



ΑΘΗΝΑΪΚΗ ΖΥΘΟΠΟΙΑ

ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

Εισαγωγή και η κατάσταση
στο Υδατικό Διαμέρισμα Θεσσαλίας

Η μελέτη πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο του Προγράμματος
«Νερό για το Αύριο» της Αθηναϊκής Ζυθοποιίας

ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2021



Συγγραφική ομάδα:

Αλαμάνος Άγγελος, Πλιάκου Τατιάνα, Τριποπούλου Έφη, Κουντούρη Φοίβη, Παπαδάκη Λυδία



Παράγουμε ένα καλύτερο αύριο

Στην Αθηναϊκή Ζυθοποιία θεωρούμε ότι ο ρόλος μας στην Ελλάδα δεν περιορίζεται στην εμπορική δραστηριότητά μας, αλλά είναι ακόμη πιο σημαντικός σε ό,τι αφορά την εταιρική υπευθυνότητα απέναντι στους ανθρώπους, τις τοπικές κοινωνίες και το περιβάλλον. Σχετικά με το τελευταίο, μέσα από εταιρικές πρωτοβουλίες, μακροχρόνιες συνεργασίες με ερευνητικά κέντρα και πανεπιστήμια, αλλά και με τη συμμετοχή μας σε ερευνητικά προγράμματα, υποστηρίζουμε ενεργά την παγκόσμια προσπάθεια για βιώσιμη ανάπτυξη, προστασία του περιβάλλοντος και ορθή διαχείριση των φυσικών πόρων.

Το Πρόγραμμα «Νερό για το Αύριο» αποτελεί τη νέα πρωτοβουλία μας, που εστιάζει στην ανάδειξη λύσεων για την ορθότερη διαχείριση των υδατικών πόρων. Σε πρώτη φάση, επιλέχθηκε ως περιοχή παρέμβασης η Περιφέρεια Θεσσαλίας, όπου μια σειρά από παράγοντες προκαλούν έντονο πρόβλημα λειψυδρίας, με σημαντική επίδραση σε όλα τα επίπεδα, αλλά κυρίως στο θέμα της αγροτικής παραγωγής που είναι ιδιαίτερα έντονη στην περιοχή.

Ευχαριστούμε θερμά την ομάδα του Cluster of Sustainability Transition (ReSEES @AUEB, Sustainable Development Unit @ATHENA RC, EIT Climate KIC HUB Greece @ATHENA RC, UN SDSN Greece) της οποίας ηγείται η Καθηγήτρια του Οικονομικού Πανεπιστημίου Αθηνών **κα. Φοίβη Κουντούρη** για την επιστημονική τεκμηρίωση του Προγράμματος, αλλά και όλους τους φορείς που συμμετέχουν στην υλοποίησή του για την πολύτιμη συνεργασία τους.

Ευελπιστούμε τα αποτελέσματα του Προγράμματος να δικαιώσουν την κοινή προσπάθεια για μετάβαση σε ένα αειφόρο μοντέλο διαχείρισης των υδατικών πόρων και να επιτευχθούν αποδοτικά οι περιβαλλοντικοί, οικονομικοί και παραγωγικοί στόχοι που θα τεθούν κατά τη διάρκεια της υλοποίησής του.

Γιάννης Γεωργακέλλος
Διευθυντής Επικοινωνίας & Εταιρικών Σχέσεων
Αθηναϊκή Ζυθοποιία

Περιεχόμενα

Το πρόβλημα της λειψυδρίας.....	4
Ολοκληρωμένη και Βιώσιμη Διαχείριση Υδατικών Πόρων.....	6
Θεσμικά και Οικονομικά εργαλεία στη Διαχείριση Υδατικών Πόρων.....	8
Η κατάσταση στην Ευρώπη.....	12
Η κατάσταση στην Ελλάδα.....	17
Περιοχή μελέτης: Υδατικό Διαμέρισμα Θεσσαλίας (EL08 ή GR08).....	21
Η Αθηναϊκή Ζυθοποιία (AZ) στο Υ.Δ. Θεσσαλίας.....	37
Φαινόμενα Ξηρασίας.....	40
Πλημμύρες.....	45
Επιπτώσεις κλιματικής μεταβλητότητας.....	51
<i>Οι αλλαγές του κλίματος μέσα από τα σενάρια πρόβλεψης.....</i>	<i>51</i>
<i>Μοντέλα Παγκόσμιας Ατμοσφαιρικής Κυκλοφορίας.....</i>	<i>55</i>
<i>Επιπτώσεις κλιματικής μεταβολής στη Διαχείριση Υδατικών Πόρων.....</i>	<i>57</i>
<i>Η κατάσταση στη Θεσσαλία.....</i>	<i>57</i>
<i>Έρευνες σχετικά με την κλιματική αλλαγή στη Θεσσαλία.....</i>	<i>60</i>
Προτεινόμενα μέτρα.....	63
<i>Κρατική προσέγγιση.....</i>	<i>63</i>
<i>Ερευνητικές προσεγγίσεις.....</i>	<i>64</i>
<i>Φυσικές-λύσεις (Nature-based solutions): Το παράδειγμα της λίμνης Κάρλας.....</i>	<i>66</i>
Επίλογος.....	72
Αναφορές.....	73

