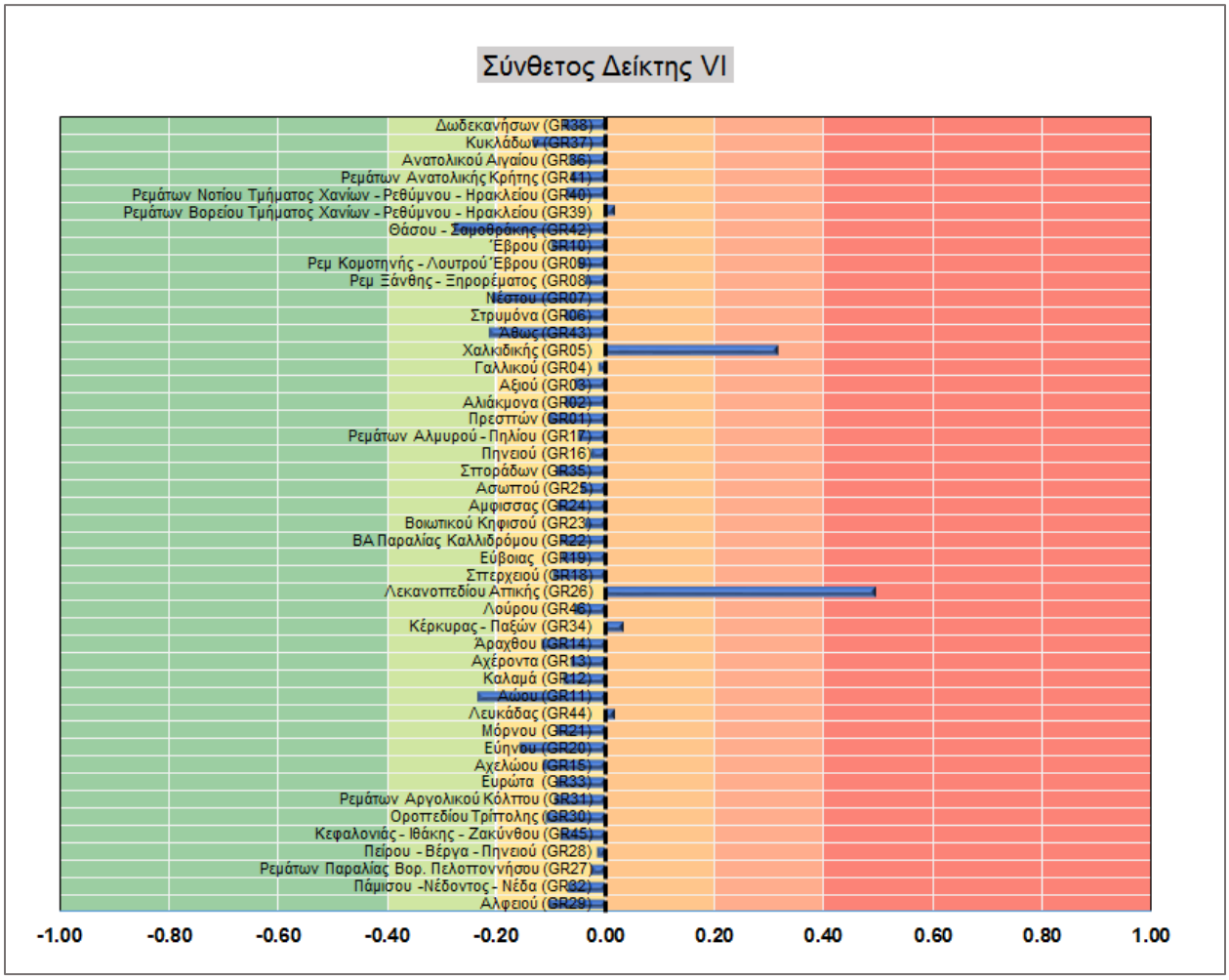
Εικόνα 4.23: Θεματικός χάρτης κατανομής των κλάσεων προσαρμοστικής ικανότητας των ΛΑΠ της Ελλάδας

Η πλειοψηφία των ελληνικών ΛΑΠ (38 ΛΑΠ, ποσοστό 83%) έχει χαμηλή (κάτω της οριακής τιμής) έκθεση και ευαισθησία στη σπανιότητα ύδατος, με τιμές του δείκτη μικρότερες από 0.1. Η ΛΑΠ Αώου στην Ήπειρο έχει μηδενική έκθεση και ευαισθησία (τιμή δείκτη 0), ενώ η ευαισθησία και η έκθεση των ΛΑΠ Αλφειού στη Δυτική Πελοπόννησο, Αχελώου και Εύηνου στη Δυτική Στερεά Ελλάδα, Αράχθου στην Ήπειρο, Άθως στην Κεντρική Μακεδονία, Νέστου και Έβρου στη Θράκη είναι ιδιαίτερα χαμηλή (τιμές δείκτη 0.02-0.03). Αντιθέτως, η ΛΑΠ Λεκανοπεδίου Αττικής έχει πολύ υψηλή έκθεση και ευαισθησία στη σπανιότητα ύδατος (τιμή δείκτη 0.65). Ακολουθεί η ΛΑΠ Χαλκιδικής με υψηλή έκθεση και ευαισθησία (τιμή δείκτη 0.46). Οι ΛΑΠ Ρεμάτων Παραλίας Βορ. Πελοποννήσου, Λευκάδας, Κέρκυρας – Παξών, Ρεμάτων Αλμυρού – Πηλίου, Γαλλικού στην Κεντρική Μακεδονία και Ρεμάτων Βορείου Τμήματος Χανίων – Ρεθύμνου – Ηρακλείου στην Κρήτη έχουν μέτρια έκθεση και ευαισθησία (τιμές δείκτη 0.10-0.15).

Η προσαρμοστική ικανότητα της χώρας σε συνθήκες σπανιότητας ύδατος είναι μέτρια (τιμές δεικτών 0.11-0.24), με εξαίρεση τη ΛΑΠ Θάσου Σαμοθράκης, η οποία έχει υψηλή προσαρμοστική ικανότητα (τιμή δείκτη 0.32). Οριακά πάνω από την οριακή τιμή του δείκτη βρίσκονται οι ΛΑΠ Αώου στην ήπειρο, Άθως στην Κεντρική Μακεδονία και Νέστου στη Θράκη.

Οι τιμές του VI για τις 46 Ελληνικές ΛΑΠ

Οι τιμές του VI υπολογίστηκαν για τις 46 ελληνικές ΛΑΠ και παρουσιάζονται στην Εικόνα 4.24. Στη βάση των τιμών αυτών κατασκευάστηκε ο θεματικός χάρτης κατανομής των κλάσεων τρωτότητας της Ελλάδας (σε κλίμακα λεκάνης απορροής), ο οποίος απεικονίζεται στην Εικόνα 4.25.



Εικόνα 4.24: Οι τιμές του σύνθετου δείκτη τρωτότητας VI για κάθε ΛΑΠ

Εικόνα 4.25: Ο θεματικός χάρτης κατανομής των κλάσεων τρωτότητας των ΛΑΠ της Ελλάδας

Η πλειοψηφία των ελληνικών ΛΑΠ (38 ΛΑΠ, ποσοστό 83%) οριακά δεν είναι τρωτή στην σπανιότητα ύδατος (τιμές VI μικρότερες της οριακής). Υπάρχει σχεδόν ταύτιση μεταξύ των ΛΑΠ αυτών και των ΛΑΠ με χαμηλή έκθεση και ευαισθησία (τιμές του δείκτη ESI μικρότερες από 0.1). Τρεις από τις 38 αυτές ΛΑΠ είναι μάλιστα ανθεκτικές σε συνθήκες σπανιότητας ύδατος με τιμές VI μικρότερες από -0.20 (από την περισσότερο στην λιγότερο ανθεκτική: ΛΑΠ Θάσου Σαμοθράκης, Αώου στην Ήπειρο και Άθως στην Κεντρική Μακεδονία). Αυτές οι τρεις ΛΑΠ συνδυάζουν μηδενική ή πολύ χαμηλή έκθεση και ευαισθησία με προσαρμοστική ικανότητα μεγαλύτερη της οριακής. Χαμηλή τρωτότητα στη σπανιότητα ύδατος έχουν οι ΛΑΠ Λευκάδας, Κέρκυρας – Παξών, και Ρεμάτων Βορείου Τμήματος Χανίων – Ρεθύμνου – Ηρακλείου στην Κρήτη (τιμές VI μεγαλύτερες της οριακής και μικρότερες από 0.20). Υψηλή τρωτότητα στη σπανιότητα ύδατος έχει η ΛΑΠ Λεκανοπεδίου Αττικής, λόγω της πολύ υψηλής της έκθεσης και ευαισθησίας (τιμή VI 0.49). Ακολουθεί η ΛΑΠ Χαλκιδικής, η οποία είναι επίσης τρωτή στη σπανιότητα ύδατος λόγω υψηλής έκθεσης και ευαισθησίας (τιμή VI 0.31).

4.3.3. Αποτελέσματα Αναλύσεων Αβεβαιότητας & Ευαισθησίας VI

Μέσα από τις αναλύσεις αβεβαιότητας και ευαισθησίας εξετάστηκε εάν και κατά πόσο οι παραδοχές που υιοθετήθηκαν για την ανάπτυξή του VI επηρεάζουν την αξιοπιστία και την ευρωστία του. Κατά την ανάλυση αβεβαιότητας ποσοτικοποιήθηκε η συνολική αβεβαιότητα στα τελικά αποτελέσματα εξαιτίας των παραγόντων αβεβαιότητας που υπεισέρχονται στον υπολογισμό του VI. Μέσα από την ανάλυση ευαισθησίας εκτιμήθηκε η συνεισφορά κάθε επιμέρους παράγοντα αβεβαιότητας στη διακύμανση των τελικών αποτελεσμάτων.

Εφαρμόστηκαν οι διαδικασίες που προτείνονται από τους Saisana et al. (2005) και OECD (2008), όπως περιγράφονται στην Ενότητα 3.3.5.2 του Κεφαλαίου 3. Εξετάστηκαν οι ακόλουθοι τέσσερις παράγοντες αβεβαιότητας:

- Μέθοδος κανονικοποίησης
    - Εξετάστηκαν δύο μέθοδοι κανονικοποίησης, η απόσταση των τιμών από την τιμή αναφοράς (η οποία υιοθετείται για την ανάπτυξη του VI) και η μέθοδος κανονικοποίησης μεγίστου-ελαχίστου.
- Μέθοδος στάθμισης
    - Εξετάστηκαν δύο μέθοδοι στάθμισης, η ΑΚΣ (η οποία υιοθετείται για την ανάπτυξη του VI) και μέθοδος κατανομής ίσης βαρύτητας στους επιμέρους δείκτες τρωτότητας.
- Επιλογή δεικτών έκθεσης και ευαισθησίας
    - Κάθε ένας από τους επιμέρους δείκτες που συνθέτουν τον ESI στον VI παραλήφθηκε εκ περιτροπής, για να προσδιοριστεί η επιρροή που έχει η θεώρηση κάθε δείκτη έκθεσης και ευαισθησίας ξεχωριστά στα τελικά αποτελέσματα.
- Επιλογή δεικτών προσαρμοστικής ικανότητας
    - Κάθε ένας από τους επιμέρους δείκτες που συνθέτουν τον ACI στον VI παραλήφθηκε εκ περιτροπής, για να προσδιοριστεί η επιρροή που έχει η θεώρηση κάθε δείκτη προσαρμοστικής ικανότητας ξεχωριστά στα τελικά αποτελέσματα.

Υπολογίστηκε ο VI για όλους τους πιθανούς συνδυασμούς επιμέρους δεικτών, μεθόδων κανονικοποίησης και στάθμισης. Ο VI, όπως προτείνεται στην παρούσα Διατριβή συμβολίζεται στα πλαίσια των αναλύσεων αβεβαιότητας και ευαισθησίας ως VI_{ref} (και αποτελείται από τους ESI_{ref} και ACI_{ref}) και συγκρίνεται με τους διαφορετικούς VI που προκύπτουν κάνοντας αλλαγές στους παράγοντες αβεβαιότητας.

Η προσομοίωση Monte Carlo πραγματοποιήθηκε 10,000 φορές (N=10,000 υπολογισμοί του VI για τυχαία επιλεγμένους συνδυασμούς των παραγόντων αβεβαιότητας) για να διερευνηθούν οι πιθανές συνέργειες μεταξύ των παραγόντων αβεβαιότητας, οι οποίες παρουσιάζονται στις ακόλουθες ενότητες.

4.3.3.1. Ανάλυση Αβεβαιότητας VI

Οι τιμές του VI υπολογίστηκαν 10,000 φορές (εφαρμογή πειράματος Monte Carlo) για όλους τους πιθανούς συνδυασμούς των παραγόντων αβεβαιότητας για τις 46 ελληνικές ΛΑΠ. Στο διάγραμμα της Εικόνας 4.26 συγκρίνεται η τιμή του VI_{ref} (κόκκινη παύλα) με τη διάμεσο (median) των τιμών *VI* (μπλε σταυρός) που προέκυψαν από τους 10,000 συνδυασμούς του πειράματος Monte Carlo για κάθε ΛΑΠ. Επίσης, παρουσιάζονται οι τιμές του 5^{ου} και του 95^{ου} εκατοστημορίου, που αποτελούν τα όρια της κατανομής των τιμών *VI* για κάθε ΛΑΠ, και η οριακή τιμή του VI, που συμβολίζεται με την πορτοκαλί γραμμή.

Παρατηρείται ότι οι τιμές του VI_{ref} και της διαμέσου των τιμών του *VI* (VI_{MEDIAN}) είτε σχεδόν ταυτίζονται είτε είναι πολύ κοντά για όλες τις ΛΑΠ, γεγονός που επικυρώνει την ευρωστία του VI_{ref}. Εκτός από 6 ΛΑΠ (Γαλλικού, Πείρου – Βέργα –Πηνειού, Πηνειού, Ρεμάτων Ξάνθης – Ξηρορέματος, Νέστου και Άθως), οι αποκλίσεις μεταξύ των τιμών του VI_{ref} και της VI_{MEDIAN} δεν υποδηλώνουν αλλαγή επιπέδου τρωτότητας ή ανθεκτικότητας των ΛΑΠ (δηλαδή οι τιμές βρίσκονται εντός της ίδιας κλάσης του VI_{ref}). Για τις 6 ΛΑΠ για τις οποίες οι δύο τιμές δεν βρίσκονται εντός της ίδιας κλάσης οι αποκλίσεις είναι πολύ μικρές, σχεδόν οριακές.

Ο VI_{ref} ευνοεί ελαφρώς την πλειοψηφία των ΛΑΠ, αφού η τιμή του είναι μικρότερη σε σύγκριση με την τιμή της VI_{MEDIAN}, με εξαίρεση τις ΛΑΠ Λεκανοπεδίου Αττικής, Χαλκιδικής, Ρεμάτων Βορείου Τμήματος Χανίων – Ρεθύμνου – Ηρακλείου, Δωδεκανήσων, Κυκλάδων, Οροπεδίου Τρίπολης και Αώου.

Η ΛΑΠ που ευνοείται περισσότερο από τον VI_{ref} (μεγαλύτερη αρνητική απόκλιση μεταξύ της τιμής του VI_{ref} και της VI_{MEDIAN}) είναι η ΛΑΠ Νέστου, η οποία και στις δύο περιπτώσεις ανήκει σε μη τρωτή κλάση του VI, απλώς η τιμή του VI_{ref} υποδηλώνει χαμηλή προς μέτρια ανθεκτικότητα των υδατικών της συστημάτων, ενώ η τιμή της VI_{MEDIAN} υποδηλώνει χαμηλή ανθεκτικότητα (τιμή VI_{ref} = -0.2 και τιμή VI_{MEDIAN} = -0.13). Η μεγαλύτερη θετική απόκλιση μεταξύ της τιμής του VI_{ref} και της τιμής της VI_{MEDIAN} συμβαίνει στη ΛΑΠ Λεκανοπεδίου Αττικής (τιμή VI_{ref} = 0.49 και τιμή VI_{MEDIAN} = 0.44), που όμως και στις δύο περιπτώσεις είναι μακράν η περισσότερο τρωτή από τις υπόλοιπες ΛΑΠ και ανήκει στην κλάση υψηλής τρωτότητας.

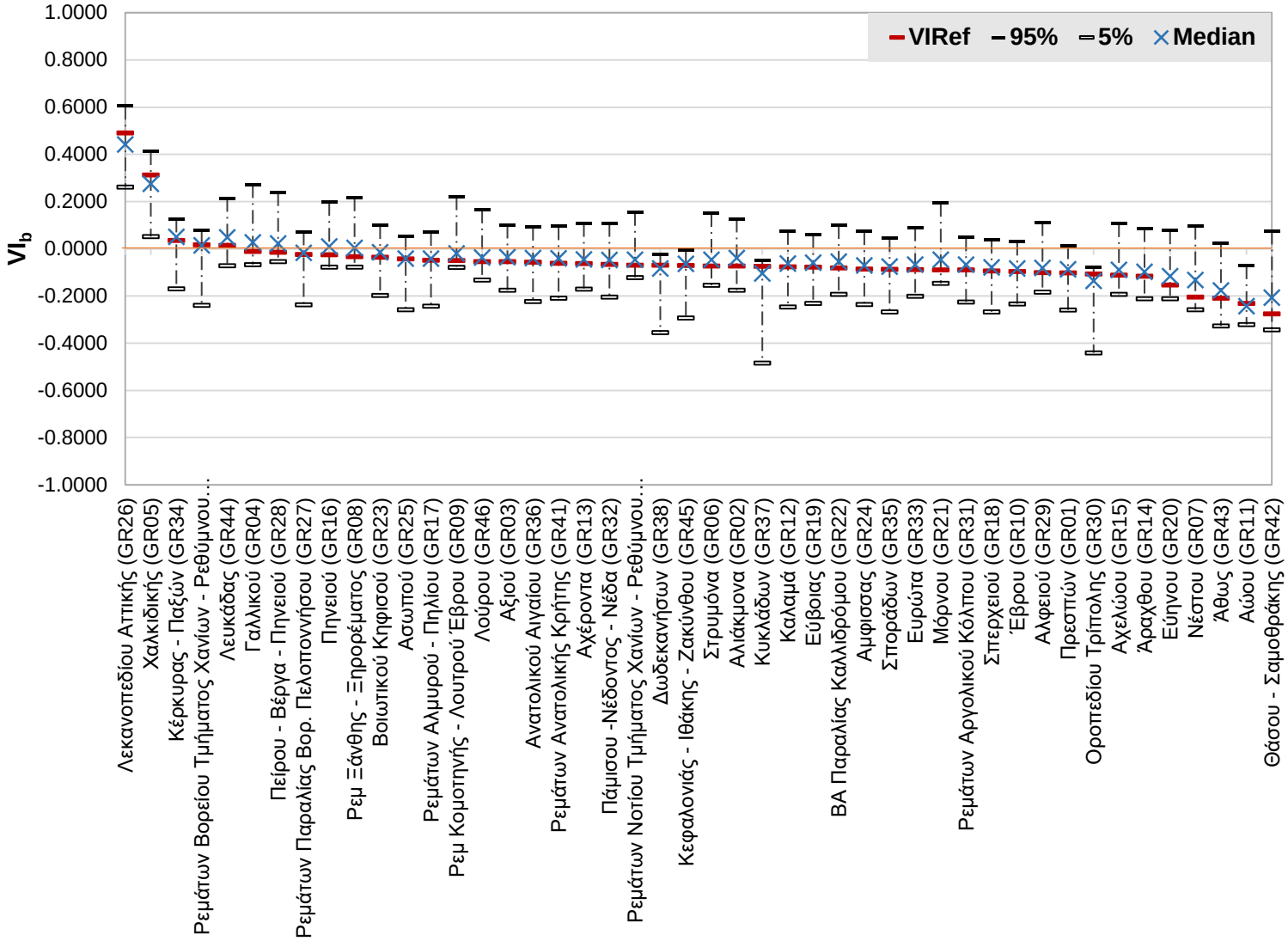
Στο σχήμα της Εικόνας 4.27 συγκρίνεται η κατάταξη των 46 ΛΑΠ ως προς τον VI_{ref} με την κατάταξη τους ως προς τη VI_{MEDIAN}, από την περισσότερο στην λιγότερο τρωτή. Όπως

παρατηρείται, υπάρχει ταύτιση ή σύγκλιση στις περιπτώσεις των τρωτών και των ανθεκτικών ΛΑΠ, ενώ μεγάλες διαφορές ως προς την κατάταξη παρατηρούνται στις ενδιάμεσες ΛΑΠ που βρίσκονται εντός της μη τρωτής κλάσης χαμηλής ανθεκτικότητας. Οι διαφορές αυτές εμφανίζονται σε ΛΑΠ με πολύ κοντινές τιμές τρωτότητας και στις δύο περιπτώσεις (οι τιμές διαφοροποιούνται μετά το τρίτο δεκαδικό ψηφίο). Οι μεγαλύτερες διαφοροποιήσεις ως προς την κατάταξη παρατηρούνται στις ΛΑΠ Δωδεκανήσων, Αλιάκμονα, Κυκλάδων και Μόρνου (Πίνακας 4.14).

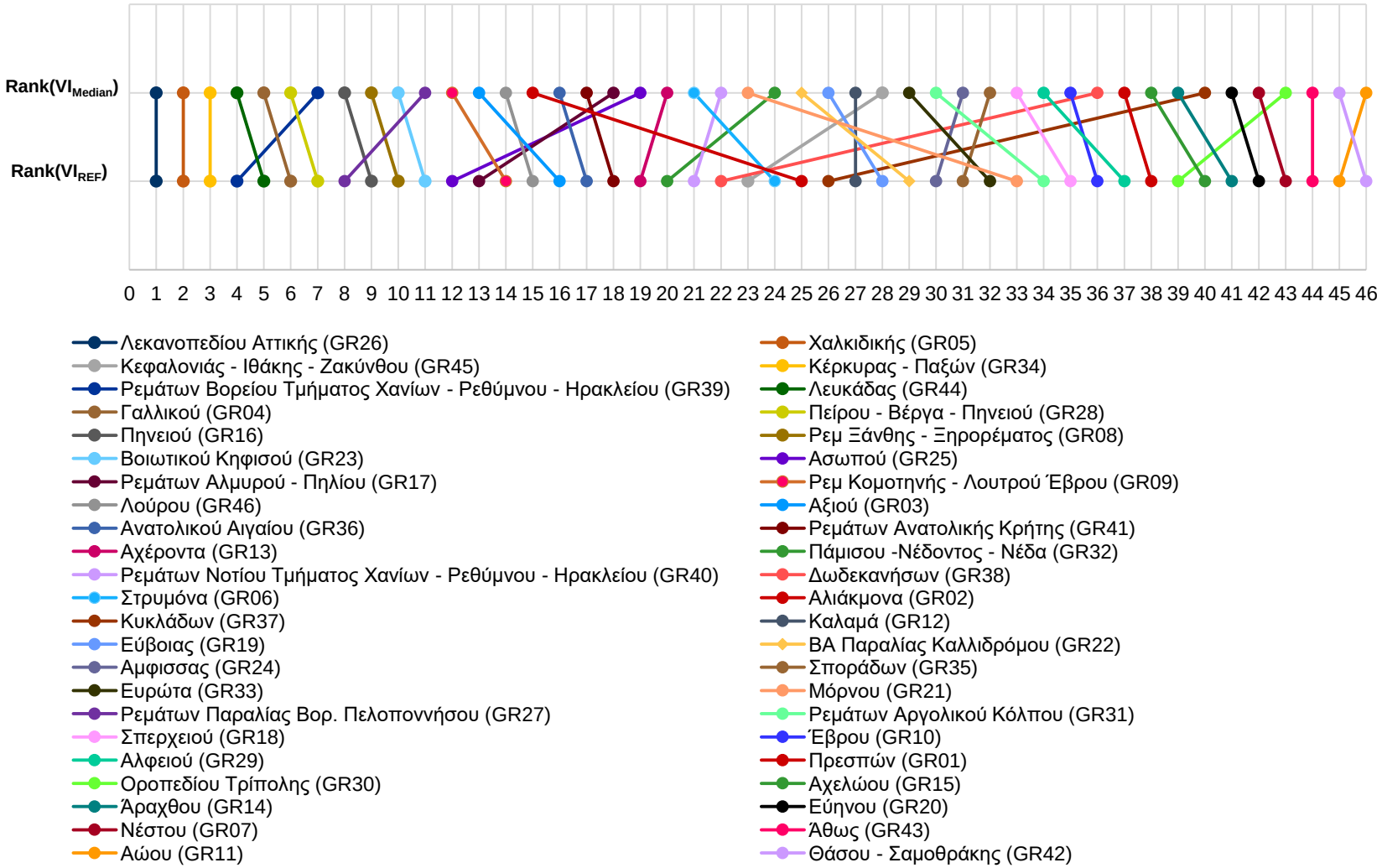
Από την ανάλυση αβεβαιότητας προκύπτει πως οι παράγοντες αβεβαιότητας, δηλαδή οι μέθοδοι κανονικοποίησης, στάθμισης και οι δείκτες που επιλέχθηκαν για την ανάπτυξη του VI_{ref} οδηγούν σε αξιόπιστα αποτελέσματα σχετικά με την τρωτότητα των υπό μελέτη ΛΑΠ, καθώς η μεταβολή τους επιφέρει αμελητέες διαφοροποιήσεις στα τελικά αποτελέσματα.

Πίνακας 4.14: Οι τιμές των δεικτών VIref και VI_{MEDIAN} και η αντίστοιχη σειρά κατάταξής τους για τις ΛΑΠ Δωδεκανήσων, Αλιάκμονα, Κυκλάδων και Μόρνου

ΛΑΠ	Δωδεκανήσων	Αλιάκμονα	Κυκλάδων	Μόρνου
VI_{ref}	-0.07	-0.07	-0.07	-0.09
$Rank(VI_{ref})$	22	25	26	33
VI_{MEDIAN}	-0.08	-0.04	-0.10	-0.05
$Rank(VI_{MEDIAN})$	36	15	40	23



Εικόνα 4.26: Σύγκριση του VI_{ref} (κόκκινη παύλα) με τη διάμεσο των τιμών του VI (μπλε σταυρός) που προέκυψαν από τους 10,000 συνδυασμούς του Monte Carlo για κάθε ΛΑΠ (b: Η υπό μελέτη ΛΑΠ). Οι τιμές του 5ου και του 95ου εκατοστημορίου αποτελούν τα όρια της κατανομής των τιμών του VI. Η πορτοκαλί γραμμή συμβολίζει την οριακή τιμή του VI.



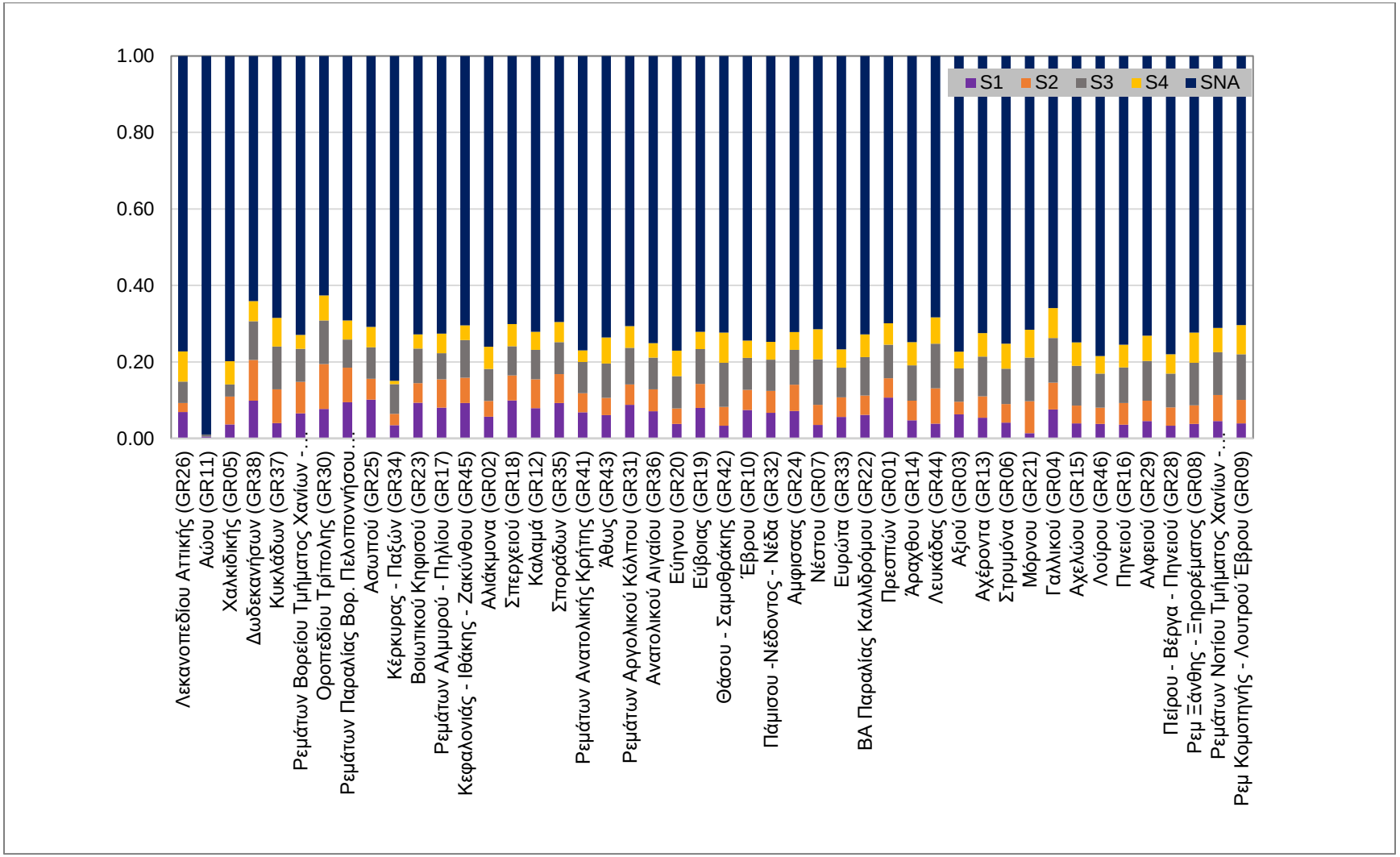
Εικόνα 4.27: Σύγκριση της κατάταξης των ΛΑΠ ως προς τον VI$_{ref}$ (Rank(VI$_{ref}$)) με την κατάταξη τους ως προς τη διάμεσο των τιμών του VI (Rank(VI$_{MEDIAN}$)).

4.3.3.2. Ανάλυση Ευαισθησίας VI

Παρόλο που τα αποτελέσματα της ανάλυσης αβεβαιότητας επιβεβαιώνουν την αξιοπιστία του VI_{ref}, πραγματοποιήθηκε και ανάλυση ευαισθησίας του σύνθετου δείκτη τρωτότητας, εφαρμόζοντας τη μέθοδο του Sobol (Sobol, 1993), όπως προτείνεται από τους Saltelli (2002) και Saisana et al. (2005). Εξετάστηκε η διακύμανση της τιμής του VI (variance-based technique) για το δείγμα των N τυχαίων συνδυασμών που προέκυψαν από την προσομοίωση Monte Carlo. Υπολογίστηκαν οι 4 δείκτες ευαισθησίας (sensitivity indices: S1, S2, S3, S4), οι οποίοι εκφράζουν τη συνεισφορά του κάθε παράγοντα αβεβαιότητας στη διακύμανση του *VI*, καθώς και οι 4 δείκτες ευαισθησίας συνολικής επίδρασης (total effect sensitivity indices: ST1, ST2, ST3, ST4), κάθε ένας από τους οποίους εκφράζει σε έναν μόνο όρο όλες τις αλληλεπιδράσεις στις οποίες συμμετέχει ο αντίστοιχος παράγοντας αβεβαιότητας. Για την εφαρμογή της ανάλυσης ευαισθησίας χρησιμοποιήθηκε το ελεύθερο λογισμικό SIMLAB 2.2 (Saltelli et al., 2004; https://ec.europa.eu/jrc/en/samo/simlab).

Στο διάγραμμα της Εικόνας 4.28 παρουσιάζονται για κάθε ΛΑΠ οι δείκτες ευαισθησίας για τους 4 παράγοντες αβεβαιότητας. Παρατηρείται πως κανένας δείκτης ευαισθησίας δεν εξηγεί πάνω από το 25% της συνολικής διακύμανσης του *VI*, ενώ στην πλειοψηφία των περιπτώσεων το άθροισμα και των 4 δεικτών αβεβαιότητας είναι μικρότερο από το 30% της συνολικής διακύμανσης (το άθροισμα των 4 δεικτών αβεβαιότητας είναι μεγαλύτερο του 30% της συνολικής διακύμανσης του *VI* στις ΛΑΠ Δωδεκανήσων: 35.88%, Κυκλάδων: 31.52%, Οροπεδίου Τρίπολης: 37.40%, Ρεμάτων Παραλίας Βορ. Πελοποννήσου: 30.84%, Σποράδων: 30.47%, Πρεσπών: 30.13%, Λευκάδας: 31.70%, και Γαλλικού 34.12%). Επομένως, κανένας από τους παράγοντες αβεβαιότητας από μόνος του δεν θεωρείται πως έχει σημαντική επίδραση στη διακύμανση των τιμών του σύνθετου δείκτη τρωτότητας.

Το μεγαλύτερο μέρος της διακύμανσης του VI (η οποία είναι μικρή) οφείλεται στις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των παραγόντων αβεβαιότητας (SNA), όπως φαίνεται και στο διάγραμμα της Εικόνας 4.28. Η μεγάλη τιμή του SNA (μεγαλύτερη από 62% για όλες τις ΛΑΠ) υποδηλώνει σημαντική επίδραση των αλληλεπιδράσεων στη διακύμανση του VI. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνεται και από τους δείκτες ευαισθησίας συνολικής επίδρασης, οι οποίοι προέκυψαν σχεδόν ίσοι με τη μονάδα για κάθε παράγοντα αβεβαιότητας σε όλες τις ΛΑΠ.



Εικόνα 4.28: Οι τιμές των 4 δεικτών ευαισθησίας για κάθε ΛΑΠ. S1: Δείκτης ευαισθησίας μεθόδου κανονικοποίησης; S2: Δείκτης ευαισθησίας μεθόδου στάθμισης; S3: Δείκτης ευαισθησίας επιλεγμένων δεικτών έκθεσης και ευαισθησίας; S4: Δείκτης ευαισθησίας επιλεγμένων δεικτών προσαρμοστικής ικανότητας; SNA: Διακύμανση που οφείλεται στις αλληλεπιδράσεις των παραγόντων αβεβαιότητας

4.4. Αξιολόγηση Επεμβάσεων Ε&ΑΝ ως προς τη Μείωση της Τρωτότητας

Για την περισσότερο τρωτή από τις 46 ελληνικές ΛΑΠ, τη ΛΑΠ του Λεκανοπεδίου Αττικής (VI = 0.49), αξιολογήθηκαν εναλλακτικές επεμβάσεις Ε&ΑΝ, ως προς τη συνεισφορά τους στη μείωση της τρωτότητας. Οι πιθανές επεμβάσεις Ε&ΑΝ προέκυψαν στη βάση των προτάσεων που παρουσιάζονται στο «Στρατηγικό Σχέδιο (Master Plan) για την Επαναχρησιμοποίηση των Εκροών των ΕΕΛ στην Αττική» (Υπουργείο Υποδομών, Μεταφορών και Δικτύων, 2009). Για κάθε εναλλακτική επέμβαση Ε&ΑΝ, υπολογίστηκε ο VI που θα είχε η ΛΑΠ εάν οι επεμβάσεις αυτές εφαρμόζονταν (εναλλακτικά σενάρια), και συγκρίθηκε με τον VI της παρούσας κατάστασης (σενάριο βάσης), εφαρμόζοντας τη μέθοδο που περιγράφεται στην Ενότητα 3.4 του Κεφαλαίου 3. Ανάλογα με το ΔVI που προέκυψε σε κάθε περίπτωση, οι εναλλακτικές επεμβάσεις Ε&ΑΝ κατατάχθηκαν ως προς την αναμενόμενη συνεισφορά τους στη μείωση της τρωτότητας των υδατικών συστημάτων της ΛΑΠ στη σπανιότητας ύδατος.

4.4.1. Εφαρμογή στη ΛΑΠ Λεκανοπεδίου Αττικής

Η ΛΑΠ Λεκανοπεδίου Αττικής συνθέτει το Υδατικό Διαμέρισμα Αττικής (ΥΔ 06) μαζί με τα νησιά Αίγινα, Αγκίστρι, Σαλαμίνα και Μακρόνησος (Εικόνα 4.29). Έχει έκταση 3,186 km^2 και πληθυσμό 3,769,598 κατοίκους, δηλαδή συγκεντρώνει το 35% των κατοίκων της χώρας (στοιχεία απογραφής 2011).

Η ΛΑΠ Λεκανοπεδίου Αττικής έχει πολυσχιδές ανάγλυφο που περιλαμβάνει ορεινούς όγκους (π.χ. Πάρνηθα, Κιθαιρώνας, Πατέρας και Γεράνεια όρη στο βορειοδυτικό της τμήμα, Πεντέλη και Υμηττός στο ανατολικό), καθώς και πεδινές εκτάσεις, οι περισσότερες εκ των οποίων βρίσκονται στην παράκτια ζώνη της. Το μέσο υψόμετρο της ΛΑΠ είναι 115 m, ενώ το υψόμετρο τεσσάρων βουνών της ξεπερνά τα 1,000 m (Πάρνηθα: 1,413 m, Κιθαιρώνας: 1,401 m, Πεντέλη: 1,108 m, Υμηττός: 1,025 m). Στα κεντρικά της ΛΑΠ εκτείνεται η λεκάνη του ποταμού Κηφισού, ο οποίος έχει κατεύθυνση από Β.ΒΑ προς Ν.ΝΔ, στο ανατολικό τμήμα εκτείνεται η λεκάνη των Μεσογείων με την παράκτια ζώνη Μαραθώνα – Νέας Μάκρης, ενώ στα δυτικά βρίσκονται οι λεκάνες του Θριασίου πεδίου και των Μεγάρων (ΥΠΕΚΑ, 2013ε).

Το κλίμα της ΛΑΠ είναι μεσογειακό. Το μέσο ετήσιο ύψος βροχής κυμαίνεται από 350 mm στο λεκανοπέδιο Αττικής μέχρι 1,000 mm στα ορεινά τμήματα, με 50 έως 100 ημέρες βροχής το έτος. Η εμφάνιση χιονοπτώσεων είναι σπάνια στην παράκτια ζώνη, ενώ χιονοπτώσεις εμφανίζονται συχνότερα στα κεντρικά και βόρεια τμήματα της ΛΑΠ. Η μέση ετήσια θερμοκρασία κυμαίνεται από 16°C έως 18°C, ανάλογα με το υψόμετρο και την απόσταση των περιοχών από τη θάλασσα (ΥΠΕΚΑ, 2013ε).

Εικόνα 4.29: Μορφολογικός χάρτης ΥΔ Αττικής (Πηγή: ΥΠΕΚΑ, 2013ε)

Η υδατική χρήση με τη μεγαλύτερη ζήτηση στη ΛΑΠ Λεκανοπεδίου Αττικής είναι η ύδρευση, η οποία ανέρχεται σε 415×10^6 m^3 ετησίως (82% της συνολικής ετήσιας υδατικής ζήτησης). Οι διαθέσιμοι υδατικοί πόροι της ΛΑΠ δεν επαρκούν για την κάλυψη των αναγκών της, για αυτό και το 80% των συνολικών ετήσιων αναγκών της καλύπτεται από μεταφορά υδατικών πόρων από υδατικά συστήματα εκτός της ΛΑΠ. Οι εισαγόμενοι υδατικοί πόροι χρησιμοποιούνται για την κάλυψη των αναγκών ύδρευσης της ΛΑΠ. Ειδικότερα για την υδροδότηση της Αθήνας (στην περιοχή της Αθήνας και των προαστίων της είναι συγκεντρωμένο το 85% περίπου του πληθυσμού της ΛΑΠ) αξιοποιούνται κατά κύριο λόγο επιφανειακοί υδατικοί πόροι, οι οποίοι διακρίνονται σε κύριους (ποταμοί Μόρνος και Εύηνος) και βοηθητικούς (φυσική λίμνη Υλίκη, ταμιευτήρας Μαραθώνα). Οι κύριοι υδατικοί πόροι που τροφοδοτούν την πόλη των Αθηνών (σύστημα Μόρνου-Ευήνου) βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση από την Αθήνα (δυτική Στερεά Ελλάδα). Ο τεχνητός ταμιευτήρας του Μαραθώνα που βρίσκεται κοντά στην πόλη, έχει μικρή χωρητικότητα και τροφοδοτεί τα διυλιστήρια. Οι αρδευτικές, κτηνοτροφικές και βιομηχανικές υδατικές ανάγκες στη ΛΑΠ καλύπτονται από τα υπόγεια υδατικά συστήματα της περιοχής. Επίσης, στους δήμους που δεν εξυπηρετούνται αποκλειστικά ή εξ' ολοκλήρου από την ΕΥΔΑΠ, η ζήτηση σε νερό για όλες τις χρήσεις καλύπτεται από υπόγεια υδατικά συστήματα (ΥΠΕΚΑ, 2013ε).

Οι υδατικοί πόροι της ΛΑΠ, λόγω του έντονου ρυθμού ανάπτυξης τις τελευταίες δεκαετίες και της μεγάλης πυκνότητας πληθυσμού που συγκεντρώνεται σε αυτήν, υφίστανται σημαντικές ανθρωπογενείς πιέσεις (ολοένα αυξανόμενη ζήτηση, αστικά λύματα, απόβλητα βιομηχανιών, στραγγίσματα από χώρους ταφής απορριμμάτων, λιμάσματα και φυτοφάρμακα από καλλιέργειες) με αποτέλεσμα τη συνεχή ποσοτική και ποιοτική τους υποβάθμιση (Υπουργείο Υποδομών, Μεταφορών και Δικτύων, 2009).

Το σχέδιο ενίσχυσης της υδατικής τροφοδότησης της ΛΑΠ με μεταφορά ακόμα μεγαλύτερων ποσοτήτων νερού από άλλες περιοχές θεωρείται ιδιαίτερα κοστοβόρο, βρίσκεται σε αντίθεση με τις βασικές αρχές της ολοκληρωμένης και βιώσιμης διαχείρισης των υδατικών πόρων που προωθούνται από την ΕΕ, και ενδέχεται να προκαλέσει κοινωνικές αντιδράσεις. Για το λόγο αυτό οι πιθανές λύσεις που αναζητούνται για την επίλυση των προβλημάτων περιορισμένης διαθεσιμότητας και υποβαθμισμένης ποιότητας των υδατικών πόρων της ΛΑΠ αφορούν σε τεχνολογίες και μέτρα για μείωση της κατανάλωσης, καλύτερη εκμετάλλευση των επιφανειακών απορροών και ενίσχυση της τροφοδοσίας των υπόγειων υδροφορέων, προστασία της ποιότητας των επιφανειακών, υπόγειων και παράκτιων υδάτων και μείωση της υπερεκμετάλλευσης των υπόγειων υδατικών πόρων. Η χρήση μη συμβατικών πόρων, όπως τα επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα, θα μπορούσε επίσης να ενισχύσει την υδροδότηση της ΛΑΠ Λεκανοπεδίου Αττικής (Υπουργείο Υποδομών, Μεταφορών και Δικτύων, 2009).

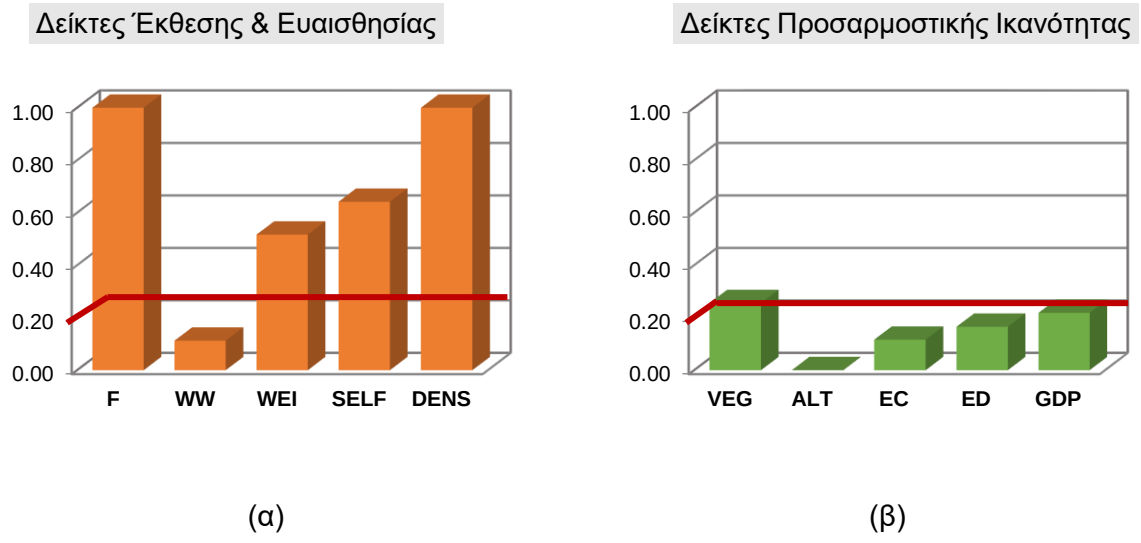
4.4.1.1. Σενάριο Βάσης: Προφίλ Τρωτότητας ΛΑΠ Λεκανοπεδίου Αττικής

Η ΛΑΠ Λεκανοπεδίου Αττικής είναι η περισσότερο τρωτή στη σπανιότητα ύδατος από τις 46 ελληνικές ΛΑΠ, καθώς παρουσιάζει πολύ υψηλή έκθεση και ευαισθησία και μέτρια προσαρμοστική ικανότητα, όπως φαίνεται και στο προφίλ τρωτότητάς της που παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.30.

Παρατηρείται ότι οι τιμές των δεικτών της ΛΑΠ για τους τέσσερις από τους πέντε δείκτες έκθεσης και ευαισθησίας ξεπερνούν κατά πολύ τις οριακές. Πιο συγκεκριμένα, η τιμή του δείκτη F (130 m^3 / κατ / έτος) είναι μικρότερη από την οριακή (1,700 m^3 / κατ / έτος) και μάλιστα βρίσκεται κάτω από 1,000 m^3 / κατ / έτος, υποδηλώνοντας ανεπάρκεια των διαθέσιμων υδατικών πόρων να καλύψουν τις ανάγκες του πληθυσμού. Η αυξημένη πίεση στους υδατικούς πόρους της ΛΑΠ εκφράζεται και μέσα από τις τιμές των δεικτών WEI (103 % με οριακή τιμή 40%) και DENS (1,183 κατ/χλμ^2 με οριακή τιμή 56 κατ/χλμ^2), οι οποίοι επιβεβαιώνουν πως οι διαθέσιμοι πόροι της περιοχής έχουν εξαντληθεί πλήρως και δεν επαρκούν για την κάλυψη της ζήτησης. Αυτός είναι και ο λόγος που η ΛΑΠ τροφοδοτείται κυρίως από μεταφορά υδατικών πόρων από περιοχές της δυτικής Ελλάδας, με αποτέλεσμα να είναι η πιο εξαρτημένη από εξωτερικούς υδατικούς πόρους ΛΑΠ (τιμή δείκτη SELF 0.80 με οριακή τιμή 0.25). Σχετικά με την ποσότητα των υγρών αποβλήτων που διατίθενται ανεπεξέργαστα σε σχέση με τους διαθέσιμους υδατικούς πόρους (δείκτης WW), η ΛΑΠ του Λεκανοπεδίου Αττικής έχει τη μεγαλύτερη τιμή του δείκτη συγκριτικά με τις υπόλοιπες ΛΑΠ (5.62%), όμως αυτό οφείλεται στη μικρή ποσότητα των διαθέσιμων ανανεώσιμων πόρων (490×10^6 m^3 / έτος) και όχι στην παραγόμενη ποσότητα ανεπεξέργαστων λυμάτων (ο πληθυσμός

που δεν εξυπηρετείται από ΕΕΛ στη ΛΑΠ του Λεκανοπεδίου Αττικής είναι περίπου 377,000 κάτοικοι, αποτελεί δηλαδή το 11% του συνολικού πληθυσμού της).

Οι τιμές των δεικτών της ΛΑΠ για τους τρεις από τους πέντε δείκτες προσαρμοστικής ικανότητας είναι μικρότερες από τις οριακές, ενώ οι υπόλοιπες δύο είναι πολύ κοντά σε αυτές, υποδηλώνοντας μειωμένη ανθεκτικότητα των υδατικών συστημάτων. Πιο συγκεκριμένα, ένα σημαντικό ποσοστό της περιοχής καλύπτεται από βλάστηση (τιμή δείκτη VEG 46% με οριακή τιμή 31%), ενώ η ΛΑΠ έχει το μεγαλύτερο κατά κεφαλή ΑΕΠ της χώρας (τιμή δείκτη GDP 25,373 € / κάτοικο με οριακή τιμή 23,200 € / κάτοικο). Όμως, η χρήση μη συμβατικών υδατικών πόρων είναι αμελητέα στη ΛΑΠ (δείκτης ALT 0.02%) με αποτέλεσμα η τροφοδότηση της να εξαρτάται αποκλειστικά από συμβατικούς υδατικούς πόρους. Επίσης, το «κοινωνικό κεφάλαιο» της ΛΑΠ, δηλαδή το ποσοστό του πληθυσμού που έχει πρόσβαση στους οικονομικούς πόρους, στην τεχνολογία, τη γνώση και την ενημέρωση και θεωρείται πως μπορεί να προσαρμοστεί πιο εύκολα σε τυχόν αλλαγές στον τρόπο ζωής του λόγω περιορισμένης διαθεσιμότητας υδατικών πόρων, είναι περιορισμένο, καθώς ο οικονομικά ενεργός πληθυσμός της ΛΑΠ (δείκτης EC) είναι μόλις 46% (με οριακή τιμή 69%), και το 33% του πληθυσμού της δεν έχει προχωρήσει στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση (δείκτης ED, οριακή τιμή δείκτη 27%).



(α) (β)

Εικόνα 4.30: Προφίλ τρωτότητας της ΛΑΠ Λεκανοπεδίου Αττικής: Σύγκριση Επιμέρους Δεικτών Έκθεσης και Ευαισθησίας (α) και Προσαρμοστικής Ικανότητας (β) με τις αντίστοιχες οριακές τιμές (κόκκινη γραμμή)

Ο σύνθετος δείκτης ESI για τη ΛΑΠ Αττικής έχει την τιμή 0.65, βρίσκεται δηλαδή στην κλάση πολύ υψηλής έκθεσης και ευαισθησίας (0.6 ≤ ESI ≤ 1.0), ενώ ο σύνθετος δείκτης ACI έχει την τιμή 0.16, βρίσκεται δηλαδή στην κλάση μέτριας προσαρμοστικής ικανότητας (0.1 ≤ ACI ≤ 0.3). Η τιμή του VI για τη ΛΑΠ Αττικής είναι 0.49, υποδηλώνοντας υψηλή τρωτότητα των υδατικών συστημάτων της περιοχής.

4.4.1.2. Σενάρια Επεμβάσεων Ε&ΑΝ

Σύμφωνα με το «Στρατηγικό Σχέδιο (Master Plan) για την Επαναχρησιμοποίηση των Εκροών των ΕΕΛ στην Αττική» που καταρτίστηκε από το Υπουργείο Υποδομών, Μεταφορών και Δικτύων (Υπουργείο Υποδομών, Μεταφορών και Δικτύων, 2009), η εφαρμογή πιθανών επεμβάσεων Ε&ΑΝ στη ΛΑΠ Αττικής επικεντρώνεται στις περιοχές της ΛΑΠ που βρίσκονται σε ακτίνα 30 χλμ. από τις υφιστάμενες ΕΕΛ για να είναι εύκολη η πρόσβαση και η κατασκευή των δικτυών.

Οι επεμβάσεις Ε&ΑΝ που προτείνονται από το Υπουργείο Υποδομών, Μεταφορών και Δικτύων (2009), αφορούν τις ακόλουθες 7 ΕΕΛ που είναι σε λειτουργία στη ΛΑΠ Αττικής (από το 2014 λειτουργεί και η ΕΕΛ Μαρκόπουλου, η οποία όμως δεν λήφθηκε υπόψη στην ανάλυση):

1. Ψυττάλειας (δυναμικότητα: 5,630,000 ι.κ.)[14]
2. Μεταμόρφωσης (δυναμικότητα: 500,000 ι.κ.)
3. Θριασίου (δυναμικότητα: 117,000 ι.κ.)
4. Μεγάρων (δυναμικότητα: 43,000 ι.κ.)
5. Λαυρίου (δυναμικότητα: 35,000 ι.κ.)
6. Κερατέας (δυναμικότητα: 12,500 ι.κ.) , και
7. Βιλίων (δυναμικότητα: 10,833 ι.κ.)

Η **ΕΕΛ Ψυττάλειας** αποτελεί τη μεγαλύτερη και πιο οργανωμένη μονάδα επεξεργασίας λυμάτων της Αττικής. Η ημερήσια εκροή επεξεργασμένων λυμάτων από την ΕΕΛ Ψυττάλειας είναι κατά μέσο όρο 720,000 m^3, και μειώνεται κατά τη θερινή περίοδο (μέση ημερήσια εκροή Αυγούστου: 550,000 m^3). Τα λύματα υφίστανται προχωρημένη βιολογική επεξεργασία με ενισχυμένη απομάκρυνση αζώτου, ενώ δεν απαιτείται απολύμανση, καθώς πραγματοποιείται διάχυση των λυμάτων στη θάλασσα μέσω υποθαλάσσιου αγωγού σε βάθος μεγαλύτερο των 60 μέτρων. Στις εγκαταστάσεις της ΕΕΛ Ψυττάλειας λειτουργεί τριτοβάθμια επεξεργασία (αμμοδιυλιστήρια δυναμικότητας 1,500 m^3/ώρα) και απολύμανση με υπεριώδη ακτινοβολία (UV) (δυναμικότητας 300 m^3/ώρα) για την περαιτέρω επεξεργασία και ανακύκλωση ποσότητας νερού που χρησιμοποιείται εντός των εγκαταστάσεων (βιομηχανικό νερό διεργασιών). Η θέση της ΕΕΛ Ψυττάλειας καθιστά ιδιαίτερα σύνθετη την υλοποίηση έργων μεταφοράς επεξεργασμένων λυμάτων και τροφοδότησης περιοχών με αυξημένες ανάγκες όπως το Θριάσιο, τα Μέγαρα και το παραλιακό μέτωπο Φαλήρου – Γλυφάδας (ανάγκη υποθαλάσσιας σύνδεσης, αυξημένες ενεργειακές απαιτήσεις για άντληση).

Αντιθέτως, η **ΕΕΛ Μεταμόρφωσης** βρίσκεται σε ευνοϊκή θέση (+180 μέτρα από το επίπεδο της θάλασσας), και σε κοντινή απόσταση από περιοχές αστικού πρασίνου που μπορούν να τροφοδοτηθούν με ανακτημένο νερό, όπως η προστατευόμενη περιοχή του ποταμού Κηφισού, ο Ελαιώνας και το πάρκο Περιβαλλοντικής Ευαισθητοποίησης Αντώνη Τρίτση, που βρίσκεται μεταξύ των Δήμων Αγίων Αναργύρων, Ιλίου και Καματερού. Η επαναχρησιμοποίηση των εκροών της ΕΕΛ Μεταμόρφωσης θα έλυνε και το ζήτημα της διάθεσης τους, καθώς η απόρριψη τους σήμερα γίνεται στον ποταμό Κηφισό, που έχει χαρακτηριστεί προστατευόμενη ζώνη. Αυστηροί έλεγχοι πρέπει να πραγματοποιηθούν, ωστόσο, για τη διασφάλιση της ποιότητας των

[14] Οι δυναμικότητες των εγκαταστάσεων σε ισοδύναμους κατοίκους (ι.κ.) έχουν ληφθεί από τη βάση δεδομένων της Ειδικής Γραμματείας Υδάτων για τις ΕΕΛ της χώρας (http://astikalimata.ypeka.gr/).

παραγόμενων λυμάτων, καθώς η ΕΕΛ δέχεται και βιομηχανικά απόβλητα, ενώ ταυτόχρονα πρέπει να εξασφαλιστεί και η οικονομική βιωσιμότητα της παραγωγής λυμάτων υψηλής ποιότητας. Η ΕΛΛ Μεταμόρφωσης επεξεργάζεται το σύνολο των βοθρολυμάτων της Αττικής, καθώς και αστικά λύματα από τμήματα περιοχών των βορείων προαστίων (Κρυονέρι, Άγιος Στέφανος, Άνοιξη, Δροσιά, Εκάλη, Διόνυσος, Καστρί, Ν. Ερυθραία, Ν. Κηφισιά). Τα λύματα υφίστανται δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία με σύστημα ενεργού ιλύος και απολύμανση με χλώριο πριν τη διάθεσή τους στο ρέμα της Πύρνας. Η μέση εισερχόμενη παροχή λυμάτων και βοθρολυμάτων το 2015 ήταν 10,166 m^3/ημέρα και 7,098 m^3/ημέρα αντίστοιχα.

Η **ΕΕΛ Θριασίου**, που βρίσκεται στο Θριάσιο Πεδίο και επεξεργάζεται λύματα των δήμων Ελευσίνας, Μάντρας και της κοινότητας Μαγούλας, σχεδιάστηκε εξαρχής με την προοπτική της Ε&ΑΝ. Η θέση της ευνοεί πολύ την Ε&ΑΝ για διάφορες χρήσεις (π.χ. βιομηχανική χρήση, εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων, ενίσχυση πρασίνου). Τα λύματα στην ΕΕΛ Θριασίου υφίστανται δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία και απομάκρυνση αζώτου με διύλιση (ταχυδιυλιστήρια). Πραγματοποιείται επίσης απολύμανση των λυμάτων με υπεριώδη ακτινοβολία. Η μέση εισερχόμενη παροχή λυμάτων στην ΕΕΛ το 2016 ήταν 2,200 m^3/ημέρα.

Στην **ΕΕΛ Μεγάρων** τα λύματα υφίστανται δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία με σύστημα ενεργού ιλύος παρατεταμένου αερισμού και απονιτροποίηση για την απομάκρυνση οργανικού φορτίου και αζώτου. Επίσης, πραγματοποιείται απολύμανση με χλωρίωση και διάθεση της επεξεργασμένης εκροής στο Σαρωνικό κόλπο. Έχει εκδηλωθεί ενδιαφέρον για τη δημιουργία μονάδας τριτοβάθμιας επεξεργασίας στην ΕΕΛ, ώστε να μπορούν τα επεξεργασμένα λύματα να διατεθούν για την άρδευση των ελαιόδεντρων της περιοχής. Η μέση εισερχόμενη παροχή λυμάτων στην ΕΕΛ Μεγάρων το 2016 ήταν 1,300 m^3/ημέρα.

Η μέση εισερχόμενη παροχή λυμάτων και βοθρολυμάτων στην **ΕΕΛ Λαυρίου** το 2016 ήταν 1,100 m^3/ημέρα και 1,000 m^3/ημέρα αντίστοιχα (μέση εισερχόμενη συνολική παροχή 2,100 m^3/ημέρα). Η ΕΕΛ περιλαμβάνει δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία με τη μέθοδο του παρατεταμένου αερισμού, απομάκρυνση οργανικού φορτίου και αζώτου, τριτοβάθμια επεξεργασία με αμμόφιλτρα βραδείας διήθησης και απολύμανση με χλωρίωση.

Στην **ΕΕΛ Κερατέας** τα λύματα υφίστανται δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία με σύστημα ενεργού ιλύος και απομάκρυνση οργανικού φορτίου και αζώτου. Επίσης, πραγματοποιείται απολύμανση με χλωρίωση. Η μέση εισερχόμενη παροχή λυμάτων στην ΕΕΛ το 2015 ήταν 4,000 m^3/ημέρα.

Στην **ΕΕΛ Βιλίων** τα λύματα υφίστανται δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία και απομάκρυνση αζώτου και φωσφόρου. Επίσης, πραγματοποιείται απολύμανση με χλωρίωση. Η μέση εισερχόμενη παροχή λυμάτων και βοθρολυμάτων στην ΕΕΛ το 2015 ήταν 960 m^3/ημέρα και 30 m^3/ημέρα αντίστοιχα.

Ιδιαίτερη έμφαση για τις επεμβάσεις Ε&ΑΝ δίνεται στις περιοχές που γειτνιάζουν με την Ψυττάλεια (Σαλαμίνα, Κερατσίνι, Δραπετσώνα, Πέραμα, Πειραιάς, Νίκαια και Κορυδαλλός), στο παραλιακό μέτωπο από Φάληρο μέχρι Βουλιαγμένη, στον Ελαιώνα, στο Θριάσιο Πεδίο (Ασπρόπυργος, Ελευσίνα), στο Ποικίλο Όρος, και στο Όρος Αιγάλεω, στη Δυτική Αττική (Αγ. Ανάργυροι, Περιστέρι, Αιγάλεω, Αγ. Βαρβάρα, Αγ. Ιωάννης Ρέντης, Ταύρος), στη λεκάνη του Κηφισού και

στις περιοχές Ν. Φιλαδέλφειας, Ν. Ιωνίας και Πεύκης με δυνατότητα αξιοποίησης των εκροών από την ΕΕΛ Μεταμόρφωσης. Εξετάζεται επίσης, η περιοχή των Μεγάρων και η περιοχή των Μεσογείων για άρδευση καλλιεργειών, όπου προτείνεται να δοθεί προτεραιότητα στην αξιοποίηση εκροών από τις τοπικές ΕΕΛ, λόγω των δυσκολιών που συνεπάγεται η μεταφορά εκροών από την ΕΕΛ Ψυττάλειας. Οι ΕΕΛ του ΛΑΠ Λεκανοπεδίου Αττικής και οι αντίστοιχες ζώνες στις οποίες εξετάζεται η εφαρμογή επεμβάσεων Ε&ΑΝ παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.31.

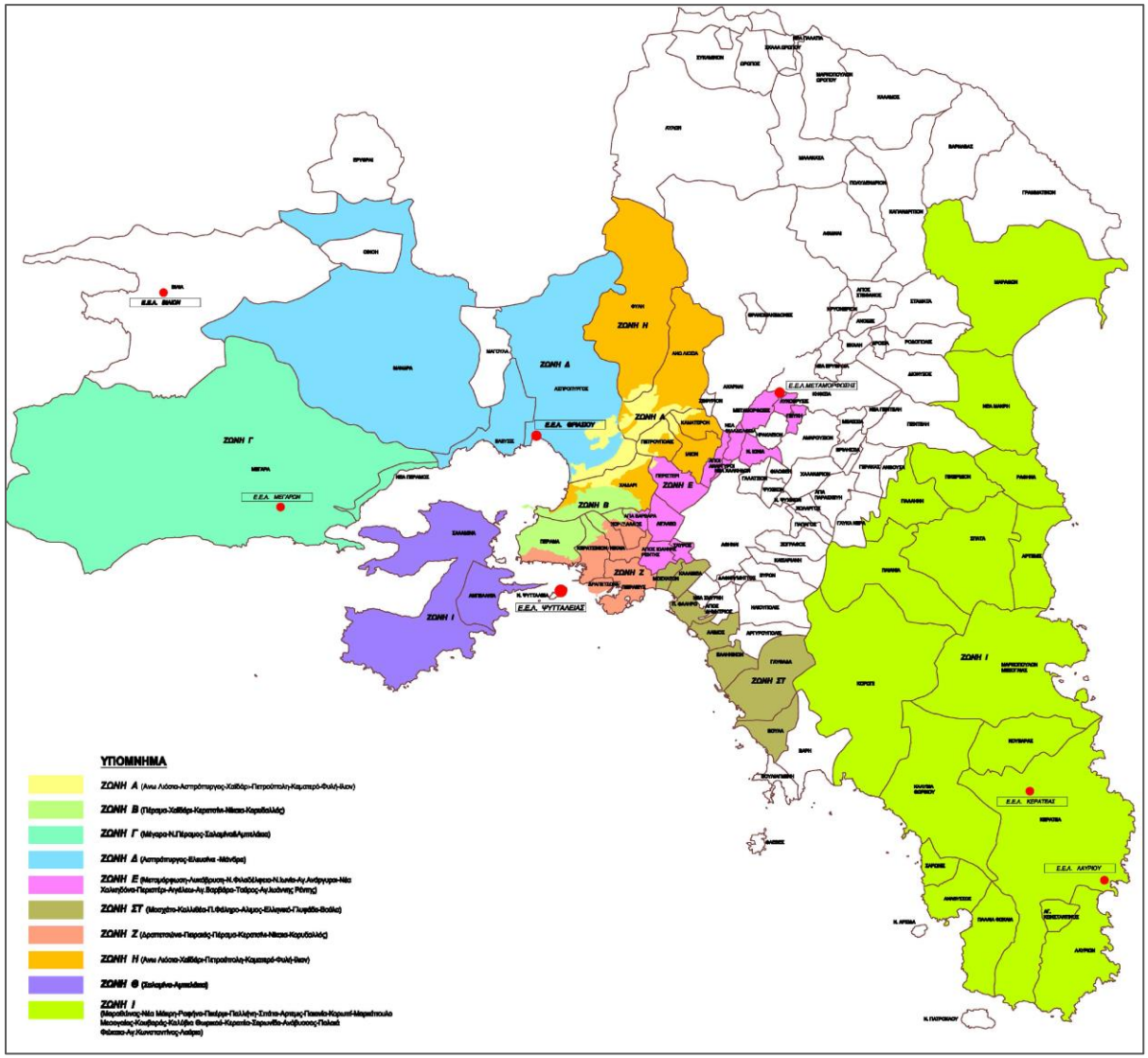
Η σκοπιμότητα της εφαρμογής επεμβάσεων Ε&ΑΝ στις περιοχές αυτές αξιολογήθηκε λαμβάνοντας υπόψη τα χαρακτηριστικά τους και τις επικρατούσες συνθήκες (π.χ. χρήσεις γης, παραγωγικές δραστηριότητες, υδατικές ανάγκες για διάφορες χρήσεις, ευκολία μεταφοράς ανακτημένου νερού, διαθεσιμότητα νερού από άλλες πηγές). Ύστερα από την αξιολόγηση της σκοπιμότητας, αναπτύχθηκε το πρόγραμμα επαναχρησιμοποίησης το οποίο περιλαμβάνει δύο στάδια υλοποίησης με διαφορετικούς χρονικούς ορίζοντες: Φάση Α’ και Φάση Β’. Η Α’ Φάση υλοποίησης περιλαμβάνει μία πρώτη πιο συντηρητική και ρεαλιστική σειρά μέτρων Ε&ΑΝ, ενώ η Φάση Β’ αφορά την τελική, πιο προχωρημένη ανάπτυξη του προγράμματος. Στη βάση των μέτρων που προτείνονται στην Α’ Φάση υλοποίησης του προγράμματος επαναχρησιμοποίησης, προέκυψαν οι επεμβάσεις – σενάρια Ε&ΑΝ που αξιολογήθηκαν στην παρούσα ανάλυση (Η Β’ Φάση είναι μεταγενέστερη και προϋποθέτει την ύπαρξη ενός σημαντικού αριθμού επεμβάσεων Ε&ΑΝ, των οποίων η λειτουργία θα επεκταθεί, για αυτό δεν θεωρήθηκε σκόπιμη η αξιολόγηση της εφαρμογής της στην παρούσα ανάλυση).

Τα σενάρια αυτά κατατάχθηκαν στους 5 τύπους επεμβάσεων που ορίζονται στο Κεφάλαιο 3 της παρούσας Διατριβής:

- *Τύπος #1: Άρδευση*
- *Τύπος #2: Αστικές και περιαστικές χρήσεις*
- *Τύπος #3: Βιομηχανικές χρήσεις*
- *Τύπος #4: Περιβαλλοντική προστασία και ενίσχυση υπηρεσιών οικοσυστήματος*
- *Τύπος #5: Σύνθετα σχήματα για πολλαπλές χρήσεις*

Κάθε ένας από τους πέντε τύπους περιλαμβάνει εναλλακτικές επεμβάσεις - σενάρια Ε&ΑΝ ανάλογα με την τοποθεσία, τη διαθέσιμη ποσότητα και ποιότητα των πιθανών πηγών ανακτημένου νερού (εκροές ΕΕΛ), με την τοποθεσία των πιθανών χρηστών, καθώς και την επιθυμητή ποσότητα και την απαιτούμενη ποιότητα του ανακτημένου νερού ανάλογα με τη χρήση (π.χ. καλλιέργειες, αστικές περιοχές, βιομηχανίες, υδατικά συστήματα)

Τα σενάρια στη συνέχεια αξιολογήθηκαν ως προς τη συνεισφορά τους στη μείωση της τρωτότητας στη ΛΑΠ Λεκανοπεδίου Αττικής. Η περιγραφή των σεναρίων Ε&ΑΝ, οι δείκτες τρωτότητας που επηρεάζονται από κάθε σενάριο και οι παραδοχές που έγιναν για την αξιολόγηση τους παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.15. Το Σενάριο #5.Δ αποτελεί τη μέγιστη δυνατή αξιοποίηση των εκροών των ΕΕΛ στη ΛΑΠ Αττικής στο άμεσο μέλλον, στην περίπτωση που εφαρμοστούν όλες οι προτεινόμενες επεμβάσεις Ε&ΑΝ της Α’ Φάσης υλοποίησης του προγράμματος.



Εικόνα 4.31: ΕΕΛ και ζώνες για πιθανές επεμβάσεις Ε&ΑΝ στη ΛΑΠ Λεκανοπεδίου Αττικής (Υπουργείο Υποδομών, Μεταφορών και Δικτύων, 2009)

Πίνακας 4.15: Σενάρια επεμβάσεων Ε&ΑΝ στη βάση της Α' Φάσης Υλοποίησης του προγράμματος επαναχρησιμοποίησης που προτείνεται από το Υπουργείο Υποδομών, Μεταφορών και Δικτύων (2009)

Τύπος #1: Άρδευση	
Σενάριο #1.Α	***Ε&ΑΝ από την ΕΕΛ Μεγάρων***
Πηγή ανακτημένου νερού	Αναβάθμιση της ΕΕΛ ώστε να παρέχεται προχωρημένη τριτοβάθμια επεξεργασία στα εισερχόμενα λύματα και η επεξεργασμένη εκροή (σήμερα 1,300 m^3 / ημέρα) να χρησιμοποιείται για άρδευση καλλιεργειών
Χρήση ανακτημένου νερού	Τροφοδότηση της ζώνης Γ (Μέγαρα, Ν. Πέραμος) για άρδευση γεωργικών εκτάσεων κατά τη θερινή περίοδο. Τη διάρκεια του χειμώνα η επεξεργασμένη εκροή της ΕΕΛ θα χρησιμοποιείται για αστικές χρήσεις (π.χ. πλύσιμο δρόμων)
Επιρροή δεικτών τρωτότητας & παραδοχές αξιολόγησης σεναρίου	• Δείκτης WEI: Η τιμή του δείκτη μειώνεται καθώς εξοικονομούνται 475,000 m^3 ετησίως από τους επιφανειακούς και υπόγειους υδατικούς πόρους. • Δείκτης ALT: Η τιμή του δείκτη αυξάνεται καθώς εισέρχονται στη ΛΑΠ 475,000 m^3 ανακτημένου νερού ετησίως.
Σενάριο #1.Β	***Ε&ΑΝ από τις ΕΕΛ Μεσογείων (Κερατέας και Λαυρίου)***
Πηγή ανακτημένου νερού	Αναβάθμιση των ΕΕΛ Κερατέας και Λαυρίου (φίλτρανση και απολύμανση με υπεριώδη ακτινοβολία) ώστε να παρέχεται προχωρημένη τριτοβάθμια επεξεργασία στα εισερχόμενα λύματα, και η επεξεργασμένη εκροή (συνολικά 6,000 m^3/ημέρα σήμερα) να χρησιμοποιείται για άρδευση καλλιεργειών
Χρήση ανακτημένου νερού	Τροφοδότηση της ζώνης Ι (Μεσόγεια) για άρδευση γεωργικών εκτάσεων κατά τη θερινή περίοδο. Τη διάρκεια του χειμώνα η επεξεργασμένη εκροή της ΕΕΛ θα χρησιμοποιείται για αστικές χρήσεις (π.χ. πλύσιμο δρόμων)
Επιρροή δεικτών τρωτότητας & παραδοχές αξιολόγησης σεναρίου	• Δείκτης WEI: Η τιμή του δείκτη μειώνεται καθώς εξοικονομούνται 2,190,000 m^3 ετησίως από τους επιφανειακούς και υπόγειους υδατικούς πόρους. • Δείκτης ALT: Η τιμή του δείκτη αυξάνεται καθώς εισέρχονται στη ΛΑΠ 2,190,000 m^3 ανακτημένου νερού ετησίως.
Τύπος #3: Βιομηχανικές χρήσεις	
Σενάριο #3	***Ε&ΑΝ από την ΕΕΛ Θριασίου***
Πηγή ανακτημένου νερού	Επαναχρησιμοποίηση της επεξεργασμένης εκροής της ΕΕΛ Θριασίου (σήμερα 2,200 m^3/ημέρα) στη βιομηχανία
Χρήση ανακτημένου νερού	Τροφοδότηση της ζώνης Δ (Ασπρόπυργος, Ελευσίνα, Μάνδρα) για βιομηχανική χρήση καθ' όλη τη διάρκεια του έτους
Επιρροή δεικτών τρωτότητας & παραδοχές αξιολόγησης σεναρίου	• Δείκτης WEI: Η τιμή του δείκτη μειώνεται καθώς εξοικονομούνται 803,000 m^3 ετησίως από τους επιφανειακούς και υπόγειους υδατικούς πόρους. • Δείκτης ALT: Η τιμή του δείκτη αυξάνεται καθώς εισέρχονται στη ΛΑΠ 803,000 m^3 ανακτημένου νερού ετησίως.

Τύπος #5: Σύνθετα σχήματα για πολλαπλές χρήσεις	
Σενάριο #5.Α	***Ε&ΑΝ από την ΕΕΛ Ψυττάλειας Α (μαξιμαλιστικό σενάριο, πλήρης απορρόφηση επεξεργασμένων εκροών από τις ζώνες Α, Β, ΣΤ, Ζ, Θ)***
Πηγή ανακτημένου νερού	Εγκατάσταση μονάδας τριτοβάθμιας επεξεργασίας στην ΕΕΛ Ψυττάλειας για την παροχή 165,250 m^3/ημέρα ανακτημένου νερού
Χρήση ανακτημένου νερού	Τροφοδότηση των ζωνών: • Α (όρος Ποικίλο): 25,880 m^3/ημέρα κατά τη θερινή περίοδο, για αναδάσωση • Β (όρος Αιγάλεω): 86,280 m^3/ημέρα κατά τη θερινή περίοδο, για αναδάσωση • ΣΤ (παραλιακό μέτωπο Φαλήρου-Βουλιαγμένης): 36,710 m^3/ημέρα κατά τη θερινή περίοδο, για άρδευση αστικού πρασίνου και γενική καθαριότητα στους δήμους • Ζ (Πειραιάς, Νίκαια, Κορυδαλλός, Πέραμα, Κερατσίνι, Δραπετσώνα): 8,770 m^3/ημέρα κατά τη θερινή περίοδο, για άρδευση αστικού πρασίνου και γενική καθαριότητα στους δήμους στις περιοχές Πειραιά, Νίκαια και Κορυδαλλός, και 607 m^3/ημέρα σε όλη τη διάρκεια του έτους για βιομηχανική χρήση στις περιοχές Δραπετσώνα, Πέραμα και Κερατσίνι • Θ (Σαλαμίνα): 7,000 m^3/ημέρα κατά τη θερινή περίοδο για άρδευση καλλιεργειών Τη χειμερινή περίοδο (120 ημέρες) από τα 165,250 m^3/ημέρα θα χρησιμοποιούνται μόνο τα 607 m^3/ημέρα για βιομηχανική χρήση στις περιοχές Δραπετσώνα, Πέραμα και Κερατσίνι. Τα υπόλοιπα 164,643 θα τροφοδοτούν τη ζώνη Δ (Θριάσιο πεδίο): • 95,610 m^3/ημέρα για βιομηχανική χρήση • 69,033 m^3/ημέρα για εμπλουτισμό του υπόγειου υδροφορέα
Επιρροή δεικτών τρωτότητας & παραδοχές αξιολόγησης σεναρίου	• Δείκτης WEI: Η τιμή του δείκτη μειώνεται καθώς εξοικονομούνται 27,300,000 m^3 ετησίως από τους επιφανειακούς και υπόγειους υδατικούς πόρους. Η αναδάσωση δεν θεωρείται καταναλωτική χρήση, επομένως δεν λήφθηκε υπόψη στον υπολογισμό του WEI. Η θερινή περίοδος έχει διάρκεια 140 ημέρες. Θεωρήθηκε ότι για 120 ημέρες το έτος γίνεται απόληψη μόνο των 607 m^3/ημέρα. • Δείκτης SELF: Η τιμή του δείκτη μειώνεται διότι θεωρείται ότι εισέρχεται μικρότερη ποσότητα πόσιμου νερού στη ΛΑΠ, καθώς το νερό που καταναλωνόταν για τις αστικές χρήσεις τώρα προέρχεται τώρα από ανακτημένο νερό (περίπου 6.510^6 m^3 / έτος). • Δείκτης VEG: Η τιμή του δείκτη αυξάνεται διότι θεωρείται ότι μετά την ολοκλήρωση του προγράμματος αναδάσωσης (10 έτη) θα έχουν αναδασωθεί, 50,000 στρέμματα για το όρος Αιγάλεω και 20,000 στρέμματα για το όρος Ποικίλο (η δασική έκταση της ΛΑΠ αυξάνεται κατά 283 χλμ^2). • Δείκτης ALT: Η τιμή του δείκτη αυξάνεται καθώς εισέρχονται στη ΛΑΠ 27,300,000 m^3 ανακτημένου νερού ετησίως.

Σενάριο #5.Β	***Ε&ΑΝ από την ΕΕΛ Ψυττάλειας Β (συντηρητικό σενάριο, ασφαλές για όλη τη διάρκεια ζωής του έργου)***
Πηγή ανακτημένου νερού	Εγκατάσταση μονάδας τριτοβάθμιας επεξεργασίας στην ΕΕΛ Ψυττάλειας για την παροχή 60,000 m^3/ημέρα ανακτημένου νερού
Χρήση ανακτημένου νερού	Τροφοδότηση των ζωνών: • ΣΤ (παραλιακό μέτωπο Φαλήρου-Βουλιαγμένης): 36,710 m^3/ημέρα κατά τη θερινή περίοδο, για άρδευση αστικού πρασίνου και γενική καθαριότητα στους δήμους • Ζ (Πειραιάς, Νίκαια, Κορυδαλλός, Πέραμα, Κερατσίνι, Δραπετσώνα): 8,770 m^3/ημέρα κατά τη θερινή περίοδο, για άρδευση αστικού πρασίνου και γενική καθαριότητα στους δήμους στις περιοχές Πειραιά, Νίκαια και Κορυδαλλός, και 607 m^3/ημέρα σε όλη τη διάρκεια του έτους για βιομηχανική χρήση στις περιοχές Δραπετσώνα, Πέραμα και Κερατσίνι • Θ (Σαλαμίνα): 7,000 m^3/ημέρα κατά τη θερινή περίοδο για άρδευση καλλιεργειών Τα 7,000 m^3/ημέρα περίπου που περισσεύουν την ημέρα θα χρησιμοποιούνται για αναδάσωση στις ζώνες Α (όρος Ποικίλο) και Β (όρος Αιγάλεω) κατά τη θερινή περίοδο. Τη χειμερινή περίοδο (120 ημέρες) από τα 60,000 m^3/ημέρα θα χρησιμοποιούνται μόνο τα 607 m^3/ημέρα για βιομηχανική χρήση στις περιοχές Δραπετσώνα, Πέραμα και Κερατσίνι. Τα υπόλοιπα 59,393 θα τροφοδοτούν τη ζώνη Δ (Θριάσιο πεδίο) για βιομηχανική χρήση.
Επιρροή δεικτών τρωτότητας & παραδοχές αξιολόγησης σεναρίου	• Δείκτης WEI: Η τιμή του δείκτη μειώνεται καθώς εξοικονομούνται 14,700,000 m^3 ετησίως από τους επιφανειακούς και υπόγειους υδατικούς πόρους. Η αναδάσωση δεν θεωρείται καταναλωτική χρήση, επομένως δεν λήφθηκε υπόψη στον υπολογισμό του WEI. Η θερινή περίοδος έχει διάρκεια 140 ημέρες. • Δείκτης SELF: Η τιμή του δείκτη μειώνεται διότι θεωρείται ότι εισέρχεται μικρότερη ποσότητα πόσιμου νερού στη ΛΑΠ, καθώς το νερό που καταναλωνόταν για τις αστικές χρήσεις τώρα προέρχεται τώρα από ανακτημένο νερό (περίπου 6.5×10^6 m^3 / έτος). • Δείκτης VEG: Η τιμή του δείκτη αυξάνεται διότι θεωρείται ότι μετά την ολοκλήρωση του προγράμματος αναδάσωσης (10 έτη) θα έχουν αναδασωθεί, 4,369 στρέμματα (η δασική έκταση της ΛΑΠ αυξάνεται κατά 17.7 χλμ^2). • Δείκτης ALT: Η τιμή του δείκτη αυξάνεται καθώς εισέρχονται στη ΛΑΠ 14,700,000 m^3 ανακτημένου νερού ετησίως.

Σενάριο #5.Γ	***Ε&ΑΝ από την ΕΕΛ Μεταμόρφωσης***
Πηγή ανακτημένου νερού	Αναβάθμιση της ΕΕΛ ώστε να παρέχεται προχωρημένη τριτοβάθμια επεξεργασία στα εισερχόμενα λύματα και βοθρολύματα και να παράγονται 25,000 m^3 ανακτημένου νερού την ημέρα
Χρήση ανακτημένου νερού	Τροφοδότηση των ζωνών: • Ε (Μεταμόρφωση, Λυκόβρυση, Πεύκη, Ν. Φιλαδέλφεια, Ν. Ιωνία, Αγ. Ανάργυροι, Νέα Χαλκηδόνα, Περιστέρι, Αιγάλεω, Αγ. Βαρβάρα, Ταύρος, Αγ. Ιωάννης Ρέντης): 11,525 m^3/ημέρα κατά τη θερινή περίοδο για άρδευση αστικού πρασίνου και γενική καθαριότητα στους δήμους, και 510 m^3/ημέρα σε όλη τη διάρκεια του έτους για βιομηχανική χρήση • Η (Άνω Λιόσια, Καματερό, Φυλή, Ίλιον, Πετρούπολη): 12,400 m^3/ημέρα για άρδευση αστικού πρασίνου και γενική καθαριότητα στους δήμους, και 400 m^3/ημέρα σε όλη τη διάρκεια του έτους για βιομηχανική χρήση Τη χειμερινή περίοδο (120 ημέρες) από τα 25,000 m^3/ημέρα θα χρησιμοποιούνται μόνο τα 900 m^3/ημέρα για βιομηχανική χρήση. Η πλεονάζουσα εκροή των 24,100 m^3/ημέρα θα διατίθεται στον Κηφισό για την ανανέωση των υδάτων.
Επιρροή δεικτών τρωτότητας & παραδοχές αξιολόγησης σεναρίου	• Δείκτης WEI: Η τιμή του δείκτη μειώνεται καθώς εξοικονομούνται 6,800,000 m^3 ετησίως από τους επιφανειακούς και υπόγειους υδατικούς πόρους. Η θερινή περίοδος έχει διάρκεια 140 ημέρες. • Δείκτης SELF: Η τιμή του δείκτη μειώνεται διότι θεωρείται ότι εισέρχεται μικρότερη ποσότητα πόσιμου νερού στη ΛΑΠ, καθώς το νερό που καταναλωνόταν για τις αστικές χρήσεις τώρα προέρχεται τώρα από ανακτημένο νερό (περίπου 6.5×10^6 m^3 / έτος). • Δείκτης ALT: Η τιμή του δείκτη αυξάνεται καθώς εισέρχονται στη ΛΑΠ 6,800,000 m^3 ανακτημένου νερού ετησίως.

Σενάριο #5.Δ	***Συνδυασμός Σεναρίων 1Α, 1Β, 3, 5Α & 5Γ***
Πηγή ανακτημένου νερού	Συνδυασμός των πηγών των αντίστοιχων σεναρίων
Χρήση ανακτημένου νερού	Συνδυασμός των χρήσεων των αντίστοιχων σεναρίων. Από την ΕΕΛ Ψυττάλειας καλύπτονται πλήρως οι υδατικές ανάγκες της βιομηχανίας στο Θριάσιο πεδίο, επομένως τα 2,200 m^3/ημέρα από την ΕΕΛ Θριασίου θα χρησιμοποιούνται για άρδευση γεωργικών εκτάσεων. Η πλεονάζουσα εκροή από την ΕΕΛ του Θριασίου θα χρησιμοποιείται το χειμώνα για πλύσιμο δρόμων.
Επιρροή δεικτών τρωτότητας & παραδοχές αξιολόγησης σεναρίου	• Δείκτης WEI: Η τιμή του δείκτη μειώνεται καθώς εξοικονομούνται 37,600,000 m^3 ετησίως από τους επιφανειακούς και υπόγειους υδατικούς πόρους. Η αναδάσωση δεν θεωρείται καταναλωτική χρήση, επομένως δεν λήφθηκε υπόψη στον υπολογισμό του WEI. Η θερινή περίοδος έχει διάρκεια 140 ημέρες. • Δείκτης SELF: Η τιμή του δείκτη μειώνεται διότι θεωρείται ότι εισέρχεται μικρότερη ποσότητα πόσιμου νερού στη ΛΑΠ, καθώς το νερό που καταναλωνόταν για τις αστικές χρήσεις τώρα προέρχεται τώρα από ανακτημένο νερό (περίπου 9.79×10^6 m^3 / έτος). • Δείκτης VEG: Η τιμή του δείκτη αυξάνεται διότι θεωρείται ότι μετά την ολοκλήρωση του προγράμματος αναδάσωσης (10 έτη) θα έχουν αναδασωθεί, 50,000 στρέμματα για το όρος Αιγάλεω και 20,000 στρέμματα για το όρος Ποικίλο (η δασική έκταση της ΛΑΠ αυξάνεται κατά 283 χλμ^2). • Δείκτης ALT: Η τιμή του δείκτη αυξάνεται καθώς εισέρχονται στη ΛΑΠ 37,600,000 m^3 ανακτημένου νερού ετησίως.

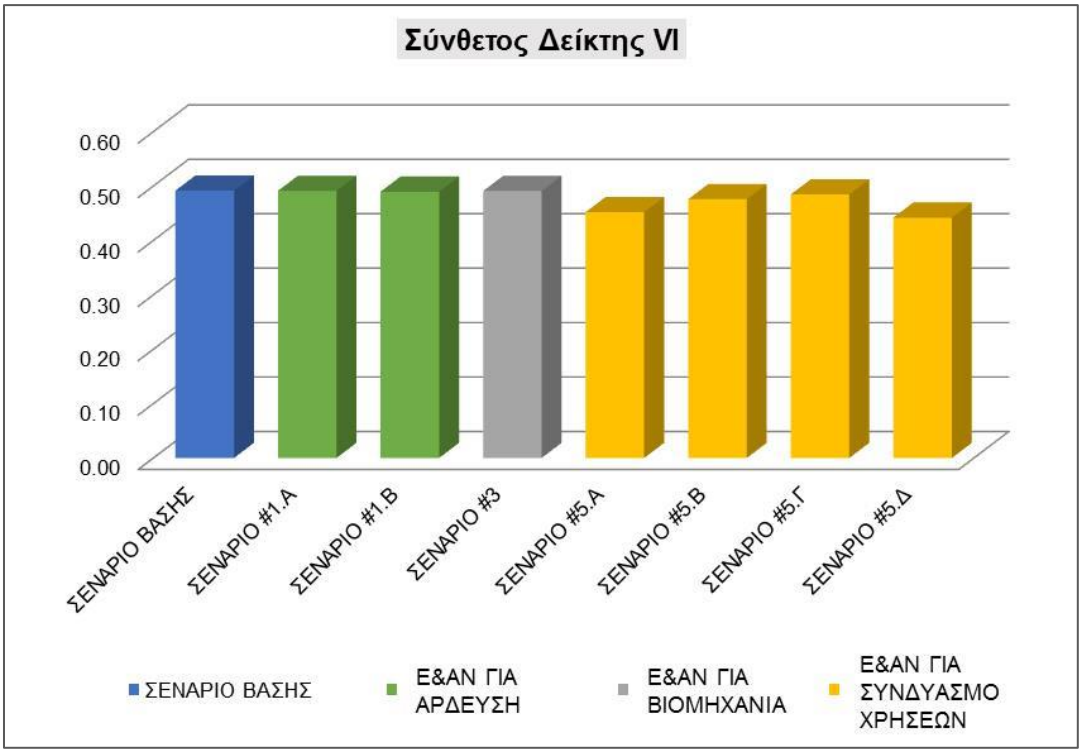
4.4.1.3. Αξιολόγηση Επεμβάσεων Ε&ΑΝ

Ο σύνθετος δείκτης τρωτότητας VI της ΛΑΠ Λεκανοπεδίου Αττικής υπολογίστηκε για κάθε εναλλακτική επέμβαση - σενάριο Ε&ΑΝ, λαμβάνοντας υπόψη τις αλλαγές στους αντίστοιχους επιμέρους δείκτες σε περίπτωση που εφαρμόζονταν αυτές οι επεμβάσεις στη ΛΑΠ. Η σύγκριση μεταξύ των VI της ΛΑΠ για τις διάφορες επεμβάσεις Ε&ΑΝ με τον VI της υπάρχουσας κατάστασης (σενάριο βάσης) παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.32.

Οι διάφορες επεμβάσεις Ε&ΑΝ κατατάχθηκαν ως προς την αναμενόμενη συνεισφορά τους στη μείωση της τρωτότητας των υδατικών συστημάτων της ΛΑΠ Λεκανοπεδίου Αττικής στη σπανιότητας ύδατος (μείωση της τιμής του VI, ΔVI), από αυτήν με τη μεγαλύτερη προς αυτήν με τη μικρότερη αναμενόμενη μείωση της τρωτότητας (Πίνακας 4.16).

Παρατηρείται ότι οι πιο αποτελεσματικές επεμβάσεις Ε&ΑΝ για τη μείωση της τρωτότητας είναι αυτές που περιλαμβάνουν χρήση ανακτημένου νερού για την ενίσχυση διαφορετικών χρήσεων (Τύπος επεμβάσεων #5: Σύνθετα σχήματα), καθώς τροφοδοτούν με μεγαλύτερη ποσότητα ανακτημένου νερού τη ΛΑΠ και καλύπτουν περισσότερες ανάγκες. Όπως ήταν αναμενόμενο, όσο μεγαλύτερες ποσότητες ανακτημένου νερού χρησιμοποιηθούν τόσο περισσότερο θα μειωθεί η

τρωτότητα στη ΛΑΠ, όπως φαίνεται και από τη μείωση που επέρχεται στο σύνθετο δείκτη στην περίπτωση εφαρμογής του Σεναρίου #5.Δ, που αποτελεί τη μέγιστη δυνατή αξιοποίηση των εκροών των ΕΕΛ της ΛΑΠ Αττικής.



Εικόνα 4.32: Ο VI της ΛΑΠ Λεκανοπεδίου Αττικής στην υπάρχουσα κατάσταση (σενάριο βάσης) και στην περίπτωση εφαρμογής των εναλλακτικών επεμβάσεων (σεναρίων) Ε&ΑΝ

Πίνακας 4.16: Κατάταξη των επεμβάσεων Ε&ΑΝ ως προς την αναμενόμενη συνεισφορά τους στη μείωση της τρωτότητας της ΛΑΠ (ΔVI)

ΣΕΝΑΡΙΑ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ Ε&ΑΝ	ΔVI
Σενάριο #5.Δ: Συνδυασμός Σεναρίων 1Α, 1Β, 3, 5Α & 5Γ	-10.00%
Σενάριο #5.Α: Ε&ΑΝ από την ΕΕΛ Ψυττάλειας Α	-8.00%
Σενάριο #5.Β: Ε&ΑΝ από την ΕΕΛ Ψυττάλειας Β	-3.20%
Σενάριο #5.Γ: Ε&ΑΝ από την ΕΕΛ Μεταμόρφωσης	-1.44%
Σενάριο #3: Ε&ΑΝ από την ΕΕΛ Θριασίου	-0.40%
Σενάριο #1.Α: Ε&ΑΝ από την ΕΕΛ Μεγάρων	-0.15%
Σενάριο #1.Β: Ε&ΑΝ από τις ΕΕΛ Μεσογείων (Κερατέας & Λαυρίου)	-0.09%

4.5. Ανάπτυξη Ευνοϊκού Περιβάλλοντος για την Εφαρμογή Επεμβάσεων Ε&ΑΝ

Η μέθοδος που προτείνεται στο Κεφάλαιο 3 (Ενότητες 3.5 και 3.6) για την ανάπτυξη ευνοϊκού περιβάλλοντος για να προωθηθεί η εφαρμογή επιλεγμένων επεμβάσεων Ε&ΑΝ εφαρμόστηκε στη ΛΑΠ Copiapó στη Χιλή. Αρχικά, εντοπίστηκαν οι πολιτικοί, οικονομικοί, κοινωνικοί, τεχνικοί, νομικοί και θεσμικοί παράγοντες που εμποδίζουν (εμπόδια) ή ενθαρρύνουν (κίνητρα) την ένταξη των προτεινόμενων συστημάτων Ε&ΑΝ στην περιοχή. Στη συνέχεια, αναγνωρίστηκαν τα πιο σημαντικά εμπόδια που αποτρέπουν την εφαρμογή αυτών των επεμβάσεων και προτάθηκαν υποστηρικτικά μέτρα για την αντιμετώπιση τους και τη δημιουργία ενός ευνοϊκού περιβάλλοντος που θα ευνοεί την εφαρμογή επεμβάσεων Ε&ΑΝ στην περιοχή.

4.5.1. Εφαρμογή στη ΛΑΠ Copiapó, Χιλή

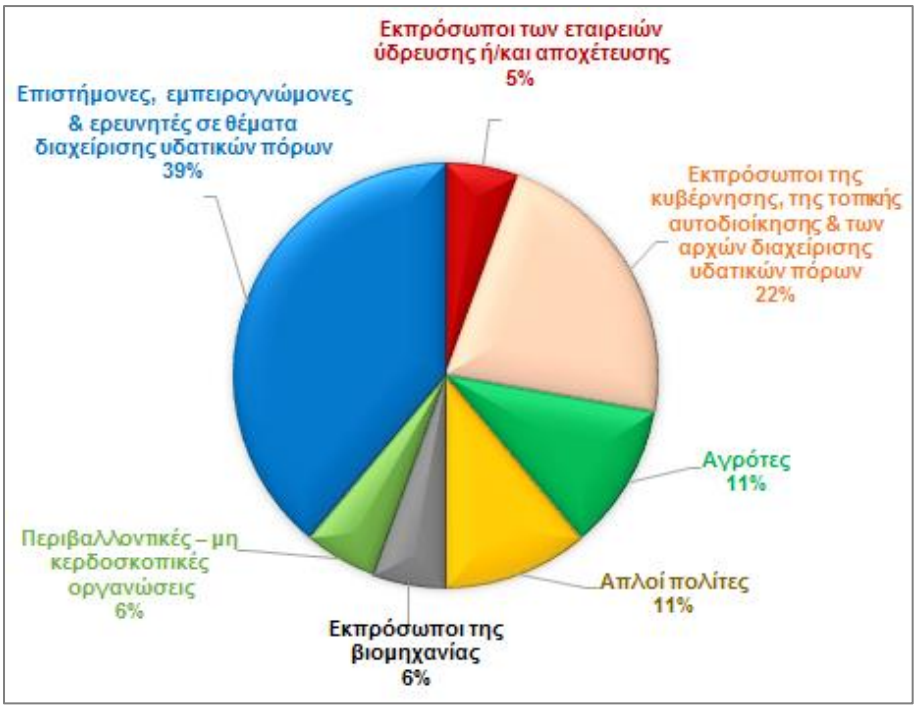
Η ΛΑΠ Copiapó έχει υψηλή τρωτότητα στη σπανιότητα ύδατος, κυρίως λόγω της ραγδαίας αύξησης του πληθυσμού της τις τελευταίες δεκαετίες, της μεγάλης εποχικής διακύμανσης των βροχοπτώσεων και της απόλυτης εξάρτησης της γεωργίας από την άρδευση. Οι παράγοντες αυτοί, σε συνδυασμό με την έλλειψη συντονισμένων και αποτελεσματικών πολιτικών διαχείρισης υδατικών πόρων στη ΛΑΠ, ασκούν μεγάλη πίεση στους περιορισμένους διαθέσιμους υδατικούς πόρους (οι υδατικές απολήψεις στη ΛΑΠ Copiapó ξεπερνούν κατά 25% τους διαθέσιμους πόρους) (Porto et al., 2012; Assimacopoulos et al., 2014; Stathatou et al., 2016).

Μη συμβατικοί υδατικοί πόροι, κυρίως από αφαλάτωση αλλά και από ορισμένες επεμβάσεις Ε&ΑΝ μικρής κλίμακας, έχουν αρχίσει και χρησιμοποιούνται στην περιοχή για την κάλυψη των αναγκών της εξορυκτικής βιομηχανίας. Επίσης, έμμεση επαναχρησιμοποίηση λυμάτων για άρδευση λαμβάνει χώρα στην περιοχή, καθώς οι επεξεργασμένες εκροές των δύο ΕΛΛ της ΛΑΠ (Copiapó και Tierra Amarilla) διατίθενται στο ποτάμι και χρησιμοποιούνται στη συνέχεια από τους αγρότες στα κατάντη του ποταμού (Verzandvoort et al., 2015).

Για τη μείωση της τρωτότητας στη ΛΑΠ έχει προταθεί η χρήση μεγαλύτερων ποσοτήτων ανακτημένου νερού. Θωρείται πως οι επεμβάσεις Ε&ΑΝ για αστικές και οικιακές χρήσεις θα έχουν τη μεγαλύτερη συνεισφορά στη μείωση της τρωτότητας των υδατικών συστημάτων, καθώς η θεωρητικά διαθέσιμη ποσότητα ανακτημένου νερού (εκροές ΕΛΛ) θα μπορούσε να καλύψει μεγάλο μέρος της υδατικής ζήτησης για αστικές χρήσεις (περίπου 21%) (Verzandvoort et al., 2013; Assimacopoulos et al., 2014; Verzandvoort et al., 2015). Επομένως, η εφαρμογή της προτεινόμενης μεθόδου για την ανάπτυξη ευνοϊκού περιβάλλοντος ώστε να προωθηθεί η Ε&ΑΝ στη ΛΑΠ Copiapó εστιάζει στις επεμβάσεις Ε&ΑΝ για αστικές χρήσεις.

4.5.2. Εμπόδια και Κίνητρα για την Εφαρμογή Επεμβάσεων Ε&ΑΝ

Το διαδικτυακό ερωτηματολόγιο PESTL για τον εντοπισμό των εμποδίων και των κινήτρων για την εφαρμογή επεμβάσεις Ε&ΑΝ για αστικές χρήσεις στη ΛΑΠ Copiapó συμπληρώθηκε από 18 εκπροσώπους των τοπικών φορέων. Τα 18 αυτά άτομα που συμμετείχαν στη διαδικτυακή έρευνα καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα αρμοδιοτήτων και ικανοτήτων που περιλαμβάνει από εκπροσώπους της κυβέρνησης, της τοπικής αυτοδιοίκησης και των αρχών διαχείρισης υδατικών πόρων μέχρι αγρότες και απλούς πολίτες. Η πλειοψηφία των ατόμων που συμπλήρωσαν το ερωτηματολόγιο είναι επιστήμονες, εμπειρογνώμονες και ερευνητές σε θέματα σχετικά με τη διαχείριση των υδατικών πόρων (Εικόνα 4.33).



Εικόνα 4.33: Ποσοστιαία κατανομή των συμμετεχόντων στην έρευνα ερωτηματολογίων στη ΛΑΠ Copiapó στις διάφορες ομάδες τοπικών φορέων

Από τους 16 παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν επεμβάσεις Ε&ΑΝ για αστικές χρήσεις (Κεφάλαιο 3, Πίνακας 3.14), μόνο οι 15 θεωρήθηκαν σχετικοί με τις συνθήκες που επικρατούν στη ΛΑΠ Copiapó, καθώς δεν υπάρχουν στην περιοχή διακρατικές ή διασυνοριακές συνθήκες ή συμφωνίες που να επηρεάζουν τη ποσότητα των διαθέσιμων υδατικών αποθεμάτων (παράγοντας Π4).

Από τους 15 παράγοντες που έχουν επιρροή στις επεμβάσεις Ε&ΑΝ για αστικές χρήσεις στη ΛΑΠ Copiapó, οι 10 εκτιμήθηκε ότι επηρεάζουν αρνητικά την εφαρμογή των επεμβάσεων (εμπόδια) και μόνο οι 5 ότι την ενθαρρύνουν (κίνητρα). Η επιρροή των 15 παραγόντων παρουσιάζεται εποπτικά στον Πίνακα 4.17 και περιγράφεται αναλυτικά στη συνέχεια.

*Πίνακας 4.17: Εμπόδια και κίνητρα για την εφαρμογή επεμβάσεων Ε&ΑΝ στη ΛΑΠ Copiapó**

Παράγοντας	**Επιρροή**	
	Εμπόδιο	**Κίνητρο**
Π1. Εθνικές / περιφερειακές πολιτικές σχετικά με τη διαχείριση των υδατικών πόρων		✓
Π2. Εθνική ή περιφερειακή περιβαλλοντική πολιτική	✓	
Π3. Πολιτικές χρήσης γης και χωροταξική στρατηγική	✓	
Ο1. Διαθεσιμότητα δημοσίων πόρων χρηματοδότησης έργων Ε&ΑΝ	✓	
Ο2. Έμμεσα οικονομικά κίνητρα		✓
Ο5.1. Σύστημα τιμολόγησης για χρήση νερού σε δημόσιους αστικούς χώρους		✓
Ο5.2. Σύστημα τιμολόγησης για οικιακή χρήση νερού		✓
Κ1. Ευαισθητοποίηση & ενημέρωση του κοινού σχετικά με τους περιορισμένους υδατικούς πόρους		✓
Κ2. Ενημέρωση του κοινού σχετικά με την Ε&ΑΝ	✓	
Κ4. Συμμετοχή διαφορετικών φορέων στις διαδικασίες λήψης αποφάσεων	✓	
Τ1.3 Τεχνογνωσία και εμπειρία για την επεξεργασία και παροχή του ανακτημένου νερού για αστικές χρήσεις που επιτρέπεται η πρόσβαση και η επαφή του κοινού με το ανακτημένο νερό		✓
Τ1.4 Τεχνογνωσία και εμπειρία για την επεξεργασία και παροχή του ανακτημένου νερού για αστικές χρήσεις που δεν επιτρέπεται η πρόσβαση και η επαφή του κοινού με το ανακτημένο νερό		✓
Τ2.3. Τεχνογνωσία και εμπειρία των πολιτών για τη χρήση του ανακτημένου νερού	✓	
Ν1. Ιδιοκτησία ανακτημένου νερού – Άδειες και δικαιώματα χρήσης νερού	✓	
Ν2. Κανονιστικό πλαίσιο για Ε&ΑΝ	✓	
Ν3. Εφαρμογή κανονισμών και νομοθεσίας	✓	
Ν4. Οριοθέτηση αρμοδιοτήτων μεταξύ των εμπλεκόμενων φορέων	✓	

**Κόκκινο χρώμα: εμπόδιο; πράσινο χρώμα: κίνητρο*

Πολιτικοί παράγοντες

Η πλειοψηφία των συμμετεχόντων στην έρευνα ερωτηματολογίων (50%) θεωρούν πως οι πολιτικές που αφορούν τη διαχείριση υδατικών πόρων στη ΛΑΠ Copiapó ενθαρρύνουν την εφαρμογή επεμβάσεων Ε&ΑΝ. Αν και δεν υπάρχουν πολιτικές στοχευμένες στην Ε&ΑΝ καθαυτή, οι υπάρχουσες πολιτικές ευνοούν εμμέσως τη χρήση ανακτημένου νερού, καθώς παρέχουν κίνητρα για την ορθολογική και αειφορική χρήση των υδατικών πόρων. Το σχέδιο διαχείρισης των υδατικών πόρων της περιοχής Ατακάμα ("Plan Atacama"), στην οποία ανήκει η ΛΑΠ Copiapó, περιλαμβάνει μέτρα για την αποδοτική χρήση των υδατικών πόρων, όπως η συλλογή βρόχινου νερού για τον εμπλουτισμό υπόγειων υδροφορέων και την άρδευση του αστικού πρασίνου. Επίσης, έχει τεθεί ένας εθνικός στόχος ο οποίος επηρεάζει θετικά τις επεμβάσεις Ε&ΑΝ, σύμφωνα με τον οποίο όλες οι παράκτιες πόλεις της Χιλής θα πρέπει να εξυπηρετούνται από ΕΕΛ έως το 2020.

Αντιθέτως, οι υπάρχουσες πολιτικές χρήσης γης και οι περιφερειακές περιβαλλοντικές πολιτικές θεωρείται ότι δεν προωθούν την ενίσχυση αστικών υδατικών χρήσεων με ανακτημένο νερό, καθώς δεν παρέχουν κίνητρα για την αποδοτική χρήση των υδατικών πόρων, τον περιορισμό της ρύπανσης των υδατικών πόρων και την προστασία των υδατικών οικοσυστημάτων (το 45% των ατόμων που απάντησαν στα ερωτηματολόγια έχουν αυτήν την άποψη).

Οικονομικοί παράγοντες

Δεν παρέχονται άμεσα οικονομικά κίνητρα για την εφαρμογή επεμβάσεων Ε&ΑΝ για αστικές χρήσεις ούτε σε εθνικό όσο ούτε σε τοπικό επίπεδο. Τα υπάρχοντα κυβερνητικά και κρατικά προγράμματα επιδοτήσεων, έχουν ως στόχο την ενίσχυση της επιχειρηματικότητας και την προώθηση της καινοτομίας και της αειφορίας σε διάφορους οικονομικούς τομείς, υποστηρίζοντας έμμεσα τη χρήση ανακτημένου νερού (28% των ατόμων διατύπωσαν αυτήν την άποψη).

Επίσης, το σύστημα τιμολόγησης νερού για τις αστικές χρήσεις (χρήση νερού σε δημόσιους αστικούς χώρους, και οικιακή χρήση νερού) θεωρήθηκε πως ευνοεί τη διατήρηση των διαθέσιμων αποθεμάτων, και κατ’ επέκταση τη χρήση εναλλακτικών υδατικών πόρων. Σύμφωνα με το 61% των συμμετεχόντων στην έρευνα ερωτηματολογίων, εξαιτίας των πολύ υψηλών χρεώσεων από την εταιρεία ύδρευσης του Copiapó, Aguas Chañar, το πόσιμο νερό που χρησιμοποιούταν για την άρδευση χώρων αστικού πρασίνου προσφάτως αντικαταστάθηκε από νερό κατώτερης ποιότητας. Η κλιμακωτή τιμολόγηση ανάλογα με τον όγκο της κατανάλωσης του πόσιμου νερού παρέχει ένα πολύ ισχυρό κίνητρο για τη χρήση ανακτημένου νερού.

Κοινωνικοί παράγοντες

Το αυξημένο επίπεδο ευαισθητοποίησης και ενημέρωσης του κοινού σχετικά με το πρόβλημα περιορισμένης διαθεσιμότητας υδατικών πόρων στη ΛΑΠ Copiapó, θεωρήθηκε κίνητρο για την εφαρμογή επεμβάσεων Ε&ΑΝ από το 55% των συμμετεχόντων στην έρευνα ερωτηματολογίων. Όμως, η έλλειψη πληροφόρησης των κατοίκων της περιοχής σχετικά με τις δυνατότητες και τα πιθανά οφέλη της Ε&ΑΝ για την αντιμετώπιση των προβλημάτων λειψυδρίας θεωρείται πως τους καθιστά ακόμα επιφυλακτικούς απέναντι στα έργα Ε&ΑΝ (50% των ατόμων που απάντησαν στα

ερωτηματολόγια έχουν αυτήν την άποψη). Υπάρχουν έντονες ανησυχίες σχετικά με τους κινδύνους που μπορεί να έχει η χρήση ανακτημένου νερού για τη δημόσια υγεία (κρούσματα χολέρας και τυφοειδούς πυρετού είχαν εκδηλωθεί στην περιοχή στο πρόσφατο παρελθόν).

Επίσης, η έλλειψη συμμετοχικότητας στις διαδικασίες λήψης αποφάσεων σχετικά με ζητήματα διαχείρισης υδατικών πόρων επηρεάζει αρνητικά την κοινωνική αποδοχή πιθανών επεμβάσεων Ε&ΑΝ στη ΛΑΠ Copiapó, σύμφωνα με το 28% των συμμετεχόντων στην έρευνα ερωτηματολογίων. Οι ανάγκες και οι απόψεις διαφορετικών κοινωνικών ομάδων και φορέων (π.χ. αγρότες και απλοί πολίτες), που δεν εμπλέκονται στις διαδικασίες λήψης αποφάσεων, δεν λαμβάνονται υπόψη, με αποτέλεσμα να γίνεται πιο δύσκολη η αποδοχή και η ευρύτερη εφαρμογή αυτών των λύσεων.

Τεχνικοί παράγοντες

Το επίπεδο τεχνικών γνώσεων και διαχειριστικής ικανότητας των υπηρεσιών ύδρευσης και αποχέτευσης για την αξιόπιστη παραγωγή και διανομή του ανακτημένου νερού για την ενίσχυση αστικών χρήσεων (π.χ. άρδευση χώρων αστικού πρασίνου) θεωρήθηκε ικανοποιητικό ή καλό από τους περισσότερους συμμετέχοντες στην έρευνα (44%), αποτελώντας έτσι κίνητρο για την εφαρμογή επεμβάσεων Ε&ΑΝ.

Αντιθέτως, η ικανότητα των πολιτών να χρησιμοποιούν το ανακτημένο νερό και να μεταχειρίζονται το σχετικό εξοπλισμό με ασφάλεια θεωρήθηκε χαμηλή από το 56% των ατόμων που συμμετείχαν στην έρευνα, καθώς η ενημέρωση των πολιτών σχετικά με το ανακτημένο νερό και την ορθή χρήση του είναι ελλιπής.

Επίσης, το κόστος κατασκευής αποχετευτικών δικτύων στις περιοχές που εξυπηρετούνται από βόθρους και σηπτικές δεξαμενές καθώς και το κόστος μετασκευής των υφιστάμενων υποδομών για την παροχή ανακτημένου νερού είναι επιπλέον τεχνικοί παράγοντες που επισημάνθηκαν από τους συμμετέχοντες στην έρευνα, και πρέπει να ληφθούν υπόψη για την προώθηση της εφαρμογής επεμβάσεων Ε&ΑΝ για αστικές χρήσεις στην περιοχή.

Νομικοί και Θεσμικοί παράγοντες

Το ιδιαίτερο καθεστώς παραχώρησης και το ανεξέλεγκτο εμπόριο δικαιωμάτων ιδιοκτησίας και χρήσης νερού αποτελεί το πιο σημαντικό νομικό εμπόδιο για την εφαρμογή επεμβάσεων Ε&ΑΝ στη ΛΑΠ Copiapó, σύμφωνα με το 72% των συμμετεχόντων στην έρευνα ερωτηματολογίων. Η αδυναμία οριοθέτησης της ιδιοκτησίας του ανακτημένου νερού καθιστά δύσκολη την εφαρμογή αυτών των λύσεων, καθώς οδηγεί συχνά σε συγκρούσεις σχετικά με τα δικαιώματα χρήσης και πώλησης του ανακτημένου νερού μεταξύ των παραγωγών των υγρών αποβλήτων, των χρηστών και των προμηθευτών πόσιμου νερού. Επιπροσθέτως, η απουσία κανονισμών και οδηγιών για Ε&ΑΝ δυσχεραίνει την εφαρμογή αντίστοιχων επεμβάσεων, σύμφωνα με το 62% των ατόμων που συμπλήρωσαν τα ερωτηματολόγια (το υπάρχον κανονιστικό πλαίσιο απαγορεύει την ανακύκλωση γκρίζου νερού για αστικές χρήσεις).

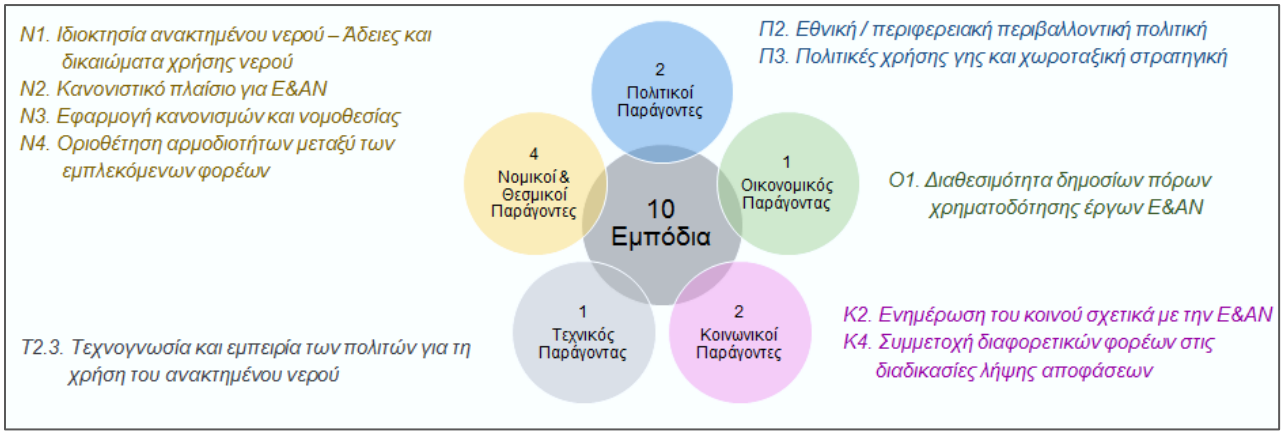
Επίσης, η απουσία θεσμικών οργάνων και κανονισμών για την εφαρμογή της νομοθεσίας και τον έλεγχο τήρησης των προτύπων και των προδιαγραφών ποιότητας και λειτουργίας των ΕΕΛ

επηρεάζει αρνητικά τη χρήση ανακτημένου νερού, καθώς το κοινό δεν έχει εμπιστοσύνη στις αρμόδιες υπηρεσίες για την ορθή επεξεργασία των υγρών αποβλήτων και την τήρηση των ποιοτικών ορίων και των κανονισμών (44% των ατόμων διατύπωσαν αυτήν την άποψη). Επιπλέον, σύμφωνα με το 61% των συμμετεχόντων στην έρευνα, η ευρύτερη εφαρμογή επεμβάσεων Ε&ΑΝ στην περιοχή ενδέχεται να παρεμποδίζεται από τις αντικρουόμενες δικαιοδοσίες, την αλληλοεπικάλυψη αρμοδιοτήτων και την έλλειψη συνεργασίας μεταξύ των εμπλεκόμενων φορέων σε θέματα διαχείρισης υδατικών πόρων.

Οι συμμετέχοντες στην έρευνα έκριναν ότι και οι 15 παράγοντες που έχουν επιρροή στις επεμβάσεις Ε&ΑΝ για αστικές χρήσεις στη ΛΑΠ Copiapó είναι σημαντικοί, εκτιμώντας τους 8 από αυτούς ως πολύ σημαντικούς και τους υπόλοιπους 7 (Π2, Π3, Ο5, Κ2, Κ3, Ν2 και Ν4) μετρίως έως πολύ σημαντικούς.

4.5.3. Σημαντικά Εμπόδια & Προτεραιότητες Επέμβασης

Τα 10 πολιτικά, οικονομικά, κοινωνικά, τεχνικά, νομικά και θεσμικά εμπόδια για την εφαρμογή επεμβάσεων Ε&ΑΝ για αστικές χρήσεις στη ΛΑΠ Copiapó, όπως εντοπίστηκαν από τους συμμετέχοντες στην έρευνα ερωτηματολογίων, παρουσιάζονται στην Εικόνα 4.34. Οι αλληλεξαρτήσεις μεταξύ των εμποδίων αυτών αναλύθηκαν και εντοπίστηκαν τα πιο σημαντικά εμπόδια, τα οποία δυσχεραίνουν περισσότερο την ενίσχυση των αστικών χρήσεων με ανακτημένο νερό, και κατ' επέκταση οι απαιτούμενες προτεραιότητες επέμβασης σε τοπικό επίπεδο.



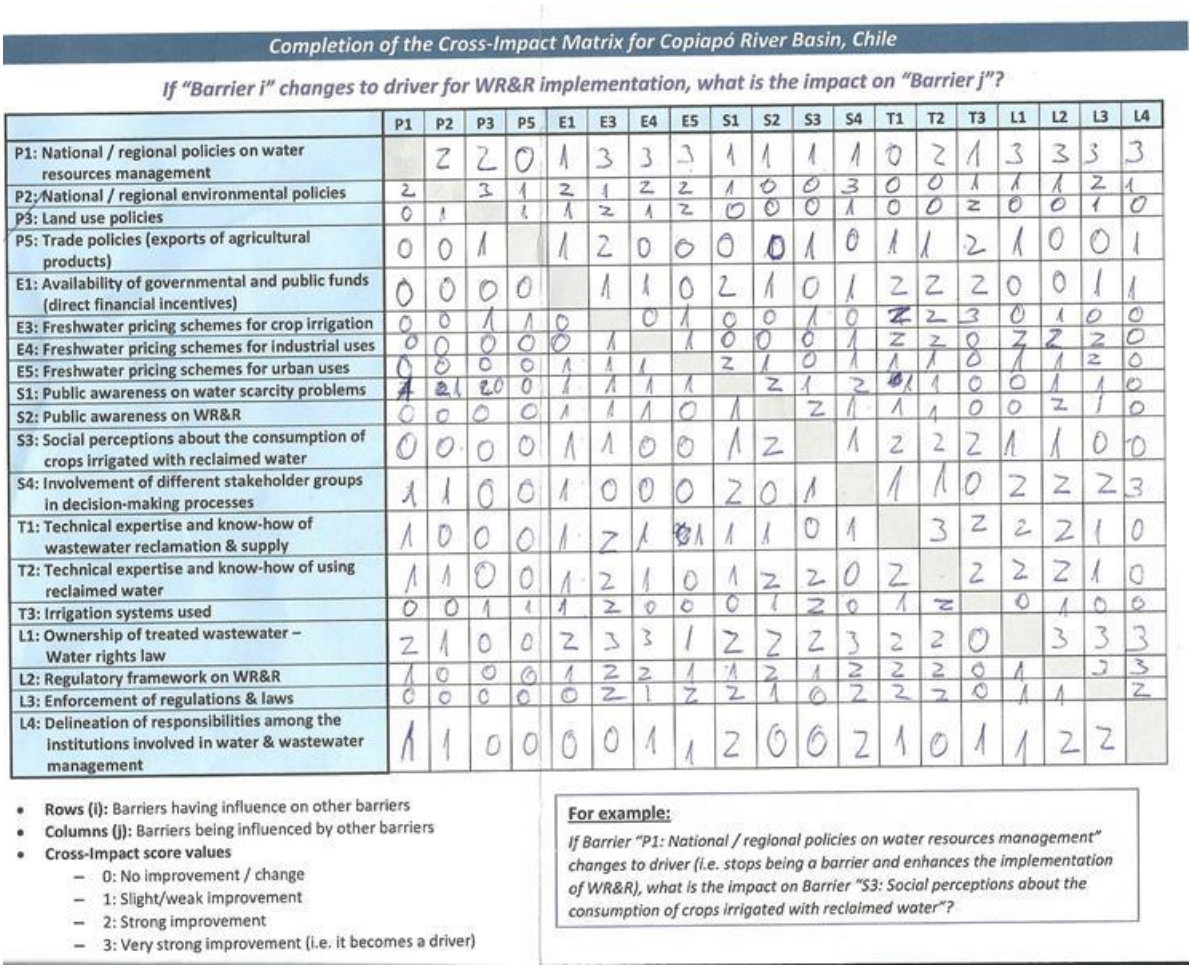
Εικόνα 4.34: Τα εμπόδια που εντοπίστηκαν για την εφαρμογή επεμβάσεων Ε&ΑΝ για αστικές χρήσεις στη ΛΑΠ Copiapó

4.5.3.1. Αξιολόγηση Αλληλεξαρτήσεων μεταξύ Εμποδίων

Οι αλληλεξαρτήσεις και η αμοιβαία επιρροή μεταξύ των 10 εμποδίων, που αναγνωρίστηκαν από την έρευνα ερωτηματολογίων, αξιολογήθηκαν μέσω της Ανάλυσης Αλληλεξαρτήσεων (Cross-Impact Analysis - CIA).