Το πρόβλημα της λειψυδρίας

«Δεν έχει σημασία ποιοι είμαστε, πού ζούμε, τι κάνουμε, όλοι εξαρτόμαστε απ' το νερό. Το χρειαζόμαστε κάθε μέρα, με πάρα πολλούς τρόπους. Το χρειαζόμαστε για να είμαστε υγιείς, το χρειαζόμαστε για να παράγουμε την τροφή μας, για τις μεταφορές, την άρδευση και τη βιομηχανία. Το χρειαζόμαστε για τα ζώα και τα φυτά, για να αλλάζουν οι εποχές και τα χρώματα. Ωστόσο, παρά τη σημασία των αποθεμάτων του νερού για τη ζωή και την ύπαρξή μας, δείχνουμε μια συνεχώς αυξανόμενη έλλειψη σεβασμού για τα αποθέματα αυτά. Τα σπαταλούμε, τα λεηλατούμε, τα μολύνουμε, ξεχνώντας πόσο απαραίτητα είναι για την επιβίωσή μας». Αυτό το απόσπασμα από την ανακήρυξη του 2003, σαν παγκόσμιου έτους για τα Νερά, από τον Ο.Η.Ε., τονίζει τη σημασία του νερού σε όλους τους τομείς με τους οποίους συνδέεται (άμεσα ή έμμεσα) και υποδεικνύει την ανάγκη για ορθολογική διαχείρισή του. Αυτή η ανάγκη γεννάται από το πρόβλημα της λειψυδρίας. Η έννοια της λειψυδρίας περιλαμβάνει όλους εκείνους τους παράγοντες που δυσχεραίνουν την πρόσβαση σε νερό για την κάλυψη των αναγκών. Πιο αναλυτικά, η λειψυδρία μπορεί να είναι είτε φυσική, είτε οικονομική, είτε ποιοτική (Κουτσογιάννης, 2007).

- *Φυσική λειψυδρία* είναι η κατάσταση κατά την οποία η διαθέσιμη ποσότητα νερού δεν επαρκεί για την κάλυψη όλων των απαιτήσεων. Η διαθεσιμότητα του νερού στη γη, ως φυσική προσφορά, ρυθμίζεται από τον υδρολογικό κύκλο. Κάθε χρήση νερού αλλά και κάθε ανθρώπινη παρέμβαση μπορεί να επηρεάσει τον υδρολογικό κύκλο, συνήθως αρνητικά. Η κύρια συνέπεια της φυσικής λειψυδρίας είναι η περιβαλλοντική υποβάθμιση (αποξήρανση ποταμών, λιμνών, πτώση στάθμη υπόγειων υδροφορέων, ρύπανση, κλπ.).
- *Η οικονομική λειψυδρία* είναι συνώνυμη με την έλλειψη των απαραίτητων επενδύσεων για την κάλυψη των υδατικών απαιτήσεων. Εξ' αιτίας περιορισμένων οικονομικών, ανθρώπινων ή θεσμικών ικανοτήτων, αρκετοί άνθρωποι ζουν σε συνθήκες σπανιότητας νερού, ή αδυνατούν να έχουν πρόσβαση σε επαρκή ποσότητα και κατάλληλη ποιότητα νερού. Ακόμα και όταν υπάρχει φυσική διαθεσιμότητα νερού, συμβαίνει θεσμικοί ή πολιτικοί παράγοντες να καθιστούν την εκμετάλλευσή της δύσκολη έως αδύνατη, ή ακόμα και ομάδες χρηστών να ευνοούνται εις βάρος άλλων. Οι συνέπειες της οικονομικής λειψυδρίας, είναι ουσιαστικά περιπτώσεις κακής ή μη διαχείρισης των υδατικών πόρων. Τέτοιες περιπτώσεις είναι η ανεπαρκής ανάπτυξη των υποδομών, κακή ή ελλιπής συντήρησή τους, υψηλή ευαισθησία στις εποχιακές διακυμάνσεις του νερού (πλημμύρες, ξηρασίες) και άνιση κατανομή του νερού, ακόμη και αν υπάρχει υποδομή.
- *Η ποιοτική λειψυδρία*, έχει να κάνει με την περίπτωση όπου το νερό δεν είναι κατάλληλο για χρήση, λόγω κακής χημικής κατάστασης. Θα μπορούσε να θεωρηθεί υπο-κατηγορία