Ο πίνακας αλληλεξαρτήσεων (Cross-Impact Matrix - CIM) για τα ζεύγη όλων των πιθανών εμποδίων στην εφαρμογή επεμβάσεων E&AN στη ΛΑΠ Copiapó συμπληρώθηκε από τους τοπικούς εταίρους που συμμετείχαν στο ερευνητικό έργο COROADO και παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.35. Ο CIM περιλαμβάνει τις σχέσεις αιτίας-αποτελέσματος για κάθε ζεύγος εμποδίων. Για τη συμπλήρωση του CIM, αξιολογήθηκε η επιρροή κάθε εμποδίου που βρίσκεται στις γραμμές του CIM (εμπόδιο i) πάνω σε κάθε εμπόδιο που βρίσκεται στις στήλες του CIM (εμπόδιο j) μέσα από την ακόλουθη ερώτηση:

«Εάν το εμπόδιο i μετατραπεί σε κίνητρο για την εφαρμογή της επέμβασης E&AN, πώς θα επηρεαστεί από τη μετατροπή αυτή το εμπόδιο j;»



Completion of the Cross-Impact Matrix for Copiapó River Basin, Chile

If "Barrier i" changes to driver for WR&R implementation, what is the impact on "Barrier j"?

	P1	P2	P3	P5	E1	E3	E4	E5	S1	S2	S3	S4	T1	T2	T3	L1	L2	L3	L4
P1: National / regional policies on water resources management		2	2	0	1	3	3	3	1	1	1	1	0	2	1	3	3	3	3
P2: National / regional environmental policies	2		3	1	2	1	2	2	1	0	0	3	0	0	1	1	1	2	1
P3: Land use policies	0	1		1	1	2	1	2	0	0	0	1	0	0	2	0	0	1	0
P5: Trade policies (exports of agricultural products)	0	0	1		1	2	0	0	0	0	1	0	1	1	2	1	0	0	1
E1: Availability of governmental and public funds (direct financial incentives)	0	0	0	0		1	1	0	2	1	0	1	2	2	2	0	0	1	1
E3: Freshwater pricing schemes for crop irrigation	0	0	1	1	0		0	1	0	0	1	0	2	2	3	0	1	0	0
E4: Freshwater pricing schemes for industrial uses	0	0	0	0	0	1		1	0	0	0	1	2	2	0	2	2	2	0
E5: Freshwater pricing schemes for urban uses	0	0	0	0	1	1	1		2	1	0	1	1	1	0	1	1	2	0
S1: Public awareness on water scarcity problems	1	1	0	0	1	1	1	1		2	1	2	1	1	0	0	1	1	0
S2: Public awareness on WR&R	0	0	0	0	1	1	1	0	1		2	1	1	1	0	0	2	1	0
S3: Social perceptions about the consumption of crops irrigated with reclaimed water	0	0	0	0	1	1	0	0	1	2		1	2	2	2	1	1	0	0
S4: Involvement of different stakeholder groups in decision-making processes	1	1	0	0	1	0	0	0	2	0	1		1	1	0	2	2	2	3
T1: Technical expertise and know-how of wastewater reclamation & supply	1	0	0	0	1	2	1	1	1	1	0	1		3	2	2	2	1	0
T2: Technical expertise and know-how of using reclaimed water	1	1	0	0	1	2	1	0	1	2	2	0	2		2	2	2	1	0
T3: Irrigation systems used	0	0	1	1	1	2	0	0	0	1	2	0	1	2		0	1	0	0
L1: Ownership of treated wastewater – Water rights law	2	1	0	0	2	3	3	1	2	2	2	3	2	2	0		3	3	3
L2: Regulatory framework on WR&R	1	0	0	0	1	2	2	1	1	2	1	2	2	2	0	1		2	3
L3: Enforcement of regulations & laws	0	0	0	0	0	2	1	2	2	1	0	2	2	2	0	1	1		2
L4: Delineation of responsibilities among the institutions involved in water & wastewater management	1	1	0	0	0	0	1	1	2	0	0	2	1	0	1	1	2	2	

- **Rows (i):** Barriers having influence on other barriers
- **Columns (j):** Barriers being influenced by other barriers
- **Cross-Impact score values**
  - 0: No improvement / change
  - 1: Slight/weak improvement
  - 2: Strong improvement
  - 3: Very strong improvement (i.e. it becomes a driver)

For example:

If Barrier "P1: National / regional policies on water resources management" changes to driver (i.e. stops being a barrier and enhances the implementation of WR&R), what is the impact on Barrier "S3: Social perceptions about the consumption of crops irrigated with reclaimed water"?

Εικόνα 4.35: Ο CIM συμπληρωμένος από τους τοπικούς εταίρους του Ευρωπαϊκού ερευνητικού έργου COROADO για όλα τα πιθανά εμπόδια για την εφαρμογή επεμβάσεων E&AN στη ΛΑΠ Copiapó

Από τις εκτιμήσεις των τοπικών εταίρων προέκυψε ο CIM για τα 10 εμπόδια που αφορούν την εφαρμογή επεμβάσεων E&AN για αστικές χρήσης στη ΛΑΠ Copiapó (Πίνακας 4.18). Για κάθε ένα από τα εμπόδια του CIM υπολογίστηκαν το ενεργητικό άθροισμα (active sum – AS) και το παθητικό τους άθροισμα (passive sum - PS), που εκφράζουν τη συνολική επιρροή του κάθε εμποδίου σε όλα τα υπόλοιπα εμπόδια και τη συνολική επιρροή όλων των υπόλοιπων εμποδίων σε κάθε εμπόδιο αντίστοιχα. Υπολογίστηκε επίσης για κάθε εμπόδιο το γινόμενο P (P = AS x PS) και το πηλίκο Q (Q = AS/PS) του ενεργητικού και του παθητικού του αθροίσματος.

*Πίνακας 4.18: Ο CIM για τα εμπόδια εφαρμογής επεμβάσεων E&AN για αστικές χρήσεις στη ΛΑΠ Copiapó**

	Π2	Π3	Ο1	Κ2	Κ4	Τ2.3	Ν1	Ν2	Ν3	Ν4	AS
Π2		3	2	0	3	0	1	1	2	1	**13**
Π3	1		1	0	1	0	0	0	1	0	**4**
Ο1	0	0		1	1	2	0	0	1	1	**6**
Κ2	0	0	1		1	1	0	2	1	0	**6**
Κ4	1	0	1	0		1	2	2	2	3	**12**
Τ2.3	1	0	1	2	0		2	2	1	0	**9**
Ν1	1	0	2	2	3	2		3	3	3	**19**
Ν2	0	0	1	2	2	2	1		3	3	**14**
Ν3	0	0	0	1	2	2	1	1		2	**9**
Ν4	1	0	0	0	2	0	1	2	2		**8**
PS	**5**	**3**	**9**	**8**	**15**	**10**	**8**	**13**	**16**	**13**	

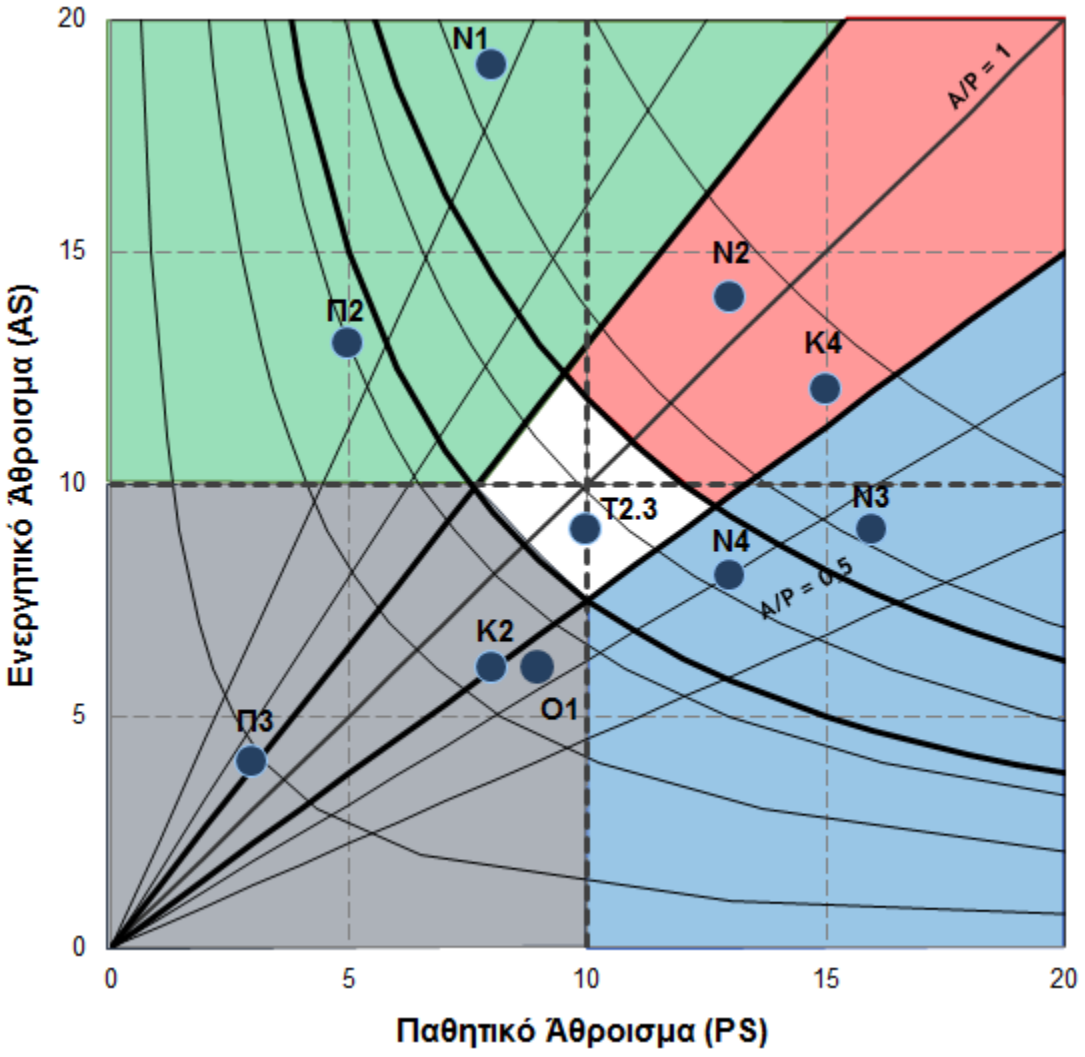
**0: καμία αλλαγή / βελτίωση στο εμπόδιο; 1: μικρή / ελαφρά βελτίωση στο εμπόδιο; 2: σημαντική βελτίωση στο εμπόδιο; 3: πολύ σημαντική βελτίωση, το εμπόδιο μετατρέπεται σε κίνητρο*

4.5.3.2. Ανάλυση Αλληλεξαρτήσεων & Προσδιορισμός Συστημικού Ρόλου Εμποδίων

Στη βάση των AS, PS, P και Q κατασκευάστηκε το πλέγμα αλληλεξαρτήσεων (Cross-Impact Grid), στο οποίο απεικονίζεται ο συστημικός ρόλος των εμποδίων (Εικόνα 4.36).

Όπως φαίνεται λοιπόν και στο πλέγμα αλληλεξαρτήσεων, τα εμπόδια κατηγοριοποιούνται ως εξής:

- **Ενεργητικά εμπόδια: Ν1, Π2**
- Παθητικά εμπόδια: Ν3, Ν4
- Κρίσιμα εμπόδια: Ν2, Κ4
- **Αδρανή εμπόδια: Π3, Κ2, Ο1**
- Ουδέτερα εμπόδια: Τ2.3



Εικόνα 4.36: Το πλέγμα αλληλεξαρτήσεων των εμποδίων εφαρμογής επεμβάσεων Ε&ΑΝ για αστικές χρήσεις στη ΛΑΠ Copiapó

Τα **σημαντικά εμπόδια**, στα οποία πρέπει να δοθεί προτεραιότητα κατά τη διαμόρφωση πολιτικών με στόχο την ανάπτυξη ευνοϊκού περιβάλλοντος για την εφαρμογή των επεμβάσεων Ε&ΑΝ, είναι τα **ενεργητικά εμπόδια**, τα οποία αναμένεται να έχουν τη μεγαλύτερη θετική επιρροή στο σύστημα, και τα **αδρανή εμπόδια**, τα οποία δεν μπορούν να επηρεαστούν και να μετατραπούν σε κίνητρα με άλλο τρόπο.

Συνεπώς, οι πιο σημαντικοί παράγοντες οι οποίοι πρέπει να βελτιωθούν για να προωθηθεί η εφαρμογή επεμβάσεων Ε&ΑΝ για αστικές χρήσεις στη ΛΑΠ Copiapó είναι: το νομικό πλαίσιο σχετικά με την ιδιοκτησία και τα δικαιώματα χρήσης του ανακτημένου νερού (Ν1), η απουσία περιβαλλοντικών πολιτικών που να εστιάζουν στη μείωση της ρύπανσης (Π2), η ένταξη της χρήσης ανακτημένου νερού στις πολιτικές χρήσεις γης και χωροταξικής ανάπτυξης (Π3), η

ελλιπής ενημέρωση του κοινού σχετικά με την Ε&ΑΝ (Κ2), και η απουσία κρατικών πηγών χρηματοδότησης έργων Ε&ΑΝ (Ο1).

4.5.4. Υποστηρικτικά Μέτρα για την Ανάπτυξη Ευνοϊκού Περιβάλλοντος

Η έλλειψη σαφήνειας σχετικά με το καθεστώς ιδιοκτησίας και τα δικαιώματα χρήσης του ανακτημένου νερού είναι το πιο σημαντικό νομικό εμπόδιο για την εφαρμογή επεμβάσεων Ε&ΑΝ στην περιοχή. Ένα ξεκάθαρο νομικό πλαίσιο που θα καθορίζει την ιδιοκτησία του ανακτημένου νερού ανάλογα με την προέλευσή του (π.χ. αστικά λύματα, γκρίζο νερό, βιομηχανικά λύματα), θα παραχωρεί τα αντίστοιχα δικαιώματα χρήσης και πώλησής του στους διάφορους χρήστες και θα ορίζει τη χρονική ισχύ των δικαιωμάτων αυτών, θα διευκόλυνε πολύ τη δημιουργία νέων σχημάτων Ε&ΑΝ στη ΛΑΠ Copiapó. Επίσης, κίνητρα για τη χρήση ανακτημένου νερού στο αστικό περιβάλλον και τη μείωση της απόρριψης των εκροών των ΕΕΛ στα υδατικά συστήματα θα μπορούσαν να δοθούν από σχετικές περιβαλλοντικές πολιτικές, οι οποίες θα στόχευαν στον περιορισμό της ρύπανσης, στην προστασία των υδατικών οικοσυστημάτων και στην προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή, μέσω της βελτίωσης της ποιότητας των υδάτων (π.χ. κανονισμοί σχετικά με την ποιότητα και την ποσότητα των εκροών των ΕΕΛ, ελάχιστα όρια ροής στα επιφανειακά και υπόγεια υδατικά συστήματα, και ποινές σε περίπτωση απόρριψης ανεπεξέργαστων λυμάτων στους αποδέκτες). Επιπλέον, η θεώρηση της χρήσης ανακτημένου νερού κατά τις διαδικασίες χάραξης των πολιτικών χρήσεων γης και της χωροταξικής στρατηγικής θα ευνοούσε πολύ την ανάπτυξη συστημάτων Ε&ΑΝ μέσα στον αστικό ιστό, π.χ. ανάπλαση εγκαταλελειμμένων αστικών περιοχών μέσω της δημιουργίας πάρκων και χώρων αναψυχής που θα αρδεύονται με ανακτημένο νερό. Επιπροσθέτως, η κοινωνική αποδοχή των συστημάτων αυτών θα αυξανόταν σημαντικά μέσω της πληροφόρησης της τοπικής κοινωνίας σχετικά με τα περιβαλλοντικά, οικονομικά και κοινωνικά οφέλη των πρακτικών Ε&ΑΝ. Η ενημέρωση των πολιτών γύρω από την Ε&ΑΝ θα βοηθούσε σημαντικά να ξεπεραστούν οι ανησυχίες και οι πιθανές παρανοήσεις σχετικά με τους κινδύνους που συνεπάγεται για τη δημόσια υγεία και το περιβάλλον η χρήση ανακτημένου νερού. Τέλος, άμεσα οικονομικά κίνητρα μέσα από κρατικά και κυβερνητικά προγράμματα επιχορηγήσεων, επιδοτήσεων και δάνεια θα μπορούσαν να ενθαρρύνουν τις επενδύσεις σε έργα Ε&ΑΝ.

Οι παράγοντες αυτοί είναι καθοριστικής σημασίας για τη δημιουργία ευνοϊκού περιβάλλοντος για την προώθηση της εφαρμογής των επεμβάσεων Ε&ΑΝ στη ΛΑΠ Copiapó, μειώνοντας έτσι σημαντικά την τρωτότητα της περιοχής στη σπανιότητα ύδατος. Τα υποστηρικτικά μέτρα που απαιτούνται για τη βελτίωση αυτών των παραγόντων και την ανάπτυξη ευνοϊκού περιβάλλοντος στη ΛΑΠ Copiapó παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.19.

Πίνακας 4.19: Σημαντικά εμπόδια (προτεραιότητες επέμβασης) και υποστηρικτικά μέτρα για την ανάπτυξη ευνοϊκού περιβάλλοντος

Π2. Εθνικές / περιφερειακές περιβαλλοντικές πολιτικές με στόχο τον περιορισμό της ρύπανσης των υδατικών πόρων, την προστασία των υδατικών οικοσυστημάτων και την προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή
• Ανάπτυξη και εφαρμογή κανονισμών για την επεξεργασία και τη διάθεση των υγρών αποβλήτων στους υδατικούς αποδέκτες (ποινές και κυρώσεις για παραβίαση ποιοτικών ορίων και επιβράβευση συμμόρφωσης με τους κανονισμούς) • Υιοθέτηση στόχων και μέτρων για την ποιότητα των επιφανειακών και υπόγειων υδατικών πόρων • Ανάπτυξη περιβαλλοντικών πολιτικών που θα στοχεύουν στην υιοθέτηση των πρακτικών Ε&ΑΝ από τη βιομηχανία, καθιστώντας απαραίτητη την ενσωμάτωση των εννοιών της κυκλικής οικονομίας και της βιομηχανικής συμβίωσης στο πλαίσιο της εταιρικής κοινωνικής ευθύνης των επιχειρήσεων • Επιβράβευση επιχειρήσεων και ιδιωτών που εφαρμόζουν πρακτικές και τεχνολογίες που ενισχύουν την ορθολογική χρήση των πόρων και την περιβαλλοντική προστασία (συμπεριλαμβανομένων των πρακτικών Ε&ΑΝ) • Ανάπτυξη διαύλων επικοινωνίας μεταξύ δυνητικών χρηστών (π.χ. αγρότες) και θεσμικών οργάνων • Παρακολούθηση της ποιότητας του ανακτημένου νερού σε όλο το μήκος της προμηθευτικής αλυσίδας • Ανάπτυξη ειδικών ομάδων / αρχών που αποτελούνται από επιστήμονες και εμπειρογνώμονες για την παρακολούθηση της εφαρμογής των περιβαλλοντικών πολιτικών
Π3. Ένταξη της χρήσης ανακτημένου νερού στις πολιτικές χρήσης γης & χωροταξικής στρατηγικής
• Προσαρμογή και αναδιάρθρωση των υφιστάμενων πολιτικών χρήσης γης στη βάση της μελλοντικής πυκνότητας πληθυσμού, της ποιότητας και διαθεσιμότητας υδατικών πόρων, και των τάσεων οικονομικής ανάπτυξης • Χρήση ανακτημένου νερού για την ενίσχυση της ανάπτυξης των περιοχών που βρίσκονται κοντά στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων • Προώθηση της χρήσης ανακτημένου νερού για άρδευση καλλιεργειών κατά την καλοκαιρινή περίοδο, για την αποφυγή της συρρίκνωσης των καλλιεργούμενων εκτάσεων και τον περιορισμό των οικονομικών απωλειών των αγροτών λόγω της περιορισμένης διαθεσιμότητας νερού • Χρήση ανακτημένου νερού σε οικιστικά και βιομηχανικά συγκροτήματα, κοινωνικές κατοικίες και δημόσια κτίρια • Αναβάθμιση περιοχών με ανάπτυξη χώρων αστικού πρασίνου αρδευόμενων με ανακτημένο νερό

Ο1. Μηχανισμοί χρηματοδότησης έργων Ε&ΑΝ (άμεσα οικονομικά κίνητρα)
• Διεύρυνση των υπαρχόντων μηχανισμών χρηματοδότησης για έργα Ε&ΑΝ. Πιθανοί μηχανισμοί χρηματοδότησης που μπορούν να εισαχθούν σε τοπικό επίπεδο για να υποστηρίξουν επεμβάσεις Ε&ΑΝ είναι: ○ *Κρατικά ή δημοτικά ομόλογα:* χρηματοδότηση του κόστους κεφαλαίου των συστημάτων Ε&ΑΝ μέσω της πώλησης μακροχρόνιων ομολόγων (20-30 χρόνια). ○ *Εθνικά ή τοπικά προγράμματα επιδοτήσεων.* ○ *Ανανεώσιμα κεφάλαια (revolving funds) και δάνεια με χαμηλό επιτόκιο:* προγράμματα οικονομικής βοήθειας που χορηγούνται από τοπικά χρηματοπιστωτικά ιδρύματα για την υποστήριξη της κατασκευής μονάδων Ε&ΑΝ. Τα επιτόκια δανεισμού είναι μικρότερα από τα τρέχοντα επιτόκια δανεισμού της αγοράς και η αποπληρωμή του δανείου συνήθως αρχίζει μετά την πάροδο ενός έτους από την ολοκλήρωση του έργου. Οι αποδόσεις των δανείων επιστρέφουν στο ταμείο του ιδρύματος για να δανειοδοτηθούν άλλα έργα. ○ *Πιστώσεις από ιδιωτικές ή κρατικές τράπεζες.* ○ *Στοχευμένα κυβερνητικά κεφάλαια:* π.χ. επιδοτήσεις για καινοτόμα ή φιλικά προς το περιβάλλον έργα, κίνητρα για επενδύσεις σε τεχνολογίες εξοικονόμησης νερού, ειδικά προγράμματα οικονομικών κινήτρων για την άρδευση με ανακτημένο νερό, επιδοτήσεις για μικρές / απομονωμένες κοινότητες ή κοινότητες που βρίσκονται κάτω από συγκεκριμένα εισοδηματικά όρια. ○ *Συμπράξεις δημόσιου & ιδιωτικού τομέα* ○ *Συνεισφορά από τους χρήστες:* σε ορισμένες περιπτώσεις, συνήθως στην περίπτωση συστημάτων Ε&ΑΝ για βιομηχανική χρήση, το κεφάλαιο για τη χρηματοδότηση των απαιτούμενων υποδομών (εγκαταστάσεις επεξεργασίας και δίκτυο διανομής) παρέχεται από τους βασικούς χρήστες του ανακτημένο νερού που θα επωφεληθούν περισσότερο από τις υποδομές αυτές. ○ *Χρηματοδοτικά προγράμματα από εθνικούς ή διεθνείς οργανισμούς (π.χ. US EPA, World Bank κλπ.)* • Υιοθέτηση ρυθμίσεων που διευκολύνουν την κινητοποίηση κεφαλαίων. • Ενίσχυση της ενημέρωσης και διευκόλυνση της πρόσβασης πιθανών επενδυτών στα κρατικά κεφάλαια.

Κ2. Ενημέρωση του κοινού σχετικά με την Ε&ΑΝ
• Ενημέρωση των πολιτών σχετικά με τα περιβαλλοντικά, οικονομικά και κοινωνικά οφέλη των πρακτικών Ε&ΑΝ, καθώς και με την προέλευση, τη φύση και την ορθή χρήση του ανακτημένου νερού. Πρωτοβουλίες ενημέρωσης του κοινού σχετικά με την Ε&ΑΝ συνήθως περιλαμβάνουν: ○ *Ενημερωτικά προγράμματα για μαθητές:* εισαγωγή μαθημάτων και σεμιναρίων σχετικά με τις τεχνολογίες, τις εφαρμογές, τις βέλτιστες πρακτικές και τα οφέλη της Ε&ΑΝ στα προγράμματα σπουδών σχολείων και πανεπιστημίων. ○ *Ενημερωτικές καμπάνιες για το ευρύ κοινό:* δημοσιεύσεις στον τοπικό και εθνικό τύπο, ενημερωτικές εκπομπές και ντοκιμαντέρ, τηλεοπτικές και ραδιοφωνικές συνεντεύξεις. ○ *Εκδηλώσεις για συγκεκριμένες ομάδες καταναλωτών (π.χ. αγρότες):* στοχευμένα σεμινάρια, ημερίδες, και συζητήσεις με ειδικούς για την προώθηση της Ε&ΑΝ. ○ *Διανομή έντυπου ενημερωτικού υλικού:* ενημερωτικά φυλλάδια, δελτία και εγχειρίδια. ○ *Διαδικτυακές ενημερωτικές καμπάνιες:* πληροφόρηση του κοινού σχετικά με την Ε&ΑΝ γενικά καθώς και σχετικά συγκεκριμένες προβλεπόμενες ή υφιστάμενες επεμβάσεις Ε&ΑΝ, με τη χρήση των μέσων κοινωνικής δικτύωσης και των ιστοσελίδων των σχετικών οργανισμών και υπηρεσιών. ○ *Διανομή οπτικοακουστικού υλικού:* παρουσίαση προσομοιώσεων του υδρολογικού κύκλου και μοντέλων Ε&ΑΝ και τεχνολογιών επεξεργασίας λυμάτων για την ενίσχυση της κατανόησης της διαδικασίας παραγωγής και της χρήσης του ανακτημένου νερού. ○ *Δημοσίευση ετήσιων εκθέσεων:* διάδοση δεδομένων και στοιχείων των υφιστάμενων συστημάτων Ε&ΑΝ σχετικά με την ποιότητα του ανακτημένου νερού, την οικονομική τους απόδοση, τη λειτουργία και τις προκλήσεις που αντιμετώπισαν τα συστήματα αυτά. • *Οργανωμένες επισκέψεις του κοινού στις εγκαταστάσεις των έργων Ε&ΑΝ:* επίσκεψη στα εργοστάσια επεξεργασίας λυμάτων ή στις περιοχές χρήσης του ανακτημένου νερού (π.χ. αρδευόμενες εκτάσεις και βιομηχανίες) για την ενίσχυση της εμπιστοσύνης του κοινού στις αρμόδιες εταιρίες επεξεργασίας και διανομής του ανακτημένου νερού.

Ν1. Ξεκάθαρο νομικό πλαίσιο σχετικά με την ιδιοκτησία / δικαιώματα χρήσης του ανακτημένου νερού
• Αποσαφήνιση των δικαιωμάτων ιδιοκτησίας, χρήσης και πώλησης του ανακτημένου νερού, λαμβάνοντας υπόψη την προέλευσή του (αστικά υγρά απόβλητα, βιομηχανικά υγρά απόβλητα, γκρίζο νερό), καθώς και τις πιθανές κοινωνικο-οικονομικές και περιβαλλοντικές συνέπειες λόγω της Ε&ΑΝ (π.χ. επιπτώσεις στους υδατικούς αποδέκτες και στους χρήστες κατάντη των ΕΕΛ). • Υιοθέτηση μέτρων για την προστασία των χρηστών που βρίσκονται κατάντη των ΕΕΛ, σε περίπτωση μείωσης των διαθέσιμων υδατικών πόρων, λόγω πώλησης των επεξεργασμένων αποβλήτων από τις ΕΕΛ σε άλλους χρήστες. Τέτοια μέτρα περιλαμβάνουν χρηματικές αποζημιώσεις, ορισμό ελάχιστης ποσότητας επεξεργασμένων λυμάτων που θα απορρίπτονται στους κατάντη αποδέκτες, παροχή εναλλακτικών υδατικών πόρων ή προγραμμάτων κατάρτισης για να ακολουθήσουν αυτοί οι χρήστες εναλλακτικά επαγγέλματα. • Εξασφάλιση επαρκούς ποσότητας νερού στους υδατικούς αποδέκτες κατάντη των ΕΕΛ για την προστασία των υδατικών οικοσυστημάτων. • Ανάπτυξη νομικών μηχανισμών, οι οποίοι θα ορίζουν τις προϋποθέσεις παραχώρησης των δικαιωμάτων χρήσης του ανακτημένου νερού καθώς και τις υποχρεώσεις των χρηστών και τη διάρκεια των δικαιωμάτων αυτών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

5.1. Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό αρχικά γίνεται ανακεφαλαίωση των αποτελεσμάτων της εφαρμογής του προτεινόμενου μεθοδολογικού πλαισίου στις 46 Λεκάνες Απορροής Ποταμών των 14 Υδατικών Διαμερισμάτων της Ελλάδας, καθώς και στη Λεκάνη Απορροής του Ποταμού Copiapó στη Χιλή, για την εκτίμηση της τρωτότητας των υδατικών συστημάτων στη σπανιότητα ύδατος, την αξιολόγηση της συνεισφοράς εναλλακτικών επεμβάσεων Ε&ΑΝ στη μείωση της, και την ανάπτυξη ευνοϊκού περιβάλλοντος για την εφαρμογή των επεμβάσεων Ε&ΑΝ. Παράλληλα, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή της μεθοδολογικής προσέγγισης (με μπλε πλάγια γράμματα). Στη συνέχεια, γίνεται σχολιασμός του προτεινόμενου μεθοδολογικού πλαισίου, αναλύοντας τα πλεονεκτήματα και τις αδυναμίες του σε σύγκριση με άλλες σχετικές μεθόδους που έχουν αναπτυχθεί ως τώρα, και εντοπίζεται η καινοτόμος συνεισφορά της προτεινόμενης μεθόδου. Τέλος, προτείνονται ιδέες για περαιτέρω έρευνα και συνέχιση της διατριβής, ώστε να εξελιχθεί το προτεινόμενο μεθοδολογικό πλαίσιο στο μέλλον.

5.2. Ανακεφαλαίωση Αποτελεσμάτων & Συμπεράσματα

5.2.1. Εκτίμηση Τρωτότητας Υδατικών Συστημάτων

Η τρωτότητα των 46 ελληνικών ΛΑΠ στη σπανιότητα ύδατος εκτιμήθηκε τόσο στη βάση δέκα επιμέρους δεικτών τρωτότητας, όσο και στη βάση του σύνθετου δείκτη τρωτότητας (VI), ο οποίος αναπτύχθηκε για τις συγκεκριμένες περιοχές μελέτης.

5.2.1.1. Επιμέρους Δείκτες Εκτίμησης Τρωτότητας

Οι δέκα επιμέρους δείκτες εκτίμησης της τρωτότητας επιλέχθηκαν από ένα μεγάλο σύνολο ευρέως αποδεκτών και χρησιμοποιούμενων δεικτών που προτείνονται από διεθνείς οργανισμούς για την εκτίμηση της τρωτότητας των υδατικών συστημάτων (Παράρτημα Ι). Η συνάφεια με την περιοχή μελέτης, η διαθεσιμότητα δεδομένων και η αποφυγή επικαλύψεων ήταν τα τρία βασικά κριτήρια που οδήγησαν στην επιλογή των δέκα επιμέρους δεικτών, μέσω των οποίων συνεκτιμώνται τόσο τα υδρολογικά όσο και τα κοινωνικό-οικονομικά χαρακτηριστικά των υπό μελέτη συστημάτων. Παράλληλα, οι δείκτες αυτοί εκφράζουν τις τρεις συνιστώσες της τρωτότητας, έκθεση – ευαισθησία – προσαρμοστική ικανότητα, όπως ορίζονται στο Κεφάλαιο 2 της παρούσας Διατριβής. Επιλέχθηκαν πέντε δείκτες έκθεσης και ευαισθησίας, και πέντε δείκτες προσαρμοστικής ικανότητας.

Οι δείκτες αυτοί υπολογίστηκαν για κάθε ΛΑΠ και κανονικοποιήθηκαν στη βάση των οριακών τους τιμών (thresholds), οι οποίες υποδηλώνουν τα σημεία εκείνα, κάτω ή πάνω από τα οποία η κατάσταση των συστημάτων αρχίζει να είναι προβληματική ή μη βιώσιμη. Από την

κανονικοποίηση και τη σύγκριση των δεικτών με τις οριακές τους τιμές προέκυψαν τα «προφίλ τρωτότητας» των 46 ελληνικών ΛΑΠ: Οι δείκτες έκθεσης και ευαισθησίας με τιμές μεγαλύτερες των οριακών εκφράζουν τους παράγοντες που προκαλούν την τρωτότητα των υδατικών συστημάτων, ενώ οι δείκτες προσαρμοστικής ικανότητας με τιμές μικρότερες των οριακών εκφράζουν τους παράγοντες που καθιστούν τα υδατικά συστήματα λιγότερο ικανά να αντιμετωπίσουν ενδεχόμενα προβλήματα λειψυδρίας, και άρα περισσότερο τρωτά.

Δείκτες Έκθεσης και Ευαισθησίας

Η έκθεση και η ευαισθησία αλληλοσυνδέονται και συσχετίζονται θετικά με την τρωτότητα, καθώς εκφράζουν τις ενδεχόμενες επιπτώσεις στα υδατικά συστήματα. Οι δείκτες που επιλέχθηκαν για την εκτίμηση της έκθεσης και της ενδογενούς ευαισθησίας των ΛΑΠ στη σπανιότητα ύδατος είναι οι ακόλουθοι:

- Δείκτης Falkenmark (F)
- Ανεπεξέργαστα υγρά απόβλητα προς τους ανανεώσιμους υδατικούς πόρους (WW)
- Δείκτης Εκμετάλλευσης Ύδατος – (Water Exploitation Index - WEI)
- Αυτάρκεια υδατικών πόρων (Water self-sufficiency - SELF)
- Πυκνότητα πληθυσμού (DENS)

Υπερβάσεις των οριακών τιμών εντοπίστηκαν για τους τέσσερις από τους πέντε δείκτες έκθεσης και ευαισθησίας, καθώς οι τιμές του δείκτη WW για την πλειοψηφία των ελληνικών ΛΑΠ (41 από τις 46) δεν ξεπερνά το 1%, υποδηλώνοντας πως η ποσότητα των ανεπεξέργαστων υγρών αποβλήτων είναι πολύ περιορισμένη και δεν επηρεάζει την τρωτότητα των ΛΑΠ. Οι ΛΑΠ Λεκανοπεδίου Αττικής και Χαλκιδικής ξεπερνούν κατά πολύ τις οριακές τιμές και στους τέσσερις αυτούς δείκτες, με αποτέλεσμα να εμφανίζουν τη μεγαλύτερη έκθεση και ευαισθησία συγκριτικά με τις υπόλοιπες ΛΑΠ. Η πλειοψηφία των ελληνικών ΛΑΠ έχει τιμές κοντά ή μεγαλύτερες των οριακών για τους δείκτες WEI και DENS, οι οποίοι εκφράζουν τους βασικούς παράγοντες έκθεσης και ευαισθησίας τους.

Ο δείκτης F είναι ένας από τους πιο ευρέως διαδεδομένους δείκτες για την αξιολόγηση της διαθεσιμότητας των υδατικών πόρων, και ορίζεται ως η συνολική ποσότητα των ανανεώσιμων υδατικών πόρων (επιφανειακών και υπόγειων) που εισέρχεται ετησίως σε μία περιοχή και είναι δυνητικά διαθέσιμη προς εκμετάλλευση για την κάλυψη των υδατικών αναγκών της, προς τον πληθυσμό της περιοχής αυτής (Falkenmark, 1989) (εκτιμά το θεωρητικό υδατικό δυναμικό μίας περιοχής, δεν αφορά τους πραγματικά εκμεταλλεύσιμους υδατικούς πόρους). Στην παρούσα ανάλυση, ως οριακή τιμή του δείκτη θεωρήθηκαν τα 1,700.00 m³ / κατ / έτος. Ο δείκτης F για το σύνολο της χώρας προέκυψε περίπου 6,735.00 m³ / κατ / έτος (μέτρια διαθεσιμότητα κατά τον Shiklomanov), και βρίσκεται πολύ κοντά στις τιμές που υπολογίστηκαν από την EEA (2004) (περίπου 7,000. 00 m³ / κατ / έτος), τη Eurostat (2010) (6,400.00 m³ / κατ / έτος), την έκθεση Ευρωπαϊκής Επιτροπής (Kirhensteine et al., 2016) (6,543.00 m³ / κατ / έτος για το 2011), και τη βάση δεδομένων AQUASTAT του FAO (2017) (6,244.00 m³ / κατ / έτος για το 2014).

Μόνο σε δύο από τις 46 ελληνικές ΛΑΠ, στις ΛΑΠ Λεκανοπεδίου Αττικής και Χαλκιδικής, οι τιμές του δείκτη F ξεπερνούν την οριακή τιμή του δείκτη (μικρότερες από 1,700 m³ / κατ / έτος) υποδηλώνοντας ανεπάρκεια των διαθέσιμων υδατικών πόρων να καλύψουν τις ανάγκες του πληθυσμού στις περιοχές αυτές. Οι τιμές του δείκτη μάλιστα για τις δύο αυτές ΛΑΠ είναι κάτω από 1,000 m³ / κατ / έτος (130 m³ / κατ / έτος για τη ΛΑΠ Λεκανοπεδίου Αττικής και 580 m³ / κατ / έτος για τη ΛΑΠ Χαλκιδικής) και σύμφωνα με τον Shiklomanov (ΕΕΑ, 2004) θεωρούνται καταστροφικά χαμηλές. Αυτός είναι και ο λόγος που οι ΛΑΠ αυτές τροφοδοτούνται κυρίως από μεταφορά υδατικών πόρων από άλλες περιοχές (κυρίως της δυτικής Ελλάδας).

Η ΛΑΠ με την τρίτη μικρότερη τιμή του δείκτη F μετά τις ΛΑΠ Λεκανοπεδίου Αττικής και Χαλκιδικής είναι η ΛΑΠ Κυκλάδων, στην οποία οι διαθέσιμοι υδατικοί πόροι είναι 1,995 m³ / κατ / έτος. Η τιμή αυτή είναι μεν μεγαλύτερη από την οριακή, όμως υποδηλώνει οριακές συνθήκες διαθεσιμότητας υδατικών πόρων. Η παρούσα ανάλυση γίνεται σε ετήσια βάση, με αποτέλεσμα να μην αναλύονται οι εποχιακές διακυμάνσεις στη διαθεσιμότητα των υδατικών πόρων, οι οποίες για την περιοχή των Κυκλάδων είναι μεγάλες με τη διαθεσιμότητα να περιορίζεται σημαντικά και να είναι σε πολλές περιπτώσεις μικρότερη της οριακής, ιδίως κατά τη θερινή περίοδο. Λόγω της περιορισμένης διαθεσιμότητας υδατικών πόρων στα νησιά των Κυκλάδων πραγματοποιείται μεταφορά νερού με υδροφόρα πλοία από την Αττική, κυρίως στα νησιά Αμοργός, Κουφονήσι, Κίμωλος, Ηρακλειά, Σχοινούσα, Δονούσα, Φολέγανδρος, Σίκινος και Θηρασία (ΥΠΕΚΑ, 2015β).

Στις υπόλοιπες ΛΑΠ οι θεωρητικά διαθέσιμοι υδατικοί πόροι ξεπερνούν τα 2,000 m³ / κατ / έτος, ενώ για την πλειοψηφία των ελληνικών ΛΑΠ (35 από τις 46 ΛΑΠ) ξεπερνούν τα 5,000 m³ / κατ / έτος, γεγονός που υποδηλώνει πώς οι δυνητικά διαθέσιμοι πόροι επαρκούν θεωρητικά για την κάλυψη των αναγκών. Στις ΛΑΠ τις Πελοποννήσου η διαθεσιμότητα ξεπερνά τα 5,000 m³ / κατ / έτος, ενώ στη δυτική πλευρά της χώρας (ΥΔ Δυτικής Στερεάς Ελλάδας και Ηπείρου) η διαθεσιμότητα στην πλειοψηφία των ΛΑΠ ξεπερνά τα 20,000 m³ / κατ / έτος (συνθήκες μεγάλης προσφοράς σχετικά με τη ζήτηση). Στο ΥΔ Ηπείρου μάλιστα βρίσκεται η ΛΑΠ με τη μεγαλύτερη διαθεσιμότητα υδατικών πόρων κατά κεφαλήν ετησίως (ΛΑΠ Αώου: 471,185 m³ / κατ / έτος). Στην ανατολική πλευρά της χώρας (ΥΔ Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας και Θεσσαλίας) η διαθεσιμότητα είναι αρκετά χαμηλότερη σε σχέση με τη δυτική. Εξαιτίας της διαφοράς μεταξύ διαθεσιμότητας υδατικών πόρων και ρυθμού ανάπτυξης ανάμεσα στο ανατολικό και στο δυτικό τμήμα της χώρας αναπτύσσεται σχέση εξάρτησης των ανατολικών από τα δυτικά ΥΔ, με αποτέλεσμα τη μεταφορά πόρων από τα δυτικά για την κάλυψη των αναγκών στα ανατολικά ΥΔ.

Ο δείκτης WW, που ισούται με τα αστικά λύματα που διατίθενται μη επεξεργασμένα στους επιφανειακούς και τους υπόγειους αποδέκτες κατά τη διάρκεια ενός έτους προς τους ανανεώσιμους υδατικούς πόρους, εκφράζει το επίπεδο ρύπανσης των υδατικών πόρων. Σε περίπτωση που η ποσότητα των ανεπεξέργαστων υγρών αποβλήτων ξεπερνάει το 10% της ποσότητας των θεωρητικά διαθέσιμων ανανεώσιμων υδατικών πόρων μίας περιοχής, θεωρείται πώς υπάρχει κίνδυνος ρύπανσης των υδατικών συστημάτων (10.00 % οριακή τιμή του δείκτη) (Huang & Cai, 2009).

Σύμφωνα με την παρούσα ανάλυση, το 73% του ελληνικού πληθυσμού εξυπηρετείται από ΕΕΛ, ενώ η ποσότητα των αστικών λυμάτων που διατίθενται μη επεξεργασμένα στους επιφανειακούς και τους υπόγειους αποδέκτες για το σύνολο της χώρας προέκυψε περίπου 189×10^6 m³ / έτος.

Το ποσοστό του εξυπηρετούμενου πληθυσμού σχεδόν ταυτίζεται με το ποσοστό που δίνεται από την ΕΛΣΤΑΤ για το 2012, σύμφωνα με την οποία το 92.03% του μόνιμου πληθυσμού των οικισμών μεγαλύτερων των 2,000 κατοίκων (8,404,110 κάτοικοι) εξυπηρετούνται από ΕΕΛ, με το 85.75% να υφίσταται τριτοβάθμια επεξεργασία (72% στο σύνολο του μόνιμου πληθυσμού).

Η κανονικοποιημένη τιμή του δείκτη WW και για τις 46 Ελληνικές ΛΑΠ είναι κατά πολύ μικρότερη της οριακής, καθώς μόνο σε 5 από αυτές (ΛΑΠ Λεκανοπεδίου Αττικής, Ασωπού, Γαλλικού, Χαλκιδικής και Κυκλάδων) η τιμή του δείκτη WW ξεπερνά το 1%. Η ΛΑΠ του Λεκανοπεδίου Αττικής έχει τη μεγαλύτερη τιμή του δείκτη (5.62%), η οποία οφείλεται στη μικρή ποσότητα των ανανεώσιμων πόρων (490×10^6 m^3 / έτος) και όχι στην παραγόμενη ποσότητα ανεπεξέργαστων λυμάτων (ο πληθυσμός που δεν εξυπηρετείται από ΕΕΛ στη ΛΑΠ του Λεκανοπεδίου Αττικής είναι περίπου 377,000 κάτοικοι, αποτελεί δηλαδή 11% του συνολικού πληθυσμού της). Η μικρότερη τιμή του δείκτη WW εμφανίζεται στη ΛΑΠ Αώου (0.01%) λόγω της μεγάλης ποσότητας ανανεώσιμων υδατικών πόρων σε αυτήν ($2,402\times10^6$ m^3 / έτος). Στη ΛΑΠ Αώου δεν υπάρχουν ΕΕΛ, καθώς οι οικισμοί της είναι μικρότεροι των 2,000 κατοίκων, όμως η παραγόμενη ποσότητα των ανεπεξέργαστων λυμάτων είναι πολύ μικρή συγκριτικά με τους διαθέσιμους υδατικούς πόρους.

Ο δείκτης WEI ισούται με το λόγο των μέσων ετήσιων συνολικών απολήψεων υδατικών πόρων (επιφανειακών και υπόγειων) για την κάλυψη των αναγκών μίας περιοχής προς τα διαθέσιμα αποθέματα ανανεώσιμων υδατικών πόρων στην περιοχή αυτή (ΕΕΑ, 2004). Οι συνολικές υδατικές απολήψεις μίας ΛΑΠ περιλαμβάνουν τις μέσες ετήσιες απολήψεις από τους υδατικούς πόρους της ΛΑΠ για την τροφοδότηση διαφόρων καταναλωτικών χρήσεων[15] είτε εντός της ΛΑΠ είτε σε άλλες ΛΑΠ, καθώς και το σύνολο των υδατικών πόρων που μεταφέρεται από άλλες ΛΑΠ και καταναλώνεται εντός αυτής. Στην παρούσα ανάλυση, ως οριακή τιμή του δείκτη θεωρήθηκε το 40%.

Σε επίπεδο χώρας οι συνολικές απολήψεις ανανεώσιμων υδατικών πόρων υπολογίστηκαν ίσες με 10.3×10^6 m^3 / έτος, τιμή που βρίσκεται πολύ κοντά σε αυτή που δίνεται στη βάση δεδομένων της Eurostat (9.5×10^6 m^3 / έτος). Ο δείκτης WEI για το σύνολο της χώρας εκτιμήθηκε περίπου 14%, υποδηλώνοντας πως σε εθνικό επίπεδο ο ρυθμός απολήψεων σε σχέση με τους διαθέσιμους πόρους είναι βιώσιμος μακροπρόθεσμα. Η τιμή αυτή είναι πολύ κοντά σε αυτές που υπολογίστηκαν από τη Eurostat (2010) (13% για το 2007), και τη βάση δεδομένων AQUASTAT του FAO (2017) (14.02% για το 2007).

Σε τρεις από τις 46 ελληνικές ΛΑΠ (4% του συνόλου), στις ΛΑΠ Λεκανοπεδίου Αττικής, Χαλκιδικής και Πείρου - Βέργα - Πηνειού, οι τιμές του δείκτη WEI ξεπερνούν την οριακή τιμή (μεγαλύτερες από 40%) υποδηλώνοντας αυξημένη πίεση στους διαθέσιμους υδατικούς πόρους λόγω των υδατικών απολήψεων. Οι τιμές του δείκτη μάλιστα για τις ΛΑΠ Λεκανοπεδίου Αττικής και Χαλκιδικής είναι μεγαλύτερες από 60% (103 % για τη ΛΑΠ Λεκανοπεδίου Αττικής και 65% για τη ΛΑΠ Χαλκιδικής) γεγονός που υποδεικνύει πως οι ρυθμοί απολήψεων σε σχέση με τη

[15] Ως καταναλωτικές χρήσεις θεωρούνται η ύδρευση, η άρδευση, η βιομηχανία και η παραγωγή ενέργειας, καθώς και η κτηνοτροφία. Η παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας δεν θεωρείται καταναλωτική χρήση, καθώς το νερό επιστρέφει στα υδατικά συστήματα μετά τη χρήση (Κουτσογιάννης κ.α., 2008).

διαθεσιμότητα νερού είναι μη βιώσιμοι. Ειδικότερα στην περίπτωση του Λεκανοπεδίου Αττικής, ο WEI είναι μεγαλύτερος από 100%, εκφράζοντας πως οι διαθέσιμοι πόροι της περιοχής έχουν εξαντληθεί πλήρως και δεν επαρκούν για την κάλυψη της ζήτησης, για αυτό και απαιτείται απόληψη και μεταφορά νερού από άλλες ΛΑΠ (θεωρητικά διαθέσιμοι πόροι: 489×10^6 m^3 / έτος; σύνολο απολήψεων: 506×10^6 m^3 / έτος). Συνεπώς, παρατηρείται πως παρόλο που σε εθνικό επίπεδο η τιμή του δείκτη WEI υποδηλώνει βιώσιμο ρυθμό απολήψεων, σε τοπικό επίπεδο υπάρχουν διαφοροποιήσεις και έντονα προβλήματα περιορισμένης προσφοράς σε σχέση με τη ζήτηση των υδατικών πόρων.

Πολύ κοντά στην οριακή τιμή του WEI βρίσκονται οι ΛΑΠ Βοιωτικού Κηφισού (35.40%), Αλιάκμονα (35.18%), Γαλλικού (34.78%), Ρεμάτων Ξάνθης – Ξηρορέματος (34.68%) και Πηνειού (32.94%). Οι τιμές του δείκτη WEI για την πλειοψηφία των ελληνικών ΛΑΠ (70%) είναι μικρότερες από 20%, δηλαδή ο ρυθμός των απολήψεων για την κάλυψη της ζήτησης είναι βιώσιμος και δεν εξαντλεί τους διαθέσιμους πόρους. Η μικρότερη τιμή του δείκτη WEI εμφανίζεται στη ΛΑΠ Αώου (0.74%), λόγω της αφθονίας διαθέσιμων πόρων (θεωρητικά διαθέσιμοι πόροι: $2,402\times10^6$ m^3 / έτος) σε σύγκριση με τις υδατικές απαιτήσεις του πληθυσμού (5,098 κάτοικοι, σύνολο απολήψεων: 18×10^6 m^3 / έτος).

Ο δείκτης SELF ισούται με το λόγο των υδατικών πόρων που εισέρχονται στην περιοχή μελέτης για την κάλυψη των υδατικών της αναγκών από άλλες περιοχές, προς το σύνολο των υδατικών πόρων (επιφανειακών και υπόγειων) που καταναλώνονται στην περιοχή μελέτης, και εκφράζει την υπέρβαση της δυναμικότητας (φέρουσας ικανότητας) των υδατικών συστημάτων της υπό μελέτη περιοχής και την εξάρτηση της από άλλα συστήματα για να εξυπηρετήσει τις υδατικές της ανάγκες. Οριακή τιμή του δείκτη θεωρήθηκε το 25% (Hamouda, 2009).

Στις ΛΑΠ Λεκανοπεδίου Αττικής, Χαλκιδικής, Λευκάδας και Μόρνου, οι τιμές του δείκτη SELF ξεπερνούν την οριακή τιμή υποδηλώνοντας εξάρτηση από άλλες ΛΑΠ.

Η περισσότερο εξαρτημένη από εξωτερικούς υδατικούς πόρους είναι η ΛΑΠ Λεκανοπεδίου Αττικής (δείκτης SELF: 80%). Οι ανάγκες ύδρευσης στη ΛΑΠ Αττικής (405.67×10^6 m^3 / έτος) καλύπτονται αποκλειστικά από επιφανειακούς πόρους εκτός της ΛΑΠ (Υδραγωγεία Εύηνου, Μόρνου και Υλίκης). Ειδικότερα, στο υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας αξιοποιούνται υδατικοί πόροι, οι οποίοι είναι κατά κύριο λόγο επιφανειακοί, και μπορούν να διακριθούν σε κύριους (ποταμοί Μόρνος, Εύηνος) και βοηθητικούς (λίμνη Υλίκη, ταμιευτήρας Μαραθώνα) (ΥΠΕΚΑ, 2013ε).

Σε πολύ μεγάλο βαθμό εξαρτημένη από εξωτερικούς υδατικούς πόρους είναι και η ΛΑΠ Χαλκιδικής (δείκτης SELF: 79%). Σύμφωνα με το ΥΠΕΚΑ (2013ι), μεταφέρονται ετησίως 342.79×10^6 m^3 από τον ταμιευτήρα Αγ. Βαρβάρας (ΥΔ 09) για την κάλυψη των υδατικών αναγκών της ΛΑΠ Χαλκιδικής, μέσω της ενωτικής διώρυγας Αλιάκμονα-Χαλκιδικής. Από τα 342.79×10^6 m^3, τα 43×10^6 m^3 συμβάλλουν στην κάλυψη των αναγκών ύδρευσης και τροφοδοτούν τις ανάγκες του Πολεοδομικού Συγκροτήματος Θεσσαλονίκης μέσω του δικτύου της ΕΥΑΘ, τα 6.59×10^6 m^3 συμβάλλουν στην κάλυψη των υδατικών αναγκών της βιομηχανίας, ενώ τα 293.20×10^6 m^3 καλύπτουν τις αρδευτικές ανάγκες των εκτάσεων του Γενικού Οργανισμού Εγγείων Βελτιώσεων Θεσσαλονίκης-Λαγκαδά.

Στη ΛΑΠ Λευκάδας (δείκτης SELF: 50%) μεταφέρονται 3×10^6 m^3 / έτος από τη ΛΑΠ Λούρου (Υδατικό Διαμέρισμα Θεσσαλίας, ΥΔ05) για την κάλυψη των αναγκών ύδρευσης (ΥΠΕΚΑ, 2012α).

Στη ΛΑΠ Μόρνου (δείκτης SELF: 37%) οι διάφορες καταναλωτικές χρήσεις τροφοδοτούνται κυρίως από ίδιους πόρους, ενώ γίνεται απόληψη 10×10^6 m^3 / έτος από το υπόγειο υδατικό σύστημα GR0400130 που εντάσσεται στην ΛΑΠ Αχελώου. Επίσης, πραγματοποιείται απόληψη 189×10^6 m^3 / έτος από τη ΛΑΠ Μόρνου για την κάλυψη των αναγκών ύδρευσης της Αθήνας (ΥΠΕΚΑ, 2012α).

Εκτός από τις τέσσερις αυτές ΛΑΠ που παρουσιάζουν εξάρτηση από εξωτερικούς υδατικούς πόρους, ο δείκτης SELF έχει τιμή μεγαλύτερη του 0 σε οχτώ ακόμα ΛΑΠ στις οποίες πραγματοποιείται μεταφορά νερού από άλλες ΛΑΠ, αλλά σε μικρά ποσοστά σε σχέση με τη συνολική υδατική τους κατανάλωση. Πιο συγκεκριμένα, οι ΛΑΠ αυτές είναι η ΛΑΠ Αχέροντα (δείκτης SELF: 4%), η ΛΑΠ Άμφισσας (δείκτης SELF: 3%), η ΛΑΠ Ασωπού (δείκτης SELF: 3%), η ΛΑΠ Αξιού (δείκτης SELF: 2%), η ΛΑΠ Βοιωτικού Κηφισού (δείκτης SELF: 1%), η ΛΑΠ Πηνειού (δείκτης SELF: 1%), η ΛΑΠ Κυκλάδων (δείκτης SELF: 1%), και η ΛΑΠ Δωδεκανήσων (δείκτης SELF: 1%). Οι τιμές του δείκτη SELF για τις υπόλοιπες ελληνικές ΛΑΠ (74% του συνόλου) είναι ίσες με 0 υποδηλώνοντας αυτάρκεια υδατικών πόρων και πλήρη κάλυψη των αναγκών τους από ίδιους πόρους.

Ο δείκτης DENS ορίζεται ως ο αριθμός των μόνιμων κατοίκων μίας περιοχής προς την έκταση της περιοχής αυτής (ΕΛΣΤΑΤ, 2011) και εκφράζει την τοπική πίεση που ασκείται στα υδατικά συστήματα από τις ανάγκες του πληθυσμού (Hamouda et al., 2009). Ως οριακή τιμή του δείκτη DENS στην παρούσα ανάλυση θεωρήθηκε η παγκόσμια μέση τιμή για το 2014, η οποία σύμφωνα με τη World Bank (World Bank Open Data) ήταν 56 κατ/χλμ^2.

Η πυκνότητα του πληθυσμού για το σύνολο της χώρας προέκυψε 82%. Σε 16 από τις 46 ελληνικές ΛΑΠ (35% του συνόλου) η πυκνότητα του πληθυσμού ξεπερνά την οριακή τιμή των 56 κατ/χλμ^2. Οι ΛΑΠ αυτές περιλαμβάνουν τα μεγάλα αστικά κέντρα της χώρας και τα πυκνοκατοικημένα νησιά. Η πλέον πυκνοκατοικημένη ΛΑΠ, με διαφορά από τις υπόλοιπες, είναι η ΛΑΠ του Λεκανοπεδίου Αττικής, με πυκνότητα πληθυσμού 1,183 κατ/χλμ^2 (τιμή περίπου 21 φορές μεγαλύτερη από την οριακή). Ακολουθεί η ΛΑΠ Χαλκιδικής με 208.13 κατ/χλμ^2, η ΛΑΠ Κέρκυρας – Παξών με 165 κατ/χλμ^2, η ΛΑΠ Ρεμάτων Βορείου Τμήματος Χανίων - Ρεθύμνου – Ηρακλείου στην Κρήτη με 126 κατ/χλμ^2, η ΛΑΠ Ρεμάτων Παραλίας Βορ. Πελοποννήσου (περιλαμβάνει την πόλη της Πάτρας) με 101 κατ/χλμ^2, η ΛΑΠ Ρεμάτων Αλμυρού – Πηλίου με 85 κατ/χλμ^2, η ΛΑΠ Δωδεκανήσων (περιλαμβάνει τα νησιά Ρόδος, Κως και Κάλυμνος) με 70 κατ/χλμ^2, η ΛΑΠ Λευκάδας με 65 κατ/χλμ^2, η ΛΑΠ Ρεμ Ξάνθης – Ξηρορέματος με 63 κατ/χλμ^2, η ΛΑΠ Βοιωτικού Κηφισού (περιλαμβάνει τον πληθυσμό της Λειβαδιάς και τμήμα του πληθυσμού της Χαλκίδας) με 62 κατ/χλμ^2, η ΛΑΠ Κεφαλονιάς - Ιθάκης – Ζακύνθου με 61 κατ/χλμ^2, η ΛΑΠ Αξιού με 61 κατ/χλμ^2, η ΛΑΠ Πείρου - Βέργα - Πηνειού στη Βόρεια Πελοπόννησο με 59 κατ/χλμ^2, και οι ΛΑΠ Ασωπού, Καλαμά στην Ήπειρο και Γαλλικού με 56 κατ/χλμ^2.

Τη μικρότερη πυκνότητα πληθυσμού έχει η ΛΑΠ Αώου με δείκτη DENS ίσο με 2 κατ/χλμ^2.

Δείκτες Προσαρμοστικής Ικανότητας

Η προσαρμοστική ικανότητα είναι αρνητικά συσχετισμένη με την τρωτότητα, καθώς εκφράζει την ικανότητα των υδατικών συστημάτων να αντιμετωπίζουν και να ξεπερνούν τους κινδύνους. Οι δείκτες που επιλέχθηκαν για την εκτίμηση της προσαρμοστικής ικανότητας των ΛΑΠ στη σπανιότητα ύδατος, δηλαδή της ικανότητας τους να προσαρμόζονται στις διαταραχές, να μετριάζουν πιθανές ζημιές, να επωφελούνται από τις ευκαιρίες, ή να αντιμετωπίζουν τις συνέπειες των μετασχηματισμών που τους συμβαίνουν, είναι οι εξής:

- Κάλυψη περιοχής από βλάστηση (VEG)
- Κατανάλωση εναλλακτικών υδατικών πόρων (ALT)
- Οικονομικά ενεργός πληθυσμός (EC)
- Πληθυσμός που δεν προχώρησε στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση (ED)
- Κατά κεφαλήν ΑΕΠ (GDP)

Η προσαρμοστική ικανότητα των ελληνικών ΛΑΠ είναι μέτρια, καθώς στην πλειοψηφία των περιπτώσεων οι τιμές των δεικτών βρίσκονται κοντά ή κάτω από τις αντίστοιχες οριακές. Εξαίρεση αποτελεί ο δείκτης VEG, την οριακή τιμή του οποίου ξεπερνούν κατά πολύ αρκετές ΛΑΠ, υποδηλώνοντας επαρκή κάλυψη από βλάστηση, και κατ 'επέκταση δυνατότητα αποφυγής των κινδύνων πλημμύρας και διάβρωσης των εδαφών. Αντιθέτως, στην πλειοψηφία των ελληνικών ΛΑΠ τιμή του δείκτη ALT ισούται με το 0, γεγονός που υποδηλώνει ότι η χρήση εναλλακτικών υδατικών πόρων στην Ελλάδα είναι ακόμα πολύ περιορισμένη. Επίσης, περιορισμένη είναι και η προσαρμοστική ικανότητα του πληθυσμού σε ενδεχόμενες αλλαγές, καθώς το μεγαλύτερο ποσοστό του πληθυσμού είναι οικονομικά μη ενεργό, ενώ το μορφωτικό και το βιοτικό του επίπεδο είναι χαμηλότερο σε σύγκριση με τα υπόλοιπα Κράτη Μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Ο δείκτης VEG ορίζεται ως το ποσοστό της συνολικής έκτασης μίας περιοχής που καλύπτεται από βλάστηση, π.χ. δάση και υγρότοποι, και εκφράζει την κατάσταση των υδάτινων οικοσυστημάτων και τη δυνατότητα αποφυγής των κινδύνων πλημμύρας και διάβρωσης των εδαφών (Babel et al., 2011). Ως οριακή τιμή του δείκτη VEG στην παρούσα ανάλυση θεωρήθηκε η παγκόσμια μέση τιμή κάλυψης των εδαφών από βλάστηση για το 2015, η οποία σύμφωνα με τη World Bank (World Bank Open Data) ήταν 31%.

Η κάλυψη της συνολικής έκτασης της χώρας από βλάστηση προέκυψε περίπου 45%[16]. Σε 11 από τις 46 ελληνικές ΛΑΠ (24% του συνόλου) η τιμή του δείκτη VEG είναι μικρότερη της οριακής τιμής, ενώ στην πλειοψηφία των ΛΑΠ το ποσοστό των εδαφών που καλύπτεται από βλάστηση είναι μεγαλύτερο του 31%. Οι ΛΑΠ στις οποίες το ποσοστό των εδαφών που καλύπτεται από βλάστηση είναι μικρότερο του 31% είναι η ΛΑΠ Κέρκυρας – Παξών (14%), που αποτελεί και τη ΛΑΠ με τη μικρότερη τιμή του δείκτη, η ΛΑΠ Γαλλικού (20%) και η ΛΑΠ Αξιού (30%) στην κεντρική Μακεδονία, η ΛΑΠ Πείρου-Βέργα-Πηνειού στη Βόρεια Πελοπόννησο (24%), η ΛΑΠ Ασωπού (25%) και η ΛΑΠ Βοιωτικού Κηφισού (28%) στην Ανατολική Στερεά Ελλάδα, οι ΛΑΠ Ρεμάτων Βορείου Τμήματος Χανίων - Ρεθύμνου – Ηρακλείου (26%), Ρεμάτων Νοτίου Τμήματος Χανίων -

[16] Σύμφωνα με τη World Bank, το 2015 η κάλυψη της χώρας από δασικές εκτάσεις ήταν 31.5% (World Bank Open Data).

Ρεθύμνου – Ηρακλείου (27%) και Ρεμάτων Ανατολικής Κρήτης (28%), η ΛΑΠ Κυκλάδων (27%), και η ΛΑΠ Λούρου στην Ήπειρο (29%). Τη μεγαλύτερη κάλυψη από βλάστηση έχει η ΛΑΠ Θάσου Σαμοθράκης (95%), ενώ πολύ μεγάλη έκταση βλάστησης έχουν και οι ΛΑΠ Αώου (80%), Άθως (80%) και Νέστου (80%), καθώς και οι ΛΑΠ Εύηνου (72%) και Μόρνου (69%).

Ο δείκτης ALT ορίζεται ως το ποσοστό της συνολικής υδατικής παροχής για κάλυψη των αναγκών μίας περιοχής που προέρχεται από εναλλακτικούς – μη συμβατικούς υδατικούς πόρους, δηλαδή από αφαλατωμένο ή ανακτημένο νερό. Ως οριακή τιμή του δείκτη θεωρήθηκε το 10% (Stathatou et al., 2016).

Σύμφωνα με την παρούσα ανάλυση το 0.6% της συνολικής κατανάλωσης υδατικών πόρων της χώρας προέρχεται από μη συμβατικούς πόρους, τιμή που επιβεβαιώνεται και από τη Eurostat και την Ευρωπαϊκή Επιτροπή (Kirhensteine et al., 2016), σύμφωνα με τους οποίους λιγότερο από 1% των συνολικών απολήψεων στην Ελλάδα προέρχονται από αφαλατωμένο ή ανακτημένο νερό, ενώ το ανακτημένο νερό είναι λιγότερο από το 5% της συνολικής ποσότητας των επεξεργασμένων λυμάτων. Οι εκτιμήσεις που έχουν καταγραφεί σχετικά με τη χρήση ανακτημένου νερού στην Ελλάδα διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους (Kirhensteine et al., 2016). Η μέση ποσότητα ανακτημένου νερού που χρησιμοποιείται ημερησίως εκτιμάται περίπου στα 28,000 m^3 (ή 10.2×10^6 m^3 το έτος) σύμφωνα με τους Kellis et al. (2013), ενώ σύμφωνα με το χρηματοδοτούμενο από την ΕΕ ερευνητικό έργο AQUAREC (διάρκεια 2003 – 2006) η ποσότητα αυτή ήταν το 2006 περίπου 23×10^6 m^3 το έτος (Hochstrat et al., 2006). Η συνολική ποσότητα ανακτημένου νερού που χρησιμοποιείται, όπως υπολογίστηκε στην παρούσα Διατριβή, είναι 33×10^6 m^3 ετησίως, ενώ η συνολική ποσότητα αφαλατωμένου νερού προέκυψε περίπου 18×10^6 m^3 το έτος. Η τιμή της ποσότητας ανακτημένου νερού που χρησιμοποιείται είναι κοντά στην τιμή που δίνεται από τη βάση δεδομένων AQUASTAT του FAO για το 2003 (27×10^6 m^3), αλλά απέχει πολύ από την τιμή που δίνεται για το 2010 (104×10^6 m^3).

Η τιμή του δείκτη ALT και για τις 46 Ελληνικές ΛΑΠ είναι κατά πολύ μικρότερη της οριακής, ενώ μόνο σε 9 από αυτές (ΛΑΠ Κεφαλονιάς – Ιθάκης - Ζακύνθου, Οροπεδίου Τρίπολης, Αξιού, Χαλκιδικής, Ρεμάτων Βορείου τμήματος Χανίων – Ρεθύμνου – Ηρακλείου, Ανατολικού Αιγαίου, Κυκλάδων και Δωδεκανήσων) η τιμή του δείκτη ξεπερνά το 1%. Στην πλειοψηφία των ΛΑΠ (σε 29 από τις 46 ΛΑΠ) η τιμή του δείκτη ισούται με το 0, γεγονός που υποδηλώνει ότι η χρήση εναλλακτικών υδατικών πόρων στην Ελλάδα είναι ακόμα πολύ περιορισμένη.

Τη μεγαλύτερη τιμή του δείκτη ALT έχει η ΛΑΠ Κυκλάδων (9.82%). Στα νησιά Τήνος, Μύκονος, Σύρος, Σίφνος, Πάρος, Κίμωλος, Μήλος, Φολέγανδρος, Σίκινος, Σαντορίνη, Θηρασία, Ίος, Κουφονήσι και Σχοινούσα λειτουργούν μονάδες αφαλάτωσης με συνολική δυναμικότητα 35,360.00 m^3 την ημέρα (Kartalidis et al., 2016), οι οποίες τροφοδοτούν με 4.26 εκ. m^3 ετησίως τη ΛΑΠ, σύμφωνα με την παρούσα ανάλυση. Επίσης, στη ΛΑΠ Κυκλάδων πραγματοποιείται επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για άρδευση κήπων και πάρκων στον οικισμό Κένταρχος της Σερίφου (100 m^3 / ημέρα για έκταση 50 στρεμμάτων), χρησιμοποιώντας συνολικά περίπου 0.01×10^6 m^3 ανακτημένου νερού ετησίως (US EPA, 2004; Karamanos et al., 2005; Ilias et al., 2014).

Την αμέσως μεγαλύτερη τιμή του δείκτη ALT μετά τη ΛΑΠ Κυκλάδων έχει η ΛΑΠ Οροπεδίου Τρίπολης (7.28%). Σύμφωνα με το ΥΠΕΚΑ (2011ι) και τους Kartalidis et al. (2016), δεν υπάρχουν μονάδες αφαλάτωσης στη ΛΑΠ Οροπεδίου Τρίπολης, ενώ πραγματοποιείται έμμεση επαναχρησιμοποίηση 2.16×10^6 m^3 ανακτημένου νερού το έτος για άρδευση (18,000 m^3 την ημέρα για 120 ημέρες το χρόνο) (Ilias et al., 2014).

Η μεγαλύτερη ποσότητα αφαλατωμένου νερού ετησίως χρησιμοποιείται στη ΛΑΠ Χαλκιδικής. Σύμφωνα με το ΥΠΕΚΑ (2013ι), για τη λειτουργία του ΑΗΣ Θεσσαλονίκης χρησιμοποιούνται 12×10^6 m^3 απιονισμένου νερού υψηλής καθαρότητας ετησίως, που παράγονται από αφαλάτωση θαλασσινού νερού, το οποίο μεταφέρεται στη μονάδα με αγωγούς μήκους 6.50 χλμ. από το Θερμαϊκό κόλπο μέσω αντλιοστασίου που έχει εγκατασταθεί στην παραλία.

Η μεγαλύτερη ποσότητα ανακτημένου νερού χρησιμοποιείται στη ΛΑΠ Αξιού, όπου πραγματοποιείται επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για άρδευση καλλιεργειών καλαμποκιού, ζαχαρότευτλων και ρυζιού, έκτασης 25,000.00 στρεμμάτων, χρησιμοποιώντας περίπου 19.80×10^6 m^3 ανακτημένου νερού ετησίως (165,000.00 m^3 την ημέρα για 120 ημέρες) (Karamanos et al., 2005).

Ο δείκτης EC ορίζεται ως το ποσοστό του μόνιμου πληθυσμού μίας περιοχής που ανήκει στον οικονομικά ενεργό πληθυσμό, δηλαδή το ποσοστό του πληθυσμού που είναι μεταξύ 15 και 60 ετών (ΕΛΣΤΑΤ, 2014β). Το ποσοστό αυτό θεωρείται ότι έχει πρόσβαση στους οικονομικούς πόρους και μπορεί να προσαρμοστεί πιο εύκολα σε τυχόν αλλαγές που μπορούν να επιφέρουν στον τρόπο ζωής οι συνθήκες περιορισμένης διαθεσιμότητας υδατικών πόρων (Babel et al., 2011). Ως οριακή τιμή του δείκτη EC στην παρούσα ανάλυση θεωρήθηκε η παγκόσμια μέση τιμή για το 2014, η οποία σύμφωνα με τη World Bank (World Bank Open Data) ήταν 69%.

Στο σύνολο της χώρας ο οικονομικά ενεργός πληθυσμός αποτελεί το 42% (ΕΛΣΤΑΤ, 2011β). Η τιμή του δείκτη EC σε όλες τις ΛΑΠ είναι μικρότερη της οριακής, και κυμαίνεται μεταξύ 33% (ΛΑΠ Μόρνου) και 58% (ΛΑΠ Γαλλικού) με μέση τιμή το 40%. Οι τιμές του δείκτη EC για τις 46 ελληνικές ΛΑΠ υποδηλώνουν πως το μεγαλύτερο ποσοστό του πληθυσμού είναι οικονομικά μη ενεργό και ενδέχεται να δυσκολεύεται να προσαρμοστεί σε πιθανές αλλαγές.

Ο δείκτης ED ορίζεται ως το ποσοστό του μόνιμου πληθυσμού μίας περιοχής που δεν προχώρησε στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση, και εκφράζει το μορφωτικό επίπεδο του πληθυσμού. Ο πληθυσμός που δεν προχώρησε στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση θεωρείται ότι δυσκολεύεται να προσαρμοστεί σε τυχόν αλλαγές που μπορούν να επιφέρουν στον τρόπο ζωής οι συνθήκες περιορισμένης διαθεσιμότητας υδατικών πόρων, καθώς έχει μειωμένη πρόσβαση στην τεχνολογία, τη γνώση και την ενημέρωση (Babel et al., 2011). Ως οριακή τιμή του δείκτη ED στην παρούσα ανάλυση θεωρήθηκε η μέση τιμή για την Ευρωπαϊκή Ένωση το 2013, η οποία σύμφωνα με τη βάση δεδομένων της Eurostat ήταν 27%.

Στο σύνολο της χώρας ο πληθυσμός που δεν προχώρησε στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση αποτελεί το 42% (ΕΛΣΤΑΤ, 2011β). Για το σύνολο των ελληνικών ΛΑΠ η τιμή του δείκτη ED είναι αρκετά μικρότερη της οριακής, υποδηλώνοντας πως το μορφωτικό επίπεδο του πληθυσμού της χώρας δεν είναι υψηλό σε σύγκριση με τα υπόλοιπα Κράτη Μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Το χαμηλότερο μορφωτικό επίπεδο στη βάση του δείκτη ED έχει η ΛΑΠ Γαλλικού στην κεντρική

Μακεδονία, με ποσοστό 73% να μην έχει προχωρήσει στη δεύτερη βαθμίδα της εκπαίδευσης, και το υψηλότερο έχει η ΛΑΠ Λεκανοπεδίου Αττικής με ποσοστό 33% να μην έχει προχωρήσει στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση. Η μέση τιμή του δείκτη για τις 46 ελληνικές ΛΑΠ είναι 50%. Συνεπώς, η προσαρμοστική ικανότητα του πληθυσμού σε ενδεχόμενες αλλαγές θεωρείται μικρή.

Ο δείκτης GDP προκύπτει διαιρώντας τη συνολική ακαθάριστη αξία από όλα τα προϊόντα και τα αγαθά που παράγει η τοπική οικονομία μίας ΛΑΠ σε διάστημα ενός έτους (ΑΕΠ), προς τον πληθυσμό της ΛΑΠ (World Bank, 2015), και εκφράζει το βιοτικό επίπεδο του πληθυσμού. Μεγάλες τιμές του δείκτη εκφράζουν αυξημένη πρόσβαση του πληθυσμού σε τεχνολογία και οικονομικούς πόρους, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αντιμετωπιστούν ενδεχόμενα προβλήματα λειψυδρίας και σπανιότητας ύδατος (Babel et al., 2011). Ως οριακή τιμή του δείκτη GDP στην παρούσα ανάλυση θεωρήθηκε η μέση τιμή για την Ευρωπαϊκή Ένωση το 2013, η οποία σύμφωνα με τη βάση δεδομένων της Eurostat ήταν 23,200 € / κάτοικο.

Στο σύνολο της χώρας το κατά κεφαλήν ΑΕΠ είναι 18,643 € / κάτοικο (ΕΛΣΤΑΤ, 2011γ). Για την πλειοψηφία των ελληνικών ΛΑΠ η τιμή του δείκτη GDP είναι μικρότερη της οριακής, υποδηλώνοντας πως το βιοτικό επίπεδο του πληθυσμού της χώρας δεν είναι υψηλό σε σύγκριση με τα υπόλοιπα Κράτη Μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Μόνο τρεις από τις 46 ΛΑΠ (ποσοστό 6.5%) έχουν τιμή του δείκτη μεγαλύτερη της οριακής, η ΛΑΠ Λεκανοπεδίου Αττικής (25,373 € / κάτοικο), η ΛΑΠ Ασωπού (24,433 € / κάτοικο) και η ΛΑΠ Κυκλάδων (23,442 € / κάτοικο). Τη μικρότερη τιμή του δείκτη έχει η ΛΑΠ Στρυμόνα με GDP 11,971 € / κάτοικο.

5.2.1.2. Σύνθετος Δείκτης VI

Οι δέκα επιμέρους δείκτες τρωτότητας που υπολογίστηκαν για κάθε ΛΑΠ (πέντε δείκτες έκθεσης και ευαισθησίας και πέντε δείκτες προσαρμοστικής ικανότητας) συνδυάστηκαν στο Σύνθετο Δείκτη Τρωτότητας (VI), ο οποίος ακολουθεί το εννοιολογικό πλαίσιο εκτίμησης της τρωτότητας και αποτελείται από τους δύο επιμέρους σύνθετους δείκτες έκθεσης και ευαισθησίας (ESI), και προσαρμοστικής ικανότητας (ACI). Η στατιστική μέθοδος στάθμισης Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών (ΑΚΣ) εφαρμόστηκε ξεχωριστά στους πέντε επιμέρους δείκτες έκθεσης και ευαισθησίας και στους πέντε επιμέρους δείκτες προσαρμοστικής ικανότητας για την ανάπτυξη των σύνθετων δεικτών ESI και ACI αντίστοιχα, χρησιμοποιώντας το δείγμα δεδομένων των 46 ελληνικών ΛΑΠ. Από τη σύνθεση των δύο σύνθετων δεικτών προέκυψε ο VI, στη βάση του οποίου έγινε συγκριτική αξιολόγηση της τρωτότητας των ΛΑΠ.

Από τη συγκριτική αξιολόγηση και την ιεράρχηση των 46 ελληνικών ΛΑΠ ως προς τον VI, προκύπτει περισσότερο τρωτή η ΛΑΠ του Λεκανοπεδίου Αττικής (VI = 0.49) και λιγότερο τρωτή η ΛΑΠ Θάσου Σαμοθράκης (VI = -0.27).

Η πλειοψηφία των ελληνικών ΛΑΠ (38 από τις 46 ΛΑΠ, ποσοστό 83%) έχει χαμηλή (κάτω της οριακής τιμής) έκθεση και ευαισθησία στη σπανιότητα ύδατος, με τιμές του δείκτη ESI μικρότερες από 0.1. Η ΛΑΠ Αώου στην Ήπειρο έχει μηδενική έκθεση και ευαισθησία (τιμή δείκτη 0), ενώ η ευαισθησία και η έκθεση των ΛΑΠ Αλφειού στη Δυτική Πελοπόννησο, Αχελώου και Εύηνου στη Δυτική Στερεά Ελλάδα, Αράχθου στην Ήπειρο, Άθως στην Κεντρική Μακεδονία,

Νέστου και Έβρου στη Θράκη είναι ιδιαίτερα χαμηλή (τιμές δείκτη 0.02-0.03). Αντιθέτως, η ΛΑΠ Λεκανοπεδίου Αττικής έχει πολύ υψηλή έκθεση και ευαισθησία στη σπανιότητα ύδατος (τιμή δείκτη 0.65). Ακολουθεί η ΛΑΠ Χαλκιδικής με υψηλή έκθεση και ευαισθησία (τιμή δείκτη 0.46). Οι ΛΑΠ Ρεμάτων Παραλίας Βορ. Πελοποννήσου, Λευκάδας, Κέρκυρας – Παξών, Ρεμάτων Αλμυρού – Πηλίου, Γαλλικού στην Κεντρική Μακεδονία και Ρεμάτων Βορείου Τμήματος Χανίων – Ρεθύμνου – Ηρακλείου στην Κρήτη έχουν μέτρια έκθεση και ευαισθησία (τιμές δείκτη 0.10-0.15).

Η προσαρμοστική ικανότητα της χώρας σε συνθήκες σπανιότητας ύδατος είναι μέτρια (τιμές δεικτών 0.11-0.24), με εξαίρεση τη ΛΑΠ Θάσου Σαμοθράκης, η οποία έχει υψηλή προσαρμοστική ικανότητα (τιμή δείκτη 0.32). Οριακά πάνω από την οριακή τιμή του δείκτη ACI βρίσκονται οι ΛΑΠ Αώου στην ήπειρο, Άθως στην Κεντρική Μακεδονία και Νέστου στη Θράκη.

Η πλειοψηφία των ελληνικών ΛΑΠ (38 ΛΑΠ, ποσοστό 83%) οριακά δεν είναι τρωτή στην σπανιότητα ύδατος (τιμές VI μικρότερες της οριακής). Υπάρχει σχεδόν ταύτιση μεταξύ των ΛΑΠ αυτών και των ΛΑΠ με χαμηλή έκθεση και ευαισθησία (τιμές του δείκτη ESI μικρότερες από 0.1). Τρεις από τις 38 αυτές ΛΑΠ είναι μάλιστα ανθεκτικές σε συνθήκες σπανιότητας ύδατος με τιμές VI μικρότερες από -0.20 (από την περισσότερο στην λιγότερο ανθεκτική: ΛΑΠ Θάσου Σαμοθράκης, Αώου στην Ήπειρο και Άθως στην Κεντρική Μακεδονία). Αυτές οι τρεις ΛΑΠ συνδυάζουν μηδενική ή πολύ χαμηλή έκθεση και ευαισθησία με προσαρμοστική ικανότητα μεγαλύτερη της οριακής. Χαμηλή τρωτότητα στη σπανιότητα ύδατος έχουν οι ΛΑΠ Λευκάδας, Κέρκυρας – Παξών, και Ρεμάτων Βορείου Τμήματος Χανίων – Ρεθύμνου – Ηρακλείου στην Κρήτη (τιμές VI μεγαλύτερες της οριακής και μικρότερες από 0.20). Υψηλή τρωτότητα στη σπανιότητα ύδατος έχει η ΛΑΠ Λεκανοπεδίου Αττικής, λόγω της πολύ υψηλής της έκθεσης και ευαισθησίας (τιμή VI 0.49). Ακολουθεί η ΛΑΠ Χαλκιδικής, η οποία είναι επίσης τρωτή στη σπανιότητα ύδατος λόγω υψηλής έκθεσης και ευαισθησίας (τιμή VI 0.31).

5.2.2. Αξιολόγηση Επεμβάσεων Ε&ΑΝ ως προς τη Μείωση της Τρωτότητας

Η ΛΑΠ Λεκανοπεδίου Αττικής είναι η περισσότερο τρωτή στη σπανιότητα ύδατος από της 46 ελληνικές ΛΑΠ (VI = 0.49), καθώς παρουσιάζει πολύ υψηλή έκθεση και ευαισθησία (ESI = 0.65) και μέτρια προσαρμοστική ικανότητα (ACI = 0.16). Οι τιμές των δεικτών της ΛΑΠ για τους τέσσερις από τους πέντε δείκτες έκθεσης και ευαισθησίας ξεπερνούν κατά πολύ τις οριακές, επιβεβαιώνοντας πως οι διαθέσιμοι πόροι της περιοχής έχουν εξαντληθεί πλήρως και δεν επαρκούν για την κάλυψη της ζήτησης, καθιστώντας την εξαρτημένη από εξωτερικούς υδατικούς πόρους. Επίσης, οι τιμές των δεικτών της ΛΑΠ για τους τρεις από τους πέντε δείκτες προσαρμοστικής ικανότητας είναι μικρότερες από τις οριακές, ενώ οι υπόλοιπες δύο είναι πολύ κοντά σε αυτές, υποδηλώνοντας μειωμένη ανθεκτικότητα των υδατικών συστημάτων της ΛΑΠ (αμελητέα χρήση εναλλακτικών υδατικών πόρων, περιορισμένο «κοινωνικό κεφάλαιο»).

Για την περισσότερο τρωτή ελληνική ΛΑΠ λοιπόν, αξιολογήθηκαν εναλλακτικές επεμβάσεις Ε&ΑΝ, ως προς τη συνεισφορά τους στη μείωση της τρωτότητας. **Επτά σενάρια πιθανών επεμβάσεων Ε&ΑΝ** προέκυψαν στη βάση των προτάσεων που παρουσιάζονται στο «Στρατηγικό Σχέδιο (Master Plan) για την Επαναχρησιμοποίηση των Εκροών των ΕΕΛ στην

Αττική» (Υπουργείο Υποδομών, Μεταφορών και Δικτύων, 2009), τα οποία κατατάχθηκαν στους 5 τύπους επεμβάσεων που ορίζονται στο Κεφάλαιο 3 της παρούσας Διατριβής:

- ***Τύπος #1: Άρδευση***
    - *Σενάριο #1.Α: Ε&ΑΝ από την ΕΕΛ Μεγάρων για άρδευση καλλιεργειών στα Μέγαρα και στη Ν. Πέραμο*
    - *Σενάριο #1.Β: Ε&ΑΝ από τις ΕΕΛ Μεσογείων (Κερατέας και Λαυρίου) για άρδευση καλλιεργειών στα Μεσόγεια*
- ***Τύπος #2: Αστικές και περιαστικές χρήσεις***
- ***Τύπος #3: Βιομηχανικές χρήσεις***
    - *Σενάριο #3: Ε&ΑΝ από την ΕΕΛ Θριασίου για βιομηχανική χρήση σε Ασπρόπυργο, Ελευσίνα και Μάνδρα*
- ***Τύπος #4: Περιβαλλοντική προστασία και ενίσχυση υπηρεσιών οικοσυστήματος***
- ***Τύπος #5: Σύνθετα σχήματα για πολλαπλές χρήσεις***
    - *Σενάριο #5.Α: Ε&ΑΝ από την ΕΕΛ Ψυττάλειας Α - μαξιμαλιστικό σενάριο, πλήρηςαπορρόφηση επεξεργασμένων εκροών από τα όρη Ποικίλο και Αιγάλεω, το παραλιακό μέτωπο Φαλήρου-Βουλιαγμένης και από Πειραιά, Νίκαια, Κορυδαλλό, Πέραμα, Κερατσίνι, Δραπετσώνα, και Σαλαμίνα*
    - *Σενάριο #5.Β: Ε&ΑΝ από την ΕΕΛ Ψυττάλειας Β - συντηρητικό σενάριο, ασφαλές για όλη τη διάρκεια ζωής του έργου, παροχή επεξεργασμένων εκροών στο παραλιακό μέτωπο Φαλήρου-Βουλιαγμένης και σε Πειραιά, Νίκαια, Κορυδαλλό, Πέραμα, Κερατσίνι, Δραπετσώνα, και Σαλαμίνα*
    - *Σενάριο #5.Γ: Ε&ΑΝ από την ΕΕΛ Μεταμόρφωσης για τροφοδότηση των περιοχών Μεταμόρφωση, Λυκόβρυση, Πεύκη, Ν. Φιλαδέλφεια, Ν. Ιωνία, Αγ. Ανάργυροι, Νέα Χαλκηδόνα, Περιστέρι, Αιγάλεω, Αγ. Βαρβάρα, Ταύρος, Αγ. Ιωάννης Ρέντης, Άνω Λιόσια, Καματερό, Φυλή, Ίλιον, Πετρούπολη*
    - *Σενάριο #5.Δ: Συνδυασμός σεναρίων 1.Α, 1.Β, 3, 5.Α, 5.Β & 5.Γ*

Ο σύνθετος δείκτης τρωτότητας VI της ΛΑΠ Λεκανοπεδίου Αττικής υπολογίστηκε για κάθε εναλλακτική επέμβαση - σενάριο Ε&ΑΝ, λαμβάνοντας υπόψη τις αλλαγές στους αντίστοιχους επιμέρους δείκτες σε περίπτωση που εφαρμόζονταν αυτές οι επεμβάσεις στη ΛΑΠ. Από τη σύγκριση μεταξύ των VI της ΛΑΠ για τα διάφορα σενάρια Ε&ΑΝ με τον VI της υπάρχουσας κατάστασης (σενάριο βάσης), προέκυψε ότι οι πιο αποτελεσματικές επεμβάσεις Ε&ΑΝ για τη μείωση της τρωτότητας στη ΛΑΠ Λεκανοπεδίου Αττικής είναι αυτές που περιλαμβάνουν χρήση ανακτημένου νερού για την ενίσχυση διαφορετικών χρήσεων (Τύπος επεμβάσεων #5: Σύνθετα σχήματα), καθώς τροφοδοτούν με μεγαλύτερη ποσότητα ανακτημένου νερού τη ΛΑΠ και καλύπτουν περισσότερες ανάγκες. Όπως ήταν αναμενόμενο, όσο μεγαλύτερες ποσότητες ανακτημένου νερού χρησιμοποιηθούν τόσο περισσότερο μειώνεται η τρωτότητα στη ΛΑΠ. Η μεγαλύτερη μείωση επέρχεται στο σύνθετο δείκτη τρωτότητας (ΔVI) στην περίπτωση εφαρμογής του Σεναρίου #5.Δ (ΔVI = -10%), που αποτελεί την μέγιστη δυνατή αξιοποίηση των εκροών των ΕΕΛ της ΛΑΠ Αττικής στο άμεσο μέλλον, στην περίπτωση που εφαρμοστούν όλες οι προτεινόμενες επεμβάσεις Ε&ΑΝ της Α' Φάσης υλοποίησης του Στρατηγικού Σχεδίου.

5.2.3. Ανάπτυξη Ευνοϊκού Περιβάλλοντος για την Εφαρμογή Επεμβάσεων Ε&ΑΝ

Η ΛΑΠ Copiapó στη Χιλή έχει επίσης, υψηλή τρωτότητα στη σπανιότητα ύδατος, κυρίως λόγω της ραγδαίας αύξησης του πληθυσμού της τις τελευταίες δεκαετίες, της μεγάλης εποχικής διακύμανσης των βροχοπτώσεων και της απόλυτης εξάρτησης της γεωργίας από την άρδευση. Για τη μείωση της τρωτότητας στη ΛΑΠ έχουν προταθεί επεμβάσεις Ε&ΑΝ για αστικές χρήσεις, οι οποίες θωρείται πως θα συνεισφέρουν σημαντικά στη μείωση της τρωτότητας των υδατικών συστημάτων (Verzandvoort et al., 2013; Assimacopoulos et al., 2014; Verzandvoort et al., 2015). Για την προώθηση της εφαρμογής των επεμβάσεων Ε&ΑΝ για αστικές χρήσεις στη ΛΑΠ Copiapó εφαρμόστηκε η προτεινόμενη μέθοδος ανάπτυξης ευνοϊκού περιβάλλοντος.

Το διαδικτυακό ερωτηματολόγιο PESTL για τον εντοπισμό των πολιτικών, οικονομικών, κοινωνικών, τεχνικών, νομικών και θεσμικών παραγόντων που εμποδίζουν την ένταξη επεμβάσεων Ε&ΑΝ για αστικές χρήσεις στη ΛΑΠ Copiapó συμπληρώθηκε από 18 εκπροσώπους των τοπικών φορέων της περιοχής, οι οποίοι αναγνώρισαν 10 εμπόδια και 5 κίνητρα για την εφαρμογή των επεμβάσεων:

- **Εμπόδια**
  - Π2. Εθνική ή περιφερειακή περιβαλλοντική πολιτική
  - Π3. Πολιτικές χρήσης γης και χωροταξική στρατηγική
  - Ο1. Διαθεσιμότητα δημοσίων πόρων χρηματοδότησης έργων Ε&ΑΝ
  - Κ2. Ενημέρωση του κοινού σχετικά με την Ε&ΑΝ
  - Κ4. Συμμετοχή διαφορετικών φορέων στις διαδικασίες λήψης αποφάσεων
  - Τ2.3. Τεχνογνωσία και εμπειρία των πολιτών για τη χρήση του ανακτημένου νερού
  - Ν1. Ιδιοκτησία ανακτημένου νερού – Άδειες και δικαιώματα χρήσης νερού
  - Ν2. Κανονιστικό πλαίσιο για Ε&ΑΝ
  - Ν3. Εφαρμογή κανονισμών και νομοθεσίας
  - Ν4. Οριοθέτηση αρμοδιοτήτων μεταξύ των εμπλεκόμενων φορέων

- **Κίνητρα**
  - Π1. Εθνικές / περιφερειακές πολιτικές σχετικά με τη διαχείριση των υδατικών πόρων
  - Ο2. Έμμεσα οικονομικά κίνητρα
  - Ο51 & Ο5.2. Σύστημα τιμολόγησης χρήσης νερού σε δημόσιους αστικούς χώρους και για οικιακή χρήση νερού
  - Κ1. Ευαισθητοποίηση & ενημέρωση του κοινού σχετικά με τους περιορισμένους υδατικούς πόρους
  - Τ1.3 & Τ1.4. Τεχνογνωσία και εμπειρία για την επεξεργασία και παροχή του ανακτημένου νερού για αστικές χρήσεις

Στη συνέχεια, αναλύθηκαν οι αλληλεξαρτήσεις μεταξύ των δέκα αυτών εμποδίων, και εντοπίστηκαν τα πιο σημαντικά εμπόδια, τα οποία δυσχεραίνουν περισσότερο την ενίσχυση των αστικών χρήσεων με ανακτημένο νερό, και κατ' επέκταση οι απαιτούμενες προτεραιότητες επέμβασης σε τοπικό επίπεδο.

Τα σημαντικά εμπόδια, στα οποία πρέπει να δοθεί προτεραιότητα κατά τη διαμόρφωση πολιτικών με στόχο την ανάπτυξη ευνοϊκού περιβάλλοντος για την εφαρμογή των επεμβάσεων Ε&ΑΝ για αστικές χρήσεις στη ΛΑΠ Copiapó είναι: το νομικό πλαίσιο σχετικά με την ιδιοκτησία και τα δικαιώματα χρήσης του ανακτημένου νερού (Ν1), η απουσία περιβαλλοντικών πολιτικών που να εστιάζουν στη μείωση της ρύπανσης (Π2), η περιορισμένη ένταξη της χρήσης ανακτημένου νερού στις πολιτικές χρήσεις γης και χωροταξικής ανάπτυξης (Π3), η ελλιπής ενημέρωση του κοινού σχετικά με την Ε&ΑΝ (Κ2), και η απουσία κρατικών πηγών χρηματοδότησης έργων Ε&ΑΝ (Ο1).

Η έλλειψη σαφήνειας σχετικά με το καθεστώς ιδιοκτησίας και τα δικαιώματα χρήσης του ανακτημένου νερού είναι το πιο σημαντικό νομικό εμπόδιο για την εφαρμογή επεμβάσεων Ε&ΑΝ στην περιοχή. Ένα ξεκάθαρο νομικό πλαίσιο που θα καθορίζει την ιδιοκτησία του ανακτημένου νερού ανάλογα με την προέλευσή του (π.χ. αστικά λύματα, γκρίζο νερό, βιομηχανικά λύματα), θα παραχωρεί τα αντίστοιχα δικαιώματα χρήσης και πώλησής του στους διάφορους χρήστες και θα ορίζει τη χρονική ισχύ των δικαιωμάτων αυτών, θα διευκόλυνε πολύ τη δημιουργία νέων σχημάτων Ε&ΑΝ στη ΛΑΠ Copiapó. Επίσης, κίνητρα για τη χρήση ανακτημένου νερού στο αστικό περιβάλλον και τη μείωση της απόρριψης των εκροών των ΕΕΛ στα υδατικά συστήματα θα μπορούσαν να δοθούν από σχετικές περιβαλλοντικές πολιτικές, οι οποίες θα στόχευαν στον περιορισμό της ρύπανσης, στην προστασία των υδατικών οικοσυστημάτων και στην προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή, μέσω της βελτίωσης της ποιότητας των υδάτων (π.χ. κανονισμοί σχετικά με την ποιότητα και την ποσότητα των εκροών των ΕΕΛ, ελάχιστα όρια ροής στα επιφανειακά και υπόγεια υδατικά συστήματα, και ποινές σε περίπτωση απόρριψης ανεπεξέργαστων λυμάτων στους αποδέκτες). Επιπλέον, η θεώρηση της χρήσης ανακτημένου νερού κατά τις διαδικασίες χάραξης των πολιτικών χρήσεων γης και της χωροταξικής στρατηγικής θα ευνοούσε πολύ την ανάπτυξη συστημάτων Ε&ΑΝ μέσα στον αστικό ιστό, π.χ. ανάπλαση εγκαταλελειμμένων αστικών περιοχών μέσω της δημιουργίας πάρκων και χώρων αναψυχής που θα αρδεύονται με ανακτημένο νερό. Επιπροσθέτως, η κοινωνική αποδοχή των συστημάτων αυτών θα αυξανόταν σημαντικά μέσω της πληροφόρησης της τοπικής κοινωνίας σχετικά με τα περιβαλλοντικά, οικονομικά και κοινωνικά οφέλη των πρακτικών Ε&ΑΝ. Η ενημέρωση των πολιτών γύρω από την Ε&ΑΝ θα βοηθούσε σημαντικά να ξεπεραστούν οι ανησυχίες και οι πιθανές παρανοήσεις σχετικά με τους κινδύνους που συνεπάγεται για τη δημόσια υγεία και το περιβάλλον η χρήση ανακτημένου νερού. Τέλος, άμεσα οικονομικά κίνητρα μέσα από κρατικά και κυβερνητικά προγράμματα επιχορηγήσεων, επιδοτήσεων και δάνεια θα μπορούσαν να ενθαρρύνουν τις επενδύσεις σε έργα Ε&ΑΝ.

Οι παράγοντες αυτοί είναι καθοριστικής σημασίας για τη δημιουργία ευνοϊκού περιβάλλοντος για την προώθηση της εφαρμογής των επεμβάσεων Ε&ΑΝ στη ΛΑΠ Copiapó, μειώνοντας έτσι σημαντικά την τρωτότητα της περιοχής στη σπανιότητα ύδατος.

Τα υποστηρικτικά μέτρα που απαιτούνται για τη βελτίωση των παραγόντων και την ανάπτυξη ευνοϊκού περιβάλλοντος στη ΛΑΠ Copiapó αναλύονται στο Κεφάλαιο 4 της παρούσας Διατριβής.

5.3. Πλεονεκτήματα και Αδυναμίες Προτεινόμενης Μεθόδου

Η παρούσα Διατριβή προτείνει μία ολοκληρωμένη μέθοδο για την εκτίμηση της συνεισφοράς της Ε&ΑΝ στην περιβαλλοντική προστασία και στη βιώσιμη λειτουργία των υδατικών συστημάτων, παρέχοντας μία ολιστική προσέγγιση για την ορθολογική διαχείριση των υδατικών πόρων μέσα από τη διάγνωση των προβλημάτων, την αξιολόγηση και τον εντοπισμό κατάλληλων επεμβάσεων, καθώς και την προώθηση της εφαρμογής των επεμβάσεων αυτών σε τοπικό επίπεδο. Το προτεινόμενο μεθοδολογικό πλαίσιο περιλαμβάνει μία σειρά βημάτων για την εκτίμηση του επιπέδου της τρωτότητας των υδατικών συστημάτων στη σπανιότητα ύδατος και τον εντοπισμό των παραγόντων που την προκαλούν, την αξιολόγηση εναλλακτικών επεμβάσεων Ε&ΑΝ και τον εντοπισμό κατάλληλων επεμβάσεων για τη μείωσή της, καθώς και την ανάπτυξη ευνοϊκού περιβάλλοντος (πρόταση απαιτούμενων υποστηρικτικών μέτρων) για την προώθηση της εφαρμογής αυτών των επεμβάσεων. Τα βήματα του προτεινόμενου μεθοδολογικού πλαισίου μπορούν να εφαρμοστούν είτε στο σύνολό τους, είτε μεμονωμένα, εξυπηρετώντας τις διαφορετικές ανάγκες κάθε περιοχής. Η σύνθεση των βημάτων αυτών σε ένα ενιαίο πλαίσιο αποτελεί καινοτόμο προσέγγιση / πρωτοπόρο εργαλείο διαχείρισης υδατικών πόρων. Για τα επιμέρους βήματα του πλαισίου έχει αναπτυχθεί και προταθεί στο παρελθόν μία σειρά σχετικών μεθόδων και εργαλείων. Τα κυριότερα πλεονεκτήματα και οι αδυναμίες της μεθόδου που προτείνεται από την παρούσα Διατριβή σε σύγκριση με άλλες σχετικές μεθόδους που έχουν αναπτυχθεί ως τώρα περιγράφονται στη συνέχεια.

Εκτίμηση της τρωτότητας των υδατικών συστημάτων

Η προτεινόμενη μέθοδος για την εκτίμηση της τρωτότητας των υδατικών συστημάτων στη σπανιότητα ύδατος επιτρέπει την ανάλυση των υδρολογικών – φυσικών και κοινωνικό-οικονομικών παραγόντων που επηρεάζουν και επηρεάζονται από την κατάσταση των υδατικών συστημάτων και βοηθά στον εντοπισμό των πιέσεων και των τομέων που χρήζουν βελτίωσης σε κάθε περίπτωση. Αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο για την εκτίμηση και την παρακολούθηση της υφιστάμενης κατάστασης καθώς και για τον εντοπισμό και την αξιολόγηση εναλλακτικών επεμβάσεων (σεναρίων).

Πλεονεκτήματα

- **Συνδυαστική χρήση επιμέρους δεικτών & σύνθετου δείκτη τρωτότητας (VI)**

  Έχουν αναπτυχθεί διάφορα πλαίσια εκτίμησης της τρωτότητας, τα οποία αξιολογούν την απόδοση των υπό μελέτη συστημάτων, είτε στη βάση μίας σειράς επιμέρους δεικτών (π.χ. Kelly & Adger, 2000; Adger et al., 2004, Downing et al., 2006, Hamouda et al., 2009), είτε στη βάση σύνθετων δεικτών τρωτότητας (π.χ. Raskin et al., 1997: Water Resources Vulnerability Index, Sullivan et al., 2003: Water Poverty Index, Huang and Cai, 2009: Vulnerability Assessment of Freshwater Resources to Environmental Change, Alessa et al., 2008: Arctic Water Resources Vulnerability Index, Sullivan, 2011: Water Vulnerability Index, US EPA, 2013: Watershed Vulnerability Index). Υπάρχει έντονη αντιπαράθεση σχετικά με τη χρήση επιμέρους αντιπροσωπευτικών δεικτών έναντι ενός σύνθετου δείκτη

για την εκτίμηση της τρωτότητας, καθώς ορισμένοι επιστήμονες θεωρούν ότι η χρήση σύνθετων δεικτών μπορεί να οδηγήσει σε απώλεια χρήσιμων πληροφοριών (Hamouda et al., 2009; Komnenic et al., 2009). Για το λόγο αυτό, πολλές φορές προτιμάται η χρήση επιμέρους δεικτών για την εκτίμηση της τρωτότητας, αντί ενός σύνθετου δείκτη. Στην παρούσα ανάλυση, υιοθετείται ένα πλαίσιο δεικτών για την εκτίμηση της τρωτότητας των υδατικών συστημάτων στη σπανιότητα ύδατος, το οποίο περιλαμβάνει δύο συμπληρωματικά βήματα, θεωρώντας τόσο επιμέρους δείκτες για την ανάλυση των προφίλ τρωτότητας των υπό μελέτη περιοχών (αναλυτική προσέγγιση), όσο και τον σχηματισμό ενός σύνθετου δείκτη για την εκτίμηση της τρωτότητας (συνθετική προσέγγιση), ακολουθώντας την προσέγγιση των Babel et al., 2011. Η αναλυτική προσέγγιση παρέχει μία εις βάθος ανάλυση της τρωτότητας των υπό μελέτη περιοχών, εξετάζοντας τις διαφορετικές διαστάσεις της τρωτότητας (π.χ. φυσική, τεχνική, κοινωνικό-οικονομική) και βοηθώντας έτσι στην αναγνώριση των πιέσεων που καθιστούν τρωτή την κάθε περιοχή, καθώς και των ειδικών χαρακτηριστικών που χρήζουν βελτίωσης για την αύξηση της προσαρμοστικής της ικανότητας. Η συνθετική προσέγγιση επιτρέπει τη συγκριτική αξιολόγηση (benchmarking) των περιοχών ως προς την τρωτότητα, καθώς και την εκτίμηση της συνεισφοράς διαφορετικών επεμβάσεων Ε&ΑΝ στη μείωση της, λειτουργώντας ως εργαλείο αξιολόγησης επεμβάσεων για την άμβλυνση των επιπτώσεων των υπό εξέταση κινδύνων. Συνδυάζοντας τις δύο προσεγγίσεις επιτυγχάνεται μία ολοκληρωμένη ανάλυση.

- **Εύκολη εφαρμογή και αναπαραγωγή της προτεινόμενης μεθόδου**

Η προτεινόμενη μέθοδος μπορεί να αναπαραχθεί πολύ εύκολα και να εφαρμοστεί σε άλλες περιοχές ή σε υπο-λεκάνες των ελληνικών ΛΑΠ, καθώς χρησιμοποιείται ένας σχετικά μικρός αριθμός δεικτών (10 δείκτες) που περιορίζει τα δεδομένα που απαιτούνται για την εκτίμηση της τρωτότητας των υδατικών συστημάτων σε διαχειρίσιμο επίπεδο. Επίσης, οι προτεινόμενοι δείκτες είναι από τους πλέον διαδεδομένους και ευρέως χρησιμοποιούμενους, και για τον υπολογισμό τους υπάρχουν συνήθως εύκολα διαθέσιμα δεδομένα. Τα πλαίσια εκτίμησης της τρωτότητας που απαντώνται στη βιβλιογραφία συχνά χρησιμοποιούν μεγάλο αριθμό δεικτών και παραμέτρων, οι οποίες επιτρέπουν μεν τη λεπτομερή και ενδελεχή ανάλυση των υδατικών συστημάτων, αλλά είναι δύσκολο να εφαρμοστούν, ειδικά σε πολλές περιοχές ταυτόχρονα (όπως στην παρούσα ανάλυση που συγκρίνονται 46 ΛΑΠ μεταξύ τους), καθώς απαιτείται η συγκέντρωση ενός μεγάλου όγκου δεδομένων, τα οποία συνήθως δεν είναι διαθέσιμα (π.χ. Sullivan et al., 2003: 22 δείκτες; Alessa et al., 2008: 25 δείκτες; Gbetibouo & Ringler, 2009: 19 δείκτες; Hamouda et al., 2009: 32 δείκτες; Salmivaara, 2009: 23 δείκτες; Jun et al., 2011: 40 δείκτες). Επιπλέον, το προτεινόμενο πλαίσιο δεικτών εκτίμησης της τρωτότητας μπορεί να αναθεωρηθεί και να προσαρμοστεί στις ανάγκες των υπό μελέτη περιοχών, ώστε να εκφράζονται πληρέστερα οι επικρατούσες συνθήκες (προσθήκη / αφαίρεση δεικτών ή αντικατάσταση από ισοδύναμους δείκτες, π.χ. σε λιγότερο αναπτυγμένες περιοχές ο δείκτης που εκφράζει το ποσοστό του πληθυσμού που δεν προχώρησε στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση θα

μπορούσε να αντικατασταθεί από το ποσοστό των ατόμων που δεν γνωρίζουν γραφή και ανάγνωση).

- **Ολιστική προσέγγιση που εκφράζει τον πολυσχιδή χαρακτήρα της τρωτότητας**

Οι δέκα δείκτες εκτίμησης της τρωτότητας που προτείνονται στην παρούσα ανάλυση επιλέχθηκαν διότι εκφράζουν επαρκώς και ισότιμα τις τρεις συνιστώσες της τρωτότητας (έκθεση, ευαισθησία και προσαρμοστική ικανότητα), αντικατοπτρίζοντας ταυτόχρονα τον πολυσχιδή της χαρακτήρα (φυσική, υλική/τεχνική, οικονομική και κοινωνική διάσταση). Σε αντίθεση με άλλες προσεγγίσεις οι οποίες εστιάζουν περισσότερο στην φυσική - υδρολογική διάσταση της τρωτότητας των υδατικών συστημάτων (π.χ. Hurd et al., 1999; Salmivaara, 2009; Jun et al., 2011; US EPA, 2013), μέσα από το προτεινόμενο πλαίσιο δεικτών συνεκτιμώνται τόσο τα υδρολογικά όσο και τα κοινωνικό-οικονομικά χαρακτηριστικά των υπό μελέτη συστημάτων, όπως συμβαίνει και στην περίπτωση των Zhou, 2004; PRI [Policy Research Initiative], 2007; Alessa et al., 2008; Gbetibouo & Ringler, 2009; Hamouda et al., 2009; Huang & Cai, 2009; Babel et al., 2011; Sullivan, 2011.

- **Θεώρηση της χρήσης εναλλακτικών υδατικών πόρων ως συνιστώσα της προσαρμοστικής ικανότητάς των υδατικών συστημάτων**

Στο προτεινόμενο πλαίσιο δεικτών εκτίμησης της τρωτότητας συμπεριλαμβάνεται ο δείκτης Κατανάλωση εναλλακτικών υδατικών πόρων (ALT), ο οποίος ορίζεται ως το ποσοστό της συνολικής υδατικής παροχής για κάλυψη των αναγκών μίας περιοχής που προέρχεται από εναλλακτικούς – μη συμβατικούς υδατικούς πόρους, δηλαδή από αφαλατωμένο ή ανακτημένο νερό. Οι εναλλακτικοί - μη συμβατικοί υδατικοί πόροι μπορούν να συμβάλλουν ουσιαστικά στην αποδοτικότερη χρήση των υδατικών πόρων και στη μείωση των προβλημάτων λειψυδρίας και σπανιότητας ύδατος (Friedler, 2001; Lazarova et al., 2001; Stathatou et al., 2016). Παρολαυτά, η θεώρηση αντίστοιχων δεικτών σπάνια απαντάται στα πλαίσια εκτίμησης της τρωτότητας των υδατικών συστημάτων που προτείνονται στη βιβλιογραφία (π.χ.: Hamouda et al., 2009: ποσότητα αφαλατωμένου νερού που χρησιμοποιείται; Jun et al., 2011 & Chung et al., 2017: ποσότητα επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων που χρησιμοποιείται).

- **Αντικειμενικότητα στη στάθμιση των επιμέρους δεικτών τρωτότητας**

Στην παρούσα Διατριβή χρησιμοποιείται ως μέθοδος στάθμισης των επιμέρους δεικτών για την ανάπτυξη του VI, η Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών (ΑΚΣ). Η στατιστική μέθοδος στάθμισης ΑΚΣ θεωρείται πως μπορεί να παρέχει πιο αντικειμενικά και αξιόπιστα αποτελέσματα, σε σύγκριση με τις συμμετοχικές μεθόδους. Η ανάπτυξη των βαρών στη βάση της κρίσης εμπειρογνωμόνων, ειδικών και τοπικών φορέων συχνά περιορίζεται από την αξιοπιστία και τη συνέπεια στην κρίση των ειδικών, το επίπεδο της κατάρτισης και των διαθέσιμων γνώσεων στις μικρότερες κοινότητες, καθώς και από τη δυσκολία στην

επίτευξη συναίνεσης μεταξύ των συμμετεχόντων στην ανάλυση σχετικά με τα προτεινόμενα βάρη (Lowry et al. 1995 & Gbetibouo & Ringler, 2009). Επίσης, η ΑΚΣ αποτελεί τη μέθοδο που προτιμάται περισσότερο για την ανάπτυξη σύνθετων δεικτών γενικά (π.χ. Product Market Regulation Index, Nicoletti et al., 2000; Eutrophication Index, Primpas et al., 2010), ενώ χρησιμοποιείται ευρέως και για την ανάπτυξη σύνθετων δεικτών εκτίμησης της τρωτότητας (π.χ. Zhou, 2004; Thornton et al., 2006; Deressa et al., 2008; Gbetibouo & Ringler, 2009; Salmivaara, 2009; Pendleton et al., 2010; Liu et al., 2013; Wang et al., 2015), καθώς επιτρέπει τη σύνθεση των επιμέρους δεικτών διατηρώντας το μέγιστο της αρχικής πληροφορίας που παρέχουν οι επιμέρους δείκτες (OECD, 2008).

- **Αξιοπιστία αποτελεσμάτων & διαφάνεια στις διαδικασίες ανάπτυξης του VI**

Η ευρωστία του VI (όπως και όλων των σύνθετων δεικτών) εξαρτάται από τις παραδοχές που υιοθετήθηκαν κατά την ανάπτυξή του, δηλαδή την αβεβαιότητα που σχετίζεται με τις διαδικασίες υπολογισμού του, π.χ. την επιλογή, την κανονικοποίηση και τη στάθμιση των επιμέρους δεικτών, και την ευαισθησία του σε τυχόν αλλαγές σε αυτές τις διαδικασίες (π.χ. μικρή ή μεγάλη αλλαγή στα τελικά αποτελέσματα αν αλλάξει η μέθοδος στάθμισης των επιμέρους δεικτών) (OECD, 2008). Εφαρμόζοντας τις αναλύσεις αβεβαιότητας και ευαισθησίας που προτείνονται από τους Saisana & Tarantola (2002) και Saisana (2005), επιβεβαιώθηκε η αξιοπιστία του VI και η διαφάνεια των διαδικασιών ανάπτυξής του, καθώς αναλύθηκαν οι παράγοντες αβεβαιότητας και η επιρροή τους και προέκυψε πως μεταβολές στους παράγοντες αυτούς, δηλαδή στις μεθόδους κανονικοποίησης, στάθμισης και στους δείκτες που επιλέχθηκαν, επιφέρουν αμελητέες διαφοροποιήσεις στα τελικά αποτελέσματα, ενώ κανένας από τους παράγοντες αβεβαιότητας δεν έχει σημαντική επίδραση στη διακύμανση των τιμών του VI. Έτσι, εξασφαλίστηκε πως ο VI παρέχει αποτελέσματα υψηλής αξιοπιστίας σχετικά με την τρωτότητα των υπό μελέτη ΛΑΠ.

- **Ευελιξία στην χωρική & χρονική κλίμακα εφαρμογής**

Πολλοί σύνθετοι δείκτες εκτίμησης της τρωτότητας των υδατικών συστημάτων που απαντώνται στη βιβλιογραφία (π.χ. Raskin et al., 1997; Gain et al., 2016) εφαρμόζονται σε περιφερειακό, εθνικό, ή διεθνές επίπεδο, με αποτέλεσμα να μην μπορούν να αποτυπώσουν τις συγκεκριμένες τοπικές πιέσεις και ανάγκες που έχει μία μικρή κοινότητα ή μία λεκάνη απορροής (Alessa et al., 2008; Babel et al., 2011). Η ανάλυση σε τόσο μεγάλη κλίμακα δεν παρέχει επαρκείς πληροφορίες για την κατανόηση των σύνθετων τοπικών ζητημάτων και τον εντοπισμό λύσεων για την αντιμετώπισή τους, αλλά μπορεί να χρησιμεύσει σε προκαταρτικό στάδιο για να εντοπιστούν οι περιοχές που πρέπει να αναλυθούν περαιτέρω, ή για αδρές συγκρίσεις και εντοπισμό τάσεων στην απόδοση περιοχών και κρατών. Επίσης, η εφαρμογή άλλων σύνθετων δεικτών εκτίμησης της τρωτότητας των υδατικών συστημάτων, που εφαρμόζονται σε μικρότερες κλίμακες, περιορίζεται στα διοικητικά όρια των υπο μελέτη περιοχών (π.χ. O'Brien et al., 2004; Sullivan 2011) ή σε περιοχές με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά (π.χ. Alessa et al., 2008;

Gbetibouo & Ringler, 2009) και απαιτείται αναδιαμόρφωση των προτεινόμενων πλαισίων για να εκτιμηθεί η τρωτότητα σε διαφορετικές περιοχές (Babel et al., 2011). Στην παρούσα Διατριβή η εκτίμηση της τρωτότητας των υδατικών συστημάτων γίνεται σε χωρική κλίμακα λεκάνης απορροής, για την αποτύπωση της παρούσας κατάστασης. Παρολαυτά, δεν υπάρχει κανένας περιορισμός ως προς τη χωρική ή τη χρονική κλίμακα εφαρμογής της προτεινόμενης μεθόδου. Ο VI μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη συγκριτική αξιολόγηση της τρωτότητας μεταξύ διαφορετικών περιοχών, αλλά και μεταξύ διαφορετικών χρονικών περιόδων για τις περιοχές αυτές, οι οποίες μπορεί να αφορούν από ολόκληρα κράτη, μέχρι υπο-λεκάνες μίας λεκάνης απορροής ή μικρές κοινότητες, με την κατάλληλη προσαρμογή των δεικτών.

- **Αξιολόγηση και εντοπισμός κατάλληλων επεμβάσεων**

  Ο VI χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση εναλλακτικών επεμβάσεων – σεναρίων Ε&ΑΝ ως προς τη μείωση της τρωτότητας, μέσω της ενίσχυσης των διαθέσιμων υδατικών πόρων με ανακτημένο νερό. Οι εναλλακτικές επεμβάσεις Ε&ΑΝ ιεραρχούνται ως προς την αναμενόμενη συνεισφορά τους στη μείωση της τρωτότητας. Επίσης, τα βάρη των επιμέρους δεικτών στον VI καταδεικνύουν και άλλες πιθανές επεμβάσεις (ανεξάρτητες από Ε&ΑΝ) που θα μπορούσαν να εφαρμοστούν για τη μείωση της τρωτότητας σε τοπικό επίπεδο (π.χ. μέτρα για μείωση και έλεγχο της ζήτησης), εκφράζοντας το βαθμό στον οποίο θα μπορούσαν να συμβάλλουν οι επεμβάσεις αυτές στη μείωση της τρωτότητας των υδατικών συστημάτων. Έτσι, ο VI αποτελεί μέτρο αξιολόγησης των πιθανών επεμβάσεων, βοηθώντας στον εντοπισμό των πλέον κατάλληλων μέτρων για την αντιμετώπιση της σπανιότητας ύδατος στις υπό μελέτη περιοχές, και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο λήψης αποφάσεων σε ζητήματα σχετικά με τη χρήση και τη διαχείριση των υδατικών πόρων. Τα αποτελέσματα αυτά βέβαια χρειάζεται να συναξιολογηθούν με άλλα κριτήρια, π.χ. οικονομικά, για να προταθούν οι πλέον συμφέρουσες λύσεις ανάλογα με τις εκάστοτε συνθήκες.

- **Προώθηση της υλοποίησης των Στόχων Βιώσιμης Ανάπτυξης (ΣΒΑ) του ΟΗΕ (Sustainable Development Goals)**

  Το νέο θεματολόγιο 2030 (“Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development”, UN, 2015), που εγκρίθηκε το 2015 από τον Οργανισμό Ηνωμένων Εθνών (ΟΗΕ), επανακαθορίζει τον τρόπο με τον οποίο θα συνεργαστεί η παγκόσμια κοινότητα μέχρι το 2030, προκειμένου να υλοποιήσει τη δέσμευσή της για ένα διαφορετικό μέλλον για τους ανθρώπους και τον πλανήτη στην πορεία της βιώσιμης ανάπτυξης. Μετά τη σταδιακή κατάργηση των Αναπτυξιακών Στόχων της Χιλιετίας (Millennium Development Goals), που αφορούσαν τις αναπτυσσόμενες χώρες, και τη διάσκεψη για τη βιώσιμη ανάπτυξη, Ρίο+20, το 2012 στη Βραζιλία, ο ΟΗΕ δεσμεύεται να υλοποιήσει ένα σύνολο 17 Στόχων Βιώσιμης Ανάπτυξης (ΣΒΑ) που αποτελούν την πρώτη παγκόσμια συμφωνία που καθορίζει ένα καθολικό, ολοκληρωμένο πρόγραμμα δράσης με αποδέκτες όλες τις χώρες καθώς και τις εθνικές πολιτικές. Οι 17 ΣΒΑ αφορούν και στις τρεις διαστάσεις της

βιώσιμης ανάπτυξης – περιβαλλοντική, κοινωνική και οικονομική – και η υλοποίησή τους προϋποθέτει ότι θα αναλάβουν δράση όλες οι χώρες (παγκόσμια σύμπραξη) (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2015β). Ο VI και οι επιμέρους δείκτες εκτίμησης της τρωτότητας παραπέμπουν άμεσα στους ΣΒΑ 6: «Διασφάλιση της διαθεσιμότητας και της βιώσιμης διαχείρισης των υδάτων και των εγκαταστάσεων / συστημάτων υγιεινής για όλους» και ΣΒΑ 11: «Μετατροπή των πόλεων και των ανθρώπινων οικισμών σε χώρους δίχως αποκλεισμούς, ασφαλείς, ανθεκτικούς και βιώσιμους», και πιο συγκεκριμένα στους επιμέρους υποστόχους τους που αφορούν στην υιοθέτηση και εφαρμογή πολιτικών και μέτρων ολοκληρωμένης διαχείρισης των υδατικών πόρων σε όλα τα επίπεδα που θα περιλαμβάνουν τον μετριασμό και την προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή, καθώς και στην αντιμετώπιση της σπανιότητας ύδατος και στον περιορισμό των περιοχών στις οποίες εμφανίζεται. Ο VI θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σαν ένα εργαλείο εκτίμησης και παρακολούθησης της επίτευξης των ΣΒΑ για την Ελλάδα.