της οικονομικής λειψυδρίας, καθώς το νερό απαιτεί επενδύσεις και υποδομή για την βελτίωση της ποιότητάς του. Παραδείγματος χάριν, το πόσιμο νερό πρέπει να υποστεί επεξεργασία μέχρι την επίτευξη ενός υψηλού επιπέδου ποιότητας και την παροχή του σε βαθμό αξιόπιστο, πράγμα που συνεπάγεται κόστος, ή μέτρα αποφυγής της ρύπανσης.

Οι παράγοντες που δυσχεραίνουν την αποτελεσματική και αποδοτική αξιοποίηση του νερού γίνονται ολοένα και πιο αισθητοί (Αλαμάνος, 2019):

- Χωρική ανισοκατανομή του πόρου, αφού υπάρχει περισσότερο νερό στα βουνά, ενώ στα πεδινά όπου λαμβάνουν χώρα οι περισσότερες δραστηριότητες, εντοπίζεται κυρίως η σπανιότητά του.
- Χρονική ανισοκατανομή του πόρου, με ξηρά καλοκαίρια όπου η ζήτηση είναι μεγαλύτερη, και υγρούς χειμώνες.
- Τη γενικότερη ποιοτική υποβάθμιση των διαθέσιμων υδατικών πόρων και την υφαλμύριση των υπόγειων υδάτων, λόγω υπεράντλησης και ανεξέλεγκτης διάθεσης αποβλήτων.
- Αυξανόμενη ζήτηση μεταξύ ανταγωνιστικών χρήσεων (αστική, αγροτική, βιομηχανική, κτηνοτροφική, κ.ά.).
- Κλιματική αλλαγή. Οι προβλέψεις για το μέλλον της ανθρωπότητας τα επόμενα 100 περίπου χρόνια δείχνουν ότι εξαιτίας των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου η θερμοκρασία θα αυξηθεί και η βροχόπτωση θα μειωθεί. Με την αύξηση των ακραίων φαινομένων η τελική προσφορά νερού θα περιοριστεί, και η κάλυψη των αυξανόμενων αναγκών θα γίνει ακόμα δυσκολότερη.

Για την Ελλάδα, δεν τίθεται θέμα φυσικής λειψυδρίας, λόγω της σχετικά μεγάλης ποσότητας των ανανεώσιμων υδατικών αποθεμάτων της. Σε μικρότερη κλίμακα όμως (Υδατικών Διαμερισμάτων) εντοπίζονται βασικά προβλήματα, τα οποία αφορούν κυρίως την έντονη χωρική και χρονική ανισοκατανομή των βροχοπτώσεων της, υφαλμύριση των παράκτιων και νησιωτικών περιοχών, ρύπανση, υποτιμολόγηση του νερού, υποβάθμιση της ποιότητας και πτώση στάθμης των υδροφορέων (ΥΠΕΚΑ, 2013). Όλα αυτά, σε συνδυασμό με την απουσία ορθολογικής διαχείρισης και την υιοθέτηση μη-περιβαλλοντικών πολιτικών, δημιουργούν ενίοτε προβλήματα οικονομικής λειψυδρίας, κυρίως στον αγροτικό τομέα.

Ολοκληρωμένη και Βιώσιμη Διαχείριση Υδατικών Πόρων

Η θεωρία της Ολοκληρωμένης και Βιώσιμης Διαχείρισης Υδατικών Πόρων προάγει την επίτευξη των οικονομικών-παραγωγικών στόχων, με περιβαλλοντικούς όμως περιορισμούς. Η θεωρία αυτή είναι απόρροια των διαπιστώσεων της προηγούμενης ενότητας, οι οποίες ουσιαστικά υποδεικνύουν την ανάγκη επαναπροσδιορισμού των αρχών και των αντιλήψεων της υφιστάμενης υδατικής πολιτικής. Ακολούθως αναλύονται οι βασικές πτυχές αυτής της θεωρίας, η οποία συνεχώς αναπτύσσεται και προσαρμόζεται στις σύγχρονες ανάγκες.