Αδυναμίες

- **Αδυναμία εντοπισμού πιέσεων που οφείλονται στην κατανάλωση για υδατικές χρήσεις εκτός της ύδρευσης μέσω του προτεινόμενου πλαισίου δεικτών τρωτότητας**

  Η υδατική κατανάλωση για ύδρευση επικρατεί της κατανάλωσης για τις υπόλοιπες υδατικές χρήσεις, με αποτέλεσμα περισσότερο τρωτές να προκύπτουν οι ΛΑΠ που συγκεντρώνουν το μεγαλύτερο πληθυσμό (στην παρούσα εφαρμογή οι ΛΑΠ Λεκανοπεδίου Αττικής και Χαλκιδικής). Αυτό συμβαίνει διότι η υδατική κατανάλωση για ύδρευση υπεισέρχεται δύο φορές στους υπολογισμούς τόσο μέσω του δείκτη Falkenmark, ο οποίος ανάγει τα διαθέσιμα υδατικά αποθέματα μίας περιοχής προς τον πληθυσμό της εισάγοντας έτσι εμμέσως τις ανάγκες ύδρευσης, όσο και μέσω του Δείκτη Εκμετάλλευσης Ύδατος στον οποίο συνυπολογίζονται οι απολήψεις για όλες τις υδατικές χρήσεις που πραγματοποιούνται στις ΛΑΠ. Με τον τρόπο αυτό περιοχές με πολύ έντονες γεωργικές ή βιομηχανικές δραστηριότητες (και αντίστοιχα μεγάλες καταναλώσεις) αλλά με σχετικά μικρό μόνιμο πληθυσμό, όπως η ΛΑΠ Πηνειού στη Θεσσαλία (κατανάλωση $937x10^6$ m^3 νερού ετησίως για άρδευση), δεν προκύπτουν τρωτές συγκριτικά με πιο πυκνοκατοικημένες ΛΑΠ.

- **Έλλειψη συμμετοχικών διαδικασιών από το πλαίσιο εκτίμησης της τρωτότητας**

  Το προτεινόμενο πλαίσιο εκτίμησης της τρωτότητας δεν περιλαμβάνει συμμετοχικές διαδικασίες ούτε εμπλοκή των τοπικών φορέων. Η επιλογή των επιμέρους δεικτών τρωτότητας έγινε στη βάση κατευθυνόμενης βιβλιογραφικής ανασκόπησης και συγκεκριμένων κριτηρίων, η στάθμισή τους έγινε χρησιμοποιώντας τη στατιστική μέθοδο ΑΚΣ, ενώ οι πιθανές εναλλακτικές επεμβάσεις Ε&ΑΝ, που αξιολογήθηκαν σχετικά με τη συνεισφορά τους στη μείωση της τρωτότητας στη ΛΑΠ Λεκανοπεδίου Αττικής, προέκυψαν

στη βάση των προτάσεων που παρουσιάζονται στο «Στρατηγικό Σχέδιο (Master Plan) για την Επαναχρησιμοποίηση των Εκροών των ΕΕΛ στην Αττική» (Υπουργείο Υποδομών, Μεταφορών και Δικτύων, 2009). Οι διαδικασίες αυτές θα μπορούσαν να συμπεριλάβουν τη γνώμη ειδικών και να ενσωματώσουν τις τοπικές απόψεις και αντιλήψεις, ώστε να εκτιμηθούν καλύτερα οι τοπικές πιέσεις και ανάγκες, ιδιαίτερα σε περίπτωση που το πλαίσιο εφαρμοστεί σε χωρική κλίμακα μικρότερη της λεκάνης απορροής ποταμού.

- **Απαίτηση μεγάλου δείγματος περιπτώσεων για την ανάπτυξη του VI**

  Για τη στάθμιση των επιμέρους δεικτών τρωτότητας και την ανάπτυξη των σύνθετων δεικτών έκθεσης και ευαισθησίας (ESI) και προσαρμοστικής ικανότητας (ACI), που απαρτίζουν τον VI, χρησιμοποιήθηκε η στατιστική μέθοδος ΑΚΣ. Αν και, όπως αναφέρεται παραπάνω, μέσω της ΑΚΣ εξασφαλίζεται η αντικειμενικότητα στην απόδοση βαρύτητας στους επιμέρους δείκτες, υπάρχει περιορισμός ως προς μέγεθος του δείγματος για την εφαρμογή της. Πιο συγκεκριμένα, η αναλογία μεταξύ περιπτώσεων και μεταβλητών για την εφαρμογή της ΑΚΣ θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 5 προς 1, εναλλακτικά το δείγμα θα πρέπει να περιλαμβάνει πάνω από 300 περιπτώσεις (Kass & Tinsley, 1979). Συνεπώς, η προτεινόμενη μέθοδος στάθμισης απαιτεί μεγάλο δείγμα δεδομένων και περιπτώσεων.

Ανάπτυξη ευνοϊκού περιβάλλοντος για την προώθηση της εφαρμογής επεμβάσεων Ε&ΑΝ

Η προτεινόμενη μέθοδος στοχεύει στην ανάπτυξη ευνοϊκού περιβάλλοντος για τις επεμβάσεις Ε&ΑΝ, δηλαδή στη διαμόρφωση των κατάλληλων συνθηκών οι οποίες ενθαρρύνουν την εφαρμογή επεμβάσεων Ε&ΑΝ, προτείνοντας κατάλληλα υποστηρικτικά μέτρα που απαιτούνται σε τοπικό επίπεδο. Μέσω της προτεινόμενης μεθόδου αναλύονται τα τοπικά συστήματα και εντοπίζονται οι πολιτικοί, οικονομικοί, κοινωνικοί, τεχνικοί, νομικοί και θεσμικοί παράγοντες που επηρεάζουν την εφαρμογή επεμβάσεων Ε&ΑΝ. Οι παράγοντες αυτοί συνθέτουν το εξωτερικό περιβάλλον των επεμβάσεων Ε&ΑΝ, και μπορεί να λειτουργήσουν είτε ως εμπόδια είτε ως κίνητρα για την εφαρμογή τους. Στη συνέχεια, αναγνωρίζονται τα πιο σημαντικά εμπόδια, δηλαδή εκείνα τα οποία δυσχεραίνουν περισσότερο την εφαρμογή των επεμβάσεων Ε&ΑΝ. Η αλλαγή των συγκεκριμένων εμποδίων σε κίνητρα αναμένεται να έχει πολύ σημαντική θετική επιρροή στα υπό μελέτη σύστημα. Στη βάση αυτών των εμποδίων, προτείνονται υποστηρικτικά μέτρα και ενέργειες για την ανάπτυξη ευνοϊκού περιβάλλοντος και την προώθηση της εφαρμογής των επεμβάσεων Ε&ΑΝ. Τα πλεονεκτήματα και οι αδυναμίες της μεθόδου που υιοθετήθηκε για την ανάπτυξη ευνοϊκού περιβάλλοντος περιγράφονται στη συνέχεια.

Πλεονεκτήματα

- **Ολιστική προσέγγιση – θεώρηση όλων των διαστάσεων που επηρεάζουν την ανάπτυξη του ευνοϊκού περιβάλλοντος**

  Η προτεινόμενη μέθοδος λαμβάνει υπόψη όλες τις διαστάσεις του ευνοϊκού περιβάλλοντος, όπως προτείνονται από τους Lüthi et al. (2011), δηλαδή την πολιτική, την οικονομική, την κοινωνική, την τεχνική, τη νομική - θεσμική, παρέχοντας μία ολιστική προσέγγιση για την αναγνώριση των παραγόντων που επηρεάζουν την πραγματοποίηση των επεμβάσεων Ε&ΑΝ και τη χρήση του ανακτημένου νερού. Οι πέντε αυτές διαστάσεις στο σύνολό τους, ή υποσύνολα αυτών, θεωρούνται για την αναγνώριση των παραγόντων που επηρεάζουν την Ε&ΑΝ στη βιβλιογραφία (π.χ. Abu Madi, 2004, Wade Miller 2006; MED WWR WG, 2007; Bahri, 2009 & 2012). Στις περισσότερες περιπτώσεις όμως η αναγνώριση των παραγόντων που εκφράζουν τις αντίστοιχες διαστάσεις δεν γίνεται με κάποιον οργανωμένο ή συστηματικό τρόπο. Για την αναγνώριση των παραγόντων αυτών η παρούσα μέθοδος προτείνει τη χρήση της ανάλυσης PESTL (συνήθης παραλλαγή της ανάλυσης PESTLE[17]), που παρέχει ένα οργανωμένο πλαίσιο για την ανάλυση του εξωτερικού περιβάλλοντος των συστημάτων Ε&ΑΝ, ομαδοποιώντας τους παράγοντες που τα επηρεάζουν στις αντίστοιχες κατηγορίες (από τα αρχικά των οποίων προκύπτει και το όνομά του): Πολιτικούς (Policy), οικονομικούς (Economic), κοινωνικούς (Social), τεχνικούς (Technical), νομικούς και θεσμικούς (Legal & institutional) (Srdjevic et al., 2012;

[17] Πραγματοποιήθηκε ανάλυση PESTL και όχι PESTLE, καθώς η περιβαλλοντική διάσταση του εξωτερικού περιβάλλοντος των επεμβάσεων Ε&ΑΝ δεν αναλύθηκε διότι έχει αναλυθεί ενδελεχώς κατά την εκτίμηση της τρωτότητας των υδατικών συστημάτων.

Team FME, 2013). Έτσι, μέσω του προτεινόμενου πλαισίου, λαμβάνονται υπόψη όλες οι πιθανές επιρροές και γίνεται ολιστική – πλήρης ανάλυση των υπό μελέτη συστημάτων.

- **Πλήρης – εξαντλητικός κατάλογος των παραγόντων επιρροής των επεμβάσεων E&AN**

  Οι πολιτικοί, οικονομικοί, κοινωνικοί, τεχνικοί, νομικοί και θεσμικοί παράγοντες και οι αντίστοιχες συνθήκες που πρέπει να ισχύουν για την ύπαρξη ευνοϊκού περιβάλλοντος, ώστε να προωθείται η εφαρμογή των επεμβάσεων E&AN, αναγνωρίστηκαν ύστερα από εκτεταμένη βιβλιογραφική ανασκόπηση (πηγές: Baumann 1983; Blumenthal et al., 2000; Lawrence et al., 2002; Abu Madi et al., 2003 & 2004; EPA Victoria, 2003; US EPA, 2004; Bixio et al., 2005; UNEP, 2005a & 2005b; Bixio et al., 2006a & 2006b; Wade Miller 2006; Toze, 2006; World Bank, 2006; UNDP, 2006; Angelakis et al., 2007; Asano et al., 2007; MED WWR WG, 2007; Qadir et al., 2007; Bakopoulou et al., 2008; General Electric Water & Process Technologies, 2008 & 2011; Bahri, 2009 & 2012; UN-Habitat, 2009; Condarin et al., 2010; Parsons et al., 2010; US Department of Agriculture Economic Research Service, 2010; Krpan, 2011; Lüthi et al., 2011; Condom et al., 2012; NRDC, 2012; US EPA, 2012; Chellaney, 2013; UNW-DPC, 2013; Sanz & Gawlik, 2014; BIO By Delloitte, 2015; Freedman & Enssle, 2015). Για τη διαμόρφωση της τελικής λίστας των 22 παραγόντων, που προτείνονται από την παρούσα ανάλυση και εκφράζουν τις πέντε διαστάσεις του ευνοϊκού περιβάλλοντος, λήφθηκε υπόψη η γνώμη ειδικών, αλλά και εκπροσώπων των τοπικών φορέων στις περιοχές μελέτης του ερευνητικού έργου COROADO. Η τελική λίστα που προέκυψε θεωρείται πλήρης, καθώς περιλαμβάνει όλους τους πιθανούς παράγοντες που ενδέχεται να επηρεάσουν την εφαρμογή επεμβάσεων E&AN.

- **Συστηματικός τρόπος για τον εντοπισμό των κρίσιμων εμποδίων και των απαραίτητων ενεργειών αντιμετώπισής τους**

  Η προτεινόμενη μέθοδος παρέχει έναν συστηματικό τρόπο για τον εντοπισμό των σημαντικών παραγόντων που εμποδίζουν την εφαρμογή επεμβάσεων E&AN, και των απαιτούμενων υποστηρικτικών μέτρων και ενεργειών που πρέπει να εφαρμοστούν σε τοπικό επίπεδο για να ξεπεραστούν τα εμπόδια αυτά. Αρχικά, αξιολογούνται οι αλληλεξαρτήσεις μεταξύ των εμποδίων που έχουν εντοπιστεί (Ανάλυση των Αλληλεξαρτήσεων / Cross-Impact Analysis - CIA) και στη συνέχεια αναλύεται ο συστημικός τους ρόλος (Ανάλυση Συστήματος - System Analysis). Η μέθοδος που εφαρμόζεται για τον εντοπισμό των σημαντικών εμποδίων, και κατ’ επέκταση των απαιτούμενων προτεραιοτήτων επέμβασης σε τοπικό επίπεδο, στηρίζεται στη μέθοδο που αναπτύχθηκε από τον Frederic Vester (Vester, 1988), η οποία στοχεύει στην κατανόηση της δυναμικής συμπεριφοράς και εξέλιξης σύνθετων συστημάτων, μέσα από την ανάλυση της δομής, των κανόνων, και των μηχανισμών που διέπουν τα συστήματα αυτά. Η προσέγγιση αυτή, εμπνευσμένη από τη μοριακή βιολογία και τα οικοσυστήματα, δεν εξετάζει μεμονωμένα τους παράγοντες που συνθέτουν ένα σύστημα, αλλά

επικεντρώνεται στις αλληλεπιδράσεις μεταξύ τους, αναγνωρίζοντας μοτίβα συμπεριφοράς. Μέσα από την ανάλυση της αλληλεπίδρασης των παραγόντων, εντοπίζεται ο συστημικός τους ρόλος, δηλαδή η επίδραση του κάθε παράγοντα, λόγω των αλληλεπιδράσεων του με τους άλλους, στην τελική κατάσταση του συστήματος. Η μέθοδος αυτή έχει ευρεία εφαρμογή και απαντάται συχνά στη βιβλιογραφία για την ανάλυση διαφόρων συστημάτων (π.χ. σε περιπτώσεις εταιρικού στρατηγικού σχεδιασμού, αξιολόγησης τεχνολογιών και αναπτυξιακών έργων, περιβαλλοντικού σχεδιασμού, κυκλοφοριακού προγραμματισμού, διαχείρισης κινδύνου, εκτίμησης βιωσιμότητας κατασκευών κ.α.) και των εντοπισμό των παραγόντων που τα επηρεάζουν (Chan & Huang, 2004; Ribeiro, 2016) (π.χ. Chan & Huang, 2004: εντοπισμός των σημαντικών παραγόντων που επηρεάζουν τη βιώσιμη ανάπτυξη της κοινότητας Ping-Ding στην Ταϊβάν; Cole et al., 2007: εντοπισμός των σημαντικών παραγόντων που επηρεάζουν την αειφορία της λεκάνης απορροής Motueka στη Νέα Ζηλανδία; Lang et al., 2006: εντοπισμός των σημαντικών παραγόντων που επηρεάζουν τη διαχείριση των βιολογικών αποβλήτων στη Ζυρίχη; Huang et al., 2009: εντοπισμός των σημαντικών παραγόντων που επηρεάζουν τη βιώσιμη αστική ανάπτυξη στην μητροπολιτική περιοχή του Ταϊπέι της Ταϊβάν; Wolf et al., 2009: αναγνώριση των σημαντικών παραγόντων και εντοπισμός των απαιτούμενων μέτρων σχεδιασμού, ρύθμισης και ελέγχου για την ανάπτυξη λειτουργικών δικτυών θαλάσσιων μεταφορών; Kalema et al., 2014: εντοπισμός των κρίσιμων παραγόντων που επηρεάζουν την αποτελεσματική χρήση των συστημάτων διαχείρισης των επιχειρησιακών πόρων σε ιδρύματα τριτοβάθμιας εκπαίδευσης; Ribeiro, 2016: εντοπισμός των παραγόντων που βελτιώνουν την αειφορία των κατασκευών). Παρόλη την ευρεία εφαρμογή της, είναι η πρώτη φορά που η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται για την αξιολόγηση και τον εντοπισμό των κρίσιμων παραγόντων που επηρεάζουν την εφαρμογή επεμβάσεων Ε&ΑΝ. Η προσαρμογή και η εφαρμογή της μεθόδου αυτής, όπως προτείνεται στην παρούσα Διατριβή, παρέχει ένα συστηματικό πλαίσιο ανάλυσης των παραγόντων που έχουν εντοπιστεί, ενώ κατόπιν αντιστοιχεί τα σημαντικά εμπόδια με κατάλληλα μέτρα για την αντιμετώπισή τους. Στη βιβλιογραφία απαντώνται πολλές αναλύσεις που δεν ακολουθούν τη μέθοδο του Vester για των εντοπισμό κρίσιμων παραγόντων που επηρεάζουν τη συμπεριφορά ή την απόδοση συστημάτων, οι περισσότερες από τις οποίες στηρίζονται είτε στην κρίση εμπειρογνωμόνων ή εκπροσώπων τοπικών φορέων, οι οποίοι ψηφίζουν και αναδεικνύουν τους σημαντικούς παράγοντες (π.χ. Abu Madi, 2004; Eadie et al., 2010; Ghazilla et al., 2015; Craig et al., 2017), είτε σε βιβλιογραφικές πηγές και αναφορές (π.χ. Mainali et al., 2011: εφαρμογή ανάλυσης SWOT για τον εντοπισμό των παραγόντων που επηρέασαν την αποτυχία ή την επιτυχία υφιστάμενων σχημάτων Ε&ΑΝ). Στην περίπτωση των αναλύσεων αυτών όμως, ο εντοπισμός των κρίσιμων ή σημαντικών παραγόντων γίνεται αγνοώντας τελείως τις μεταξύ τους αλληλεπιδράσεις και το συστημικό τους ρόλο (κάθε παράγοντας εξετάζεται μεμονωμένος από το υπόλοιπο σύστημα). Άλλες προσεγγίσεις που απαντώνται στη βιβλιογραφία εφαρμόζουν στατιστικές μεθόδους (π.χ. αναλύσεις συσχέτισης και παλινδρόμησης) για τον εντοπισμό των κρίσιμων παραγόντων που επηρεάζουν τη συμπεριφορά συστημάτων, ώστε να λάβουν υπόψη τους τις αλληλεπιδράσεις αυτές (π.χ.

Thaher, 2012; Reckien et al., 2015). Αν και οι αναλύσεις αυτές αξιολογούν το ρόλο των παραγόντων μέσα στο σύστημα, δεν προτείνουν έναν συστηματικό τρόπο αντιστοίχισης των κρίσιμων παραγόντων με κατάλληλα μέτρα αντιμετώπισης ή ρύθμισης των συστημάτων, όπως συμβαίνει με τη μέθοδο που προτείνεται στην παρούσα Διατριβή.

- **Πρόταση προτεραιοτήτων επέμβασης για τους λήπτες αποφάσεων**

Μέσω της καινοτόμου και συστηματικής προσέγγισης, που προτείνεται από την παρούσα Διατριβή, τίθενται προτεραιότητες για τους λήπτες αποφάσεων σε τοπικό επίπεδο. Προτείνονται τα απαιτούμενα μέτρα και ενέργειες για τους πιο σημαντικούς παράγοντες – τομείς επέμβασης, ώστε πρώτα να δημιουργηθούν οι κατάλληλες συνθήκες αποδοχής και υποστήριξης (ευνοϊκό περιβάλλον) και στη συνέχεια να εφαρμοστούν τα συστήματα Ε&ΑΝ, βοηθώντας έτσι στην αποφυγή λαθών, αρνητικών αντιδράσεων και σπατάλης σημαντικών πόρων, κατά το σχεδιασμό και την υλοποίηση αυτών των συστημάτων. Σε αντίθεση με την παρούσα ανάλυση, τα περισσότερα αντίστοιχα πλαίσια που απαντώνται στη βιβλιογραφία περιορίζονται στην αναγνώριση παραγόντων επιρροής, χωρίς να προχωρούν στον εντοπισμό προτεραιοτήτων και δράσεων σε τοπικό επίπεδο.

- **Προώθηση συμμετοχικών διαδικασιών και εμπλοκής τοπικών φορέων στη λήψη αποφάσεων**

Οι συμμετοχικές διαδικασίες λήψης αποφάσεων, στις οποίες συμμετέχει ένας σημαντικός αριθμός εκπροσώπων των τοπικών φορέων, έχουν αποδειχθεί πιο αποτελεσματικές για την επιτυχημένη εφαρμογή επεμβάσεων Ε&ΑΝ, σε αντίθεση με τις παραδοσιακές διαδικασίες κατά τις οποίες οι επεμβάσεις Ε&ΑΝ υλοποιούνται χωρίς την εμπλοκή εκπροσώπων διαφόρων κοινωνικών ομάδων. Είναι πολυάριθμα τα παραδείγματα ανά τον κόσμο στα οποία επεμβάσεις Ε&ΑΝ απέτυχαν και εγκαταλείφθηκαν, λόγω της μη αποδοχής τους από τις τοπικές κοινωνίες (Bixio et al., 2006b). Το προτεινόμενο μεθοδολογικό πλαίσιο προωθεί τις συμμετοχικές διαδικασίες λήψης αποφάσεων, καθώς η αξιολόγηση των παραγόντων ως εμπόδια ή κίνητρα για την εφαρμογή των προτεινόμενων επεμβάσεων Ε&ΑΝ γίνεται μέσα από την αλληλεπίδραση, τη διαβούλευση και την ενεργή συμμετοχή των τοπικών φορέων της υπό μελέτης περιοχής. Μέσω του διαδικτυακού ερωτηματολογίου PESTL αποτυπώνονται οι απόψεις των τοπικών φορέων και των ενδιαφερόμενων μερών σχετικά με το είδος της επιρροής που έχει ο κάθε παράγοντας στην εφαρμογή επεμβάσεων Ε&ΑΝ (θετική ή αρνητική), τη σημασία της επιρροής αυτής (μικρή / μέτρια / μεγάλη), καθώς επίσης διατυπώνονται προτάσεις για να ξεπεραστεί η αρνητική επιρροή των παραγόντων. Επίσης, για τον εντοπισμό των αλληλεξαρτήσεων μεταξύ των εμποδίων που έχουν εντοπιστεί από τα ερωτηματολόγια, οι εκπρόσωποι των τοπικών φορέων της υπό μελέτης περιοχής αποδίδουν τιμές στην αλληλεξάρτηση κάθε ζεύγους εμποδίων, και συμπληρώνουν τον πίνακα αλληλεξαρτήσεων (Cross-Impact Matrix - CIM). Έτσι λαμβάνονται υπόψη οι απόψεις, οι θέσεις και οι ανάγκες των ατόμων σε τοπικό επίπεδο. Παρόμοιες συμμετοχικές διαδικασίες απαντώνται σε πολλές αντίστοιχες εργασίες στη βιβλιογραφία είτε σχετικές με τη χρήση

ανακτημένου νερού (π.χ. Abu Madi, 2004) είτε γενικότερα για τον εντοπισμό παραγόντων επιρροής, εμποδίων και κινήτρων (π.χ. Chan & Huang, 2004; Lang et al., 2006; Cole et al., 2007; Huang et al., 2009; Thaher, 2012; Kalema et al., 2014).

- **Εύκολη εφαρμογή και αναπαραγωγή της προτεινόμενης μεθόδου**

  Το προτεινόμενο πλαίσιο μπορεί να εφαρμοστεί πολύ εύκολα σε οποιαδήποτε περιοχή χωρίς περιορισμό, καθώς περιλαμβάνει έναν πλήρη κατάλογο με όλους τους πιθανούς παράγοντες που ενδέχεται να επηρεάσουν την εφαρμογή επεμβάσεων Ε&ΑΝ, ενώ ταυτόχρονα δίνεται η δυνατότητα, μέσω συγκεκριμένων πεδίων του ερωτηματολογίου, να προταθούν πιο εξειδικευμένοι τοπικοί παράγοντες που θεωρείται ότι ενδέχεται να αποτελέσουν κίνητρα ή εμπόδια για την εφαρμογή, λαμβάνοντας υπόψη τις ειδικές συνθήκες που επικρατούν σε κάθε περιοχή. Επίσης, οι υπολογισμοί που απαιτούνται για την εφαρμογή του πλαισίου είναι σχετικά απλοί επιτρέποντας την εύκολη αναπαραγωγή του. Επιπροσθέτως, το προτεινόμενο πλαίσιο μπορεί να αναθεωρηθεί - προσαρμοστεί και να εφαρμοστεί σε διαφορετικά αντικείμενα (εκτός της Ε&ΑΝ), ώστε να δημιουργηθούν συνθήκες ευνοϊκού περιβάλλοντος για την προώθηση της εφαρμογής άλλων καινοτόμων τεχνολογιών και πρακτικών.

- **Προώθηση της υλοποίησης των Στόχων Βιώσιμης Ανάπτυξης (ΣΒΑ) του ΟΗΕ (Sustainable Development Goals)**

  Η προτεινόμενη μέθοδος για την ανάπτυξη ευνοϊκού περιβάλλοντος ώστε να προωθηθούν οι επεμβάσεις Ε&ΑΝ παραπέμπει άμεσα στους ΣΒΑ που δεσμεύτηκε να υλοποιήσει ο ΟΗΕ έως το 2030, και πιο συγκεκριμένα στους ΣΒΑ 6: «Διασφάλιση της διαθεσιμότητας και της βιώσιμης διαχείρισης των υδάτων και των εγκαταστάσεων / συστημάτων υγιεινής για όλους», ΣΒΑ 9: «Οικοδόμηση ανθεκτικών υποδομών, προαγωγή της βιώσιμης, χωρίς αποκλεισμούς βιομηχανοποίησης και προώθηση της καινοτομίας» και ΣΒΑ 13: «Ανάληψη άμεσης δράσης για την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής και των επιπτώσεών της». Οι αντίστοιχοι υπο-στόχοι που αφορούν στη μείωση της ρύπανσης και του ποσοστού των ανεπεξέργαστων υγρών αποβλήτων, στη σημαντική αύξηση της ανακύκλωσης και της ασφαλούς επαναχρησιμοποίησης του νερού σε παγκόσμιο επίπεδο, στην προώθηση των τεχνολογιών Ε&ΑΝ και στην υιοθέτηση καθαρών και περιβαλλοντικά ορθών τεχνολογιών και βιομηχανικών μεθόδων, καθώς και στην ενδυνάμωση της συμμετοχής των τοπικών κοινοτήτων σε θέματα διαχείρισης υδατικών πόρων και αποβλήτων έως το 2030, βρίσκονται σε πλήρη ευθυγράμμιση με τους στόχους της προτεινόμενης μεθόδου, η οποία θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σαν ένα εργαλείο προώθησης της επίτευξής τους.

Αδυναμίες

- **Απαίτηση επαρκούς αριθμού συμμετεχόντων και εκπροσώπησης όλων των ομάδων τοπικών φορέων στην έρευνα ερωτηματολογίων**

  Τουλάχιστον δύο εκπρόσωποι από κάθε μία από τις επτά ομάδες τοπικών φορέων που έχουν θεωρηθεί[18] (τουλάχιστον 14 άτομα συνολικά) πρέπει να συμμετέχουν στην έρευνα ερωτηματολογίων, ώστε τα αποτελέσματά της να είναι αντιπροσωπευτικά της υφιστάμενης τοπικής κατάστασης. Ο περιορισμός αυτός σε συνδυασμό με το γεγονός ότι το ερωτηματολόγιο PESTL είναι αρκετά εκτενές (76 πεδία προς συμπλήρωση συνολικά) και απαιτείται αρκετός χρόνος για τη συμπλήρωσή του (μέση χρονική διάρκεια συμπλήρωσης 45 λεπτά) αποτελεί το λόγο που η διαδικασία συμπλήρωσης των ερωτηματολογίων καταλαμβάνει ίσως το μεγαλύτερο μέρος του συνολικού χρόνου εκτέλεσης της προτεινόμενης μεθόδου.

- **Υποκειμενικότητα στην αξιολόγηση των αλληλεπιδράσεων των εμποδίων**

  Η αξιολόγηση των αλληλεπιδράσεων των εμποδίων γίνεται συμπληρώνοντας τον CIM στη βάση των απόψεων των εκπροσώπων των τοπικών φορέων της υπό μελέτης περιοχής. Σε αντίθεση με τις στατιστικές μεθόδους, ο τρόπος αυτός εισάγει υποκειμενικότητα στα τελικά αποτελέσματα, αφού οι βαθμολογίες για τη συμπλήρωση του CIM εξαρτώνται από το βαθμό κατανόησης και τις γνώσεις / αντιλήψεις των ατόμων που συμμετέχουν στην ανάλυση. Μικρές αλλαγές στη βαθμολογία κατά την επαναξιολόγηση ορισμένων παραγόντων μπορούν να οδηγήσουν σε διαφορετικά αποτελέσματα (Linss & Fried, 2010). Για το λόγο αυτό είναι σημαντική η εξασφάλιση της πλήρους κατανόησης από τους συμμετέχοντες των ζητημάτων που καλούνται να κρίνουν.

- **Παράλειψη θεώρησης έμμεσων αλληλεξαρτήσεων μεταξύ των εμποδίων**

  Η προτεινόμενη μέθοδος για τον εντοπισμό των σημαντικών εμποδίων στην εφαρμογή επεμβάσεων Ε&ΑΝ, που στηρίζεται στη μέθοδο αναπτύχθηκε από τον Frederic Vester (Vester, 1988), λαμβάνει υπόψη μόνο τις άμεσες αλληλεξαρτήσεις μεταξύ των εμποδίων και αναλύει το συστημικό τους ρόλο στη βάση αυτών, αγνοώντας τις έμμεσες αλληλεξαρτήσεις – αλληλεπιδράσεις μεταξύ τους και τους βρόγχους ανατροφοδότησης (feedback loops) που δημιουργούνται λόγω αυτών (Linss & Fried, 2009). Για παράδειγμα, μπορεί σύμφωνα με τον CIM, ο παράγοντας (Π) 1 να μην έχει καμία άμεση επίδραση στον παράγοντα 5 (Π1⇒Π5 = 0), αλλά να υπάρχουν ισχυρές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των παραγόντων 1 και 2, 2 και 3, 3 και 5 (Π1⇒Π2 = 3, Π2⇒Π3 = 3, Π3⇒Π5 = 3). Αυτό συνεπάγεται ότι, λόγω των έμμεσων αλληλεξαρτήσεων, υπάρχει αλληλεξάρτηση μεταξύ των παραγόντων 1 και 5, η οποία όμως στην παρούσα ανάλυση αγνοείται. Στη μέθοδο

[18] Εκπρόσωποι των εταιρειών ύδρευσης ή/και αποχέτευσης; Εκπρόσωποι της κυβέρνησης, της τοπικής αυτοδιοίκησης και των αρχών διαχείρισης υδατικών πόρων; Εκπρόσωποι της βιομηχανίας; Αγρότες; Απλοί πολίτες; Περιβαλλοντικές – μη κερδοσκοπικές οργανώσεις; Επιστήμονες, ειδικοί και ερευνητές.

του Vester θεωρούνται μόνο οι άμεσες αλληλεξαρτήσεις, παραλείποντας τη θεώρηση των έμμεσων, και αυτό μπορεί να οδηγήσει σε αμφισβητούμενα αποτελέσματα. Η θεώρηση των έμμεσων αλληλεξαρτήσεων ωστόσο, αυξάνει σημαντικά την πολυπλοκότητα της ανάλυσης των υπό μελέτη συστημάτων (Linss & Fried, 2009; Linss & Fried, 2010).

5.4. Καινοτόμος Συνεισφορά Διατριβής

Η σύνθεση των επιμέρους βημάτων του προτεινόμενου μεθοδολογικού πλαισίου σε ένα ενιαίο πλαίσιο αποτελεί καινοτομία στον τομέα της διαχείρισης των υδατικών πόρων, καθώς παρέχει ένα πρωτοπόρο εργαλείο που συνδυάζει την αξιολόγηση και την παρακολούθηση της κατάστασης των υδατικών συστημάτων με τον εντοπισμό και την προώθηση κατάλληλων λύσεων για τη βελτίωσή της.

Η εκτίμηση της τρωτότητας των υδατικών συστημάτων στη σπανιότητα ύδατος γίνεται μέσα από τη συνδυαστική χρήση δέκα επιμέρους δεικτών τρωτότητας, για την ανάλυση των προφίλ τρωτότητας των υπό μελέτη περιοχών (αναλυτική προσέγγιση), και ενός σύνθετου δείκτη τρωτότητας (VI), για τη συγκριτική αξιολόγηση (benchmarking) μεταξύ περιοχών και την εκτίμηση της συνεισφοράς διαφορετικών επεμβάσεων Ε&ΑΝ στη μείωση της (συνθετική προσέγγιση). Συνδυάζοντας τις δύο προσεγγίσεις επιτυγχάνεται μία ολοκληρωμένη ανάλυση των υδατικών συστημάτων, η οποία μπορεί εύκολα να εφαρμοστεί και να προσαρμοστεί στις ανάγκες οποιαδήποτε περιοχής. Το πλαίσιο των επιλεγμένων δεικτών τρωτότητας εκφράζει επαρκώς και ισότιμα τις τρεις συνιστώσες της τρωτότητας (έκθεση, ευαισθησία και προσαρμοστική ικανότητα), αντικατοπτρίζοντας ταυτόχρονα τον πολυσχιδή της χαρακτήρα (φυσική, υλική/τεχνική, οικονομική και κοινωνική διάσταση), ενώ συμπεριλαμβάνει τη συνεισφορά των εναλλακτικών υδατικών πόρων στην κάλυψη της ζήτησης (αφαλατωμένο και ανακτημένο νερό), η οποία σπανίως συνεκτιμάται στα πλαίσια εκτίμησης της τρωτότητας των υδατικών συστημάτων που απαντώνται στη βιβλιογραφία. Ο VI μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη συγκριτική αξιολόγηση της τρωτότητας μεταξύ διαφορετικών περιοχών, αλλά και μεταξύ διαφορετικών χρονικών περιόδων για τις περιοχές αυτές, οι οποίες μπορεί να αφορούν από ολόκληρα κράτη, μέχρι υπο-λεκάνες μίας λεκάνης απορροής ή μικρές κοινότητες, με την κατάλληλη προσαρμογή των δεικτών. Επίσης, ο VI αποτελεί μέτρο αξιολόγησης πιθανών επεμβάσεων, βοηθώντας στον εντοπισμό των πλέον κατάλληλων μέτρων για την αντιμετώπιση της σπανιότητας ύδατος στις υπό μελέτη περιοχές, και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο λήψης αποφάσεων σε ζητήματα σχετικά με τη χρήση και τη διαχείριση των υδατικών πόρων (σε συνδυασμό βέβαια με άλλα εργαλεία που αξιολογούν διαφορετικούς παράγοντες, π.χ. οικονομικούς). Για να περιοριστεί η υποκειμενικότητα στη στάθμιση των επιμέρους δεικτών κατά τη σύνθεση του VI, εφαρμόστηκε η στατιστική μέθοδος στάθμισης ΑΚΣ, που θεωρείται πως παρέχει πιο αντικειμενικά και αξιόπιστα αποτελέσματα, σε σύγκριση με τις συμμετοχικές μεθόδους, ενώ εφαρμόζοντας κατάλληλες μεθόδους αβεβαιότητας και ευαισθησίας εξασφαλίστηκε πως ο VI παρέχει αποτελέσματα υψηλής αξιοπιστίας. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων αβεβαιότητας και ευαισθησίας σε συνδυασμό με την επιτυχή διεξαγωγή της ΑΚΣ (ικανοποιητικός αριθμός περιπτώσεων και υψηλή βαθμολογία στους επιμέρους ελέγχους ευρωστίας της ανάλυσης) επιτρέπουν τη χρήση του VI (όπως είναι, χωρίς αναπροσαρμογή) για την εκτίμηση της τρωτότητας και άλλων περιοχών, εκτός Ελλάδας, οι οποίες έχουν παρεμφερή χαρακτηριστικά με τις ελληνικές περιοχές (π.χ. Μεσογειακές χώρες και περιοχές της Νοτιο-ανατολικής Ευρώπης).

Για την ανάπτυξη ευνοϊκού περιβάλλοντος, ώστε να προωθηθεί η εφαρμογή επεμβάσεων Ε&ΑΝ, υιοθετείται μία ολιστική προσέγγιση, η οποία λαμβάνει υπόψη όλους τους παράγοντες (πολιτικούς, οικονομικούς, κοινωνικούς, τεχνικούς, νομικούς – θεσμικούς) που ενδέχεται να

επηρεάσουν τη χρήση του ανακτημένου νερού. Προτείνεται ένας συστηματικός τρόπος για τον εντοπισμό των σημαντικών παραγόντων που εμποδίζουν την εφαρμογή επεμβάσεων Ε&ΑΝ, και των απαιτούμενων υποστηρικτικών μέτρων και ενεργειών που πρέπει να εφαρμοστούν σε τοπικό επίπεδο για να ξεπεραστούν τα εμπόδια αυτά, μέσα από την ανάλυση των αλληλεξαρτήσεων και του συστημικού ρόλου των εμποδίων. Η προτεινόμενη μέθοδος για τον εντοπισμό των σημαντικών εμποδίων ακολουθεί τη μέθοδο που αναπτύχθηκε από τον Frederic Vester (Vester, 1988) και έχει ευρεία εφαρμογή στην ανάλυση διαφόρων συστημάτων και στον εντοπισμό των σημαντικών παραγόντων που τα επηρεάζουν. Παρόλη την ευρεία εφαρμογή της, είναι η πρώτη φορά που η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται για την αξιολόγηση και τον εντοπισμό των σημαντικών παραγόντων που επηρεάζουν την εφαρμογή επεμβάσεων Ε&ΑΝ. Επίσης, μέσω της καινοτόμου και συστηματικής προσέγγισης, που προτείνεται από την παρούσα Διατριβή, τίθενται προτεραιότητες για τους λήπτες αποφάσεων σε τοπικό επίπεδο. Προτείνονται, δηλαδή, τα απαιτούμενα μέτρα και ενέργειες για τους πιο σημαντικούς παράγοντες – τομείς επέμβασης, ώστε πρώτα να δημιουργηθούν οι κατάλληλες συνθήκες αποδοχής και υποστήριξης (ευνοϊκό περιβάλλον) και στη συνέχεια να εφαρμοστούν τα συστήματα Ε&ΑΝ, βοηθώντας έτσι στην αποφυγή λαθών, αρνητικών αντιδράσεων και σπατάλης σημαντικών πόρων, κατά το σχεδιασμό και την υλοποίηση αυτών των συστημάτων. Τα επιμέρους βήματα για την ανάπτυξη του ευνοϊκού περιβάλλοντος υλοποιούνται μέσα από την αλληλεπίδραση, τη διαβούλευση και την ενεργή συμμετοχή των τοπικών φορέων των υπό μελέτη περιοχών, και μπορούν να εφαρμοστούν σε οποιαδήποτε περιοχή χωρίς περιορισμό. Οι υπολογισμοί που απαιτούνται για την εφαρμογή των βημάτων αυτών είναι σχετικά απλοί, επιτρέποντας την εύκολη αναπαραγωγή τους, ενώ το προτεινόμενο μεθοδολογικό πλαίσιο μπορεί να αναθεωρηθεί - προσαρμοστεί και να εφαρμοστεί σε διαφορετικά αντικείμενα (εκτός της Ε&ΑΝ), ώστε να δημιουργηθούν συνθήκες ευνοϊκού περιβάλλοντος για την προώθηση της εφαρμογής άλλων καινοτόμων τεχνολογιών και πρακτικών.

Το προτεινόμενο μεθοδολογικό πλαίσιο προωθεί την υλοποίηση των Στόχων Βιώσιμης Ανάπτυξης (ΣΒΑ) που δεσμεύτηκε να υλοποιήσει ο ΟΗΕ έως το 2030 (“Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development”, UN, 2015) και αποτελούν την πρώτη παγκόσμια συμφωνία για ένα διαφορετικό μέλλον για τους ανθρώπους και τον πλανήτη στην πορεία της βιώσιμης ανάπτυξης (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2015β). Τόσο ο VI και οι επιμέρους δείκτες εκτίμησης της τρωτότητας, όσο και η προτεινόμενη μέθοδος για την ανάπτυξη ευνοϊκού περιβάλλοντος παραπέμπουν άμεσα στους ΣΒΑ 6: «Διασφάλιση της διαθεσιμότητας και της βιώσιμης διαχείρισης των υδάτων και των εγκαταστάσεων / συστημάτων υγιεινής για όλους», ΣΒΑ 9: «Οικοδόμηση ανθεκτικών υποδομών, προαγωγή της βιώσιμης, χωρίς αποκλεισμούς βιομηχανοποίησης και προώθηση της καινοτομίας», ΣΒΑ 11: «Μετατροπή των πόλεων και των ανθρώπινων οικισμών σε χώρους δίχως αποκλεισμούς, ασφαλείς, ανθεκτικούς και βιώσιμους» και ΣΒΑ 13: «Ανάληψη άμεσης δράσης για την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής και των επιπτώσεών της». Ο VI θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σαν ένα εργαλείο εκτίμησης και παρακολούθησης της επίτευξης των ΣΒΑ για την Ελλάδα, ενώ η προτεινόμενη μέθοδος για την ανάπτυξη ευνοϊκού περιβάλλοντος θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σαν ένα εργαλείο προώθησης της επίτευξής τους.

Τέλος, μέσα από την εφαρμογή του προτεινόμενου μεθοδολογικού πλαισίου για την εκτίμηση της τρωτότητας των υδατικών συστημάτων στις 46 ελληνικές ΛΑΠ, δημιουργήθηκε μία βάση δεδομένων με τους επιμέρους δείκτες τρωτότητας ανά ΛΑΠ για τον ελλαδικό χώρο. Η βάση αυτή αποτελεί μία ακόμα καινοτόμο συνεισφορά της παρούσας διατριβής, καθώς πολλά από τα δεδομένα που περιέχει δεν υπάρχουν διαθέσιμα σε αυτήν τη χωρική κλίμακα, και αναπτύχθηκαν ύστερα από υπολογισμούς και έρευνα στα πλαίσια της παρούσας ανάλυσης. Η βάση αυτή συνοδεύεται από ένα διαδραστικό εργαλείο με θεματικούς χάρτες τρωτότητας και πληροφορίες σχετικά με τη χρήση των υδατικών πόρων ανά ΛΑΠ, το οποίο θα μπορούσε να παρέχει χρήσιμο υλικό για την προώθηση σχετικών ερευνητικών εργασιών.

Η καινοτομία της παρούσας Διατριβής στοιχειοθετείται επίσης από τις ακόλουθες ανακοινώσεις και δημοσιεύσεις:

Ανακοινώσεις σε διεθνή συνέδρια

- **Stathatou, P-M.**, Kampragou, E., Grigoropoulou H., Assimacopoulos, D., Karavitis, C., & Gironás, J. (2016). *Creating an enabling environment for WR&R implementation*. 13th IWA Specialized Conference on Small Water and Wastewater Systems and 5th IWA Specialized Conference on Resources-Oriented Sanitation, Athens, Greece, 14-16 September.
- **Stathatou, P-M.**, & Kampragou, E. (2015). *Drought vulnerability assessment and potential adaptation options in the Aegean islands*. International Conference on “DROUGHT: Research and Science-Policy Interfacing”, València, Spain, 10-13 March.
- **Stathatou, P-M.** (2014). *Water Recycling & Reuse: An alternative solution for reducing the vulnerability of water systems to adverse conditions*. Poster presented at the “Summer School on Drought Hazard and Management: Challenges in a Changing World”, organized by the FP7 DROUGHT-R&SPI research project, Syros Island, Greece, 16-20 June.
- **Stathatou, P-M.**, Kampragou, E., Grigoropoulou H., & Assimacopoulos, D. (2014). *Vulnerability of water systems: A comprehensive framework for its assessment and identification of adaptation strategies*. ADAPTtoCLIMATE International Conference, Nicosia, Cyprus, 27-28 March.
- **Stathatou, P-M.**, Gad, F-K., Kampragou, E., Grigoropoulou H., & Assimacopoulos, D. (2013). *Treated wastewater reuse potential: Mitigating water scarcity in the Aegean islands*. WIN4Life International Conference, Tinos Island, Greece, 19-21 September.

Δημοσιεύσεις σε επιστημονικά περιοδικά

- **Stathatou, P-M.**, Kampragou, E., Grigoropoulou H., Assimacopoulos, D., Karavitis, C., & Gironás, J. (2017). Creating an enabling environment for WR&R implementation. *Water Science and Technology*, doi:10.2166/wst.2017.353

- **Stathatou, P-M.**, Kampragou, E., Grigoropoulou H., Assimacopoulos, D., Karavitis, C., Porto, M. F. A., Gironás, J., Vanegas, M., & Reyna, S. (2016). Vulnerability of water systems: A comprehensive framework for its assessment and identification of adaptation strategies. *Desalination and Water Treatment, 57*(5), 2243-2255. doi:10.1080/19443994.2015.1012341
- **Stathatou, P-M.**, & Kampragou, E. (2015). Drought vulnerability assessment and potential adaptation options in the Aegean islands. In J. Andreu, A. Solera, J. Paredes-Arquiola, D. Haro-Monteagudo, & H. van Lanen (Eds.), *Drought: Research and Science-Policy Interfacing* (pp 355–360). London, UK: Taylor & Francis Group. doi:10.1201/b18077-60
- **Stathatou, P-M.**, Gad, F-K., Kampragou, E., Grigoropoulou H., & Assimacopoulos, D. (2015). Treated wastewater reuse potential: Mitigating water scarcity in the Aegean islands. *Desalination and Water Treatment, 53*(12), 3272-3282. doi:10.1080/19443994.2014.934108

5.5. Προτάσεις για Περαιτέρω Έρευνα

Στη βάση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από την εφαρμογή του προτεινόμενου μεθοδολογικού πλαισίου, και των αδυναμιών που εντοπίστηκαν συγκρίνοντας τις προτεινόμενες μεθόδους με αυτές που έχουν αναπτυχθεί ως τώρα, προτείνεται η διερεύνηση των ακόλουθων ιδεών, ώστε να εξελιχθεί το προτεινόμενο μεθοδολογικό πλαίσιο στο μέλλον:

Εκτίμηση της τρωτότητας των υδατικών συστημάτων

Οι ακόλουθες ιδέες προτείνεται να διερευνηθούν για τη βελτίωση του προτεινόμενου πλαισίου εκτίμησης της τρωτότητας των υδατικών συστημάτων στη σπανιότητα ύδατος και αξιολόγησης εναλλακτικών επεμβάσεων (σεναρίων) για τη μείωσή της.

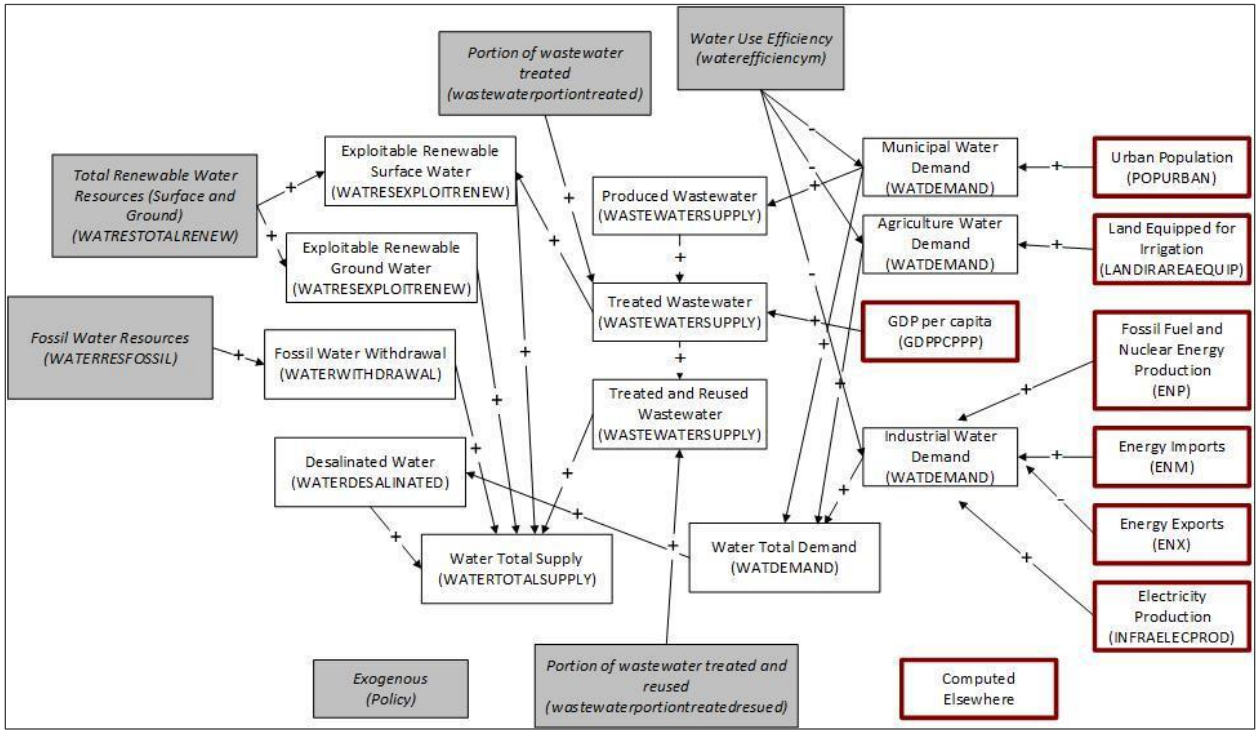
- **Αντικατάσταση & επικαιροποίηση δεικτών τρωτότητας**

  Το προτεινόμενο πλαίσιο δεικτών εκτίμησης της τρωτότητας θα πρέπει να αναδιαμορφώνεται και οι τιμές των δεικτών να επικαιροποιούνται τακτικά στη βάση των νέων ερευνητικών ευρημάτων.

  Τα Σχέδια Διαχείρισης των ΛΑΠ της χώρας, στη βάση των οποίων συμπληρώθηκαν οι τιμές των δεικτών τρωτότητας για τις ελληνικές ΛΑΠ, βρίσκονται υπό διαδικασία αναθεώρησης κατά το τρέχον χρονικό διάστημα, και ενδεχομένως να απαιτείται επικαιροποίηση των τιμών των δεικτών μετά το τέλος της διαδικασίας αυτής.

  Επίσης, θα είχε ενδιαφέρον να διερευνηθεί η αντικατάσταση του δείκτη Falkenmark, που εκτιμά το θεωρητικό υδατικό δυναμικό μίας περιοχής και εκφράζει τη συνολική ποσότητα των ανανεώσιμων υδατικών πόρων (επιφανειακών και υπόγειων) που εισέρχεται ετησίως σε μία περιοχή και είναι δυνητικά διαθέσιμη προς εκμετάλλευση για την κάλυψη των υδατικών αναγκών της, προς τον πληθυσμό της περιοχής αυτής (Falkenmark, 1989), από έναν δείκτη που θα εκτιμά τους πραγματικά εκμεταλλεύσιμους υδατικούς πόρους. Λαμβάνοντας υπόψη το πραγματικά εκμεταλλεύσιμο υδατικό δυναμικό των υπο μελέτη περιοχών, το προτεινόμενο πλαίσιο θα μπορούσε να παρέχει ακόμα πιο έγκυρα και αντιπροσωπευτικά της ισχύουσας κατάστασης αποτελέσματα. Ένας τέτοιος δείκτης βέβαια είναι αρκετά δύσκολο να εκτιμηθεί και απαιτείται η χρήση σύνθετων μοντέλων που προσομοιώνουν τα υδατικά ισοζύγια και τις υφιστάμενες υποδομές καθώς και τους τρόπους διαχείρισης των υδατικών πόρων στις υπό μελέτη περιοχές, ώστε να εκτιμηθούν οι διαθέσιμοι προς εκμετάλλευση πόροι. Ένα παράδειγμα μοντέλου που λαμβάνει υπόψη τους πραγματικά εκμεταλλεύσιμους υδατικούς πόρους είναι το μοντέλο International Futures (IFs) (Hughes & Hedden, 2016), το οποίο χρησιμοποιείται για τη μοντελοποίηση, την ανάλυση και την πρόβλεψη της απόδοσης περιβαλλοντικών, οικονομικών, κοινωνικό-οικονομικών, ενεργειακών κ.α. συστημάτων, και θεωρεί πως η συνολική υδατική παροχή ισούται με τους πραγματικά εκμεταλλεύσιμους επιφανειακούς και υπόγειους πόρους, την ποσότητα ορυκτού νερού (fossil water) που χρησιμοποιείται, καθώς και τους μη

συμβατικούς πόρους που τροφοδοτούν την κατανάλωση (αφαλατωμένο και ανακτημένο νερό) (Εικόνα 5.1).



Εικόνα 5.1: Μοντελοποίηση υδατικού συστήματος στο μοντέλο International Futures (IFs) (Hughes & Hedden, 2016)

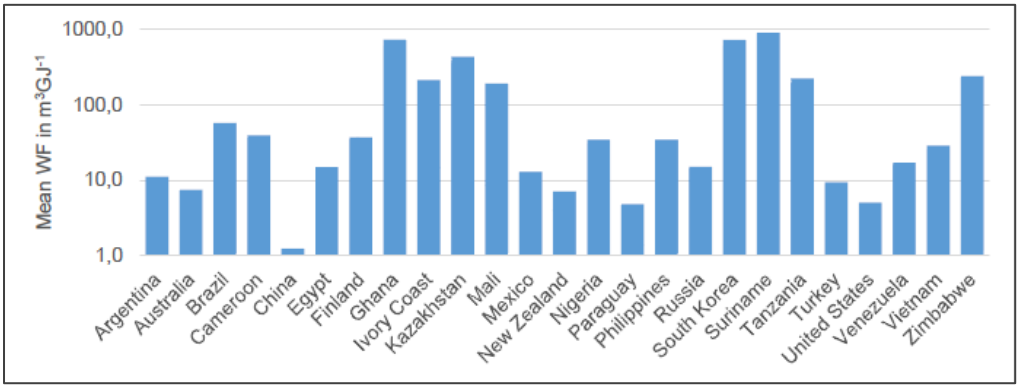
Ενδιαφέρον, επίσης, θα είχε να διερευνηθεί η αντικατάσταση του δείκτη WEI, που ισούται με το λόγο των μέσων ετήσιων συνολικών απολήψεων υδατικών πόρων (επιφανειακών και υπόγειων) για την κάλυψη των αναγκών μίας περιοχής προς τα διαθέσιμα αποθέματα ανανεώσιμων υδατικών πόρων στην περιοχή αυτή (EEA, 2004), από τον WEI+. Ο δείκτης WEI αναθεωρήθηκε και αναβαθμίστηκε στον WEI+ από την Ομάδα Εργασίας για τη Σπανιότητα Ύδατος και την Ξηρασία (Expert Group on Water Scarcity & Droughts), που συστάθηκε από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή στα πλαίσια της Κοινής Στρατηγικής για την Εφαρμογή της Οδηγίας Πλαίσιο για τα Νερά 60/2000/ΕΚ την περίοδο 2010-2012 (Kirhensteine et al., 2016). Μέσω του WEI+ επαναπροσδιορίζονται οι υδατικές απολήψεις, καθώς λαμβάνονται υπόψη οι επιστροφές των υδατικών πόρων στο σύστημα. Ως επιστροφές στο σύστημα ορίζονται οι απώλειες από τα δίκτυα συλλογής, μεταφοράς και διανομής νερού, καθώς και η ποσότητα ανακτημένου νερού που επιστρέφει στο σύστημα από επεξεργασία υγρών αποβλήτων (Faergemann, 2012). Μέσω του WEI+ δίνεται η δυνατότητα να βελτιωθεί το επίπεδο ανάλυσης των υδατικών συστημάτων και εκτίμησης των συνθηκών έλλειψης νερού. Αυτή τη στιγμή δοκιμάζεται η εφαρμογή του δείκτη WEI+ σε επίπεδο λεκάνης απορροής από την Ομάδα Εργασίας για τη Σπανιότητα Ύδατος και την Ξηρασία, η οποία σχεδιάζει να επικυρώσει τα δεδομένα της ευρωπαϊκής βάσης

δεδομένων Eurostat και να επανεξετάσει τις προτεινόμενες οριακές τιμές για το δείκτη (Faergemann, 2012; Lutter & Giljum, 2015). Μέχρι στιγμής δεν έχουν δημοσιευτεί πληροφορίες σχετικά με τα αποτελέσματα της εφαρμογής του WEI+ (Lutter & Giljum, 2015). Ορισμένα από τα Σχέδια Αντιμετώπισης των φαινομένων Λειψυδρίας και Ξηρασίας, τα οποία καταρτίστηκαν από την Ειδική Γραμματεία Υδάτων του ΥΠΕΚΑ στο πλαίσιο διαμόρφωσης των Σχεδίων Διαχείρισης των ΛΑΠ της χώρας, περιλαμβάνουν τον υπολογισμό του WEI+. Ύστερα από την ολοκλήρωση της αναθεώρησης των σχεδίων αυτών, θα είχε νόημα να επαναληφθεί η εφαρμογή του προτεινόμενου πλαισίου εκτίμησης της τρωτότητας στις 46 ελληνικές ΛΑΠ, λαμβάνοντας υπόψη τις τιμές αυτές.

Επιπροσθέτως, θα είχε ενδιαφέρον η αναδιαμόρφωση του προτεινόμενου πλαισίου δεικτών, ώστε να εκφράζονται εξίσου με την κατανάλωση για ύδρευση οι καταναλώσεις για τις υπόλοιπες υδατικές χρήσεις, και να μπορούν να εντοπιστούν και να συνυπολογιστούν οι αντίστοιχες πιέσεις κατά την εκτίμηση της τρωτότητας περιοχών με έντονες γεωργικές ή βιομηχανικές δραστηριότητες (και αντίστοιχα μεγάλες καταναλώσεις).

- **Συνυπολογισμός απωλειών από υδροηλεκτρικά στη συνολική κατανάλωση**

Στην παρούσα ανάλυση η χρήση νερού για την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας δεν θεωρείται καταναλωτική χρήση, καθώς το νερό επιστρέφει στα υδατικά σώματα μετά τη χρήση (Κουτσογιάννης κ.α., 2008), επομένως δεν λαμβάνεται υπόψη για τον υπολογισμό των υδατικών απολήψεων στις ελληνικές ΛΑΠ. Σύμφωνα όμως με τους Gerbens-Leenes et al. (2008), η παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας έχει το μεγαλύτερο υδατικό αποτύπωμα σε σχέση με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από οποιοδήποτε άλλο πόρο μετά τη βιομάζα, 22.30 m^3 ανά GJ (παγκόσμιος μέσος όρος), εξαιτίας της εξάτμισης του νερού από τις δεξαμενές και τα φράγματα στα οποία αποθηκεύεται για την παραγωγή ενέργειας. Το υδατικό αποτύπωμα της παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας όπως προέκυψε από αναλύσεις σε διάφορα κράτη σύμφωνα με τον Knook (2016) παρουσιάζεται στην Εικόνα 5.2.



Εικόνα 5.2: Το μέσο υδατικό αποτύπωμα της παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας για ορισμένα κράτη (Πηγή: Knook, 2016)

Εάν συνυπολογιστούν οι απώλειες λόγω εξάτμισης από τα υδροηλεκτρικά αλλάζουν σημαντικά οι ποσότητες των υδατικών απολήψεων και κατ ’επέκταση τα αποτελέσματα της ανάλυσης. Για παράδειγμα, στο Υδατικό Διαμέρισμα Θεσσαλίας (08) που περιλαμβάνει τις ΛΑΠ Πηνειού και Ρεμάτων Αλμυρού – Πηλίου έχει θεωρηθεί πως δεν γίνονται υδατικές απολήψεις για βιομηχανία και παραγωγή ενέργειας. Αν ληφθούν υπόψη οι υδατικές απώλειες λόγω εξάτμισης από τον ταμιευτήρα Πλαστήρα (ωφέλιμη χωρητικότητα ταμιευτήρα 286×10^6 m^3), από τον οποίο παράγεται υδροηλεκτρική ενέργεια 220 GWh ετησίως (συνολική ετήσια καθαρή παραγωγή ενέργειας) (Κουτσογιάννης, κ.α. 2008), τότε σύμφωνα με τους Gerbens-Leenes et al. (2008), καταναλώνονται 17.6×10^6 m^3 ετησίως για την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας. Συνεπώς, θα είχε ενδιαφέρον να διερευνηθεί ο συνυπολογισμός των απωλειών από τις υδροηλεκτρικές μονάδες και η επίδραση του στα τελικά αποτελέσματα.

- **Εφαρμογή σε διαφορετική χωρική και χρονική κλίμακα**

  Επίσης, ενδιαφέρον θα είχε η εφαρμογή του προτεινόμενου μεθοδολογικού πλαισίου σε μικρότερη χωρική κλίμακα (π.χ. υπο-λεκάνες απορροής ή μεμονωμένα νησιά), καθώς υπάρχουν τοπικά ζητήματα που δεν αποτυπώνονται επαρκώς στην παρούσα ανάλυση. Παρομοίως, θα είχε ενδιαφέρον η ανάλυση των υδατικών συστημάτων σε μηνιαία ή εποχιακή κλίμακα (αντί της ετήσιας), ώστε να ληφθούν υπόψη οι εποχιακές μεταβολές στους διαθέσιμους και στους ζητούμενους υδατικούς πόρους. Για παράδειγμα, οι έντονες διακυμάνσεις στην προσφορά και στη ζήτηση νερού και τα σημαντικά προβλήματα έλλειψης νερού που απαντώνται στα νησιά του Αιγαίου κατά τη θερινή περίοδο, δεν αποτυπώνονται στην παρούσα ανάλυση, με αποτέλεσμα η ΛΑΠ Κυκλάδων να μην εμφανίζει τρωτότητα στη σπανιότητα ύδατος στη διάρκεια ενός έτους, κάτι που όμως δεν αναμένεται να ισχύει αν αναλυθεί ξεχωριστά κατά τους καλοκαιρινούς μήνες.

- **Εισαγωγή συμμετοχικών διαδικασιών στην ανάπτυξη του VI**

  Κατά την ανάπτυξη του VI θα μπορούσε να διερευνηθεί η εμπλοκή εκπροσώπων των τοπικών φορέων των υπό ανάλυση περιοχών, και της επίδρασης που θα είχε αυτή η εμπλοκή στην επιλογή των τελικών δεικτών τρωτότητας και στην ανάθεση βαρύτητας στους επιμέρους δείκτες. Το προτεινόμενο πλαίσιο εκτίμησης της τρωτότητας θα μπορούσε να αναδιαμορφωθεί λαμβάνοντας υπόψη τη γνώμη των εκπροσώπων των τοπικών φορέων και να συγκριθούν τα αποτελέσματα με αυτά της παρούσας ανάλυσης.

- **Εντοπισμός εναλλακτικών επεμβάσεων Ε&ΑΝ στη ΛΑΠ Αττικής**

  Ενδιαφέρον θα είχε να διερευνηθούν και να αξιολογηθούν πιθανές επεμβάσεις Ε&ΑΝ στη ΛΑΠ Λεκανοπεδίου Αττικής, οι οποίες θα έχουν εντοπιστεί λαμβάνοντας υπόψη τη γνώμη των εκπροσώπων των τοπικών φορέων της περιοχής. Επίσης, η συνεισφορά

ανακτημένου νερού από την ΕΕΛ Μαρκόπουλου, που δεν έχει ληφθεί υπόψη στην παρούσα ανάλυση, θα μπορούσε να εξεταστεί.

- **Περαιτέρω διερεύνηση αναλύσεων αβεβαιότητας και ευαισθησίας**

  Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ανάλυσης ευαισθησίας, το μεγαλύτερο μέρος της διακύμανσης του VI (η οποία είναι μικρή) οφείλεται στις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των παραγόντων αβεβαιότητας (SNA). Η μεγάλη τιμή του SNA (μεγαλύτερη από 62% για όλες τις ΛΑΠ) υποδηλώνει σημαντική επίδραση των αλληλεπιδράσεων στη διακύμανση του VI. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνεται και από τους δείκτες ευαισθησίας συνολικής επίδρασης, οι οποίοι προέκυψαν σχεδόν ίσοι με τη μονάδα για κάθε παράγοντα αβεβαιότητας σε όλες τις ΛΑΠ. Επομένως, θα μπορούσαν να διερευνηθούν οι επιμέρους αλληλεπιδράσεις (υπολογισμός δεικτών ευαισθησίας ανώτερης τάξης) μεταξύ των παραγόντων αβεβαιότητας για να εντοπιστούν οι τυχόν συνδυασμοί που επηρεάζουν περισσότερο από άλλους τη διακύμανση των τελικών αποτελεσμάτων.

  Επίσης, ενδιαφέρον θα είχε να διερευνηθεί η ευρωστία του σύνθετου δείκτη στις οριακές τιμές που θεωρήθηκαν, καθώς και η ευαισθησία του στη μεταβολή αυτών (επιπλέον παράγοντας αβεβαιότητας).

Ανάπτυξη ευνοϊκού περιβάλλοντος για την προώθηση της εφαρμογής επεμβάσεων Ε&ΑΝ

Οι ακόλουθες προτάσεις θα μπορούσαν να διερευνηθούν περαιτέρω για τη βελτίωση της προτεινόμενης μεθόδου ανάπτυξης ευνοϊκού περιβάλλοντος για επεμβάσεις Ε&ΑΝ:

- **Θεώρηση έμμεσων αλληλεπιδράσεων μεταξύ των εμποδίων**

  Η προτεινόμενη μέθοδος για τον εντοπισμό των σημαντικών εμποδίων στην εφαρμογή επεμβάσεων Ε&ΑΝ, που στηρίζεται στη μέθοδο αναπτύχθηκε από τον Frederic Vester (Vester, 1988), λαμβάνει υπόψη μόνο τις άμεσες αλληλεξαρτήσεις μεταξύ των εμποδίων και αναλύει το συστημικό τους ρόλο στη βάση αυτών, αγνοώντας τις έμμεσες αλληλεξαρτήσεις – αλληλεπιδράσεις μεταξύ τους και τους βρόγχους ανατροφοδότησης (feedback loops) που δημιουργούνται λόγω αυτών (Linss & Fried, 2009). Θα είχε λοιπόν ενδιαφέρον να διερευνηθούν και οι έμμεσες αλληλεξαρτήσεις (εκτός από τις άμεσες) των εμποδίων, χρησιμοποιώντας μεθόδους που τις λαμβάνουν υπόψη, όπως πχ η μέθοδος MICMAC (Duperrin & Godet, 1973), η μέθοδος ADVIAN (ADVanced Impact ANalysis - Linss & Fried, 2009), και η μέθοδος DEMATEL (Decision Making Trial and Evaluation Laboratory – Li et al., 2014). Θα μπορούσε να εξεταστεί εάν και πώς διαφοροποιούνται τα αποτελέσματα από την εφαρμογή των διαφόρων μεθόδων και εάν κάποια μέθοδος βοηθά στο να περιοριστούν ακόμα περισσότερο οι παράγοντες που επηρεάζουν το υπό μελέτη σύστημα.

- **Εφαρμογή στον Ελλαδικό Χώρο**

  Τα Βήματα 3 και 4 του προτεινόμενου μεθοδολογικού πλαισίου, δηλαδή ο εντοπισμός εμποδίων και κινήτρων για την εφαρμογή των επεμβάσεων Ε&ΑΝ και ο προσδιορισμός προτεραιοτήτων επέμβασης στη βάση των πιο σημαντικών εμποδίων, εφαρμόστηκαν στη ΛΑΠ Copiapó της Χιλής για την οποία υπήρχαν διαθέσιμα δεδομένα. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον θα είχε να εφαρμοστεί το προτεινόμενο πλαίσιο για την ανάπτυξη ευνοϊκού περιβάλλοντος στη ΛΑΠ Αττικής, ώστε να εντοπιστούν οι πιο σημαντικοί παράγοντες που εμποδίζουν την εφαρμογή των προτεινόμενων επεμβάσεων Ε&ΑΝ, ως συνέχεια της παρούσας ανάλυσης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Abu Madi, M. (2004). *Incentive Systems for Wastewater Treatment and Reuse in Irrigated Agriculture in the MENA Region: Evidence from Jordan and Tunisia*. Ph.D Dissertation, Delft University of Technology / UNESCO-IHE Institute for Water Education, Delft, The Netherlands.

Abu Madi, M., Braadbaart, O., Al-Sa'ed, R., & Alaerts, G. (2003). Willingness of farmers to pay for reclaimed wastewater in Jordan and Tunisia. *Water Science and Technology: Water Supply, 13*(4), 115-122.

Adger, W. N. (2006). Vulnerability. *Global Environmental Change*, *16*(3), 268–281. doi:10.1016/j.gloenvcha.2006.02.006

Adger, W. N., Brooks, N., Bentham, G., Agnew, M., & Eriksen, S. (2004). *New indicators of vulnerability and adaptive capacity*. Tyndall Centre for Climate Change Research, Technical Report 7, Norwich, UK: School of Environmental Sciences, University of East Anglia.

Adger, W. N., Brown, K., Conway, D., Huq, S., & Hulme, M. (2002). *Adaptation to climate change: Setting the agenda for development policy and research*. Working Paper 16. Tyndall Centre for Climate Change Research, University of East Anglia, Norwich.

Alcamo, J., Henrich, T., & Rösch, T. (2000). *World Water in 2025 – Global modelling and scenario analysis for the World Commission on Water for the 21st Century*. Germany: Centre for Environmental System Research, University of Kassel.

Alessa, L., Kliskey, A., Lammers, R., Arp, C., White, D., Hinzman, L., & Busey, R. (2008). The Arctic water resource vulnerability index: An integrated assessment tool for community resilience and vulnerability with respect to freshwater. *Environmental Management*, *42*(3), 523-541. doi:10.1007/s00267-008-9152-0

Alfarra, A., Kemp-Benedict, E., Hötzl, H., Sader, N., & Sonneveld, B. (2011). A Framework for Wastewater Reuse in Jordan: Utilizing a Modified Wastewater Reuse Index. *Water Resources Management, 25*(4), 1153-1167. doi:10.1007/s11269-010-9768-8

Amjad, U. Q., Ojomo, E., Downs, K., Cronk, R., & Bartram, J. (2015). Rethinking Sustainability, Scaling Up, and Enabling Environment: A Framework for Their Implementation in Drinking Water Supply. *Water, 7,* 1497-1514.

Angelakis, A. N. (2012). *Wastewater Recycling and Reuse in EU Countries: Necessity for Establishing EU Legislation*. Workshop on the Quality of Recycled Water and its Application in Agriculture, Limassol Cyprus, 27 April, 2012. Retrieved from: http://www.sbla.com.cy/sala_website/PRESENTATIONS/DR%20ANGELAKIS%20CYPRUS%20WORKSHOP.pdf

Angelakis, A. N., Durham, B., Marecos do Monte, M. H. F., Salgot, M., Wintgens, T., & Thoeye, C. (2007). *Wastewater recycling and reuse in EUREAU countries: With Emphasis on Criteria Used.* EUREAU EU ½ Recycling & Reuse Working Group. EU1/2-07-WR-40 (1).

Appelgren, B., & Klohn, W. (1999). Management of water scarcity: A focus on social capacities and options. *Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere, 24*(4), 361-373. doi:10.1016/S1464-1909(99)00015-5

Asano, T., Burton, F. L., Leverenz, H. L., Tsuchihashi, R., & Tchobanoglous, G. (2007). *Water Reuse: Issues, Technologies, and Applications*. New York: McGraw-Hill.

Assimacopoulos, D. (2008). *Water Scarcity: Research opportunities for competing and conflicting demands.* Retrieved from http://environ.chemeng.ntua.gr/en/UserFiles/File/2008/D.%20Assimacopoulos%20-%20Water%20Scarcity%20EU%20Water%20Research%20Day.pdf

Assimacopoulos, D., Stathatou, P., & Katsiardi, I. (2014). *Comparative analysis of water systems' vulnerability and of water reuse & recycling technologies.* Deliverable 8.1 of the COROADO Project, EC, 7th Framework Programme (Grant agreement no: 283025).

Assimacopoulos, D., Stathatou, P., & Katsiardi, I. (2015). *Strategies for the integration of reuse and recycling options.* Deliverable 8.2 of the COROADO Project, EC, 7th Framework Programme (Grant agreement no: 283025).

Babaei, H., Araghinejad, S., & Hoorfar, A. (2013). Developing a new method for spatial assessment of drought vulnerability (case study: Zayandeh-rood river basin in Iran). *Water and Environment Journal, 27*(1), 50-57. doi:10.1111/j.1747-6593.2012.00326.x

Babel, M. S., Pandey, V. P., Rivas, A. A., & Wahid, S. M. (2011). Indicator-based approach for assessing the vulnerability of freshwater resources in the Bagmati river basin, Nepal. *Environmental Management, 48*(5), 1044-1059. doi:10.1007/s00267-011-9744-y

Bahri, A. (2009). *Managing the other side of the water cycle: Making wastewater an asset.* GWP TEC Background Paper No. 13.

Bahri, A. (2012). *Integrated Urban Water Management*. GWP TEC Background Paper No. 16.

Bakopoulou, S., Katsavou, I., Polyzos, S., & Kungolos, A. (2008). *Social Acceptability of Recycled Water Use for Irrigation Purposes in Thessaly Region, Greece.* 9th international Congress "Protection and Restoration of the Environment", Kefalonia, Greece, 29 June-3 July.

Baumann, D. D. (1983). Social acceptance of water reuse. *Applied Geography, 3*(1), 79-84. doi:10.1016/0143-6228(83)90007-3

Bhattacharya, S., & Das, A. (2007). *Vulnerability to Drought, Cyclones and Floods in India*. Retrieved from http://www.basic-project.net/data/final/Paper09India%20Vulnerability%20to%20drought%20%20cyclones%20and%20floods%85.pdf

BIO by Deloitte. (2015). *Optimising water reuse in the EU – Final report prepared for the European Commission (DG ENV), Part I.* In collaboration with ICF and Cranfield University. Luxembourg: Publications Office of the European Union.

Bixio, D., De heyder, B., Cikurel, H., Muston, M., Miska, V., Joksimovic, D., Schäfer, A.I., Ravazzini, A., Aharoni, A., Savic D., & Thoeye, C. (2005). Municipal wastewater reclamation: Where do we stand? An overview of treatment technology and management practice. *Water Science and Technology, Water Supply*, *5*(1), 77-85.

Bixio, D., Thoeye, C., De Koning, J., Joksimovic, D., Savic, D., Wintgens, T., & Melin, T. (2006a). Wastewater reuse in Europe. *Desalination, 187*(1-3)*,* 89-101. doi:10.1016/j.desal.2005.04.070

Bixio, D., Thoeye, C., Wintgens, T., Ravazzini, A., Miska, V., Muston, M., Chikurel, H., Aharoni, A., Joksimovic, D., & Melin, T. (2008). Water reclamation and reuse: Implementation and management issues. *Desalination, 218*(1-3)*,* 13-23. doi:10.1016/j.desal.2006.10.039

Bixio, D., Weemaes, M., Thoeye, C., Ravazzini, A., Miska, V., de Koening, J., Chikurel, H., Aharoni, A., Muston, M., Khan, S., Dollon, P., Schäfer, A., Joksimovic, D., Savic, D., Tings, A., Kazner, C., Lyko, S. (2006b). *Water Reuse System Management Manual*. Aquarec project. Brussels: European Commission.

Blumenthal, U., Mara, D., Peasey, A., Ruiz-Palacios, G., & Stott, R. (2000). Guidelines for the microbiological quality of treated wastewater used in agriculture: recommendations for revising WHO guidelines. *Bulletin of the World Health Organization, 78*(9), 1104-1116.

Bossel, H. (1999). *Indicators for Sustainable Development: Theory, Method, Applications. A Report to the Balaton Group*. Canada: International Institute for Sustainable Development.

Briguglio, L. (1995). Small island developing states and their economic vulnerabilities. *World Development, 23*(9), 1615-1632. doi:10.1016/0305-750X(95)00065-K

Brooks, N., Adger, W. N., & Kelly, P. M. (2005). The determinants of vulnerability and adaptive capacity at the national level and the implications for adaptation. *Global Environmental Change, 15*(2), 151-163. doi:10.1016/j.gloenvcha.2004.12.006

Brown, A., & Matlock, M. D. (2011). *A Review of Water Scarcity Indices and Methodologies*. Fayetteville, AK, USA: University of Arkansas, The Sustainability Consortium.

Cattell, R. B. (1966). The scree test for the number of factors. *Multivariate Behavioral Research, 1*(2), 245–276. doi:10.1207/s15327906mbr0102_10

Chan, S. –L., & Huang, S. -L. (2004). A systems approach for the development of a sustainable community - the application of the sensitivity model (SM). *Journal of Environmental Management, 72*(3), 133-147. doi:10.1016/j.jenvman.2004.04.003

Chang, H., Jung, I. -., Strecker, A., Wise, D., Lafrenz, M., Shandas, V., . . . Psaris, M. (2013). Water supply, demand, and quality indicators for assessing the spatial distribution of water resource vulnerability in the Columbia River Basin. *Atmosphere - Ocean, 51*(4), 339-356. doi:10.1080/07055900.2013.777896

Chellaney, B. (2013). *Water, Peace, and War: Confronting the Global Water Crisis*. Plymouth, UK: Rowman & Littlefield.

Chertow, M. R. (2007). "Uncovering" industrial symbiosis. *Journal of Industrial Ecology, 11*(1), 11-30. doi:10.1162/jiec.2007.1110

Chung, E. -S., Abdulai, P. J., Park, H., Kim, Y., Ahn, S. R., & Kim, S. J. (2017). Multi-criteria assessment of spatial robust water resource vulnerability using the TOPSIS method coupled with objective and subjective weights in the Han River Basin. *Sustainability (Switzerland), 9*(1) doi:10.3390/su9010029

Cole, A., Allen, W., Kilvington, M., Fenemor, A., & Bowden, B. (2007). Participatory modelling with an influence matrix and the calculation of whole-of-system sustainability values. *International Journal of Sustainable Development, 10*(4), 382-401. doi:10.1504/IJSD.2007.017911

Collins, T. W., & Bolin, B. (2007). Characterizing vulnerability to water scarcity: The case of a groundwater-dependent, rapidly urbanizing region. *Environmental Hazards, 7*(4), 399-418. doi:10.1016/j.envhaz.2007.09.009

Condarin, K., Kropac, M., & Spuhler, D. (2010). *The SUSTAINABLE SANITATION AND WATER MANAGEMENT TOOLBOX (SSWM) Toolbox.* Retreived from http://www.sswm.info

Condom, N., Lefebvre, M., & Vandome, L. (2012). *Treated Wastewater Reuse in the Mediterranean: Lessons Learned and Tools for Project Development.* Valbonne, France: Plan Bleu (Blue Plan Papers 11).

Cosgrove, W. J., & Rijsberman, F. (2000). *World Water Vision: Making Water Everybody's Business*. World Water Council. London, UK: Earthscan Publications Ltd.

Craig, L. E., Churilov, L., Olenko, L., Cadilhac, D. A., Grimley, R., Dale, S., . . . Middleton, S. (2017). Testing a systematic approach to identify and prioritise barriers to successful implementation of a complex healthcare intervention. *BMC Medical Research Methodology, 17*(1), 1-14. doi:10.1186/s12874-017-0298-4

Das Gupta, A., Babel, M. S., Albert, X., & Mark, O. (2005). Water sector of Bangladesh in the context of integrated water resources management: A review. *International Journal of Water Resources Development, 21*(2), 385–398. doi:10.1080/07900620500037818

De Stefano, L., Urquijo Reguera, J., Acácio, V., Andreu, J., Assimacopoulos, D., Bifulco, C., . . . Wolters, W. (2012). *Policy and Drought Responses – Case Study Scale*. Technical Report No. 4. A deliverable of the DROUGHT-R&SPI Project, EC, 7th Framework Programme (Grant agreement no: 282769).

Deressa, T., Hassan, R. M., & Ringler, C. (2008). *Measuring Ethiopian Farmers' Vulnerability to Climate Change Across Regional States*. International Food Policy Research Institute (IFPRI) Discussion Paper 00806. Retrieved from http://ebrary.ifpri.org/cdm/ref/collection/p15738coll2/id/13927

Downing, T. E., Aerts, J., Soussan, J., Barthelemy, O., Bharwani, S., Hinkel, J., Ionescu, C., Klein, R. J. T., Mata, L. J., Matin, N., Moss, S., Purkey, D., & Ziervogel, G. (2006). *Integrating social*

vulnerability into water management. Stockholm Environment Institute (SEI) and NeWater Working Paper and NeWater Working Paper No 5. Oxford: Stockholm Environment Institute.

Downing, T. E., Butterfield, R., Cohen, S., Huq, S., Moss, R., Rahman, A., Sokona, Y., & Stephen, L. (2001). *Climate change vulnerability: Linking impacts and adaptation*. Report to the Governing Council of the United Nations Environment Programme (UNEP), Nairobi.

Duperrin, J. C., & Godet, M. (1973). *Methode de hierarchisation des elements d'un systeme*. Rapport Economique du CEA, Paris.

Eadie, R., Perera, S., & Heaney, G. (2010). Identification of e-procurement drivers and barriers for UK construction organisations and ranking of these from the perspective of quantity surveyors. *Electronic Journal of Information Technology in Construction, 15*, 23-43.

Ebert, U., & Welsch, H. (2004). Meaningful environmental indices: A social choice approach. *Journal of Environmental Economics and Management, 47*(2), 270-283. doi:10.1016/j.jeem.2003.09.001

EC, European Commission. (2011). *Roadmap to a resource efficient Europe*. Retrieved from: http://ec.europa.eu/environment/resource_efficiency/pdf/com2011_571.pdf

EC, European Commission. (2012). *Report on the Review of the European Water Scarcity and Droughts Policy*. Retrieved from: http://eurlex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52012DC0672&from=EN

EEA, European Environment Agency. (1995). Europe's environment: The Dobris assessment. Copenhagen, Denmark: EEA.

EEA, European Environment Agency. (1999). *Environmental indicators: Typology and overview*. Copenhagen, Denmark: EEA.

EEA, European Environment Agency. (2004). *Indicator Factsheet: Water Exploitation Index (WQ01c)*. Retrieved from http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/water-exploitation-index-1/wq1_waterexploitationindex_130504.pdf

EEA, European Environment Agency. (2008). *Impacts due to over abstraction*. Retrieved from: http://www.eea.europa.eu/themes/water/water-resources/impacts-due-to-overabstraction

EEA, European Environment Agency. (2015). *State of the Environment Report, Freshwater*. Retrieved from: http://www.eea.europa.eu/soer-2015/europe/freshwater

EEA, European Environment Agency. (2016). *Use of freshwater resources*. Retrieved from: http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/use-of-freshwaterresources-2/assessment-1

EEA, European Environment Agency. *Environmental Terminology and Discovery Service (ETDS)*. Retrieved from: http://glossary.eea.europa.eu/terminology/

EPA Victoria. (2003). *Guidelines for Environmental Management: Use of Reclaimed Water.* Melbourne, Victoria: EPA Victoria.

ETC/ICM, European Topic Centre on Inland, Coastal and Marine waters. (2016). *Use of freshwater resources in Europe 2002–2012*. Supplementary document to the European Environment Agency's core set indicator 018. Magdeburg: ETC/ICM.

Faergemann, H. (2012). *Update on Water Scarcity and Droughts indicator development*. Paper by DG ENV Expert Network on Water Scarcity and Droughts. Retrieved from https://circabc.europa.eu/sd/d/4d22ad88-707e-4856-af63-253353c7eed8/1_Update%252520on%252520Water%252520Scarcity%252520and%252520Droughts%252520indicator%252520development%252520May%2525202012.doc

Falkenmark, M. (1989). The massive water scarcity now threatening Africa - why isn't it being addressed?. *Ambio*, *18*(2), 112-118.

Field, A. P. (2009). *Discovering statistics using SPSS (and sex and drugs and rock' n' roll)* (3rd ed.). London: Sage.

Forman, E. H. (1983). *The analytic hierarchy process as a decision support system*. Proceedings of the IEEE Computer society.

Freedman, J., & Enssle, C. (2015). *Addressing water scarcity through recycling and reuse: A menu for policy makers.* Retrieved from https://www.ge.com/sites/default/files/Addressing_Water_Scarcity_Recycle_Reuse_White_Paper.pdf

Freudenberg, M. (2003). *Composite Indicators of Country Performance: A Critical Assessment*. *OECD Science, Technology and Industry Working Papers*, No. 2003/16. Paris: OECD Publishing. doi:10.1787/405566708255

Friedler, E. (2001). Water reuse - an integral part of water resources management: Israel as a case study. *Water Policy*, *3*(1), 29-39.

Füssel, H. -M., & Klein, R. J. T. (2006). Climate Change Vulnerability Assessments: An Evolution of Conceptual Thinking. *Climatic Change, 75*(3), 301–329. doi:10.1007/s10584-006-0329-3

Gain, A. K., Giupponi, C., & Renaud, F. G. (2012). Climate change adaptation and vulnerability assessment of water resources systems in developing countries: A generalized framework and a feasibility study in Bangladesh. *Water (Switzerland), 4*(2), 345-366. doi:10.3390/w4020345

Gain, A. K., Giupponi, C., & Wada, Y. (2016). Measuring global water security towards sustainable development goals. *Environmental Research Letters, 11*(12). doi:10.1088/1748-9326/11/12/124015

Gallopín, G. C. (2006). Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity. *Global Environmental Change*, *16*(3), 293-303. doi:10.1016/j.gloenvcha.2006.02.004

Garcia, X., & Pargament, D. (2015). Reusing wastewater to cope with water scarcity: Economic, social and environmental considerations for decision-making. *Resources, Conservation and Recycling, 101,* 154-166. doi:10.1016/j.resconrec.2015.05.015

Gausemeier, J., Fink, A., Schlake, O. (1996). *Szenario-Management, Planen und Führen mit Szenarien*. München: Hanser.

Gbetibouo, G. A., & Ringler, C. (2009). *Mapping South African farming sector vulnerability to climate change and variability*. International Food Policy Research Institute (IFPRI) Discussion Paper 00885. Retrieved from http://www.ifpri.org/sites/default/files/publications/ifpridp00885 .pdf

General Electric Water & Process Technologies. (2008) *Addressing water scarcity through recycling and reuse: A menu for policymakers.* Retrieved from http://www.geenergyforourfuture.com/resources/resources.html

General Electric Water & Process Technologies. (2011) *Creating Effective Incentives for Water Reuse and Recycling.* Retrieved from http://www.sustainableplant.com/assets/GE-White-Paper-Creating-Effective-Incentives-White-Paper.pdf

Gerbens-Leenes, W., Hoekstra, A. Y., & Van Der Meer, T. H. (2008). The Water Footprint of Energy Consumption: An Assessment of Water Requirements of Primary Energy Carriers. *ISESCO Science and Technology Vision, 4*(5), 38-42.

Ghazilla, R. A. R., Sakundarini, N., Abdul-Rashid, S. H., Ayub, N. S., Olugu, E. U., & Musa, S. N. (2015). Drivers and barriers analysis for green manufacturing practices in Malaysian SMEs: A Preliminary Findings. Paper presented at the *Procedia CIRP, 26*, 658-663. doi:10.1016/j.procir.2015.02.085

Gikas, P., & Tchobanoglous, G. (2009). Sustainable use of water in the Aegean Islands. *Journal of Environmental Management, 90*(8), 2601-2611. doi:10.1016/j.jenvman.2009.01.020

Gleick, P. H. (1990). Vulnerability of water systems. In: P. E. Waggoner (ed), *Climate Change and U.S. Water Resources* (pp. 223-240). New York, NY, USA: John Wiley and Sons.

Gleick, P. H. (1996). Basic water requirements for human activities: Meeting basic needs. *Water International, 21*(2), 83-92.

Global Water Partnership Technical Advisory Committee. (2000). *Integrated water resources management*. TAC Background Papers No. 4. Stockholm: Global Water Partnership.

Gordon, T. J., & Hayward, H. (1968). Initial experiments with the cross-impact matrix method of forecasting. *Futures, 1*(2), 100-116.

Hamouda, M. A. (2006). *Vulnerability assessment of water resources systems in the Eastern Nile Basin to environmental factors*. Ph.D Dissertation, Institute of African Research and Studies, Cairo University.

Hamouda, M. A., Nour El-Din, M. M., & Moursy, F. I. (2009). Vulnerability assessment of water resources systems in the Eastern Nile Basin. *Water Resources Management*, *23*(13), 2697–2725.doi:10.1007/s11269-009-9404-7

Heap, C., Kemp-Benedict, E., & Raskin, P. (1998). *Conventional worlds: Technical description of bending the curve scenarios*. Polestar Series Report. Boston, Massachusetts, USA: Stockholm Environment Institute.

Hidalgo, D., Irusta, R., Martinez, L., Fatta, D., & Papadopoulos, A. (2007). Development of a multi-function software decision support tool for the promotion of the safe reuse of treated urban wastewater. *Desalination, 215*(1-3)*,* 90-103. doi:10.1016/j.desal.2006.09.028

Hinkel, J. (2011). "Indicators of vulnerability and adaptive capacity": Towards a clarification of the science-policy interface. *Global Environmental Change, 21*(1), 198-208. doi:10.1016/j.gloenvcha.2010.08.002

Hinrichsen, D., Robey, B., & Upadhyay, U. D. (1998). *Solutions for a Water-Short World*. Population Reports, Series M, No. 14. Baltimore, Maryland, U.S.A.: Johns Hopkins University School of Public Health, Population Information Program.

Hochstrat, R., Wintgens, T., Huertas Hidalgo, E., Salgot, M., Jeffrey, P., Hernandez, F., Ruiz, P., & Bodó, B. (2006). *Report on integrated water reuse concepts*. Deliverable 19 of the AQUAREC Project, EC, 5th Framework Programme (Contract Number: EVK1-CT-2002-00130).

Hochstrat, R., Wintgens, T., Melin, T., & Jeffrey, P. (2006). Assessing the European wastewater reclamation and reuse potential – A scenario analysis. *Desalination, 188*(1-3), 1-8. doi:10.1016/j.desal.2005.04.096

Holling, C. S., & Gunderson, L. H. (2002). Resilience and adaptive cycles. In L. H. Gunderson, & C. S. Holling (Eds.), *Panarchy: Understanding transformations in human and natural systems* (pp. 25-62). Washington DC: Island Press.

Huang, S. -L., Yeh, C. -T., Budd, W. W., & Chen, L. -L. (2009). A Sensitivity Model (SM) approach to analyze urban development in Taiwan based on sustainability indicators. *Environmental Impact Assessment Review, 29*(2), 116-125. doi:10.1016/j.eiar.2008.03.003

Huang, Y., & Cai, M. (2009). *Methodologies guidelines: Vulnerability assessment of freshwater resources to environmental change*. Developed jointly by United Nations Environment Programme (UNEP) and Peking University, in collaboration with Asian Institute of Technology and Mongolia Water Authority. Nairobi, Kenya: UNEP.

Hughes, B., & Hedden, S. (2016). *Ifs Environment Model Documentation*. Working paper 2016.03.21. Pardee Center for International Figures, Josef Korbel School of International Studies, University of Denver, Denver, CO.

Hurd, B., Leary, N., Jones, R., & Smith, J. (1999). Relative regional vulnerability of water resources to climate change. *Journal of the American Water Resources Association, 35*(6), 1399-1409.

Iglesias, A., Cancelliere, A., Gabiňa, D., López-Francos, A., Moneo, M., & Rossi, G. (Eds.). (2007). *Drought Management Guidelines. Examples of application in Mediterranean countries*. European Commission - EuropeAid Co-operation Office Euro-Mediterranean Regional Programme for Local Water Management (MEDA Water) Mediterranean Drought Preparedness and Mitigation Planning (MEDROPLAN).

Iglesias, A., Moneo, M., & Quiroga, S. (2009). Methods for Evaluating Social Vulnerability to Drought. In A. Iglesias, L. Garrote, A. Cancelliere, F. Cubillo, & D. A. Wilhite (Eds.), *Coping*

with Drought Risk in Agriculture and Water Supply Systems (pp. 153-159). The Netherlads: Springer. doi: 10.1007/978-1-4020-9045-5_11

IGRAC, International Groundwater Assessment Centre. (2011). *Groundwater Development Stress Indicator*. Retreived from http://www.unesco.org/fileadmin/MULTIMEDIA/HQ/SC/temp/wwap_pdf/Groundwater_development_stress_GDS.pdf

Ilias, A., Panoras, A., & Angelakis, A. (2014). Wastewater Recycling in Greece: The case of Thessaloniki. *Sustainability (Switzerland), 6*(5), 2876-2892. doi:10.3390/su6052876

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

Jacobs, R., Smith, P., & Goddard, M. (2004). *Measuring performance: an examination of composite performance indicators*. Centre for Health Economics, University of York, Technical Paper Series 29. Retrieved from https://www.york.ac.uk/che/pdf/tp29.pdf

Jolliffe, I. T. (1972). Discarding variables in a principal component analysis, I: Artificial data. *Applied Statistics, 21*, 160–173.

Jolliffe, I. T. (2002). *Principal component analysis*. New York: Springer - Verlag.

Jun, K. S., Chung, E. -S., Sung, J. -.Y, & Lee, K. S. (2011). Development of spatial water resources vulnerability index considering climate change impacts. *Science of the Total Environment, 409*(24), 5228-5242. doi:10.1016/j.scitotenv.2011.08.027

Kaiser, H. F. (1960). The application of electronic computers to factor analysis. *Educational and Psychological Measurement*, *20*(1), 141-151. doi:10.1177/001316446002000116

Kalema, B. M., Olugbara, O. O., & Kekwaletswe, R. M. (2014). Identifying Critical Success Factors: the case of ERP Systems in Higher Education. *The African Journal of Information Systems, 6*(3), 65-84.

Karamanos, A., Aggelides, S., & Londra, P. (2005). Non- conventional water use in Greece. In A. Hamdy, F. El Gamal, N. Lamaddalena, C. Bogliotti, & R. Guelloubi (Eds.), *Non-conventional water use: WASAMED project* (pp. 265-269). Bari: CIHEAM / EU DG Research (Options Méditerranéennes: Série B. Etudes et Recherches; n. 53)

Karavitis, C. A. (1992). *Drought Management Strategies for Urban Water Supplies: The Case of Metropolitan Athens*. Ph.D Dissertation, Department of Civil Engineering, Colorado State University, Fort Collins, Co., USA.

Karavitis, C. A., Chortaria, C., Alexandris, S., Vasilakou, C. G., & Tsesmelis, D. E. (2012). Development of the standardised precipitation index for Greece. *Urban Water Journal, 9*(6), 401-417. doi:10.1080/1573062X.2012.690431

Karavitis, C. A, Oikonomou, P. D., Waskom, R. M., Tsesmelis, D. E., Vasilakou, C. G., Skondras, N. A., Stamatakos, D., Alexandris, S., & Grigg, N. S. (2015). *Application of the Standardized Drought Vulnerability Index (SDVI) in the South Platte basin, Colorado*. American Water

Resources Association Annual Water Resources Conference, Denver, Colorado, 16-19 November.

Karavitis, C. A, Skondras, N., Fassouli, V., Tsesmelis, D. E., Stamatakos, D., Alexandris, S., & Todorovic, B. (2011). *Dissemination Plan*. Deliverable 9.1 of the COROADO Project, EC, 7th Framework Programme (Grant agreement no: 283025).

Karavitis, C. A., Tsesmelis, D. E., Skondras, N. A., Stamatakos, D., Alexandris, S., Fassouli, V., & Vlachos, E. C. (2014). Linking drought characteristics to impacts on a spatial and temporal scale. *Water Policy, 16*(6), 1172-1197. doi:10.2166/wp.2014.205

Karlsson, J. (1998). *A systematic approach for prioritizing software requirements*. Ph.D Dissertation, n. 526, Linkoping, Sverige.

Kartalidis, A., Tzen, E., Kampragkou, E., & Assimacopoulos, D. (2016). Responding to water challenges in Greece through desalination: Energy considerations. *International Journal of Water Resources Development, 32*(3), 428-441. doi:10.1080/07900627.2015.1091290

Kasperson, J. X., Kasperson R. E., Turner, B. L., Hsieh, W., & Schiller, A. (2003). Vulnerability to global environmental change. In: A. Diekman, T. Dietz, C. C. Jaeger, & E. A. Rosa (Eds.), *The human dimensions of global environmental change* (pp. 280–290). Cambridge, UK: MIT Press.

Kass, R. A., & Tinsley, H. E. A. (1979). Factor analysis. *Journal of Leisure Research, 11*(2), 120–138.

Kellis, M., Kalavrouziotis, I. K., & Gikas, P. (2013). Review of wastewater reuse in the Mediterranean countries, focusing on regulations and policies for municipal and industrial applications. *Global Nest Journal, 15*(3), 333-350.

Kelly, P. M., & Adger, W. N. (2000). Theory and practice in assessing vulnerability to climate change and facilitating adaptation. *Climatic Change, 47*(4), 325-352. doi:10.1023/A:1005627828199

Kirhensteine, I., Cherrier, V., Jarritt, N., Farmer, A., de Paoli, G., Delacamara, G., & Psomas, A. (2016). *EU-level instruments on water reuse. Final report to support the Commission's Impact Assessment.* Luxembourg: Publications Office of the European Union. doi:10.2779/974903

Knook, L. (2016). *The Water Footprint related to Reservoir Operation on a Global Scale*. Master thesis in Civil Engineering and Management, Department of Water Engineering and Management, Faculty of Engineering Technology, University of Twente, the Netherlands.

Komnenic, V., Ahlers, R., & Zaag, P. v. d. (2009). Assessing the usefulness of the water poverty index by applying it to a special cause: Can one be water poor with high levels of access? *Physics and Chemistry of the Earth*, *34*(4-5), 219–224. doi:10.1016/j.pce.2008.03.005

Krpan, S. (2011). Compliance and Enforcement Review: A review of EPA Victoria's approach. Retieved from http://www.epa.vic.gov.au/~/media/Publications/1368.pdf

Kuik, O. J., & Gilbert, A. J. (1999). Indicators of sustainable development. In: J. C. J. M. Van den Bergh (Ed.), *Handbook of Environmental and Resource Economics* (pp. 722 - 730). Cheltenham, England UK: Edward Elgar.

Kundzewicz, Z. W., Mata, L. J., Arnell, N., Döll, P., Kabat, P., Jiménez, B., Miller, K., Oki, T., Şen, Z., & Shiklomanov, I. (2007). Freshwater resources and their management. In M. L. Parry, O. F. Canziani, J. P. Palutikof, P. J. van der Linden, & C. E. Hanson (Eds.), *Climate change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of working group II to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 173–210). Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Lane, M. E., Kirshen, P. H., & Vogel, R. M. (1999). Indicators of Impacts of Global Climate Change on U.S. *Water Resources. Journal of Water Resources Planning and Management, 125*(4), 194-204. doi:10.1061/(ASCE)0733-9496(1999)125:4(194)

Lang, D. J., Binder, C. R., Scholz, R. W., Schleiss, K., & Stäubli, B. (2006). Impact factors and regulatory mechanisms for material flow management: Integrating stakeholder and scientific perspectives. The case of bio-waste delivery. *Resources, Conservation and Recycling, 47*(2), 101-132. doi:10.1016/j.resconrec.2005.08.008

Lawrence, P., Adham, S., & Barrott, L. (2002). Ensuring water re-use projects succeed - institutional and technical issues for treated wastewater re-use. *Desalination, 152*(1-3), 291-298. doi:10.1016/S0011-9164(02)01076-7

Lazarova, V., Levine, B., Sack, J., Cirelli, G., Jeffrey, P., Muntau, H., Salgot, M., & Brissaud, F. (2001). Role of water reuse for enhancing integrated water management in Europe and Mediterranean countries. *Water Science and Technology*, *43*, 25-33.

Li, Y., Hu, Y., Zhang, X., Deng, Y., & Mahadevan, S. (2014). An evidential DEMATEL method to identify critical success factors in emergency management. *Applied Soft Computing Journal, 22*, 504-510. doi:10.1016/j.asoc.2014.03.042

Linss, V., & Fried, A. (2009). *Advanced Impact Analysis: The ADVIAN® method – an enhanced approach for the analysis of impact strengths with the consideration of indirect relations*. No. 1/2009, Department of Innovation Research and Sustainable Resource Management (BWL IX), Chemnitz University of Technology. Retrieved from http://archiv.tu-chemnitz.de/pub/2009/0090

Linss, V., & Fried, A. (2010). The ADVIAN® classification - A new classification approach for the rating of impact factors. *Technological Forecasting and Social Change, 77*(1), 110-119. doi:10.1016/j.techfore.2009.05.002

Liu, X., Wang, Y., Peng, J., Braimoh, A. K., & Yin, H. (2013). Assessing Vulnerability to Drought Based on Exposure, Sensitivity and Adaptive Capacity: A Case Study in Middle Inner Mongolia of China. *Chinese Geographical Science, 23*(1), 13-25. doi:10.1007/s11769-012-0583-4

Lonergan, S., Gustavson, K., & Carter, B. (2000). The index of human insecurity. *AVISO (Ottawa, Ont.),* (6), 1-7.

Lowry, J. H., Miller, H. J., & Hepner, G. F. (1995). A GIS-based sensitivity analysis of community vulnerability to hazardous contaminants on the Mexico/U.S. border. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 61*(11), 1347-1359.

Lüthi, C., Morel, A., Tilley, E., & Ulrich, L. (2011). *Community-Led Urban Environmental Sanitation Planning: CLUES. Complete Guidelines for Decision-Makers with 30 Tools.* Dübendorf, Switzerland: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (EAWAG).

Lutter, S., & Giljum, S. (2015). *Developing targets for global resource use: Targets for freshwater use*. IntRESS Working Paper 2.4, Vienna University of Economics and Business (WU), Vienna.

Mahlberg, B., & Obersteiner, M. (2001). *Remeasuring the HDI by data Envelopment analysis*. Interim report IR-01-069, International Institute for Applied System Analysis, Laxenburg, Austria.

Mainali, B., Ngo, H. H., Guo, W. S., Pham, T. T. N., Wang, X. C., & Johnston, A. (2011). SWOT analysis to assist identification of the critical factors for the successful implementation of water reuse schemes. *Desalination and Water Treatment, 32*(1-3), 297-306. doi:10.5004/dwt.2011.2714

McCarthy, J. J., Canziani, O. F., Leary, N. A., Dokken, D. J., & White, K. S. (Eds). (2001). *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability.* Cambridge, UK: Cambridge University Press.

MDG- F, Millennium Development Goals Fund. (2011). *Non-enrolment and school dropout: A study based on a survey of children and youths who do not enrol in or drop out of primary and secondary education*. Study for the purposes of Youth Employability and Retention Programme supported by the MDG-F and financed by the Government of the Kingdom of Spain. Retreived from https://www.unicef.org/bih/Dropout_EN-1.pdf

Meadows, D. (1998). *Indicators and Information Systems for Sustainable Development - A Report to the Balaton Group*. Hartland, USA: The Sustainability Institute.

MED WWR WG, Mediterranean Wastewater Reuse Working Group. (2007). *Mediterranean Wastewater Reuse Report.* Retrieved from: http://ec.europa.eu/environment/water/water-urbanwaste/info/pdf/final_report.pdf

Melyn, W., & Moesen, W. W. (1991). *Towards a synthetic indicator of macroeconomic performance: Unequal weighting when limited information is available*. Public Economic research Paper 17, CES, KU Leuven.

Menoni, S., Molinari, D., Parker, D., Ballio, F., & Tapsell, S. (2012). Assessing multifaceted vulnerability and resilience in order to design risk-mitigation strategies. *Natural Hazards*, *64*(3), 2057-2082. doi:10.1007/s11069-012-0134-4

Metropolis, N., & Ulam, S. (1949). The Monte Carlo Method. *Journal of the American Statistical Association, 44*(247), 335-341. doi:10.1080/01621459.1949.10483310

Mishra, A. K., & Singh, V. P. (2010). A review of drought concepts. *Journal of Hydrology, 391*(1-2), 202-216. doi:10.1016/j.jhydrol.2010.07.012

Moss, R. H., Malone, E. L., & Brenkert, A. L. (2002). *Vulnerability to climate change: A quantitative approach*. Prepared for the US Department of Energy. Pacific Northwest National Laboratory, Richland. Retrieved from http://www.globalchange.umd.edu/data/publications/Vulnerability_to_Climate_Change.PDF

Natural Resource Management Ministerial Council, Environment Protection and Heritage Council, & Australian Health Ministers' Conference. (2006). *Australian Guidelines for Water Recycling: Managing Health and Environmental Risks (Phase 1).* Canberra, Australia: Natural Resource Management Ministerial Council, Environment Protection and Heritage Council, & Australian Health Ministers' Conference.

Nicoletti, G., Scarpetta, S., & Boylaud, O. (2000). *Summary Indicators of Product Market Regulation with an Extension to Employment Protection Legislation*. *OECD Economics Department Working Papers*, No. 226. Paris: OECD Publishing. doi: 10.1787/215182844604

NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration, US Department of Commerce. (2012). *Drought Factsheet*. Retrieved from: http://www.nws.noaa.gov/om/csd/graphics/content/outreach/brochures/FactSheet_Drought.pdf

NRDC, Natural Resources Defense Council. (2012). *Water facts: Volumetric pricing for sanitary sewer service in California would save water and money.* Retrieved from: http://www.nrdc.org/water/files/Volumetric-Wastewater-FS.pdf

O'Brien, K., Leichenko, R., Kelkar, U., Venema, H., Aandahl, G., Tompkins, H., . . . West, J. (2004). Mapping vulnerability to multiple stressors: Climate change and globalization in India. *Global Environmental Change, 14*(4), 303-313. doi:10.1016/j.gloenvcha.2004.01.001

OECD, Organisation for Economic Co-operation and Development. (1993). *OECD Core Set of Indicators for Environmental Performance Reviews: A synthesis Report by the Group on the State of the Environment*. Retrieved from http://enrin.grida.no/htmls/armenia/soe2000/eng/oecdind.pdf

OECD, Organisation for Economic Co-operation and Development. (2008). *Handbook on Constructing Composite Indicators, Methodology and User Guide*. Retrieved from http://www.oecd.org/std/42495745.pdf

OECD, Organisation for Economic Co-operation and Development. (2009). Managing Water for All: An OECD Perspective on Pricing and Financing. Retrieved from http://www.oecd.org/greengrowth/sustainable-agriculture/44476961.pdf

O'Keefe, P., Westgate, K., & Wisner, B. (1976). Taking the naturalness out of natural disasters. *Nature, 260*(5552), 566-567. doi:10.1038/260566a0

Parker, J. (1991). *Environmental reporting and environmental indices*. Ph.D Dissertation, Cambridge, UK.

Parsons, L. R., Sheikh, B., Holden, R., & York, D. W. (2010). Reclaimed water as an alternative water source for crop irrigation. *HortScience, 45*(11), 1626-1629.

Pearson, K. (1896). Mathematical Contributions to the Theory of Evolution. III. Regression, Heredity and Panmixia. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, 187*, 253-318. doi: 10.1098/rsta.1896.0007

Pedrero, F., Kalavrouziotis, I., Alarcón, J. J., Koukoulakis, P., & Asano, T. (2010). Use of treated municipal wastewater in irrigated agriculture – Review of some practices in Spain and Greece. *Agricultural Water Management, 97*(9), 1233-1241. doi:10.1016/j.agwat.2010.03.003

Pendleton, E. A., Barras, J. A., Williams, S. J., & Twichell, D. C. (2010). Coastal Vulnerability Assessment of the Northern Gulf of Mexico to Sea-Level Rise and Coastal Change. U.S. Geological Survey Open-File Report 2010-1146. Retrieved from http://pubs.usgs.gov/of/2010/1146/

Plan Bleu. (2000). *Indicators for the Sustainable Development in the Mediterranean Region*.Glossary. Mediterranean Commission on Sustainable Development.

Plan Bleu. (2006). *Methodological sheets of the 34 priority indicators for the "Mediterranean Strategy for Sustainable Development" Follow-up*. Working Document. Sophia Antipolis, France: Plan Bleu Regional Activity Centre.

Porto, M. F. A., Dalcanale, F., Mierzwa, J. C., Rodrigues, L. di B., Pio, A., Gironás, J., Dorsaz, J.-M., Suárez, F., Vanegas, M., Hinojosa, G., Campos, A., Salinas, R., & Reyna, S. (2012). *Report on the Context of the Areas, Workshop Structure, and Development*. Deliverable 2.1 of the COROADO Project, EC, 7th Framework Programme (Grant agreement no: 283025).

PRI, Policy Research Initiative – Government of Canada. (2007). *Canadian Water Sustainability Index (CWSI)*. PRI Project Sustainable Development, Project Report. Retrieved from http://publications.gc.ca/site/archivee-archived.html?url=http://publications.gc.ca/Collection/PH4-38-2007E.pdf

Primpas, I., Tsirtsis, G., Karydis, M., & Kokkoris, G. D. (2010). Principal component analysis: Development of a multivariate index for assessing eutrophication according to the European water framework directive. *Ecological Indicators, 10*(2), 178-183. doi:10.1016/j.ecolind.2009.04.007

Pritchett, L., Suryahadi, A., & Sumarto, S. (2000). *Quantifying Vulnerability to Poverty: A Proposed Measure, Applied to Indonesia*. Policy Research Working Paper No. 2437. Washington, DC: World Bank. Retrieved from https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/21355

Qadir, M., Wichelns, D., Raschid-Sally, L., Minhas, P. S., Drechsel, P., Bahri, A., & McCornick, P. (2007). Agricultural use of marginal-quality water - opportunities and challenges. In D. Molden (Ed.), *Water for Food, Water for Life: A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture* (pp. 427-457). London, UK: Earthscan.

Rapport, D., & Friend, A. (1979). *Towards a Comprehensive Framework for Environmental Statistics: A Stress-response Approach*. Ottawa, Canada: Ministry of Supply and Services Canada.

Raskin, P., Gleick, P., Kirshen, P., Pontius, R., & Strzepek, K. (1997). *Water futures: Assessment of long-range patterns and problems*. Background document for chapter 3 of the Comprehensive Assessment of the Freshwater Resources of the World. Stockholm: SEI/United Nations.

Reckien, D., Flacke, J., Olazabal, M., & Heidrich, O. (2015). The Influence of Drivers and Barriers on Urban Adaptation and Mitigation Plans-An Empirical Analysis of European Cities. *PLoS ONE, 10*(8) doi:10.1371/journal.pone.0135597

Ribeiro, C. M. (2016). *Systems Modelling for Sustainable Building Design*. Master Thesis, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Porto, Porto, Portugal.

Ringius, L., Frederiksen, P. & Birr-Pedersen, K. (2002). *Burden Sharing in the Context of Global Climate Change: A North-South Perspective*. NERI Technical Report No. 424. Denmark: Ministry of the Environment, National Environmental Research Institute.

Rogge, N. (2012). Undesirable specialization in the construction of composite policy indicators: The Environmental Performance Index. *Ecological Indicators, 23*, 143-154. doi:10.1016/j.ecolind.2012.03.020

Saaty, R. W. (1987). The analytic hierarchy process-what it is and how it is used. *Mathematical Modelling, 9*(3-5), 161-176. doi:10.1016/0270-0255(87)90473-8

Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. New York: McGraw-Hill.

Saisana, M., & Tarantola, S. (2002). *State-of-the-art Report on Current Methodologies and Practices for Composite Indicator Development*. Ispra, Italy: European Commission, Joint Research Centre.

Saisana, M., Saltelli, A., & Tarantola, S. (2005). Uncertainty and sensitivity analysis techniques as tools for the quality assessment of composite indicators. *Journal of the Royal Statistical Society.Series A: Statistics in Society, 168*(2), 307-323. doi:10.1111/j.1467-985X.2005.00350.x

Salgot, M. (2008). Water reclamation, recycling and reuse: Implementation issues. *Desalination, 218*(1-3)*,* 190–197. doi:10.1016/j.desal.2006.09.035

Salmivaara, A. (2009). *Current Vulnerability and Future Challenges of Water Resources in the Irrawaddy and Salween River Basins – Indicator-Based Geospatial Analysis*. Master Thesis, Department of Civil and Environmental Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Helsinki University of Technology, Finland.

Saltelli, A. (2002). Making best use of model valuations to compute sensitivity indices. *Computer Physics Communications, 145*, 280-297.

Saltelli, A., Tarantola, S., Campolongo, F., & Ratto, M. (2004) *Sensitivity Analysis in Practice: A Guide to Assessing Scientific Models*. England, UK: John Wiley & Sons Ltd.

Sanz, L. A., & Gawlik, B. M. (2014). *Water Reuse in Europe: Relevant guidelines, needs for and barriers to innovation.* Luxembourg: Publications Office of the European Union. doi: 10.2788/29234

Seckler, D., Amarasinghe, U., Molden, D.J., de Silva, R., & Barker, R. (1998). *World water demand and supply, 1990 to 2025: Scenarios and Issues*. Research Report 19. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute.

Sen, A. K. (1981). *Poverty and famines. An essay on entitlement and deprivation.* New Delhi: Oxford University Press.

Singh, R. K., Murty, H. R., Gupta, S. K., & Dikshit, A. K. (2012). An overview of sustainability assessment methodologies. *Ecological Indicators, 15*(1), 281-299. doi:10.1016/j.ecolind.2011.01.007

Sobol, I. M. (1993). Sensitivity analysis for non-linear mathematical models. *Mathematical Modelling & Computational Experiment, 1*, 407-414.

Srdjevic, Z., Bajcetic, R., & Srdjevic, B. (2012). Identifying the Criteria Set for Multicriteria Decision Making Based on SWOT/PESTLE Analysis: A Case Study of Reconstructing A Water Intake Structure. *Water Resources Management, 26*(12), 3379–3393. doi:10.1007/s11269-012-0077-2

State of California. (2000). *California Code of Regulations, Title 22*, Division 4: Environmental Health, Chapter 3: Recycling Criteria.

Stathatou, P-M., Gad, F-K., Kampragou, E., Grigoropoulou H., & Assimacopoulos, D. (2015). Treated wastewater reuse potential: Mitigating water scarcity in the Aegean islands. *Desalination and Water Treatment*, *53*(12), 3272-3282. doi: 10.1080/19443994.2014.934108.

Stathatou, P-M., Kampragou, E., Grigoropoulou H., Assimacopoulos, D., Karavitis, C., Porto, M. F. A., Gironás, J., Vanegas, M., & Reyna, S. (2016). Vulnerability of water systems: A comprehensive framework for its assessment and identification of adaptation strategies. *Desalination and Water Treatment, 57*(5), 2243-2255. doi: 10.1080/19443994.2015.1012341.

Stephen, L., & Downing, T. E. (2001). Getting the scale right: A comparison of analytical methods for vulnerability assessment and household-level targeting. *Disasters, 25*(2), 113-135.

Suárez, F., Muñoz, J. F., Fernández, B., Dorsaz, J. -., Hunter, C. K., Karavitis, C. A., & Gironás, J. (2014). Integrated Water Resource Management and Energy Requirements for Water Supply in the Copiapó River Basin, Chile. *Water (Switzerland), 6*(9), 2590-2613. doi:10.3390/w6092590

SUEZ ENVIRONMENT Magazine. (2013). *Wastewater treatment: aims and challenges.* Retrieved from: http://www.emag.suez-environnement.com/en/wastewater-treatment-aims-challenges-11037#

Sullivan, C. A. (2011). Quantifying water vulnerability: A multi-dimensional approach. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 25*(4), 627-640. doi:10.1007/s00477-010-0426-8

Sullivan, C. A., Meigh, J. R., Giacomello, A. M., Fediw, T., Lawrence, P., Samad, M., . . . Steyl, I. (2003). The Water Poverty Index: Development and application at the community scale. *Natural Resources Forum, 27*(3), 189-199.

Swain, M., & Swain, M. (2011). Vulnerability to Agricultural Drought in Western Orissa: A Case Study of Representative Blocks. *Agricultural Economics Research Review, 24*, 47-56.

Tallaksen, L. M., & Van Lanen, H. A. J. (Eds). (2004). *Hydrological Drought, Processes and Estimation Methods for Streamflow and Groundwater.* Developments in Water Science, 48. The Netherlands: Elsevier BV.

Team FME. (2013). *PESTLE Analysis - Strategy Skills.* Retrieved from http://www.free-management-ebooks.com/dldebk-pdf/fme-pestle-analysis.pdf

Thaher, R. A. (2012). *Drivers and Barriers of House Onsite Grey Water Treatment and Reuse in Palestinian Rural Areas*. Master Thesis, Water and Environmental Engineering Master's Program, Faculty of Graduate Studies, Institute of Water and Environment Studies, Birzeit University, Palestine.

Thornton, P. K., Jones, P. G., Owiyo, T. M., Kruska, R. L., Herrero, M., Kristjanson, P., Notenbaert, A., Bekele, N., Orindi, V., Otiende, B., Ochieng, A., Bhadwal, S., Anantram, K., Nair, S., Kumar, V., & Kulkar, U. (2006). *Mapping climate vulnerability and poverty in Africa*. Report to the Department for International Development. Nairobi, Kenya: ILRI.

Toze, S. (2006). Reuse of Effluent Water - Benefits and Risks. *Agricultural Water Management, 80*(1-3 SPEC. ISS.), 147–159. doi:10.1016/j.agwat.2005.07.010

Triantis, K. A., & Mylonas, M. (2009). Greek Islands, Biology. In R. A. Gillespie, & D. A. Clague (Eds.), *Encyclopedia of Islands* (pp. 388-392). University of California Press Ltd.

Turner, B. L., Kasperson, R. E., Matson, P., McCarthy, J. J., Corell, R. W., Christensen, L., Eckley, N., Kasperson, J. X., Luers, A., Martello, M. L., Polsky, C., Pulsipher, A., & Schiller, A. (2003). A framework for vulnerability analysis in sustainability science. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *100*(4), 8074–8079. doi:10.1073/pnas.1231335100

Turton, A. R., & Ohlsson, L. (1999). Water scarcity and social stability: Towards a deeper understanding of the key concepts needed to manage water scarcity in developing countries. Retreived from https://www.soas.ac.uk/water/publications/papers/file38360.pdf

UN, United Nations. (1996). *Indicators of Sustainable Development: Framework and Methodologies*. New York: Division for Sustainable Development, Department of Economic and Social Affairs, United Nations.

UN, United Nations. (1999). *Work Programme on Indicators of Sustainable Development*. New York: Commission on Sustainable Development, Division for Sustainable Development, Department of Economic and Social Affairs, United Nations.

UN, United Nations. (2001). *Indicators of Sustainable Development: Framework and Methodologies*. New York: Commission on Sustainable Development, Division for Sustainable Development, Department of Economic and Social Affairs, United Nations.

UN, United Nations. (2015). *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*. A/RES/70/1. Retrieved from https://sustainabledevelopment.un.org/post2015/transformingourworld

UNDP, United Nations Development Programme. (2006). *Human Development Report 2006-Beyond Scarcity: Power, poverty and the global water crisis.* New York, USA: UNDP.

UNEP, United Nations Environment Programme. (2005a). *Water and Wastewater Reuse: An Environmentally Sound Approach for Sustainable Urban Water Management.* Retrieved from http://www.unep.or.jp/Ietc/Publications/Water_Sanitation/wastewater_reuse/

UNEP, United Nations Environment Programme. (2005b). *Guidelines for Municipal Water Reuse in the Mediterranean Region.* Retrieved from: http://195.97.36.231/acrobatfiles/05WG270_Inf19_eng.pdf

UNESCO, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. (2013). *Beyond 2015 – A Paradigm Shift in Water Management to Realise the Future We Want for All.* Retrieved from http://unesdoc.unesco.org/images/0022/002223/222384E.pdf

UN-Habitat, United Nations Human Settlements Programme. (2009). *Planning Sustainable Cities: Global Report on Human Settlements 2009.* London: Earthscan.

UNICEF and WHO, World Health Organization. (2015). *Progress on Sanitation and Drinking Water – 2015 update and MDG assessment*. Retreived from https://www.unicef.org/publications/index_82419.html

UNW-DPC, United Nations-Water Decade Programme on Capacity Development. (2013). *Proceedings of the UN-Water project on the Safe Use of Wastewater in Agriculture.* Retrieved from http://www.unwater.unu.edu/file/get/784.pdf

US Department of Agriculture Economic Research Service. (2010). *Consumers' response to the 2006 foodborne illness outbreak linked to spinach.* Retrieved from http://www.ers.usda.gov/amberwaves/march10/features/OutbreakSpinach.htm

US EPA, United States Environmental Protection Agency. (2004). *Guidelines for Water Reuse.* (EPA/625/R-04/108). Washington, DC: US EPA & US Agency for International Development.

US EPA, United States Environmental Protection Agency. (2012). *Guidelines for Water Reuse.* (EPA/600/R-12/618). Washington, DC: US EPA.

US EPA, United States Environmental Protection Agency. (2013). *California Integrated Assessment of Watershed Health: A Report on the Status and Vulnerability of Watershed Health in California.* (EPA 841-R-14-003). Retrieved from https://www.epa.gov/hwp/healthy-watersheds-integrated-assessment-reports

Varis, O., Kummu, M., & Salmivaara, A. (2012). Ten major rivers in monsoon Asia-Pacific: An assessment of vulnerability. *Applied Geography, 32*(2), 441-454. doi:10.1016/j.apgeog.2011.05.003

Verzandvoort, S., Heesmans, H., Oertlé, E., Gross, T., Eggen, G., & Stolte, J. (2013). *Report on reuse & recycling technologies & sanitation practices related to current & future needs*.