Ο όρος "Διαχείριση Υδατικών Πόρων" εμπεριέχει το σύνολο των μεθόδων και δραστηριοτήτων που απαιτούνται για την ορθολογική αξιοποίηση του υδατικού δυναμικού, με στόχο την πληρέστερη δυνατή κάλυψη των αναγκών σε νερό (Μυλόπουλος, 2006). Περιλαμβάνει επομένως τόσο τις επιστημονικές μεθόδους και τεχνικές, όσο και τις επιχειρησιακές επεμβάσεις και τα διοικητικά μέτρα, που στοχεύουν στη μετατροπή της κατάστασης των υδατικών συστημάτων, προκειμένου να προκύπτει το μέγιστο δυνατό όφελος από την εκμετάλλευσή τους, σύμφωνα με τα κριτήρια, τις προτεραιότητες και τους στόχους που έχουν προκαθοριστεί (Serageldin, 2005; Koundouri, 2013). Η έννοια δεν περιορίζεται μόνο στο παραδοσιακό αντικείμενο της υδρολογίας, δηλαδή την παρακολούθηση και τη μελέτη της κατανομής και της διαθεσιμότητας των υδατικών πόρων στο χώρο και το χρόνο, αλλά ενσωματώνει και την κοινωνικοοικονομική διάσταση, ώστε να υποστηρίζεται η χάραξη υδατικής πολιτικής που επιζητεί το μέγιστο δυνατό όφελος. Γίνεται λοιπόν αντιληπτό ότι η Διαχείριση Υδατικών Πόρων είναι μία σύνθετη και διεπιστημονική διαδικασία, που εμπερικλείει πλήθος κλάδων, και στοχεύει στην εναρμόνιση των πρακτικών αντιθέσεων που εμφανίζονται, ώστε να διευκολύνει την εύρεση βέλτιστων πολιτικών (Βασιλειάδης, 2017). Η διαχείριση των υδατικών πόρων μπορεί να παραλληλιστεί με μία οικονομική δραστηριότητα με συγκεκριμένες απαιτήσεις, που υπόκειται όμως στους νόμους της προσφοράς και της ζήτησης. Η διαφορά της Διαχείρισης Υδατικών Πόρων από την Οικονομική Θεωρία, είναι ουσιαστικά και η διαφορά – ιδιαιτερότητα του νερού σε σχέση με τα υπόλοιπα οικονομικά αγαθά: πρόκειται για φυσικό περιβαλλοντικό αγαθό σε συνθήκες ανεπάρκειας, με έντονα κοινωνικό χαρακτήρα, έντονη ανισοκατανομή και μεταβλητότητα στο χώρο και το χρόνο (Τσακίρης, 1995).

Ο όρος "Βιώσιμη" ή Αειφόρος ανάπτυξη ή διαχείριση, είναι ένα γενικότερο μοντέλο ανάπτυξης και σχεδιασμού για το μέλλον, που προάγει την αρχή ότι η προσπάθεια για την κάλυψη των σημερινών αναγκών δεν πρέπει να υπονομεύει την αντίστοιχη προσπάθεια των μελλοντικών γενιών να καλύψουν τις δικές τους ανάγκες. Συνεπώς, οι υδατικές απαιτήσεις θα πρέπει να καλύπτονται με τρόπο που θα διασφαλίζει την επάρκεια ικανών αποθεμάτων προς μελλοντική

χρήση. Άρα οι υδατικοί πόροι δε θα πρέπει να καταναλώνονται με ρυθμούς ταχύτερους από τους ρυθμούς της ετήσιας ανανέωσής τους, στο πλαίσιο του υδρολογικού κύκλου (Αλαμάνος, 2019). Έτσι, η τελική (παρούσα) διαθεσιμότητα του νερού γίνεται ακόμα μικρότερη, εφόσον η μελλοντική κατανάλωση λειτουργεί ως μία επιπλέον χρήση νερού.