Deliverable 4.1 of the COROADO Project, EC, 7th Framework Programme (Grant agreement no: 283025).

Verzandvoort, S., Oertlé, E., Gross, T., Breitenmoser, L., Engbretsen, A., Stolte, J., Gonzalez Martin, G., Heesmans, H., Heidema, N., Assinck, F., Van den Elsen, E., Walvoort, D., & Van Beek, R. (2015). *Development and application of a web-based geographical tool for WR&R technologies.* Deliverable 4.2 of the COROADO Project, EC, 7th Framework Programme (Grant agreement no: 283025).

Vester, F. (1988). The Biocybernetic Approach as a Basis for Planning Our Environment. *Systems Practice, 1*(4), 399-413. doi:10.1007/BF01066582

Vester, F. (1991). *Ausfahrt Zukunft: Supplement, Material zur Systemuntersuchung*. München: Studiengruppe für Biologie und Umwelt.

Visvanathan, C. (2015). *3Rs for Water Security in Asia and the Pacific.* Retrieved from: http://www.uncrd.or.jp/content/documents/2660Front%20cover%20for%20Background%20paper-%20PS-6-%20Prof.%20Visvanathan_merged.pdf

Vlachos, E. C. (1982). *Drought management interfaces*. Annual ASCE Conference, Las Vegas, Nevada.

Wade Miller, G. (2006). Integrated concepts in water reuse: Managing global water needs. *Desalination, 187*(1-3)*,* 65–75. doi:10.1016/j.desal.2005.04.068

Wang, X., Ma, F., Li, C., & Zhu, J. (2015). A Bayesian Method for Water Resources Vulnerability Assessment: A Case Study of the Zhangjiakou Region, North China. *Mathematical Problems in Engineering, 2015*. doi:10.1155/2015/120873

WATERinCORE. (2010). *Water Management Common List of Indicators & Database*. Report of the WATERinCORE MED Programme 2007-2013, 1G-MED08-515. Retreived from http://www.waterincore.eu/deliverables/03_03_01_en.pdf

WHO, World Health Organisation. (2006). *Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater* (Volumes I-IV). Geneva, Switzerland: WHO Press.

Wilhite, D. A., & Glantz, M. H. (1985). Understanding: the Drought Phenomenon: The Role of Definitions. *Water International, 10*(3), 111-120. doi: 10.1080/02508068508686328

Wolff, J., Gaffron, P., & Flämig, H. (2009). *Analysis of the system motorways of the sea*. StratMoS (WP D), 3rd Version. Hamburg University of Technology.

World Bank. (2006). *Dealing with Water Scarcity in Singapore: Institutions, Strategies, and Enforcement.* Retrieved from http://siteresources.worldbank.org/INTEAPREGTOPENVIRONMENT/Resources/WRM_Singapore_experience_EN.pdf

World Bank. (2007). *Brazil - São Paulo: Inputs for a Sustainable Competitive City Strategy*. Volume 2. Background Report No. 37324. Washington, DC: World Bank.

WRI, World Resources Institute. (1998). *Watersheds of the world: An assessment of the ecological value and vulnerability of the world's watersheds*. Washington, DC: World Resources Institute.

WRI, World Resources Institute. (2000). *Pilot Analysis of Global Ecosystems – Freshwater Systems*. Retrieved from http://pdf.wri.org/page_freshwater.pdf

Yilmaz, B., & Harmancioglu, N. B. (2010). An Indicator Based Assessment for Water Resources Management in Gediz River Basin, Turkey. *Water Resources Management, 24*(15), 4359-4379. doi:10.1007/s11269-010-9663-3

Zhou, Y. (2004). *Vulnerability and adaptation to climate change in North China: the water sector in Tianjin*. Hamburg University and Center for Marine and Atmosphere Science, Research Unit Sustainability and Global Change, Hamburg. Retrieved from http://www.start.org/Program/advanced_institute3_web/Final%20Papers/Zhou_paper(revised).pdf

Ελληνική Δημοκρατία. (2011). *Κοινή Υπουργική Απόφαση 145116/2011: Καθορισμός μέτρων, όρων και διαδικασιών για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων και άλλες διατάξεις (ΦΕΚ 354/Β/8.3.2011)*. Ανάκτηση από: http://www.ypeka.gr/LinkClick.aspx?fileticket=WhFRuaqvKXs%3D&tabid=251&language=el-GR

Ελληνική Δημοκρατία. (2013α). *Κοινή Υπουργική Απόφαση 191002/2013: Τροποποίηση της υπ' αριθ. 145116/2011 κοινής υπουργικής απόφασης «Καθορισμός μέτρων, όρων και διαδικασιών για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων (Β΄ 354) και συναφείς διατάξεις» (ΦΕΚ 2220/Β/9.9.2013).* Ανάκτηση από: http://www.ypeka.gr/LinkClick.aspx?fileticket=62yfAJLJiww%3D&tabid=251&language=el-GR

Ελληνική Δημοκρατία. (2013β). *Κοινή Υπουργική Απόφαση οικ. 169281/2013: Έγκριση της Στρατηγικής Μελέτης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΣΜΠΕ) του Σχεδίου Διαχείρισης των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Θράκης (ΥΔ 12).* Ανάκτηση από: http://wfd.ypeka.gr/index.php?option=com_content&task=view&id=113&Itemid=19

ΕΛΣΤΑΤ, Ελληνική Στατιστική Αρχή. (2001). *Απογραφή Πληθυσμού 2001*. Ανάκτηση από http://geodata.gov.gr/dataset/3bed9b96-f550-47f3-823b-3059d3989b24/resource/c3bfc4c1-067f-46b2-9f9b-2ea21cdb7386/download/apografhplythismou2001.xls

ΕΛΣΤΑΤ, Ελληνική Στατιστική Αρχή. (2011α). *Διαδραστικός Χάρτης Βασικών δεικτών ανά διοικητική υποδιαίρεση*. Ανάκτηση από http://mapserver.statistics.gr/map/index.html

ΕΛΣΤΑΤ, Ελληνική Στατιστική Αρχή. (2011β). *Πίνακας Β15: Οικονομικά ενεργός και μη ενεργός πληθυσμός κατά επίπεδο εκπαίδευσης.* Ανάκτηση από http://www.statistics.gr/el/home?p_p_id=3&p_p_lifecycle=0&p_p_state=maximized&p_p_mode=view&_3_struts_action=%2Fsearch%2Fsearch&_3_redirect=%2Fel%2Fhome%2F&_3_keywords=%CE%9F%CE%B9%CE%BA%CE%BF%CE%BD%CE%BF%CE%BC%CE%B9%CE%BA%CE%AC+%CE%B5%CE%BD%CE%B5%CF%81%CE%B3%CF%8C%CF%82+%CE%BA%CE%B1%CE%B9+%CE%BC%CE%B7+%CE%B5%CE%BD%CE%B5%CF%81%CE%B3%CF%8C%CF%82+%CF%80%CE%BB%CE%B7%CE%B8%CF%85%CF%83%CE%BC%CF%8C%CF%82+%CE%BA%CE%B1%CF%84%CE%AC+%CE%B5%CF%80%CE%AF%CF%80%CE%B5%CE%B4%CE%BF+%CE%B5%CE%BA%CF%80%CE%B1%CE%AF%CE%B4%CE%B5%CF%85%CF%83%CE%B7%CF%82&_3_groupId=0

ΕΛΣΤΑΤ, Ελληνική Στατιστική Αρχή. (2011γ). *Χρονοσειρά: Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν κατά Περιφέρεια και Νομό (2000-2013)*. Ανάκτηση από http://www.statistics.gr/el/home?p_p_id=3&p_p_lifecycle=0&p_p_state=maximized&p_p_mode=view&_3_struts_action=%2Fsearch%2Fsearch&_3_redirect=%2Fel%2Fhome%2F&_3_keywords=%CE%91%CE%BA%CE%B1%CE%B8%CE%AC%CF%81%CE%B9%CF%83%CF%84%CE%BF+%CE%95%CE%B3%CF%87%CF%8E%CF%81%CE%B9%CE%BF+%CE%A0%CF%81%CE%BF%CF%8A%CF%8C%CE%BD+%CE%BA%CE%B1%CF%84%CE%AC+%CE%A0%CE%B5%CF%81%CE%B9%CF%86%CE%AD%CF%81%CE%B5%CE%B9%CE%B1+%CE%BA%CE%B1%CE%B9+%CE%9D%CE%BF%CE%BC%CF%8C+%282000-2013%29&_3_groupId=0

ΕΛΣΤΑΤ, Ελληνική Στατιστική Αρχή. (2012). *Χρονοσειρά: Πληθυσμός που εξυπηρετείται από εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων (ΕΕΛ) (2000-2012)*. Ανάκτηση από http://www.statistics.gr/el/home?p_p_id=3&p_p_lifecycle=0&p_p_state=maximized&p_p_mode=view&_3_struts_action=%2Fsearch%2Fsearch&_3_redirect=%2Fel%2Fhome%2F&_3_keywords=%CE%A0%CE%BB%CE%B7%CE%B8%CF%85%CF%83%CE%BC%CF%8C%CF%82+%CF%80%CE%BF%CF%85+%CE%B5%CE%BE%CF%85%CF%80%CE%B7%CF%81%CE%B5%CF%84%CE%B5%CE%AF%CF%84%CE%B1%CE%B9+%CE%B1%CF%80%CF%8C+%CE%95%CE%95%CE%9B&_3_groupId=0

ΕΛΣΤΑΤ, Ελληνική Στατιστική Αρχή. (2014α). *Απογραφή Πληθυσμού-Κατοικιών 2011: Δημογραφικά και κοινωνικά χαρακτηριστικά του Μόνιμου Πληθυσμού της Χώρας σύμφωνα με την αναθεώρηση των αποτελεσμάτων της Απογραφής Πληθυσμού-Κατοικιών 2011 στις 20/3/2014*. Ανάκτηση από http://www.statistics.gr/2011-census-pop-hous?p_p_id=3&p_p_lifecycle=0&p_p_state=maximized&p_p_mode=view&_3_struts_action=%2Fsearch%2Fsearch&_3_redirect=%2F2011-census-pop-hous&_3_keywords=%CE%91%CF%80%CE%BF%CE%B3%CF%81%CE%B1%CF%86%CE%AE+%CE%A0%CE%BB%CE%B7%CE%B8%CF%85%CF%83%CE%BC%CE%BF%CF%8D-%CE%9A%CE%B1%CF%84%CE%BF%CE%B9%CE%BA%CE%B9%CF%8E%CE%BD+2011%3A+%CE%9F%CE%B9%CE%BA%CE%BF%CE%BD%CE%BF%CE%BC%CE%B9%CE%BA%CE%AC+%CF%87%CE%B1%CF%81%CE%B1%CE%BA%CF%84%CE%B7%CF%81%CE%B9%CF%83%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AC+%CF%84%CE%BF%CF%85+%CE%9C%CF%8C%CE%BD%CE%B9%CE%BC%CE%BF%CF%85+%CE%A0%CE%BB%CE%B7%CE%B8%CF%85%CF%83%CE%BC%CE%BF%CF%8D+%CF%84%CE%B7%CF%82+%CE%A7%CF%8E%CF%81%CE%B1%CF%82&_3_groupId=0

ΕΛΣΤΑΤ, Ελληνική Στατιστική Αρχή. (2014β). *Απογραφή Πληθυσμού-Κατοικιών 2011: Οικονομικά χαρακτηριστικά του Μόνιμου Πληθυσμού της Χώρας*. Ανάκτηση από http://www.statistics.gr/2011-census-pop-hous?p_p_id=3&p_p_lifecycle=0&p_p_state=maximized&p_p_mode=view&_3_struts_action=%2Fsearch%2Fsearch&_3_redirect=%2F2011-census-pop-hous&_3_keywords=%CE%91%CF%80%CE%BF%CE%B3%CF%81%CE%B1%CF%86%CE%AE+%CE%A0%CE%BB%CE%B7%CE%B8%CF%85%CF%83%CE%BC%CE%BF%CF%8D-%CE%9A%CE%B1%CF%84%CE%BF%CE%B9%CE%BA%CE%B9%CF%8E%CE%BD+2011%3A+%CE%9F%CE%B9%CE%BA%CE%BF%CE%BD%CE%BF%CE%BC%CE%B9%CE%BA%CE%AC+%CF%87%CE%B1%CF%81%CE%B1%CE%BA%CF%84%CE%B7%CF%81%CE%B9%CF%83%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AC+%CF%84%CE%BF%CF%85+%CE%9C%CF%8C%CE%BD%CE%B9%CE%BC%CE%BF%CF%85+%CE%A0%CE%BB%CE%B7%CE%B8%CF%85%CF%83%CE%BC%CE%BF%CF%8D+%CF%84%CE%B7%CF%82+%CE%A7%CF%8E%CF%81%CE%B1%CF%82&_3_groupId=0

ΕΛΣΤΑΤ, Ελληνική Στατιστική Αρχή. (2015). *ΕΛΛΑΣ με αριθμούς: Ιούλιος - Σεπτέμβριος 2015*. Ανάκτηση από http://www.statistics.gr/greece-in-figures

Ευρωπαϊκή Επιτροπή. (2007). *Η αντιμετώπιση του προβλήματος της λειψυδρίας και της ξηρασίας στην Ευρωπαϊκή Ένωση*. Ανάκτηση από: http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/PDF/?uri=CELEX:52007DC0414&from=EN

Ευρωπαϊκή Επιτροπή. (2012α). *Προσχέδιο για τη διαφύλαξη των υδατικών πόρων της Ευρώπης*. Ανάκτηση από: http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/PDF/?uri=CELEX:52012DC0673&from=EN

Ευρωπαϊκή Επιτροπή. (2015α). *Το κλείσιμο του κύκλου – Ένα σχέδιο δράσης της ΕΕ για την κυκλική οικονομία*. Ανάκτηση από: http://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:8a8ef5e8-99a0-11e5-b3b7-01aa75ed71a1.0002.03/DOC_1&format=HTML&lang=el&parentUrn=CELEX:52015DC0614

Ευρωπαϊκή Επιτροπή. (2015β). Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή χαιρετίζει το νέο θεματολόγιο 2030 των Ηνωμένων Εθνών για τη βιώσιμη ανάπτυξη. Ευρωπαϊκή Επιτροπή - Δελτίο Τύπου. Ανάκτηση από http://europa.eu/rapid/press-release_IP-15-5708_el.htm

Κατσής, Α., Σιδέρης, Γ., & Εμβαλώτης, Α. (2010). *Στατιστικές Μέθοδοι στις Κοινωνικές Επιστήμες*. Αθήνα: Εκδόσεις Τόπος.

Κουτσογιάννης, Δ. (1999). *Σχεδιασμός Αστικών Δικτύων Αποχέτευσης*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Κουτσογιάννης, Δ., Ανδρεαδάκης, Α., Μαυροδήμου, Ρ., Χριστοφίδης, Α., Μαμάσης, Ν., Ευστρατιάδης, Α., Κουκουβίνος, Α., Καραβοκυρός, Γ., Κοζάνης, Σ., Μαμάης, Δ. και Νουτσόπουλος, Κ. (2008). *Υποστήριξη της κατάρτισης Εθνικού Προγράμματος Διαχείρισης και Προστασίας των Υδατικών Πόρων*. Εθνικό Πρόγραμμα Διαχείρισης και Προστασίας των Υδατικών Πόρων. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος.

Νικολόπουλος, Δ. (2015). *Ανάπτυξη μοντέλου συνδυασμένης διαχείρισης λεκανών απορροής Αχελώου και Πηνειού*. Διπλωματική εργασία, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Σκόνδρας, Ν. (2015). *Λήψη αποφάσεων στη διαχείριση υδατικών πόρων: Ανάπτυξη σύνθετου δείκτη αξιολόγησης των κοινωνικών - περιβαλλοντικών συστημάτων ως προς τις συνθήκες αντοχής και τρωτότητας στην έλλειψη ύδατος και την υδατοπόνηση*. Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα.

ΥΠΕΚΑ, Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής. (2011α). *Λεκάνη Απορροής Ποταμού Αλφειού (GR29). Υποστηρικτικό Κείμενο της Έκθεσης Επισκόπησης (Υπό μορφή Προσχεδίου Διαχείρισης)*. Ανάκτηση από http://wfd.ypeka.gr/index.php?option=com_content&task=view&id=76&Itemid=12

ΥΠΕΚΑ, Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής. (2011β). *Λεκάνη Απορροής Ποταμών Πάμισου -Νέδοντος - Νέδα (GR32). Υποστηρικτικό Κείμενο της Έκθεσης Επισκόπησης (Υπό μορφή Προσχεδίου Διαχείρισης)*. Ανάκτηση από http://wfd.ypeka.gr/index.php?option=com_content&task=view&id=76&Itemid=12

ΥΠΕΚΑ, Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής. (2011γ). *Λεκάνη Απορροής Ποταμών Κεφαλονιάς - Ιθάκης - Ζακύνθου (GR45). Υποστηρικτικό Κείμενο της Έκθεσης Επισκόπησης (Υπό μορφή Προσχεδίου Διαχείρισης)*. Ανάκτηση από http://wfd.ypeka.gr/index.php?option=com_content&task=view&id=28&Itemid=12

ΥΠΕΚΑ, Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής. (2011δ). *Λεκάνη Απορροής Ποταμών Πείρου - Βέργα - Πηνειού (GR28). Υποστηρικτικό Κείμενο της Έκθεσης Επισκόπησης (Υπό μορφή Προσχεδίου Διαχείρισης)*. Ανάκτηση από http://wfd.ypeka.gr/index.php?option=com_content&task=view&id=28&Itemid=12

ΥΠΕΚΑ, Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής. (2011ε). *Λεκάνη Απορροής Ρεμάτων Παραλίας Βορείας Πελοποννήσου (GR27). Υποστηρικτικό Κείμενο της Έκθεσης Επισκόπησης (Υπό μορφή Προσχεδίου Διαχείρισης)*. Ανάκτηση από http://wfd.ypeka.gr/index.php?option=com_content&task=view&id=28&Itemid=12

ΥΠΕΚΑ, Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής. (2011στ). *Λεκάνη Απορροής Οροπεδίου Τρίπολης (GR30). Υποστηρικτικό Κείμενο της Έκθεσης Επισκόπησης (Υπό μορφή Προσχεδίου Διαχείρισης)*. Ανάκτηση από http://wfd.ypeka.gr/index.php?option=com_content&task=view&id=29&Itemid=12

ΥΠΕΚΑ, Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής. (2011ζ). *Λεκάνη Απορροής Ποταμού Ευρώτα (GR33). Υποστηρικτικό Κείμενο της Έκθεσης Επισκόπησης (Υπό μορφή Προσχεδίου Διαχείρισης)*. Ανάκτηση από http://wfd.ypeka.gr/index.php?option=com_content&task=view&id=29&Itemid=12

ΥΠΕΚΑ, Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής. (2011η). *Λεκάνη Απορροής Ρεμάτων Αργολικού Κόλπου (GR31). Υποστηρικτικό Κείμενο της Έκθεσης Επισκόπησης (Υπό μορφή Προσχεδίου Διαχείρισης)*. Ανάκτηση από http://wfd.ypeka.gr/index.php?option=com_content&task=view&id=29&Itemid=12

ΥΠΕΚΑ, Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής. (2011θ). *Παραδοτέο 8: Ανάλυση ανθρωπογενών πιέσεων και των επιπτώσεών τους στα επιφανειακά και στα υπόγεια υδατικά συστήματα. Υδατικό Διαμέρισμα Δυτικής Πελοποννήσου (GR01).* Ανάκτηση από http://wfd.ypeka.gr/index.php?option=com_content&task=view&id=61&Itemid=12

ΥΠΕΚΑ, Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής. (2011ι). *Παραδοτέο 8: Ανάλυση ανθρωπογενών πιέσεων και των επιπτώσεών τους στα επιφανειακά και στα υπόγεια υδατικά συστήματα. Υδατικό Διαμέρισμα Βόρειας Πελοποννήσου (GR02).* Ανάκτηση από http://wfd.ypeka.gr/index.php?option=com_content&task=view&id=63&Itemid=12

ΥΠΕΚΑ, Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής. (2011κ). *Παραδοτέο 8: Ανάλυση ανθρωπογενών πιέσεων και των επιπτώσεών τους στα επιφανειακά και στα υπόγεια υδατικά συστήματα. Υδατικό Διαμέρισμα Ανατολικής Πελοποννήσου (GR03).* Ανάκτηση από http://wfd.ypeka.gr/index.php?option=com_content&task=view&id=62&Itemid=12

ΥΠΕΚΑ, Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής. (2012α). *Παραδοτέο 8: Ανάλυση ανθρωπογενών πιέσεων και των επιπτώσεών τους στα επιφανειακά και στα υπόγεια υδατικά συστήματα. Υδατικό Διαμέρισμα Δυτικής Στερεάς Ελλάδας (GR04).* Ανάκτηση από http://wfd.ypeka.gr/index.php?option=com_content&task=view&id=39&Itemid=12

ΥΠΕΚΑ, Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής. (2012β). *Παραδοτέο 8: Ανάλυση ανθρωπογενών πιέσεων και των επιπτώσεών τους στα επιφανειακά και στα υπόγεια υδατικά συστήματα. Υδατικό Διαμέρισμα Ηπείρου (GR05).* Ανάκτηση από http://wfd.ypeka.gr/index.php?option=com_content&task=view&id=40&Itemid=12

ΥΠΕΚΑ, Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής. (2012γ). *Παραδοτέο 8: Ανάλυση ανθρωπογενών πιέσεων και των επιπτώσεών τους στα επιφανειακά και στα υπόγεια υδατικά συστήματα. Υδατικό Διαμέρισμα Αττικής (GR06).* Ανάκτηση από http://wfd.ypeka.gr/index.php?option=com_content&task=view&id=71&Itemid=12

ΥΠΕΚΑ, Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής. (2012δ). *Παραδοτέο 8: Ανάλυση ανθρωπογενών πιέσεων και των επιπτώσεών τους στα επιφανειακά και στα υπόγεια υδατικά συστήματα. Υδατικό Διαμέρισμα Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας (GR07).* Ανάκτηση από http://wfd.ypeka.gr/index.php?option=com_content&task=view&id=82&Itemid=12

ΥΠΕΚΑ, Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής. (2012ε). *Παραδοτέο 8: Ανάλυση ανθρωπογενών πιέσεων και των επιπτώσεών τους στα επιφανειακά και στα υπόγεια υδατικά συστήματα. Υδατικό Διαμέρισμα Θεσσαλίας (GR08).* Ανάκτηση από http://wfd.ypeka.gr/index.php?option=com_content&task=view&id=38&Itemid=12

ΥΠΕΚΑ, Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής. (2012στ). *Παραδοτέο 8: Ανάλυση ανθρωπογενών πιέσεων και των επιπτώσεών τους στα επιφανειακά και στα υπόγεια υδατικά συστήματα. Υδατικό Διαμέρισμα Ανατολικής Μακεδονίας (GR11).* Ανάκτηση από http://wfd.ypeka.gr/index.php?option=com_content&task=view&id=65&Itemid=12

ΥΠΕΚΑ, Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής. (2012ζ). *Παραδοτέο 8: Ανάλυση ανθρωπογενών πιέσεων και των επιπτώσεών τους στα επιφανειακά και στα υπόγεια υδατικά συστήματα. Υδατικό Διαμέρισμα Θράκης (GR12).* Ανάκτηση από http://wfd.ypeka.gr/index.php?option=com_content&task=view&id=66&Itemid=12

ΥΠΕΚΑ, Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής. (2012η). *Στρατηγική Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων Σχεδίου Διαχείρισης των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Ανατολικής Μακεδονίας (GR11).* Ανάκτηση από http://wfd.ypeka.gr/index.php?option=com_content&task=view&id=110&Itemid=18

ΥΠΕΚΑ, Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής. (2013α). *Σχέδιο Διαχείρισης των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Δυτικής Πελοποννήσου (GR01).* Ανάκτηση από http://wfd.ypeka.gr/index.php?option=com_content&task=view&id=113&Itemid=19

ΥΠΕΚΑ, Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής. (2013β). *Σχέδιο Διαχείρισης των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Βόρειας Πελοποννήσου (GR02).* Ανάκτηση από http://wfd.ypeka.gr/index.php?option=com_content&task=view&id=113&Itemid=19

ΥΠΕΚΑ, Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής. (2013γ). *Σχέδιο Διαχείρισης των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Ανατολικής Πελοποννήσου (GR03).* Ανάκτηση από http://wfd.ypeka.gr/index.php?option=com_content&task=view&id=113&Itemid=19

ΥΠΕΚΑ, Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής. (2013δ). *Σχέδιο Διαχείρισης Λεκανών Απορροής του Υδατικού Διαμερίσματος Ηπείρου (GR05).* Ανάκτηση από http://wfd.ypeka.gr/index.php?option=com_content&task=view&id=113&Itemid=19

ΥΠΕΚΑ, Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής. (2013ε). *Σχέδιο Διαχείρισης Λεκανών Απορροής του Υδατικού Διαμερίσματος Αττικής (GR06).* Ανάκτηση από http://wfd.ypeka.gr/index.php?option=com_content&task=view&id=113&Itemid=19

ΥΠΕΚΑ, Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής. (2013στ). *Σχέδιο Διαχείρισης Λεκανών Απορροής του Υδατικού Διαμερίσματος Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας (GR07)*. Ανάκτηση από http://wfd.ypeka.gr/index.php?option=com_content&task=view&id=113&Itemid=19

ΥΠΕΚΑ, Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής. (2013ζ). *Σχέδιο Διαχείρισης Λεκανών Απορροής του Υδατικού Διαμερίσματος Ανατολικής Μακεδονίας (GR11).* Ανάκτηση από http://wfd.ypeka.gr/index.php?option=com_content&task=view&id=113&Itemid=19

ΥΠΕΚΑ, Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής. (2013η). *Σχέδιο Διαχείρισης Λεκανών Απορροής του Υδατικού Διαμερίσματος Θράκης (GR12).* Ανάκτηση από http://wfd.ypeka.gr/index.php?option=com_content&task=view&id=113&Itemid=19

ΥΠΕΚΑ, Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής. (2013θ). *Παραδοτέο 8: Ανάλυση ανθρωπογενών πιέσεων και των επιπτώσεών τους στα επιφανειακά και στα υπόγεια υδατικά συστήματα. Υδατικό Διαμέρισμα Δυτικής Μακεδονίας (GR09).* Ανάκτηση από http://wfd.ypeka.gr/index.php?option=com_content&task=view&id=114&Itemid=12

ΥΠΕΚΑ, Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής. (2013ι). *Παραδοτέο 8: Ανάλυση ανθρωπογενών πιέσεων και των επιπτώσεών τους στα επιφανειακά και στα υπόγεια υδατικά συστήματα. Υδατικό Διαμέρισμα Κεντρικής Μακεδονίας (GR10).* Ανάκτηση από http://wfd.ypeka.gr/index.php?option=com_content&task=view&id=119&Itemid=12

ΥΠΕΚΑ, Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής. (2013κ). *Στρατηγική Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων Σχεδίου Διαχείρισης των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Θράκης (GR12).* Ανάκτηση από http://wfd.ypeka.gr/index.php?option=com_content&task=view&id=110&Itemid=18

ΥΠΕΚΑ, Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής. (2013λ). *Θεσμικό Πλαίσιο για την Επαναχρησιμοποίηση Επεξεργασμένων Υγρών Αποβλήτων*. Ανάκτηση από http://www.ypeka.gr/LinkClick.aspx?fileticket=WGtQVsk9ulY%3D&tabid=251&language=el-GR

ΥΠΕΚΑ, Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής. (2014α). *Σχέδιο Διαχείρισης Λεκανών Απορροής του Υδατικού Διαμερίσματος Δυτικής Στερεάς Ελλάδας (GR04).* Ανάκτηση από http://wfd.ypeka.gr/index.php?option=com_content&task=view&id=113&Itemid=19

ΥΠΕΚΑ, Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής. (2014β). *Σχέδιο Διαχείρισης Λεκανών Απορροής του Υδατικού Διαμερίσματος Θεσσαλίας (GR08)*. Ανάκτηση από http://wfd.ypeka.gr/index.php?option=com_content&task=view&id=113&Itemid=19

ΥΠΕΚΑ, Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής. (2014γ). *Σχέδιο Διαχείρισης Λεκανών Απορροής του Υδατικού Δυτικής Μακεδονίας (GR09).* Ανάκτηση από http://wfd.ypeka.gr/index.php?option=com_content&task=view&id=113&Itemid=19

ΥΠΕΚΑ, Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής. (2014δ). *Σχέδιο Διαχείρισης Λεκανών Απορροής του Υδατικού Κεντρικής Μακεδονίας (GR10).* Ανάκτηση από http://wfd.ypeka.gr/index.php?option=com_content&task=view&id=113&Itemid=19

ΥΠΕΚΑ, Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής. (2015α). *Σχέδιο Διαχείρισης Λεκανών Απορροής του Υδατικού Διαμερίσματος Κρήτης (GR13).* Ανάκτηση από http://wfd.ypeka.gr/index.php?option=com_content&task=view&id=113&Itemid=19

ΥΠΕΚΑ, Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής. (2015β). *Σχέδιο Διαχείρισης Λεκανών Απορροής του Υδατικού Διαμερίσματος Νήσων Αιγαίου (GR14).* Ανάκτηση από http://wfd.ypeka.gr/index.php?option=com_content&task=view&id=113&Itemid=19

ΥΠΕΚΑ, Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής. (2015γ). *Στρατηγική Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων Σχεδίου Διαχείρισης των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Νήσων Αιγαίου (GR14).* Ανάκτηση από http://wfd.ypeka.gr/index.php?option=com_content&task=view&id=110&Itemid=18

Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων. (2007). *Στρατηγική Μελέτη Περιβαλλοντικής Εκτίμησης του Προγράμματος Αγροτικής Ανάπτυξης 2007-2013*. Ανάκτηση από http://www.agrotikianaptixi.gr/Uploads/Files/PAA/parart4_sepe_2v.pdf

Υπουργείο Υποδομών, Μεταφορών και Δικτύων. (2009). Στρατηγικό Σχέδιο (Master Plan) για την Επαναχρησιμοποίηση των Εκροών των ΕΕΛ στην Αττική.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι. ΑΡΧΙΚΗ ΛΙΣΤΑ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΔΕΙΚΤΩΝ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ

No	Indicator	Units	Description / Comments	Source
Hydrological & physical aspects of water resources vulnerability				
1	Falkenmark indicator (Renweable water resources per capita)	m^3/capita/year	It relates the available freshwater resources (renewable surface & groundwater flows) in a given region per year to the number of inhabitants, regardless of the temporal and spatial distribution of the water resources.	Falkenmark, 1989; Brown & Matlock, 2011
2	Water Exploitation Index (WEI)	%	The water exploitation index (WEI), or withdrawal ratio, in a country (or region) is defined as the mean annual total abstraction of fresh water divided by the long-term average freshwater resources. It describes how the total water abstraction puts pressure on water resources. Thus it identifies those regions having high abstraction in relation to their resources and therefore are prone to suffer problems of water stress.	EEA, 2004
3	WEI+	%	The WEI+ has been developed with the purpose of better capturing the balance between renewable water resources and water consumption, in order to assess the prevailing water stress conditions in a region. It aims mainly at redefining the actual water exploitation, since it incorporates returns from water uses and effective management, tackling issues of temporal and spatial scaling.	Faergemann, 2012)
4	Non-sustainable water production index	%	This indicator measures the proportion of the total annual water withdrawals (including losses during transport) deriving from fossil aquifer reserves or from the overexploitation of groundwater, expressed as a percentage.	Plan Bleu, 2000

No	Indicator	Units	Description / Comments	Source
5	Exploitable regular renewable surface water	m^3/year	Annual average quantity of surface water that is available with an occurrence of 90 percent of the time. In practice, it is equivalent to the low water flow of a river. It is the resource that is offered for withdrawal or diversion with a regular flow.	FAO, AQUASTAT Database (http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/index.html?lang=en)
6	Exploitable regular renewable groundwater	m^3/year	Average groundwater flow that is available with an occurrence of 90 percent of the time, and economically/environmentally viable to extract.	FAO AQUASTAT Database (http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/index.html?lang=en)
7	Total exploitable water resources	m^3/year	Exploitable water resources (also called manageable water resources or water development potential) are considered to be available for development, taking into consideration factors such as: the economic and environmental feasibility of storing floodwater behind dams, extracting groundwater, the physical possibility of storing water that naturally flows out to the sea, and minimum flow requirements (navigation, environmental services, aquatic life, etc). Methods to assess exploitable water resources vary from country to country. (Total exploitable water resources are equal to exploitable regular renewable surface water plus exploitable regular renewable groundwater)	FAO AQUASTAT Database (http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/index.html?lang=en)

No	Indicator	Units	Description / Comments	Source
8	Groundwater development stress indicator (GDS)	%	It expresses to what extent current groundwater abstraction is or will be modifying the original groundwater regimes and it is defined as the current annual rate of groundwater abstraction divided by the mean annual natural groundwater recharge.	IGRAC, 2011
9	Dry season flow by river basin	%	It considers the temporal variability of water availability that is essential for example in regions with rainy and dry seasons. Watersheds with a dry season are those where less than 2% of the surface runoff is available in the 4 driest months of the year. This indicator is calculated by dividing the volume of runoff during the dry season, i.e. during the four consecutive months with the lowest cumulative runoff, by the population.	WRI, 2000
10	Indicator of water scarcity	%	It combines information about water abstractions and water availability, i.e. the gross freshwater abstractions as percentage of the total renewable water resources or as percentage of internal water resources. The variable of desalinated water resources is included in this indicator, which is defined by the annual freshwater abstractions minus the desalinated water resources and divided by the annual available water resources.	Heap et al., 1998
11	Water resources variation	0-1	Variation of water resources over the years determines reliability of annual available water resources. The variation of water resources is reflected by the coefficient of variation (CV) of a long rainfall record for a period of 20-50 years. The CV is estimated by the ratio of the standard deviation of annual rainfall (of a long rainfall record) to the average annual rainfall as follows: $CV = \sigma/\mu$. 0.3 has been set a critical level of variation thus indicating large rainfall variation in time and space.	Raskin et al., 1997; Hamouda, 2009; Huang & Cai, 2009; Babel, 2011
12	Streamflow variability	%	The ratio of the standard deviation of unregulated annual streamflow to the unregulated mean annual streamflow.	Hurd et al., 1999

No	Indicator	Units	Description / Comments	Source
13	Water quality index	-	The water quality index of the Environmental sustainability index (ESI) includes four variables: dissolved oxygen, phosphorous concentration, turbidity and electrical conductivity. These variable values are in the form of z-scores, with zero indicating the mean, +1 and –1 representing one standard deviation above and below the mean, +2 and –2 representing two standard deviations above and below the mean, and so on. Lower values reflect greater vulnerability.	Hamouda, 2009
14	Vegetation cover of the area	%	Percentage of area under vegetation coverage, i.e. forest area, wetlands, etc. Removing vegetation cover from the landscape may change the hydrological properties of the land surface and can cause severe problems on functioning of the ecosystem contributing to the vulnerability of freshwater resources. Furthermore, deforestation may lead to increased rainfall variability in addition to increased soil erosion and river sedimentation, thus increasing vulnerability.	Adger et al., 2004; Brooks et al., 2005; Babel, 2011;
15	Arid lands index	%	It is defined by the percentage of total arid lands to the total area. Arid lands are terrestrial areas falling within four of the world's six aridity zones: the hyper-arid, arid, semi-arid, and dry sub-humid zones. These areas are especially vulnerable to land degradation. In arid lands, the ratio of average precipitation to average evapotranspiration, called the aridity index, is between 0 and 0.65	WRI, 1998
16	Ecosystem thermal sensitivity	No. of days	Extreme heat is a significant source of stress on ecosystems; even regions adapted to relatively high temperatures may not easily tolerate even small increases in maximum temperatures. The higher the indicator the higher the vulnerability.	Hurd et al., 1999

No	Indicator	Units	Description / Comments	Source
17	Basic Human Water Requirements	m^3/capita/year	The proposed amount of water for meeting basic human needs, such as drinking, cooking, bathing, sanitation and hygiene, is 50 liters per person per day. According to this definition, estimates of the number of countries where the average domestic water use is below this threshold are made. This indicator is only calculated on country-level to depict national water scarcity.	Gleick, 1996
18	Domestic water supply deficit	%	Percentage of domestic water demand not met by water supply. Deficit in supplying capacity (network operation and losses) and in demand coverage; it depends on the available and delivered amount of water.	Karavitis et al., 2015
19	Agricultural water supply deficit	%	Percentage of agricultural water demand not met by water supply. Deficit in supplying capacity (network operation and losses) and in demand coverage; it depends on the available and delivered amount of water.	Yilmaz & Harmancioglu, 2010; Karavitis et al., 2015
20	Industrial water supply deficit	%	Percentage of industrial water demand not met by water supply. Deficit in supplying capacity (network operation and losses) and in demand coverage; it depends on the available and delivered amount of water.	Karavitis et al., 2015
21	Water self-sufficiency	%	Dependence of the basin on inflow from neighboring basins (inflow as ratio of total water availability)	Raskin et al., 1997, Hamouda, 2009
22	Generated urban wastewater	m^3/year	Amount of wastewater from residential settlements and services which originates predominantly from the human metabolism and from household activities and run-off rain water.	WATERinCORE, 2010
23	Generated industrial wastewater	m^3/year	Any waste water which is discharged from premises used for carrying on any trade or industry, other than domestic waste water and runoff rain water. Cubic	WATERinCORE, 2010

No	Indicator	Units	Description / Comments	Source
24	Untreated wastewater discharge as percentage (%) of available water resources	%	The contribution of water pollution to water resources vulnerability can be represented by the ratio between the total untreated wastewater discharge and the total water resources of a river basin.	Huang & Cai, 2009
25	Direct use of treated municipal wastewater	m3/year	Treated municipal wastewater being used for beneficial purposes.	FAO AQUASTAT Database (http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/index.html?lang=en)
26	Direct use of treated municipal wastewater for irrigation purposes	m^3/year	Treated municipal wastewater applied artificially (irrigation) and directly (i.e. with no or little prior dilution with freshwater during most of the year) on land to assist the growth of crops and fruit trees. Treated municipal wastewater applied artificially and directly for landscaping and forestry also falls under this category.	FAO AQUASTAT Database (http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/index.html?lang=en)
27	Desalinated water produced	m3/year	Water produced annually by desalination of brackish or salt water. It is estimated annually on the basis of the total capacity of water desalination installations.	FAO AQUASTAT Database (http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/index.html?lang=en)
28	Wastewater Reuse Index (WRI)	%	The WRI represents the ratio between actual wastewater reuse and total available wastewater.	Alfarra et al., 2011

No	Indicator	Units	Description / Comments	Source
Socio-economic aspect of water resources vulnerability				
29	Population Density	inhabitants/km^2	Resident population divided by land area in square kilometers.	World Bank - - World Development Indicators on-line database (http://data.worldbank.org/indicator/EN.POP.DNST)
30	Rural population (% of total population)	%	Rural population refers to people living in rural areas as defined by national statistical offices. It is calculated as the difference between total population and urban population.	World Bank - - World Development Indicators on-line database (http://wdi.worldbank.org/table/3.1)
31	Population Growth	%	The exponential rate of growth of resident population from year t-1 to t, expressed as a percentage (mean annual rate of population growth).	World Bank - - World Development Indicators on-line database (http://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.GROW/countries/1W?display=default)
32	Number of tourists per km of coastline	No of tourist overnights / km of coastline per day	This is the number of tourists residing during the peak period, along Mediterranean coastal regions, in proportion to the length of the coastline	Plan Bleu, 2000

No	Indicator	Units	Description / Comments	Source
33	Number of international tourists per 100 inhabitants	Number / 100 inhabitants	This indicator is defined by the number of arrivals by international tourists compared annually to the number of inhabitants in a country.	Plan Bleu, 2000
34	Population below national poverty line	%	National estimates of the percentage of the population falling below the poverty line based on per capita consumption estimated from household survey data. Poverty line definitions vary considerably among nations (for example, rich nations generally employ more generous standards of poverty than poor nations).	World Bank - - World Development Indicators on-line database (http://wdi.worldbank.org/table/2.7)
35	Adult literacy rate	%	The percentage of the population aged 15 and above who can, with understanding, read and write a short, simple statement on their everyday life. Generally, 'literacy' also encompasses 'numeracy', the ability to make simple arithmetic calculations.	World Bank - World Development Indicators on-line database (http://wdi.worldbank.org/table/2.13)
36	Population who did not proceed to secondary education	%	It includes the percentage of the population who: a) graduated from primary school and did not continue their education b) dropped out of primary school but has writing and reading skills, c) has completed a preschool education, d) do not have writing and reading skills (illiterate people)	Hellenic Statistical Authority, 2011a; MDG-F, 2011
37	Economically active population		Is defined as the working age people (i.e. age: 15 to 60) and reflects the social status of population and physical strength of society to cope with the water scarcity and associated stresses. Higher value reflects higher flexibility of individuals in adapting to the new conditions/living patterns which may have been brought by increased stresses in water resources system, therefore, have higher human resources capacity.	Adger et al., 2004; Zhou, 2004; Brooks et al., 2005; Babel et al., 2011

No	Indicator	Units	Description / Comments	Source
38	Gross Regional Domestic Product (GRDP) per capita	€/capita	GRDP is a subnational gross domestic product for measuring the size of that region's economy. It is the aggregate of gross value added (GVA) of all resident producer units in the region (NSCB). This indicator reflects the degree of access to technology and resources to adapt in water stressed conditions; hence, strengthens the adaptive capacity of society.	Babel et al., 2011
39	Contribution of agricultural sector to GRDP	%	This indicator shows the contribution by agricultural sector to the GRDP, expressing if there is significant dependence of economy to water intensive activities (water dependent sectors).	Plan Bleu, 2000; UN 2005; World Bank - World Development Indicators on-line database (http://data.worldbank.org/indicator/NV.AGR.TOTL.ZS)
40	Contribution of industrial sector to GRDP	%	This indicator shows the contribution by industrial sector to the GRDP, expressing if there is significant dependence of economy to water intensive activities (water dependent sectors).	Plan Bleu, 2000; World Bank - World Development Indicators on-line database (http://data.worldbank.org/indicator/NV.AGR.TOTL.ZS)

No	Indicator	Units	Description / Comments	Source
41	Public & private expenses for research & development (R&D) in percentage of GRDP	%	Average expenditures for R&D by the public and private sectors (share of the operational budget). R&D includes innovations and systematic increase of knowledge, including knowledge of Mankind, culture and society, and the use of this knowledge in new applications. R&D is defined as three activities: fundamental research, applied research and experimental development. R&D expenditures include amounts and expenses paid to trainers, and amounts to fund the appropriate facilities, if they are solely dedicated to training and limited to company use.	Plan Bleu, 2006
42	Scientists and engineers in R&D per million population	-	Higher values reflect greater adaptive capacity through innovative solutions, and thus lower vulnerability.	Hamouda, 2009
43	Human Development Index	%	It measures the average achievements in a country in three basic dimensions: (a) long and healthy life, measured by life expectancy at birth, (b) knowledge, measured by the adult literacy rate and the combined primary, secondary and tertiary gross enrolment ratio, (c) decent standard of living, measured by GDP per capita.	UNDP, 2006
44	Agricultural productivity	-	The proportion of GDP derived from agriculture divided by the proportion of water used by agriculture.	Lawrence et al., 2002; Sullivan, 2003
45	Industrial productivity	-	The proportion of GDP derived from industry divided by the proportion of water used by industry.	Lawrence et al., 2002; Sullivan, 2003
46	Water tariffs	€/m^3 per use	This indicator provides information about the integrated pricing policy adopted per water use. A water tariff is the price assigned by a water utility to its customers per use of water.	WATERinCORE, 2010

No	Indicator	Units	Description / Comments	Source
47	Water charges as percentage of household income	%	This indicator shows how much water charges constitute of various household income groups. Water charges are seen as an important economic instrument for improving water use efficiency, enhancing social equity and securing financial sustainability of water utilities and operators	OECD, 2009
48	Sanitation charges as percentage of household income	%	This indicator shows how much sanitation charges constitute of various household income groups.	OECD, 2009
49	Farm income	€/year	The higher the farm income, the lower the vulnerability level.	Gbetibouo & Ringler, 2009
50	Farm holding size	Hectares (ha)	Average farm size. The higher the size of land, the lower the vulnerability level	Gbetibouo & Ringler, 2009
51	Crop diversification index	%	An agricultural region with more diversified crops will be less vulnerable to water scarcity.	Gbetibouo & Ringler, 2009
52	Farmers organized in Water User Associations (WUA)	%	Number of farmers members of organized agriculture. The higher the number of farmers organized in WUA, the lower the vulnerability level.	Gbetibouo & Ringler, 2009
53	Agricultural labor force	%	Higher percentages reflect greater vulnerability due to the greater percentage of population affected by water shortages.	Hamouda, 2009
54	Hydropower dependence	%	Ratio of electricity supplied by hydropower to total production in the region.	Gleick 1990, Hamouda 2009
55	Irrigation dependence	%	Percentage of cultivated areas dependent on irrigation.	Hamouda 2009
56	Percentage of cultivated area	%	Percentage of total area which is cultivated (arable land and permanent crops)	FAO AQUASTAT Database (http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/index.html?lang=en)

No	Indicator	Units	Description / Comments	Source
57	Existence of water quality standards	Qualitative indicator (Yes/No)	Existence of quality standards for effluent discharges, minimum river water quality targets. "Yes" reflects better response and thus lower vulnerability.	Hamouda, 2009
58	Government effectiveness	Qualitative indicator (range between −2.5 to +2.5)	This indicator focuses on the ability of the government to develop and implement effective policies and deliver public goods.	Hamouda, 2009
Technical aspect of water resources vulnerability (infrastructure & management)				
59	Access to improved water supply	%	This indicator shows the proportion of the population with reasonable access to an adequate amount of safe drinking water (minimum: 20 l per day and per person). Reasonable access to water is defined as the existence of a water supply within the home or within 15 min walking distance (or 1,000 m). "Improved" water sources are: household connections, public standpipes, boreholes, protected dug wells, protected springs, rainwater collection. Higher percentages reflect lower vulnerability.	UNICEF & WHO, 2015
60	Access to improved sanitation	%	Percentage of population with access to "improved" sanitation: connection to public sewer, connection to septic system, pour-flush latrine, simple pit latrine, ventilated improved pit latrine. Higher percentages reflect lower vulnerability.	UNICEF & WHO, 2015
61	Irrigation water efficiency	%	This indicator measures progress in water savings through demand management, by reducing losses and waste during transport of irrigation water. The efficiency of irrigation in each plot, is calculated as the total of efficiency (by plot) of each irrigation method (surface irrigation, sprinkler irrigation, etc.), weighted by the relative proportions for each approach in the area.	Plan Bleu, 2006

No	Indicator	Units	Description / Comments	Source
62	Drinking water efficiency	%	This indicator measures progress in water savings through demand management, by reducing losses and waste during transport of drinking water. It is calculated as the drinking water volume invoiced and paid by consumers divided by the total drinking water volume produced and distributed. It measures both the physical efficiency of drinking water distribution networks (loss rates or yield) and economic efficiency, e.g., the capacity of network managers to cover costs through consumer payments.	Plan Bleu, 2006
63	Industrial water efficiency	%	This indicator measures progress in water savings through demand management, by reducing losses and waste during transport and recycling of industrial water.	Plan Bleu, 2006
64	Population served by WWTP	%	Percentage of the population served by WWTP	WATERinCORE, 2010
65	Treatment of industrial wastewater	%	Percentage of industrial wastewater which is treated in WWTP. It provides information on whether the industrial activity comprises significant point source pollution for surface and groundwater in a specific region.	WATERinCORE, 2010
66	Share of treated wastewater by the public sewerage system	%	The proportion of wastewater produced that has been subject to collection from a collective network (from households, local authorities or industry) and has been adequately treated to allow its discharge into the environment without impacting human health or ecosystems.	Plan Blue, 2000; Hamouda, 2009
67	Dam capacity per capita	m^3/capita/year	Total water storage in man-made reservoirs per capita	FAO AQUASTAT Database (http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/popups/itemDefn.html?id=4471)

No	Indicator	Units	Description / Comments	Source
68	Storage to flow ratio	%	This indicator measures the capacity of water resources infrastructure to cope with water fluctuations, and it is defined as the national reservoir storage capacity (design capacity) divided by average annual water withdrawal.	Raskin et al., 1997; Hamouda, 2009
69	Use of agricultural pesticides	kg/ha	This indicator measures the use of pesticides per unit of cropland. Higher values reflect greater vulnerability.	Plan Bleu, 2000; Hamouda, 2009
70	Use of fertilizers per hectare of agricultural land	kg/ha	This indicator measures the intensity of use of fertilizing nutrients in agriculture per unit of area. Higher values reflect greater vulnerability.	Plan Bleu, 2000; Hamouda, 2009

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ. ΣΥΝΘΕΤΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

No	Index	Description	Definition of Terms	Scale	Sub-Indices & indicators	Normalization Method, Weighting Scheme & Aggregation Method	Source

1	Arctic Water Resource Vulnerability Index (AWRI)	Assessing the vulnerability (or resilience) of Arctic communities to changing water resources from a variety of physical & socioeconomic processes.
		
		AWRVI scores:
		• 0: Highly vulnerable;
		• 0.25: Moderately vulnerable;
		• 0.50: Threshold;
		• 0.75: Moderately resilient;
		• 1: Highly resilient
		
		AWRVI is composed of 2 Sub-indices comprising 23 indicators in total.
			Resilience & vulnerability are defined as opposite ends of a spectrum denoting the ability of human communities (social aspect) and the ecosystems in which they live (physical aspect) to respond to change and maintain the functionality of that social–ecological system.	Watershed / community	<u>Physical Sub-Index (17 indicators)</u>
					• *Natural supply*
					  • precipitation, surface water, river runoff
					• *Municipal supply*
					  • Reservoir & well yield, source diversity, treatment technology, energy cost of water abstraction, permafrost risk
					• *Water quality*
					  • Upstream modification, water quality testing
					• *Permafrost status*
					  • Permafrost distribution
					• *Subsistence habitat*
					  • Aquatic habitat, terrestrial habitat
					
					<u>Social Sub-Index (8 indicators)</u>
					• *Socio-knowledge capacity*
					  • No of indigenous people aged 50+, college degrees per capita, residence time per capita
					• *Socio-economic capacity*
					  • Average household income
					• *Socio-institutional capacity*
					  • Protected areas
					• *Socio-cultural capacity*
					  • Kg of subsistence harvest per capita, social network diversity, community water action plans
						<u>Normalization method</u>
						Each indicator is normalized in a rating scale from 0 (highly vulnerable) to 1 (highly resilient), with 0.5 representing the threshold value. Five classes of indicator value intervals have been developed corresponding to 5 different values of the rating scale (0, 0.25, 0.5, 0.75, and 1).
						
						<u>Weighting Scheme</u>
						Equal weights
						
						<u>Aggregation Method</u>
						$AWRVI = [AWRVI_{physical} + AWRVI_{social}]/2$
						
						$AWRVI_{physical}$ = Average of relevant indicators
						
						$AWRVI_{social}$ = Average of relevant indicators
							Alessa et al., 2008

2	Vulnerability Index of freshwater resources (VI)	Assessing the vulnerability of water resources systems to water stress associated with environmental & socio-economic changes including climate change/variability. VI<1: little or no vulnerability; VI = 1–2: moderate vulnerability; VI = 2–3: significant vulnerability; VI>3: extreme vulnerability VI is composed of 2 Sub-indices comprising 11 indicators in total.	Vulnerability of water resources is defined as the ability of water resources system, consisting of environmental or physical and socio-economic components, to function in the face of socio-economic and environmental changes including climate change/variability. It can be expressed in terms of two main components: the water stress, associated with environmental and socio-economic changes, and the adaptive capacity of the society and ecosystem to cope with stress.	Watershed / river basin	<u>Water Stress Sub-Index (4 indicators)</u> • Variation of rainfall, water availability per capita, total water use with respect to available water, WW discharge as % of available water resources <u>Adaptive Capacity Sub-Index (7 indicators)</u> • Vegetation cover of the area, irrigation coverage, drinking water coverage, literacy rate, economically active population, GDP, % of non-agricultural employment	<u>Normalization method</u> Normalization according to threshold in a scale of 0–1, with 1 reflecting the upper limit of stress and adaptive capacity respectively. <u>Weighting Scheme</u> Analytical Hierarchy Process <u>Aggregation Method</u> VI = WSI/ACI $WSI = \Sigma W_{ws} * X_{ws}$ $ACI = \Sigma W_{ac} * X_{ac}$	Babel et al., 2011

3	Water Resources Vulnerability Index (VI)	Assessing the current state of water resources vulnerability in large heterogeneous river basins (county scale) using an integrated approach encompassing water supply, demand & quality. VI is composed of 3 Sub-indices comprising 21 indicators in total.	Vulnerability is the exposure of a system to shocks, stresses, and disturbances, or the degree to which a system is susceptible to adverse effects, or the degree to which a system is likely to experience harm from perturbation or stress. Vulnerability of water resources has three major dimensions, i.e. water supply, water demand, and water quality. Three VIs: Water Supply VI Water Demand VI Water Quality VI	County / river basin	<u>Water Supply VI (8 indicators)</u> • Runoff, dam storage, dry-seasonal runoff to annual runoff, ratio of peak snow water equivalent to October-March precipitation, No of days with greater than 25mm of precipitation, No of days with less than 1mm of precipitation, urban areas, irrigated land <u>Water Demand VI (8 indicators)</u> • Population, population density, population growth rate, Social VI, total water consumption, irrigation water use to total water consumption, No of days with max air temperature greater than 30 ^{o}C, dry spells <u>Water Quality VI (5 indicators)</u> • Stream temperature, erosion potential, N & P loading potential, algal bloom probability	<u>Normalization method</u> Min-max normalization method in a scale of 0–100 (with 100 reflecting highly vulnerable systems). <u>Weighting Scheme</u> Equal Weighting <u>Aggregation Method</u> Normalized indicators were aggregated into the three VIs. The VIs were spatially normalized in a scale from 0 to 100 and were used to plot vulnerability maps	Chang et al., 2013

4	Water Quantity Vulnerability Index & Water Quality Vulnerability Index	Assessing water resources vulnerability to climate change and variability, as well as to environmental exposure, such as pollution sources. Vulnerability is expressed in terms of water quantity and water quality.	Vulnerability is a function of the character, magnitude and rate of climate variation to which a system is exposed, its sensitivity and its adaptive capacity (definition from IPCC, 2001).	Sub-basin	<u>Water Quantity VI (16 indicators)</u>
					• *Exposure*
					  • Effective precipitation, cropland, impervious surfaces
					• *Sensitivity*
					  • Population, population density, water leakage ratio, moderate water use, groundwater levels, residential/industrial/agricultural water use,
					• *Adaptive Capacity*
					  • Waterworks distribution rate, water reuse, fiscal self-reliance ratio, GRDP, No of officials for water management
					
					<u>Water Quality VI (13 indicators)</u>
					• *Exposure*
					  • Consecutive dry days, heatwave days, N/P/sediment/BOD loading
					• *Sensitivity*
					  • Forest areas, sewerage distribution rate, river water use,
					• *Adaptive Capacity*
					  • Waterworks distribution rate, fiscal self-reliance ratio, GRDP, No of officials for water management
						<u>Normalization method</u>
						Indicator values were individually normalized. According to their distributions, the raw data were logarithmically transformed. Then min-max normalization was performed for each indicator.
						
						<u>Weighting Scheme</u>
						Multi-criteria decision making techniques:
						• Shannon entropy method (objective values)
						• Delphi weighting method (subjective values)
						
						<u>Aggregation Method</u>
						$VI=\alpha*E+\beta*S-\gamma*AC$
						where *α, β* and *γ* are the weights of exposure (E), sensitivity (S) and adaptive capacity (AC), respectively
						TOPSIS method
							Chung et al., 2017

5	Place Vulnerability Index to water scarcity (VI)	Assessing vulnerability to water scarcity due to groundwater overdraft, in spatial terms (place-based model), using biophysical and social indicators.
		
		VI is composed of 2 Sub-indices comprising 15 indicators in total.
			Vulnerability in general terms means ‘‘the differential susceptibility to loss from a given insult’’ (Kasperson et al., 2001).
			
			Vulnerability to water scarcity has two main dimensions: the biophysical and the social one (VI comprises the Biophysical VI and the Social VI).
				Community / urban & rural area	<u>Biophysical VI (2 indicators)</u>
					• No of exempt wells without access to basin-fill aquifer, well spacing
					
					<u>Social VI (13 indicators)</u>
					• *Sociodemographic*
					  • Population, housing units, No of Hispanic / non-white residents, No of female-headed households, No of people aged less than 18 / more than 64, renter occupied housing units, mean housing unit values, seasonal/recreational housing units
					• *Water provider type*
					  • Proportion of housing units within municipal / private water provider service area, proportion of housing units with exempt wells
						<u>Normalization method</u>
						Both biophysical and sociodemographic variables were standardized by dividing the value of the variable in each census block by the maximum block value for the variable to create indicators ranging from 0 to 1.00, with higher values indicating greater vulnerability.
						
						<u>Weighting Scheme</u>
						Equal weighting
						
						<u>Aggregation Method</u>
						The values for each indicator were summed to calculate composite indices for each block (i.e. Biophysical VI and Social VI). The VI is equal to the sum of the scores of the two indices (biophysical and social) for each census block.
							Collins & Bolin, 2007

6	Watershed Vulnerability Index (WVI)	Assessing the vulnerability of watershed health to future degradation (potential exposure to future climate, land use, and water use change and wildfire risk). WVI is composed of 4 Sub-indices comprising 11 indicators in total.	Watershed vulnerability is defined as the potential for future degradation of watershed processes & aquatic ecosystems. Four vulnerability attributes are considered: • Climate Change Vulnerabilitu • Land Cover Vulnerabilitu • Water Use Vulnerability • Fire Vulnerability	Watershed	Climate Change VI (7 indicators) • Projected changes in precipitation, min / mean / max temperature, snowpack, base flow, surface runoff Land Cover VI (1 indicator) • Projected land cover change Water Use VI (1 indicator) • Current water demand Fire VI (2 indicators) • Projected change in wildlife severity, fire regime condition class	Normalization method Rank normalization; Indicator scores ranging from 0 to 1; higher scores correspond to higher watershed vulnerability Weighting Scheme Equal Weighting Aggregation Method Index scores are calculated as the average of rank-normalized indicator values	US EPA, 2013

7	Global water security index (GWSI)	Providing a global understanding of the status of water security, using a spatial multi-criteria analysis (MCA) framework and integrating physical & socio-economic dimensions of security. GWSI is composed of 10 indicators	Water security is conceptualized as a function of water availability, accessibility to services, safety and quality, and management (4 dimensions).	Country	<u>Water availability (3 indicators)</u> • Blue water scarcity index, drought index, groundwater depletion <u>Accessibility to services (2 indicators)</u> • Access to drinking water & sanitation <u>Safety and quality (2 indicators)</u> • Water quality index, flood frequency index <u>Management (3 indicators)</u> • World governance index, transboundary legal framework, transboundary political tension	<u>Normalization method</u> Value function normalization in a scale from 0 to 1 (1: the objective is perfectly matched - highest security; 0: the objective is perfectly unmatched - lowest security). Value functions were introduced in the GIS software environment as fuzzy membership functions, defining how each map element is close to a membership value (or degree of membership) of 1 for optimal security. The membership functions were usually linear or in some cases trapezoidal (linear normalization with a plateau to express stable valuation of indicator values below or above a given threshold). <u>Weighting Scheme</u> Equal weights & ordered weights defined by the authors <u>Aggregation Method</u> Simple additive weighting & ordered weighted average methods	Gain et al., 2016

8	Vulnerability Index (VI) of water resources systems in developing countries	Assessing vulnerability of water resources systems to climate change at the river basin or sub-basin scale, over the next 50 years (future scenarios). VI is composed of 7 indicators.	Vulnerability is the degree to which a system is susceptible to, or unable to cope with, adverse effects of climate change, including climate variability and extremes. Vulnerability is a function of the character, magnitude, and rate of climate variation to which a system is exposed, its sensitivity, and its adaptive capacity (IPCC, 2001). Vulnerability is composed of exposure, sensitivity, resilience and coping capacity.	River basin / sub-basin	<u>Exposure (1 indicator)</u> • River flow <u>Sensitivity (3 indicators)</u> • Total water demand, hydro electrical installed capacity, forest cover <u>Resilience (1 indicator)</u> • Amount of rice production <u>Coping capacity (2 indicators)</u> • Perceived trend of composite water governance, incidence of poverty	<u>Normalization method</u> Indicator values were normalized using a value function approach, which determine desirable and least acceptable (best and worst) values (the measured value was normalized between the two threshold values) <u>Weighting Scheme</u> Equal weights <u>Aggregation Method</u> $VI = \Sigma(\Sigma x_{ij} * w_{ij}) * W_i$ where xij is the jth parameter in the ith component; wij is the weight to the jth parameter in the ith component; and Wi is the weight given to the ith component	Gain et al., 2012

9	Vulnerability Index (VI) of South African farmers to climate change and variability	Assessing vulnerability of South Africa's farming sector to climate change by developing a nationwide province-level vulnerability profile that will identify the most vulnerable farming areas in South Africa.
		
		VI is composed of 19 indicators.
			Vulnerability is a function of three components: exposure (E), sensitivity (S) and adaptive capacity (AC), which are influenced by a range of biophysical and socio-economic factors.	Province	<u>Exposure (3 indicators)</u>
					• Frequency of floods and droughts, change in temperature, change in precipitation
					
					<u>Sensitivity (5 indicators)</u>
					• % irrigated land, land degradation index, % small scale farming, crop diversification index, rural population density
					
					<u>Adaptive capacity (10 indicators)</u>
					• *Physical capital*
					  • Infrastructure index
					• *Financial capital*
					  • Access to credit, farm assets, share of agricultural GDP, farm holding size, % people below poverty line, farm income
					• *Human capital*
					  • HIV prevalence, literacy rate
					• *Social capital*
					  • Farm organization
						<u>Normalization method</u>
						Min-max normalization method in a scale of 0–100 (with 100 reflecting high vulnerability).
						
						<u>Weighting Scheme</u>
						Principal Component Analysis (PCA)
						
						<u>Aggregation Method</u>
						VI = E + S – AC
						
						(The first PC is the linear index)
							Gbetibouo & Ringler, 2009

10	Vulnerability Index (VI) of freshwater resources to environmental change	Assessing the vulnerability of freshwater resources to environmental change. VI is composed of 4 components comprising 9 indicators in total.	Vulnerability is defined as the characteristics of water resources system's weakness & flaws that make the system difficult to be functional in the face of socioeconomic & environmental change. VI = f (RS, DP, ES, MC) Where, VI: Vulnerability index; RS: Resource stress; DP: Development pressures; ES: Ecological insecurity; MC: Management challenges.	River basin	<u>Resource stress (2 indicators)</u> • Per capita water resources, CV of precipitation <u>Development pressures (2 indicators)</u> • Water resources exploitation, population without access to improved drinking water sources <u>Ecological health (2 indicators)</u> • Untreated WW discharge to total water resources, land area without vegetation coverage <u>Management capacity (3 indicators)</u> • Efficiency of water resources use, improved sanitation accessibility, transboundary management capacity	<u>Normalization method</u> Normalization according to threshold in a scale of 0–1, with 1 reflecting the upper limit of vulnerability. <u>Weighting Scheme</u> Equal weights <u>Aggregation Method</u> $VI = \Sigma(\Sigma x_{ij} * w_{ij}) * W_i$ where xij is the jth parameter in the ith component; wij is the weight to the jth parameter in the ith component; and Wi is the weight given to the ith component	Huang & Cai, 2009

11	Overall Index of Regional Water Resources Vulnerability to Climate Change (VI)	Assessing the vulnerability of U.S. regional water resources and water dependent resources to adverse effects of climate change. VI is composed of 2 sub-indices comprising 12 indicators in total.	Vulnerability express the relative extent to which watersheds contain water users or systems that are potentially susceptible to damages from changes in hydrologic conditions. Water resources vulnerability has two main dimensions: i) water supply, distribution, and consumptive use, ii) instream use, water quality, and ecosystem support.	River basin	<u>Water Supply, Distribution, and Consumptive Use Sub-Index (6 indicators)</u> • Ratio of total annual surface and groundwater withdrawal in 1990 to unregulated mean annual streamflow, CV of unregulated streamflow, dryness ratio, groundwater depletion, total annual average industrial water use that is consumed, degree of barriers to water trading <u>Instream Use, Water Quality, and Ecosystem Support Sub-index (6 indicators)</u> • Flood risk, annual expenditures on dredging activities in navigable waterways, ecosystem thermal sensitivity, dissolved oxygen, low flow sensitivity, aquatic/wetland species at risk	<u>Normalization method</u> Each indicator is normalized in a rating scale from 1 (no vulnerable) to 3 (highly vulnerable). Three classes of indicator value intervals have been developed corresponding to 3 different values of the rating scale (1, 2 and 3). Total scores of sub-indices and VI are scaled from 1-3. <u>Weighting Scheme</u> Equal weights <u>Aggregation Method</u> Sub-indices are the average scores of the relevant indicators. VI is the average score of the two sub-indices.	Hurd et al., 1999

12	Watershed Evaluation Index for the impacts of Climate Change (WEIC)	Assessing watershed hydrologic risk & vulnerability to climate change impacts, using three sub-indices to quantify flood damage, drought damage, and water quality deterioration. WEIC is composed of 3 sub-indices comprising 40 indicators in total.	Hydrologic vulnerability of a watershed to the impacts of climate change is defined as the potential for flood damage, streamflow depletion, and water quality Deterioration.	River basin	<u>Potential Flood Damage (PFDC) (18 indicators)</u> • Population growth rate & density, impervious areas, watershed slope & El., property value, coniferous forests, vehicles, daily max precipitation, annual max 3-day total rainfall, average total / daily max & annual max runoff, Q90, average annual flood damage, stability of levee inundation, pumping stations, flood damage prevention managers <u>Potential Drought Damage (PDDC) (19 indicators)</u> • Population growth rate & density, impervious areas, watershed slope & El., coniferous forests, vehicles, annual max consecutive no-rainfall days, average total runoff, Q355, water demand and supply amount, groundwater withdrawal, annual max consecutive no-rainfall days (future), change in the rate of average annual runoff (future), average annual drought damage, effective storage capacity, reused water amount, drought prevention managers <u>Potential Water Quality Deterioration (PWQDC) (16 indicators)</u> • Population growth rate & density, impervious areas, slope, toxic waste discharged, sewage disposal rate, livestock, BOD / DO / TN / TP load, change in water quality, exposed discharge of toxic waste, days to satisfy target water quality, WW treatment capacity, drought prevention managers	<u>Normalization method</u> Min-max normalization in scale from 0 to 1. <u>Weighting Scheme</u> Expert judgement <u>Aggregation Method</u> Linear combination of PFDC, PDDC, PWQDC TOPSIS method	Jun et al., 2011

13	Canadian Water Sustainability Index (CWSI)	Evaluating the well-being of Canadian rural & remote communities with respect to available freshwater resources (communities population ranging from 1,000 to 5,000 inhabitants). CWSI is composed of 5 components comprising 15 indicators in total.	Water sustainability expresses the sustainability of freshwater benefits in a community, including essential services, such as clean drinking water, for ecological, cultural, & economic benefits. The key water issues of a community fall into five broad policy categories: • Fresh Water Resources; • Ecosystem Health; • Water Infrastructure; • Human Health & Well-being; and • Community Capacity.	Community / river basin	Freshwater Resources (3 indicators) • Per capita freshwater availability, water run-off ratio & groundwater depletion, amount of annually allocated water to the total amount of renewable freshwater Ecosystem Health (3 indicators) • Amount of water consumed annually to the total annual renewable surface flows, Water Quality Index, population trends for economically & culturally significant fish species Water Infrastructure (3 indicators) • Exceeded capacity of water & WW services due to population growth, system losses in water mains & sewers, level of WW treatment Human Health & Well-being (3 indicators) • Potable water accessible per person, service disruption days per person, waterborne illness incidences Community Capacity (3 indicators) • Financial & human capacity of the community, level of training of water and WW operators	Normalization method Indicators are normalized against a benchmark or target; normalized scores ranging from 0 to 100 (the higher the score, the closer the community to ideal conditions). Weighting Scheme Equal weights Aggregation Method The five component scores are determined by averaging the three indicators under each component. The composite CWSI score is the average of the five component scores (the higher the score the more sustainable the community).	PRI, 2007

14	Water Resources Vulnerability Index (WRVI)	Assessing nations water resources stress. WRVI is composed of 3 Sub-indices comprising 5 indicators in total.	The concept of resource vulnerability has been associated with the inability to sustain economic and social activity commensurate with a region's goals (Kulshreshtha, 1993).	Country	Reliability Index (3 indicators) • Storage to flow ratio, CV of precipitation, import dependence Use-to-Resource Ratio (1 indicator) • Use-to-resource ratio Coping Capacity (1 indicator) • GDP per capita	Normalization method Each indicator is divided into four classes and designated 1, 2, 3, or 4 denoting, respectively, no stress, low stress, stress, and high stress Weighting Scheme Equal weights Aggregation Method WRVI-I: Sum of scores of relevant indicators WRVI-II: The maximum value of the three Sub-indices	Raskin et al., 1997

15	Water Resources Vulnerability Index (WRVI)	Assessing the current vulnerability of water resources due to climate change & demographic, socio-economic & political changes.	The definition of vulnerability given by the built based on the IPCC (IPCC, 2001) is adopted. Vulnerability consists of river health vulnerability & human vulnerability and is a function of exposure, sensitivity & adaptive capacity.	River basin (Sub-area division of the river basin based on climatic zones & terrain slope)	WRVI comprises 23 indicators: • Increase of mean annual temperature & precipitation, river role and change of river discharge, glacier impact, wetlands, protected areas, number of dams, potential areas for rainfed agriculture, population density on wetlands, intensive land use on wetlands, fertilizer use, potential mobilizable nitrogen load, area under cropping, area under urban settlements, population density, blue water consumption on irrigated cropland, green water consumption on rainfed and irrigated cropland, industrial water use, domestic water use, water footprint per capita, water stress, harmonization of fresh water law	Normalization method Min-max normalization (scale 0-100) Weighting Scheme PCA Aggregation Method Weighted sum of indicators	Salmivaara, 2009

16	Water Vulnerability Index (WVI)	The WVI provide a representation of vulnerability to changes in conditions in the water sector. It can be used to assess water vulnerability of local municipalities, estimating Water System Vulnerability (supply-driven vulnerability - SDWV) & Water User Vulnerability (demand-driven vulnerability - DDWV). WVI is composed of 2 components comprising 16 indicators in total.	Vulnerability is defined as the interface between exposure to the physical threats to human well-being and the capacity of people and communities to cope with those threats. Threats may arise from a combination of social and physical processes. Human vulnerability thus integrates many environmental concerns (UNEP, 2002).	Municipality	<u>Water System Vulnerability - SDWV (8 indicators)</u> • Mean annual run-off, annual groundwater exploitation potential, days per annum with no rainfall, days per annum with rainfall > 25mm, urban areas, irrigated land, dam coverage, CV of precipitation <u>Water User Vulnerability – DDWV (8 indicators)</u> • Total population, population density, economically vulnerable households, households using water from direct resource, employment in water-dependent sectors, GVA in water-dependent sectors, total annual water demand, evaporative demand	<u>Normalization method</u> Min-max normalization (scale 0-100, with 100 reflecting high vulnerability) <u>Weighting Scheme</u> Equal weights <u>Aggregation Method</u> Average of relevant indicators WVI = (SDWV + DDWV)/2	Sullivan, 2011

17	Water Poverty Index (WPI)	The WPI measures water stress by linking indicators of water and human welfare to indicate the degree to which water scarcity impacts on human populations. The primary focus of the index is on poor people, who suffer most from inadequate access to water. WPI is composed of 5 key components comprising 22 indicators in total.	The degree of water poverty can be expressed through the following issues: • Measures of access; • Water quality & variability; • Water for food & other productive purposes; • Capacity to manage water; • Environmental aspects; and • Questions of spatial scale.	Household / community	Resources - R (3 indicators) • Availability of surface water & groundwater resources, variability & quality of freshwater resources Access – A (6 indicators) • % of households having a piped water supply, reports of conflict over water use, access to sanitation, % of water carried by women, time spent in water collection including waiting, access to irrigation coverage adjusted by climate characteristics Capacity – C (6 indicators) • Ownership of durable items, under-five mortality rate, educational level, membership of water users associations, % households reporting illness due to water supplies, % of households receiving a pension/remittance or wage Use – U (4 indicators) • Domestic water consumption rate, proportion of irrigated land to total cultivated land, livestock holdings and standard water needs, industrial water use Environment – E (3 indicators) • People's use of natural resources, reports of crop loss during the last 5 years, % of households reporting erosion on their land	Normalization method Min-max normalization (scale 0-100, with 100 reflecting the best situation and 0 the worst) Weighting Scheme Equal weights Aggregation Method Average of relevant indicators WPI = (R+A+C+U+E)/4	Sullivan et al., 2003

18	Water Sector Vulnerability Index (WSVI)	Assessing vulnerability of water sectors to climate change and identification of potential adaptation options. WSVI is composed of 2 Sub-indices comprising 11 indicators in total.	Vulnerability is the degree to which the water sector is likely to experience harm due to climate change (including climate variability and extremes), and the ability to cope or adapt to it (Kasperson et al., 2001).	Municipality	<u>Sensitivity Index - SI (6 indicators)</u> • Annual runoff, groundwater availability, inflow of water, WW/total surface water, domestic water shortage, crop yield <u>Coping and Adaptive Capacity Index – CAI (5 indicators)</u> • Water transfer / water shortage, income per capita, dependency ratio, afforested area, population density	<u>Normalization method</u> Min-max normalization (scale 0-100, with 100 reflecting the best situation and 0 the worst) <u>Weighting Scheme</u> Equal weights <u>Aggregation Method</u> Average of relevant indicators WSVI = (SI+CAI)/2	Zhou, 2004

19	Water Sector Vulnerability Index for Districts (WSVID)	Analyzing vulnerability of water sectors to climate change and identification of potential adaptation options, inside municipalities. WSVI is composed of 5 Sub-indices comprising 18 indicators in total.	Same as in WSVI	Municipal district	<u>Water Resources (3 indicators)</u> • Annual precipitation, water resources per capita, water exploitation ratio <u>Water Quality (2 indicators)</u> • COD concentration, ammonia & nitrogen concentration <u>Agriculture (4 indicators)</u> • Grain yield, secured agricultural lands, water saving land, electro-mechanical irrigated area <u>Water Infrastructure (5 indicators)</u> • Water infrastructure investment per person, total capacity of reservoirs per person, irrigation machinery per person, anti-seepage channel per person, electro-mechanical wells per person <u>Socioeconomic (4 indicators)</u> • GDP per capita, operating educational expense per person, non-agricultural population, population density	<u>Normalization method</u> Min-max normalization (scale 0-100, with 100 reflecting the best situation and 0 the worst) <u>Weighting Scheme</u> PCA <u>Aggregation Method</u> Weighted sum of indicators	Zhou, 2004

20	Vulnerability indicators (32) to assess the vulnerability of water resources systems to water related challenges	Assessing vulnerability of water resources systems to water related challenges in the Eastern Nile Basin	The degree, to which a system is susceptible to, or unable to cope with, adverse effects of environmental change, defines its vulnerability. Vulnerability of a natural and socio-economic system can be determined by the character, magnitude, and rate of the hazard on the one side and the system's sensitivity and its adaptive capacity on the other (IPCC 2001; NERI 2002).	Country	Geopolitical & institutional (6 indicators) • Indicator of dependence, average official development assistance for water, water quality standards, R&D expenditures as % of GDP, government effectiveness, political stability & absence of violence Hydro-physical & ecological (8 indicators) • Water scarcity indicator (desalinated water resources included), territory under severe water stress, groundwater overdraft, change in forest area, CV of surface flow & precipitation, Arid Lands Index, Water Quality Index Infrastructure & management (8 indicators) • Hydropower dependence, storage-to-flow ratio, access to improved water supply & sanitation, irrigation dependence, irrigation water requirement ratio, treated WW by the public sewerage system, drinking water use efficiency Socio-cultural & economic (7 indicators) • National poverty rate, pesticides & fertilizers use, industrial organic pollutants per available freshwater, industrial environmental compliance, labor force in agriculture, No of scientists & engineers Health & population (3 indicators) • Population growth, population density, Human Development Index	Normalization method Indicators were normalized as ratio of their respective thresholds, in a scale from 0 (no vulnerability) to 5 (high vulnerability). Threshold value is 1. Weighting Scheme No weighting scheme Aggregation Method No aggregation of indicators	Hamouda et al., 2009

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ III. ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ PESTL ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ ΕΜΠΟΔΙΩΝ & ΚΙΝΗΤΡΩΝ ΣΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ E&AN

Introduction

The aim of this questionnaire is to gain insight on the existing policy, economic, social, technical, legal and institutional factors which could affect (positively or negatively) the implementation of WR&R options in your area. Some of the factors concern WR&R in general, while others are linked to specific WR&R applications (e.g. crop irrigation with reclaimed water).

The questionnaire is structured in 3 parts:

- Part A concerns the personal details of the respondents.
- Part B aims at collecting local views on: a) the potential influence (positive/negative) of 22 factors (5 policy, 6 economy, 4 social, 3 technical and 4 legal and institutional factors) on the integration of WR&R options, and b) how factors with negative influence on WR&R integration could be overcome. It is divided into five parts focusing on the influence of specific factors on the implementation of WR&R schemes. At the beginning of each part a cumulative list of the relevant factors and their description is provided, and then specific questions follow regarding the influence of the factors:
    - *Part B.1: Policy factors*
    - *Part B.2: Economic factors*
    - *Part B.3: Social factors*
    - *Part B.4: Technical factors*
    - *Part B.5: Legal and institutional factors*
- Glossary of Terms provides a glossary with definitions of the terms used in the questionnaire, in order to ensure a common understanding of the concepts discussed.

Your views are required on:

- The type of influence (positive, negative) of each factor on implementing WR&R schemes
- The importance of this influence (low, medium, high)
- Recommendations on how to overcome factors with negative influence on WR&R implementation

Explanations and indicative examples are provided where necessary to facilitate questionnaire completion. The results from this survey will be processed anonymously. We would very much appreciate it if you would complete all parts; this should not take more than half an hour of your time.

Thank you in advance for your collaboration and input

Part A: Personal details

This section includes a few personal questions regarding the background of the persons that have participated in the survey.

1. Please write your name and affiliation

Name: ……

Affiliation: ……..

2. Which of the stakeholder groups mentioned below do you represent?

- ☐ Water Supply / Sanitation Utilities
- ☐ Water Authorities / Regional & Local Government
- ☐ Farmers
- ☐ Civil Society Members
- ☐ Industry Representatives
- ☐ Environmental Groups/NGOs
- ☐ Scientists, experts & researchers on water resources management

Part B: Factors which could affect the implementation of WR&R options

Part B.1: Policy Factors

This part concerns the policy factors which may support or challenge the implementation of new WR&R schemes in your area, including governmental policies, trade restrictions and agreements etc. The influence of these factors may be direct or indirect, as for example policies for environmental protection, which may not refer directly to WR&R, but may provide indirect incentives for using reclaimed water. A cumulative list of the policy factors considered is provided in Table 1.

Table 1: The policy factors which may affect the implementation of WR&R options

Description	Potential influence on WR&R
1. National / regional policies on water resources management	
Policies concerning sustainable use & management of water resources, e.g.: • Conservation measures & water efficiency goals; • Water supply reductions (esp. during drought periods); • Support of the use of alternative water resources.	Existence of such policies positively affects the implementation of WR&R schemes, while lack of such policies does not provide incentives for using reclaimed water, and thus may hinder the implementation of WR&R schemes.
2. National / regional environmental policies	
Policies that aim to control pollution, improve water quality, protect water ecosystems, adapt to climate change, etc. e.g.: • Goals for the quality of water bodies; • Regulations regarding the quality & quantity of treated WW; • Minimum thresholds in environmental flows; • Pretreatment of industrial WW & penalties for untreated WW discharge.	Existence of such policies positively affects the implementation of WR&R schemes, while lack of such policies does not provide incentives for using reclaimed water, and thus may hinder the implementation of WR&R schemes.
3. Land use policies	
Plans which regulate development in an area and the distribution of future uses of public and private land.	Projected land use and development policies can affect both the location of reclamation facilities, and the use of reclaimed water, as particular types of development require relevant water supply and WW treatment capacity (US EPA, 2004).
4. Transnational or transboundary treaties & agreements	
Agreements on water sharing in case of transboundary water resources, or agreements for importing water from neighboring areas due to limited freshwater availability.	Sharing of transboundary water resources or dependence on water sources from neighboring areas may cause conflicts and hamper development; WR&R is thus

Description	Potential influence on WR&R
	enhanced, as it provides an opportunity to overcome these issues.
5. Trade policies (exports of agricultural products)	
Trade agreements with other nations for exporting agricultural crops may influence the marketability of crops irrigated with reclaimed water.	Exports of crops irrigated with reclaimed water may be restricted in countries which do not accept agricultural reuse or which have adopted stricter quality standards.

The following 6 questions concern the factors presented in Table 1. Recommendations on overcoming the identified political barriers would be welcome. **You can skip questions concerning aspects on which you do not have relevant knowledge**.

P

1: NATIONAL / REGIONAL POLICIES ON WATER RESOURCES MANAGEMENT

Indicate how the existing national / regional policies on water resources management are influencing the uptake of WR&R in your area, by selecting the relevant box. Provide an explanation by mentioning specific policy measures and the way that these affect the implementation of WR&R schemes.

An example of the positive influence of a policy measure is given: *Water supply reductions issued in Florida in 2001, for limiting the number of irrigation days per week, had a positive influence on the uptake of water reuse schemes for crop irrigation in the area (US EPA, 2004: Chapter 5, Sections 5.2.1, p. 178).*

Influence	Explanation
☐ *Positive*	
☐ *Negative*	

How important do you consider this influence for the uptake of WR&R? (rank the importance of the factor's influence by selecting among low, medium, and high)

☐ Low ☐ Medium ☐ High

If the existing policies on water resources management ***negatively influence*** the uptake of WR&R, can you provide recommendations for overcoming this issue? *(e.g. needs for further development on specific aspects as sustainable development, climate change adaptation, etc.; gaps of national and/or regional master plans, etc.)*

a. b. c.

2: NATIONAL / REGIONAL ENVIRONMENTAL POLICIES

Indicate how the existing national / regional environmental policies are influencing the uptake of WR&R in your area, by selecting the relevant box. Provide an explanation by mentioning specific policy measures and the way that these affect the implementation of WR&R schemes.

An example of the positive influence of a policy measure is given: *The rigorous and costly requirements to remove nutrients (mainly nitrogen and phosphorus) from effluent discharge to the Tampa Bay, which was imposed by the Wilson-Grizzle Act in 1972 in St. Petersburg, Florida, was the key driver for initiating residential, municipal, commercial, and industrial WR&R schemes in the area (US EPA, 2012: Chapter 1, Section 1.4.3, p. 6).*

Influence	Explanation
☐ *Positive*	
☐ *Negative*	

How important do you consider this influence for the uptake of WR&R? (rank the importance of the factor's influence by selecting among low, medium, and high)

☐ Low ☐ Medium ☐ High

If the existing national / regional environmental policies ***negatively influence*** the uptake of WR&R, can you provide recommendations for overcoming this issue? *(e.g. needs for further development on specific aspects, gaps of national and/or regional master plans, etc.)*

For example, the National Environmental Agency and the Public Utilities Board in Singapore, set out the National Green Plan program, by which they reward individuals and businesses who adopt practices and technologies which enhance environmental protection and water conservation, including WR&R (General Electric Water & Process Technologies, 2008: Appendix – Matrix of Policy Examples and Additional Information, p. 8).

a. b. c.

P

3: LAND USE POLICIES

Indicate how the local land use policies and spatial planning may influence the uptake of WR&R in your area, by selecting the relevant box. Provide an explanation by mentioning specific plans which could enhance or hinder the implementation of WR&R schemes.

An example of the positive influence of a land use plan is given: *In order to enhance the redevelopment of old industrial sites in Seoul, South Korea, treated wastewater was used to create water parks and increase quality of life and land value (MED WWR WG, 2007: Chapter 2, Section 2.2.1, p. 8).*

Influence	Explanation
☐ *Positive*	
☐ *Negative*	

How important do you consider this influence for the uptake of WR&R? (rank the importance of the factor's influence by selecting among low, medium, and high)

☐ Low ☐ Medium ☐ High

If the existing local land use policies and spatial planning ***negatively influence*** the uptake of WR&R, can you provide recommendations for overcoming this issue? *(e.g. zone areas where wastewater reuse is acceptable or needed due to high water demand, or new development areas, such as industrial sites, with potential for wastewater reuse)*

a. b. c.

4: TRANSNATIONAL OR TRANSBOUNDARY TREATIES & AGREEMENTS

Are there any existing transnational or transboundary treaties and agreements on water resources use, which may promote the uptake of WR&R in your area? Explain which specific agreements are in place and the way that these may encourage the implementation of WR&R schemes.

For example, the main driver behind Singapore's water reuse schemes (NEWater reclamation project) was the desire to reduce dependence on imported water from neighboring Malaysia. Malaysian government was treaty bound to sell water to Singapore until 2061, through the transnational treaties (Agreements of 1962 and 1990) signed by the two nations, and this fact often created conflicts between the two regions (Bahri, 2012: Chapter 3, Section 3.5, p. 24; http://eresources.nlb.gov.sg/infopedia/articles/SIP_1533_2009-06-23.html).

How important do you consider this influence for the uptake of WR&R? (rank the importance of the factor's influence by selecting among low, medium, and high)

☐ Low ☐ Medium ☐ High

P

5: TRADE POLICIES (EXPORTS OF AGRICULTURAL PRODUCTS)

Are there any existing trade policies regarding the export of agricultural products, which may hinder agricultural reuse in your area? Explain which specific trade agreements in place may pose barriers to the implementation of agricultural water reuse schemes.

For example, Jordan's export market was seriously affected in 1991 when countries in the region restricted imports of fruits and vegetables irrigated with inadequately treated wastewater (Bahri, 2009: Chapter 5, Section 5.2.5, p. 48).

How important do you consider this influence for the uptake of agricultural water reuse schemes? (rank the importance of the factor's influence by selecting among low, medium, and high)

☐ Low ☐ Medium ☐ High

Can you provide recommendations for overcoming trade barriers which may hinder agricultural reuse?

For example, Jordan implemented an aggressive campaign to rehabilitate and improve wastewater treatment plants and introduced enforceable standards to protect the health of fieldworkers and consumers. The government continues to focus on this sensitive situation, given the importance of international trade for the national economy (Bahri, 2009: Chapter 5, Section 5.2.5, p. 48).

a.

b.

c.

6: OTHER POLICY FACTORS

In case that you consider that any other policy factor may influence the uptake of WR&R in your area, please: a) describe the factor, b) indicate and explain its influence, c) rank the importance of the influence, and d) provide recommendations on overcoming negative influence (if any).

Add more rows if necessary.

Factor	*e.g. specific policies related to industrial corporate responsibility of your industry, policies that foster circular economy and industrial symbiosis, policies of the agricultural Water Users Associations in the area, etc.*
Influence	☐ *Positive* ☐ *Negative*
Brief explanation of the influence	
Importance of the influence	☐ *Low* ☐ *Medium* ☐ *High*
Recommendations on overcoming negative influence	a. b. c.

Part B.2: Economic Factors

This part focuses on the economic factors which may affect (positively or negatively) the implementation of new WR&R schemes in your area, and may include financial incentives, pricing schemes, etc. A cumulative list of the economic factors considered is provided in Table 2.

Table 2: The economic factors which may affect the implementation of WR&R options

Description	Potential influence on WR&R
1. Availability of governmental and public funds (direct financial incentives)	
Direct financial incentives for investments in WR&R schemes are often provided through governmental and public funds such as: • Long-term government tax-exempt bonds • Local or national grant/loan programs • Targeted government funds (e.g. subsidies for innovative or environmental friendly projects, incentives for investments in water saving technologies) • Revolving funds & low-interest loans	Availability of local funding sources can play a significant role in encouraging or discouraging (in case of lack of funding sources) the implementation of new WR&R schemes.
2. Indirect financial incentives	
Indirect incentives for WR&R may include (MED WWR WG, 2007; General Electric Water & Process Technologies, 2008): • Freshwater abstraction taxes and fees • Effluent charges to water users for the units of effluent they generate (e.g. the "polluter pays" principle)	Although indirect financial incentives do not directly fund WR&R, they can act as a driver for implementing WR&R schemes as they encourage users to move from freshwater to reclaimed water consumption or invest in wastewater recycling.
3. Freshwater pricing schemes for crop irrigation	
The considered pricing schemes for crop irrigation can be free of charge / negligible price, per volume, flat rate, or per hectare.	The current pricing scheme of freshwater can either promote (in case of charges per volume), or hinder (when water is provided free of charge or at a flat rate) freshwater resources conservation and by extension reclaimed water use.

Description	Potential influence on WR&R
4. Freshwater pricing schemes for industrial uses	
The considered pricing schemes for industrial uses can be free of charge, per volume, flat rate.	The current pricing scheme of freshwater can either promote (in case of charges per volume), or hinder (when water is provided free of charge or at a flat rate) freshwater resources conservation and by extension reclaimed water use.
5. Freshwater pricing schemes for urban uses	
The considered pricing schemes for urban uses (i.e. municipal uses, such as landscape irrigation and street cleaning; and residential uses, such as toilet flushing and laundry) can be free of charge / negligible price per volume, flat rate.	The current pricing scheme of freshwater can either promote (in case of charges per volume), or hinder (when water is provided free of charge or at a flat rate) freshwater resources conservation and by extension reclaimed water use.
6. Farm operating costs	
Energy expenditures for water pumping and fertilizers' cost may contribute significantly to the total farm operating costs. Use of reclaimed water can reduce or completely eliminate these costs.	High farm operating costs, due to water pumping and fertilizer application, can provide incentives to farmers to use reclaimed water.

The following 7 questions concern the factors presented in Table 2. Recommendations on overcoming the identified economic barriers would be welcome. **You can skip questions concerning aspects on which you do not have relevant knowledge**.

1: AVAILABILITY OF GOVERNMENTAL AND PUBLIC FUNDS

Are there any currently available governmental or public funds which could be used for the financial support of WR&R schemes?

☐ Yes ☐ No ☐ I don't know

If ***yes***, describe the type of available funds and how a WR&R scheme could exploit them.

For example, in Texas, USA there are local grant programs that could be used for funding WR&R schemes: the Regional Facility Planning Grant Program and the Regional Water Planning Group Grants fund studies and planning activities to evaluate and determine the most feasible alternatives to meet regional water supply and wastewater facility needs (US EPA, 2004: Chapter 6, Section 6.2.2.4, p. 203).

If ***no***, can you provide recommendations for funding a WR&R scheme in your area?

For example: a) financial assistance programs from national or international agencies and organizations (e.g. US EPA, the World Bank, etc.); b) public-private partnerships

a.

b.

c.

How important do you consider the availability of governmental or public funds for the uptake of WR&R schemes? (rank the importance of the factor's influence by selecting among low, medium, and high)

☐ Low ☐ Medium ☐ High

2: INDIRECT FINANCIAL INCENTIVES

Are there any indirect financial incentives that can promote the implementation of WR&R schemes?

☐ Yes ☐ No ☐ I don't know

If ***yes***, describe the type of financial incentive and how a potential WR&R scheme could be benefited from it.

For example, in Germany, the charge per pollutant has been increased by approximately 600% from 1981 (when it was introduced) to 1997, and it is now at about 5% of the total cost, promoting the implementation of several industrial recycling schemes (MED WWR WG, 2007: Chapter 7, Section 7.5.3, p. 45).

How important do you consider the existence of indirect financial incentives for the uptake of WR&R schemes? (rank the importance of the factor's influence by selecting among low, medium, and high)

☐ Low ☐ Medium ☐ High

3: FRESHWATER PRICING SCHEMES FOR CROP IRRIGATION

Indicate how the current pricing scheme of freshwater used for **crop irrigation** (e.g. free of charge / negligible price, per volume, flat rate, or per hectare) is influencing the uptake of agricultural reuse in your area, by selecting the relevant box, and provide a brief explanation of your choice. Positive influence occurs in case of charges per volume, while negative influence occurs when water is provided free of charge, at a negligible price, at a flat rate or per hectare.

An example of a positive influence of a pricing scheme is given: *In Israel, a gradual 50% drop in freshwater use was reported after a series of tariff increases. Freshwater use in agriculture declined from 74% to 62% between 1986 and the early 1990s, whilst use of reclaimed wastewater proportionally increased, and overall productivity per unit land doubled (Abu Madi et al., 2003: p. 116).*

Influence	Explanation
☐ *Positive*	
☐ *Negative*	

How important do you consider this influence for the uptake of agricultural reuse schemes? (rank the importance of the factor's influence by selecting among low, medium, and high)

☐ Low ☐ Medium ☐ High

If the current pricing scheme of freshwater used for crop irrigation ***negatively influences*** the use of reclaimed water, can you provide recommendations for overcoming this issue? *(e.g. support for the development of cost-recovering water tariff systems)*

a. b. c.

4: FRESHWATER PRICING SCHEMES FOR INDUSTRIAL USES

Indicate how the current pricing scheme of freshwater used for **industrial uses** (e.g. free of charge / negligible price, per volume, flat rate) is influencing the uptake of industrial WR&R in your area, by selecting the relevant box and provide a brief explanation of your choice. Positive influence occurs in case of charges per volume, while negative influence occurs when water is provided free of charge, at a negligible price, or at a flat rate.

An example of a positive influence of a pricing scheme is given: *High water prices in Denmark encourage industries to recycle process and cooling water. One of the best known examples is the industrial symbiosis project of Kalundborg, where several companies inter alia mutually provide and recycle wastewater (Angelakis et al., 2007: p.21).*

Influence	Explanation
☐ *Positive*	
☐ *Negative*	

How important do you consider this influence for the uptake of industrial WR&R schemes? (rank the importance of the factor's influence by selecting among low, medium, and high)

☐ Low ☐ Medium ☐ High

If the current pricing scheme of freshwater used for industrial uses ***negatively influences*** the use of reclaimed water, can you provide recommendations for overcoming this issue? *(e.g. support for the development of cost-recovering water tariff systems)*

a. b. c.

5: FRESHWATER PRICING SCHEMES FOR URBAN USES

Indicate how the current pricing scheme of freshwater used for **municipal urban uses**, such as landscape irrigation and street cleaning, (e.g. free of charge / negligible price, per volume, flat rate) is influencing the uptake of urban reuse in your area, by selecting the relevant box, and provide a brief explanation of your choice. Positive influence occurs in case of charges per volume, while negative influence occurs when water is provided free of charge, at a negligible price, or at a flat rate.

An example of positive influence of a pricing scheme is given: *In St. Petersburg, Florida, USA the potable pricing scheme is structured to enhance the use of reclaimed water in municipal urban uses, as it imposes a per-gallon charge for the use of potable water and a flat per-acre fee for the use of reclaimed water for landscape irrigation (General Electric Water & Process Technologies, 2008: Section "Incentives", p. 4).*

Influence	Explanation
☐ *Positive*	
☐ *Negative*	

How important do you consider this influence for the uptake of urban reuse schemes? (rank the importance of the factor's influence by selecting among low, medium, and high)

☐ Low ☐ Medium ☐ High

If the current pricing scheme of freshwater used for municipal urban uses ***negatively influences*** the use of reclaimed water, can you provide recommendations for overcoming this issue? *(e.g. support for the development of cost-recovering water tariff systems)*

a. b. c.

Indicate how the current pricing scheme of freshwater used for **residential urban uses**, such as toilet flushing and laundry, (e.g. per volume, flat rate) is influencing the uptake of urban reuse in your area, by selecting the relevant box, and provide a brief explanation of your choice. Positive influence occurs in case of charges per volume, while negative influence occurs when water is provided free of charge, at a negligible price, or at a flat rate.

An example of positive influence of a pricing scheme is given: *The shift of residential sewer service billing in California, from collections based on flat charges to a billing system based on the volume of water consumption, made customers to seek for bill savings from high efficiency products and wastewater reuse (NRDC, 2012: p.2).*

Influence	**Explanation**
☐ *Positive*	
☐ *Negative*	

How important do you consider this influence for the uptake of urban WR&R schemes? (rank the importance of the factor's influence by selecting among low, medium, and high)

☐ Low ☐ Medium ☐ High

If the current pricing scheme of freshwater used for residential uses ***negatively influences*** the use of reclaimed water, can you provide recommendations for overcoming this issue? *(e.g. support for the development of cost-recovering water tariff systems)*

a. b. c.

6: FARM OPERATING COSTS

Indicate how the farm operating costs (associated with energy use and fertilizer applications) are influencing the use of reclaimed water in your area, by selecting the relevant box, and provide a brief explanation of your choice. Positive influence occurs in case of high operating costs, while negative influence occurs when operating costs are low.

Influence	Explanation
☐ *Positive*	
☐ *Negative*	

How important do you consider this influence for the uptake of agricultural reuse? (rank the importance of the factor's influence by selecting among low, medium, and high)

☐ Low ☐ Medium ☐ High

7: OTHER ECONOMIC FACTORS

In case that you consider that any other economic factor may influence the uptake of WR&R in your area, please: a) describe the factor, b) indicate and explain its influence, c) rank the importance of the influence, and d) provide recommendations on overcoming negative influence (if any).

Add more rows if necessary.

Factor	*e.g. specific tax exemptions that foster WR&R etc.* *For example, in the USA the Executive Order 12803/1992 foresees an accelerated depreciation of financial interest of the initial investment of wastewater reuse schemes (Bixio et al., 2005: p. 82).*
Influence	☐ *Positive* ☐ *Negative*
Brief explanation of the influence	
Importance of the influence	☐ *Low* ☐ *Medium* ☐ *High*
Recommendations on overcoming negative influence	a. b. c.

Part B.3: Social Factors

This section concerns the social factors which may promote or hinder the implementation of new WR&R schemes in your area, and include public awareness on water scarcity and WR&R, involvement in decision making processes, etc. A cumulative list with the social factors considered is provided in Table 3.

Table 3: The social factors which may affect the implementation of WR&R options

Description	Potential influence on WR&R
1. Public awareness on water scarcity problems	
Awareness on limited availability and / or low quality of freshwater resources, and the implications of these factors in quality of life and economic development of the area.	People with increased awareness on water scarcity problems are more likely to accept the use of reclaimed water and appreciate its value and potential benefits.
2. Public awareness on WR&R	
Awareness on water reclamation processes, different WR&R applications and the positive contribution that reclaimed water may have on water supply augmentation, environmental protection, quality of life and economic prosperity.	Increased public awareness on WR&R overcomes concerns related to public health risks and disgust, and prevents local opposition to the implementation of WR&R schemes; lack of awareness may reduce social acceptance of reclaimed water (Asano et al, 2007).
3. Social perceptions on the consumption of crops irrigated with reclaimed water	
Public willingness to buy and consume crops irrigated with reclaimed water.	Negative social perceptions on the consumption of crops irrigated with reclaimed water affect the marketability of agricultural products and may impede agricultural reuse.
4. Involvement of different stakeholder groups in decision-making processes	
Participation of different stakeholder groups (e.g. civil society members, farmers, industry representatives, environmental organizations and NGOs) in decision-making processes regarding water supply management and sanitation issues.	Decision making processes which involve a significant degree of stakeholder participation have been demonstrated to be capable of delivering considerably more acceptable and implementable WR&R projects compared to traditional “command-and-control” approaches (Bixio et al., 2006a).

The following 5 questions concern the factors presented in Table 3. Recommendations on overcoming the identified social barriers would be welcome. **You can skip questions concerning aspects on which you do not have relevant knowledge**.

1: PUBLIC AWARENESS ON WATER SCARCITY PROBLEMS

Indicate how the current level of public awareness on water scarcity problems is influencing the uptake of WR&R in your area, by selecting the relevant box, and provide a brief explanation of your choice. Positive influence occurs in case of increased public awareness, while negative influence occurs when the public is not informed concerning water scarcity problems.

Influence	Explanation
☐ *Positive*	
☐ *Negative*	

How important do you consider this influence for the uptake of WR&R? (rank the importance of the factor's influence by selecting among low, medium, and high)

☐ Low ☐ Medium ☐ High

If the current level of public awareness on water scarcity problems ***negatively influences*** the use of reclaimed water, can you provide recommendations for overcoming this issue? *(e.g. educational programs, outreach campaigns, etc.)*

a. b. c.

2: PUBLIC AWARENESS ON WR&R

Indicate how the current level of public awareness on WR&R is influencing the uptake of WR&R in your area, by selecting the relevant box, and provide a brief explanation of your choice. Positive influence occurs in case of increased public awareness, while negative influence occurs when the public is not informed on reclaimed water uses and its potential benefits.

Influence	Explanation
☐ *Positive*	
☐ *Negative*	

How important do you consider this influence for the uptake of WR&R? (rank the importance of the factor's influence by selecting among low, medium, and high)

☐ Low ☐ Medium ☐ High

If the current level of public awareness on WR&R ***negatively influences*** the use of reclaimed water, can you provide recommendations for overcoming this issue? *(e.g. education programs, outreach campaigns, etc.)*

a. b. c.

3: SOCIAL PERCEPTIONS ON THE CONSUMPTION OF CROPS IRRIGATED WITH RECLAIMED WATER

Indicate how the prevailing social perceptions on the consumption of crops irrigated with reclaimed water are influencing the uptake of WR&R in your area, by selecting the relevant box, and provide a brief explanation of your choice.

Influence	Explanation
☐ *Positive*	
☐ *Negative*	

How important do you consider this influence for the uptake of agricultural reuse? (rank the importance of the factor's influence by selecting among low, medium, and high)

☐ Low ☐ Medium ☐ High

If the prevailing social perceptions on the consumption of crops irrigated with reclaimed water ***negatively influence*** agricultural reuse, can you provide recommendations for overcoming this issue? *(e.g. dissemination of water quality data to ensure the quality of irrigation water, etc.)*

a. b. c.

4: INVOLVEMENT OF DIFFERENT STAKEHOLDER GROUPS IN DECISION-MAKING PROCESSES

Indicate how the current level of stakeholder engagement in decision-making processes is influencing the uptake of WR&R in your area, by selecting the relevant box, and provide a brief explanation of your choice.

Influence	Explanation
☐ *Positive*	
☐ *Negative*	

How important do you consider this influence for the uptake of WR&R? (rank the importance of the factor's influence by selecting among low, medium, and high)

☐ Low ☐ Medium ☐ High

If the current level of stakeholder engagement in decision making processes ***negatively influences*** reuse, can you provide recommendations for overcoming this issue? *(e.g. set up of Water Users Associations, conduction of multi-stakeholders meetings)*

a. b. c.

5: OTHER SOCIAL FACTORS

In case that you consider that any other social factor may influence the uptake of WR&R in your area, please: a) describe the factor, b) indicate and explain its influence, c) rank the importance of the influence, and d) provide recommendations on overcoming negative influence (if any).

Add more rows if necessary.

Factor	*e.g. social trust to water and wastewater services etc.*
Influence	☐ *Positive* ☐ *Negative*
Brief explanation of the influence	
Importance of the influence	☐ *Low* ☐ *Medium* ☐ *High*
Recommendations on overcoming negative influence	a. b. c.

Part B.4: Technical Factors

This section focuses on the technical factors which may affect (positively or negatively) the implementation of new WR&R schemes in your area, and include technical expertise and infrastructure requirements. A cumulative list with the technical factors considered is provided in Table 4.

Table 4: The technical factors which may affect the implementation of WR&R options

Description	Potential influence on WR&R
1. Technical expertise and know-how of water reclamation & supply	
The technical and managerial capacity of relevant utilities for the reliable and consistent production and delivery of reclaimed water, i.e. (US EPA, 2004): • Qualified, well-trained personnel for the proper operation and maintenance of treatment units & mechanical equipment • Effective monitoring, maintenance and process control programs • Emergency equipment and facilities to prevent treatment upsets during power and equipment failures, flooding, peak loads and maintenance shutdowns	High technical capacity and know-how positively affects the implementation of WR&R schemes, as it enhances the public acceptance of reclaimed water and minimizes human health and environmental risks. In cases where limited or no WR&R practices are in place, the lack of technical expertise negatively influences the implementation of new WR&R schemes.
2. Technical expertise and know-how of using reclaimed water	
The ability of reclaimed water end-users (farmers, field workers, urban citizens, industries) to safely use reclaimed water and handle the relevant equipment. Members of Water User Associations have better access to information and technical assistance and are more likely to apply reclaimed water safely (Bahri, 2009).	Technical expertise and knowledge of potential end-users minimize human health and environmental risks and enhance the successful implementation of WR&R schemes.
3. Irrigation systems used	
The most prevailing irrigation system which is currently in place, i.e.: • Gravity surface flow systems: flood, border, ridge and furrow irrigation • Pressurized surface systems: water guns, sprinkler systems and aboveground drip irrigation • Pressurized subsurface systems: drip irrigation systems Irrigation systems greatly affect the likelihood of human exposure to reclaimed water. Reclaimed water quality and types of irrigated crops define the appropriate irrigation system that should be in	If drip irrigation systems are the most dominant system in place, irrigation with reclaimed water can be more easily implemented (positive influence). Otherwise, adoption of additional protection measures or even change of existing irrigation systems may be needed, which can pose a barrier to implementation of agricultural water reuse schemes.

Description	Potential influence on WR&R
place. In general, drip irrigation systems provide the highest level of health protection, because of negligible human exposure, and are not accompanied by special protection measures. The use of gravity surface flow and spray irrigation systems is associated with water quality and crop selection restrictions (Asano et al., 2007).	

The following 4 questions concern the factors presented in Table 4. Recommendations on overcoming the identified technical barriers would be welcome. **You can skip questions concerning aspects on which you do not have relevant knowledge**.

1: TECHNICAL EXPERTISE & KNOW-HOW OF WATER RECLAMATION & SUPPLY

Grade the current level of technical expertise and know-how of water reclamation and supply of water supply and sanitation utilities for the different possible WR&R applications, using a scale from 1 (low / complete lack of technical expertise and know-how) to 5 (high / advanced technical expertise and know-how).

Possible WR&R applications	*Level of technical expertise & know-how*				
	1: Low	2: Moderate	3: Satisfactory	4: Good	5: High
Irrigation of food crops					
Irrigation of non-food crops or crops processed before consumption					
Unrestricted urban uses (human contact allowed)					
Restricted urban uses (human contact not allowed)					
Industrial processes					
Environmental enhancement (groundwater recharge, steam flow augmentation)					

How important do you consider technical expertise and know-how of water reclamation and supply for the wider penetration of WR&R schemes? (rank the importance of the factor by selecting among low, medium, and high)

☐ Low ☐ Medium ☐ High

If you consider the current level of technical expertise and know-how ***low, moderate or satisfactory***, can you provide recommendations on building technical and managerial capacity of water supply and sanitation utilities? *(e.g. provision of technical assistance by certified organizations, development of operating protocols, personnel training, etc.)*

a.

b.

c.

2: TECHNICAL EXPERTISE & KNOW-HOW OF USING RECLAIMED WATER

Grade the current level of technical expertise and know-how of potential reclaimed water end-users, using a scale from 1 (low / complete lack of technical expertise and know-how) to 5 (high / advanced technical expertise and know-how).

Potential reclaimed water end-users	*Level of technical expertise & know-how*				
	1: Low	2: Moderate	3: Satisfactory	4: Good	5: High
Farmers & field workers					
Industries					
Urban citizens					

How important do you consider technical expertise and know-how of potential reclaimed water end-users for the wider penetration of WR&R schemes? (rank the importance of the factor by selecting among low, medium, and high)

☐ Low ☐ Medium ☐ High

If you consider the current level of technical expertise and know-how ***low, moderate or satisfactory***, can you provide recommendations on building technical capacity of potential reclaimed water end-users? *(e.g. provision of technical assistance and education on safe irrigation techniques and post-harvest practices, set up of Water User Associations, etc.)*

a. b. c.

3: IRRIGATION SYSTEMS USED

Indicate how the most dominant irrigation system, currently in place, is influencing the uptake of agricultural reuse in your area, by selecting the relevant box, and provide a brief explanation of your choice. Positive influence occurs when drip irrigation systems are mostly in place, while negative influence occurs when gravity surface systems or spray irrigation systems are the most dominant.

Influence	Explanation
☐ *Positive*	
☐ *Negative*	

How important do you consider this influence for the uptake of agricultural reuse? (rank the importance of the factor's influence by selecting among low, medium, and high)

☐ Low ☐ Medium ☐ High

If the most dominant irrigation system, which is currently in place, ***negatively influences*** agricultural reuse, can you provide recommendations for overcoming this issue? *(e.g. provision of economic incentives for change of irrigation systems, etc.)*

a. b. c.

4: OTHER TECHNICAL FACTORS

In case that you consider that any other technical factor may influence the uptake of WR&R in your area, please: a) describe the factor, b) indicate and explain its influence, c) rank the importance of the influence, and d) provide recommendations on overcoming negative influence (if any).

Add more rows if necessary.

Factor	*e.g. concerns about construction of dual plumbing systems, etc.*
Influence	☐ *Positive* ☐ *Negative*
Brief explanation of the influence	
Importance of the influence	☐ *Low* ☐ *Medium* ☐ *High*
Recommendations on overcoming negative influence	a. b. c.

Part B.5: Legal & institutional factors

This section focuses on the legal and institutional factors, which may affect (positively or negatively) the implementation of new WR&R schemes in your area, including ownership of treated wastewater, delineation of responsibilities among authorities, etc. A cumulative list with the legal and institutional factors considered is provided in Table 5.

Table 5: The legal and institutional factors which may affect the implementation of WR&R options

Description	Potential influence on WR&R
1. Ownership of treated wastewater – Water rights law	
The water rights system, which defines who has the ownership of treated wastewater, i.e. the right to use and sell the treated wastewater.	A water rights system can support or challenge WR&R depending on how clearly the ownership of treated wastewater is defined. Conflicts over the ownership of the reclaimed water among WW dischargers, water suppliers, other appropriators or environmental interests may hinder the implementation of WR&R schemes (US EPA, 2004; Asano et al., 2007).
2. Regulatory framework on WR&R	
Existing regulatory framework includes the regulations and guidelines which specify water quality standards for different WR&R applications, treatment processes and human health and environmental protection safeguards.	Developed regulations and guidelines on WR&R promote the implementation of WR&R schemes, while lack of regulations and guidelines may impede implementation.
3. Enforcement of regulations and laws	
Enforcement mechanisms and institutions which set penalties and collect fines.	If enforcement mechanisms are in place, the implementation of WR&R schemes is enhanced, as there is trust on the proper operation of reclamation facilities and adherence to quality standards and regulations.
4. Delineation of responsibilities among the institutions involved in water and wastewater management	
The level of fragmentation and overlap of responsibilities and roles among the institutions involved in water and wastewater management (e.g. utilities and authorities governing water quality, water supply, wastewater treatment, agricultural affairs, water rate setting etc.).	Clearly defined roles and responsibilities among the involved institutions facilitate the implementation of WR&R schemes. In case of conflicting jurisdictions and lack of cooperation among the involved institutions, the implementation of WR&R schemes could be hampered (Asano et al., 2007).

The following 5 questions concern the factors presented in Table 5. Recommendations on overcoming the identified legal and institutional barriers would be welcome. **You can skip questions concerning aspects on which you do not have relevant knowledge**.

1: OWNERSHIP OF TREATED WASTEWATER – WATER RIGHTS LAW

Indicate how the existing water rights law is influencing the uptake of WR&R in your area, by selecting the relevant box, and provide an explanation of your choice. Positive influence occurs in case of properly defined ownership of treated wastewater, while negative influence occurs when there are conflicts over treated wastewater ownership.

An example of the positive influence of water rights law for the uptake of WR&R is given: *In California, the ownership of treated wastewater was clarified to support the implementation of WR&R schemes. The WWTP has the exclusive rights of the treated effluent, unless otherwise provided by agreement, and thus there are no conflicts over the ownership of treated wastewater (Asano et al., 2007: Part5, Chapter 25, Section 25.4, p. 1397).*

Influence	Explanation
☐ *Positive*	
☐ *Negative*	

How important do you consider this influence for the implementation of WR&R schemes? (rank the importance of the factor's influence by selecting among low, medium, and high)

☐ Low ☐ Medium ☐ High

If the existing water rights system ***negatively influences*** the implementation of WR&R schemes, can you provide recommendations for overcoming this issue?

a. b. c.

2: REGULATORY FRAMEWORK ON WR&R

Indicate how the existing regulatory framework is influencing the implementation of WR&R schemes in your area, by selecting the relevant box, and provide an explanation of your choice. Positive influence occurs in case of already developed regulations and guidelines on WR&R, while negative influence occurs when there lack of regulations and guidelines on WR&R.

Influence	Explanation
☐ *Positive*	
☐ *Negative*	

How important do you consider this influence for the implementation of WR&R schemes? (rank the importance of the factor's influence by selecting among low, medium, and high)

☐ Low ☐ Medium ☐ High

If the existing regulatory framework ***negatively influences*** the implementation of WR&R schemes, can you provide recommendations for overcoming this issue? *(e.g. development of regulations, adoption of guidelines developed by certified organizations, etc.)*

a. b. c.

3: ENFORCEMENT OF LAWS & REGULATIONS

Indicate how the level of law enforcement is influencing the implementation of WR&R schemes in your area, by selecting the relevant box, and provide an explanation of your choice. Positive influence occurs in case of enforcement mechanisms and institutions in place, while negative influence occurs when there is lack of enforcement mechanisms and institutions.

Influence	Explanation
☐ *Positive*	
☐ *Negative*	

How important do you consider this influence for the implementation of WR&R schemes (rank the importance of the factor's influence by selecting among low, medium, and high)?

☐ Low ☐ Medium ☐ High

If the current level of law enforcement ***negatively influences*** the implementation of WR&R schemes, can you provide recommendations for overcoming this issue? *(e.g. development of monitoring and inspection programs, set up of institutions to collect fines and penalties etc.)*

a. b. c.

4: DELINEATION OF RESPONSIBILITIES AMONG THE INSTITUTIONS INVOLVED IN WATER AND WASTEWATER MANAGEMENT

Indicate how the current level of delineation of responsibilities among the institutions involved in water and wastewater management is influencing the implementation of WR&R schemes in your area, by selecting the relevant box, and provide an explanation of your choice. Positive influence occurs in case of clearly defined roles and responsibilities, while negative influence occurs in case of fragmented responsibilities and conflicting jurisdictions.

An example of the negative influence of delineation of responsibilities among involved institutions is given: *In the Walnut Valley Water District in southern California, the organizational structure governing the delivery of potable water was complex and the responsibilities among involved institutions were fragmented, as different agencies were responsible for conservation, storage and conveyance of raw water resources, water purification, water conveyance, water storage and sales. An institutional reform was needed to overcome this issue and implement the WR&R scheme of the area (Asano et al., 2007: Part5, Chapter 25, Section 25.5, p. 1397).*

Influence	Explanation
☐ *Positive*	
☐ *Negative*	

How important do you consider this influence for the implementation of WR&R schemes? (rank the importance of the factor's influence by selecting among low, medium, and high)

☐ Low ☐ Medium ☐ High

If the current level of delineation of responsibilities among the institutions involved in water and wastewater management ***negatively influences*** the implementation of WR&R schemes, can you provide recommendations for overcoming this issue? *(e.g. set up of institutional bodies or committees responsible for interagency coordination, agreements among involved institutions etc.)*

a. b. c.

5: OTHER LEGAL & INSTITUTIONAL FACTORS

In case that you consider that any other legal and / or institutional factor may influence the uptake of WR&R in your area, please: a) describe the factor, b) indicate and explain its influence, c) rank the importance of the influence, and d) provide recommendations on overcoming negative influence (if any).

Add more rows if necessary.

Factor	*e.g. existing building and plumbing codes which could prohibit the retrofitting of buildings for the installation of dual plumbing systems in case of urban WR&R, etc.*
Influence	☐ *Positive* ☐ *Negative*
Brief explanation of the influence	
Importance of the influence	☐ *Low* ☐ *Medium* ☐ *High*
Recommendations on overcoming negative influence	a. b. c.

Thank you very much for your time

Glossary of Terms

Agricultural reuse on food crops (unrestricted irrigation): the use of reclaimed water to irrigate food crops that are intended for human consumption (US EPA, 2012).

Agricultural reuse on non-food crops or food crops processed before consumption (restricted irrigation): the use of reclaimed water to irrigate crops that are either processed before consumption or not consumed by humans, such as fodder, fiber, seed crops, pasture land, commercial nurseries, and sod farms (US EPA, 2004; US EPA 2012).

Dual plumbing system: separate plumbing systems used to supply potable and reclaimed water from the points of connection from the respective distribution systems to the points of use (Asano et al., 2007).

Effluent: the out-flow water or wastewater from any water processing system or device (http://www.recycledwater.com.au/index.php?id=90).

Environmental reuse: the use of reclaimed water to create, enhance, sustain, or augment water bodies including wetlands, aquatic habitats, or stream flows (US EPA, 2012). The use of reclaimed water to recharge aquifers (groundwater recharge) is considered part of environmental reuse applications in this document.

Exposure: contact with a chemical or physical agent by ingestion, inhalation, or dermal routes (Asano et al., 2007).

Guidelines: recommended or suggested standards, criteria, rules, or procedures that are voluntary, advisory, and nonenforceable (Asano et al., 2007).

Human health and environmental safeguards: policies and actions with the objective to prevent and mitigate undue harm to human health and the environment (adapted from: http://web.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/PROJECTS/EXTPOLICIES/EXTSAFEPOL/0,,menuPK:584441~pagePK:64168427~piPK:64168435~theSitePK:584435,00.html).

Industrial symbiosis: it refers to engaging traditionally separate industries in a collective approach to competitive advantage involving physical exchange of materials, energy, water, and by-products (Chertow, 2007).

Industrial WR&R: the use of reclaimed water in industrial applications and facilities (primarily for cooling system make-up water, boiler-feed water, process water, and general wash-down), power production, and extraction of fossil fuels (US EPA, 2004; US EPA, 2012).

Reclaimed water: municipal wastewater that has been treated to meet specific water quality criteria with the intent of being used in a beneficial manner (e.g. crop irrigation) (Asano et al., 2007).

Regulations: criteria, standards, rules, or requirements that have been legally adopted and are enforceable by government agencies (Asano et al., 2007).

Restricted urban reuse: the use of reclaimed water for non-potable applications in municipal settings where public access is controlled or restricted by physical or institutional barriers, such

as fencing, advisory signage, or temporal access restriction. Examples of restricted urban reuse are: irrigation of golf courses, cemeteries, and highway medians. (US EPA, 2004; US EPA 2012). Restricted recreational reuse (i.e. impoundments of reclaimed water in which recreation is limited to non-contact human activities, such as boating) is considered part of restricted urban reuse in this document.

Risk: the probability that an organism exposed to a specified hazard will have an adverse response (Asano et al., 2007).

Unrestricted urban WR&R: the use of reclaimed water for non-potable applications in municipal settings where public access is not restricted***.*** Examples of unrestricted urban reuse are: irrigation of areas in which public access is not restricted, such as parks, playgrounds, school yards, and residences; toilet flushing; air conditioning; fire protection; construction; ornamental fountains; aesthetic impoundments (US EPA, 2004; US EPA, 2012). Unrestricted recreational reuse (i.e. impoundments of reclaimed water in which no limitations are imposed on body-contact, such as swimming) is considered part of unrestricted urban reuse in this document.

Uptake: the actual implementation of WR&R schemes and use of reclaimed water.

Wastewater (WW): Used water discharged from homes, business, industry, and agricultural facilities (US EPA, 2012).

Water quality standards: are descriptions of the chemical, physical and biological conditions of water necessary to achieve and protect designated uses (http://www.rivernetwork.org/books/criteria-one)

Water reclamation: treatment or processing of wastewater to make it reusable with definable treatment reliability and meeting appropriate water quality criteria (Asano et al., 2007).

Water recycling: the use of wastewater that is captured and redirected back into the same water use scheme such as in industry (Asano et al., 2007).

Water reuse: the use of treated wastewater for a beneficial use, such as agricultural irrigation and industrial cooling (Asano et al., 2007).

Water rights law: a legal entitlement allowing the diversion of water from a specified source to be put to beneficial use. A water right is a right to use water, not the ownership of water itself. Groundwater rights are generally considered separately from surface water rights (Asano et al., 2007; US EPA 2004).

WR&R applications: The methods by which reclaimed water is used (Asano et al., 2007).

WR&R option: a water recycling or water reuse intervention which is characterized by specific reclaimed water sources, end-uses to be supplied with reclaimed water, treatment technologies and relevant infrastructure and costs.