Με αφορμή τις αναφορές στις έννοιες κατανάλωση και χρήσεις νερού, και δεδομένου ότι ο άνθρωπος δε μπορεί να επέμβει στη φυσική προσφορά του νερού, γίνεται κατανοητό, ότι η επόμενη επιτακτική πτυχή της διαχείρισης είναι η "Διαχείριση της Ζήτησης". Ο μόνος τρόπος για να λειτουργήσουν σωστά και να επιτευχθούν οι παραπάνω στόχοι, είναι να γίνεται βέλτιστη διαχείριση των διαθέσιμων ποσοτήτων νερού (Alamanos et al., 2019a). Οι υδατικές ανάγκες δε θεωρούνται πλέον δεδομένες, ούτε υπάρχει η απαίτηση ότι το περιβάλλον μπορεί να παρέχει ανεξάντλητες ποσότητες. Οι δράσεις που αποσκοπούν στη μεγιστοποίηση της αποδοτικότητας σε κάθε χρήση νερού, και τη χρησιμοποίηση της μικρότερης δυνατής ποσότητας, υπάγονται στις πρακτικές της Διαχείρισης της Ζήτησης. Ουσιαστικά, η προσέγγιση αυτή τείνει να μειώσει τη ζήτηση του νερού, βελτιώνοντας την αποδοτικότητα των χρήσεών του, και προστατεύοντας τους υδατικούς πόρους από υποβάθμιση. Η μείωση της ζήτησης μέσω ορθολογικής διαχείρισης θεωρείται ισοδύναμη με αύξηση της προσφοράς νερού (Alamanos et al., 2019b). Και όπως αναλύθηκε παραπάνω, η αύξηση της προσφοράς πλέον θα συνεπάγεται αυξημένα κόστη, μιας και οι πιο εύκολα εκμεταλλεύσιμοι υδατικοί πόροι έχουν ήδη χρησιμοποιηθεί.

Τα σημαντικότερα μέτρα ορθής λειτουργίας των ανωτέρω, είναι το υδατικό ισοζύγιο (του κατάλληλου προς χρήση νερού) και τα οικονομικά εργαλεία που καθορίζουν το χώρο της εφικτής-ωφέλιμης πολιτικής. Σύμφωνα με την Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Πόρων, ο σχεδιασμός θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη όλες αυτές τις παραμέτρους, τις απαιτήσεις, και τους οικονομικούς-περιβαλλοντικούς στόχους, μαζί ως σύνολο και όχι ξεχωριστά και ανταγωνιστικά.

Θεσμικά και Οικονομικά εργαλεία στη Διαχείριση Υδατικών

Πόρων

Το 1987 στην Επιτροπή Brundtland εμφανίστηκε για πρώτη φορά η έννοια της Αειφόρου ανάπτυξης με σκοπό την επανατοποθέτηση της σχέσης του ανθρώπου με το περιβάλλον. Το 1991 στην Κοπεγχάγη και το 1992 στο Δουβλίνο, στη Συνδιάσκεψη για το Νερό και το Περιβάλλον, το νερό αναγνωρίστηκε ως οικονομικό αγαθό και τονίστηκε η σημασία της συνολικής προσέγγισης όλων των παραμέτρων που το χαρακτηρίζουν. Τον ίδιο χρόνο, η Διακήρυξη του Ρίο επαναπροσδιόρισε την αναπτυξιακή στρατηγική των κρατών στην κατεύθυνση των αρχών της Βιώσιμης Ανάπτυξης. Συμφωνήθηκε επίσης η παροχή χρηματοοικονομικής βοήθειας σε τριτοκοσμικές χώρες και η μεταφορά τεχνολογίας. Στη Νέα Υόρκη το 1997 διαπιστώθηκε στασιμότητα των πράξεων που οδηγούν στην επίτευξη της Βιώσιμης Ανάπτυξης. Δόθηκε προτεραιότητα στην ολοκληρωμένη διαχείριση των υδατικών πόρων, τη διανομή, την προστασία και τη χρήση τους. Άρχισε να αναπτύσσεται διάλογος μεταξύ των ανεπτυγμένων και των αναπτυσσόμενων χωρών. Επιπλέον έγινε προώθηση σχεδίων υποστήριξης μιας ολοκληρωμένης διαχείρισης των υδατικών πόρων για την εξάλειψη της φτώχειας. Για τους ανωτέρω σκοπούς, ένα χρόνο αργότερα στο Παρίσι δημιουργήθηκε κοινό δίκτυο για μεταφορά και ανταλλαγή πληροφοριών. Η θέση του ΟΗΕ στηρίζει τη διαχείριση της πληροφορίας, τη Βιώσιμη Ανάπτυξη, την ένταξη της διαχείρισης υδατικών πόρων στην Εθνική οικονομία, τη διεθνή συνεργασία κρατών και το συντονισμό μεταξύ φορέων και ιδρυμάτων κάθε κράτους. Το 2000 στη Χάγη ιδρύθηκε ένα σύστημα ελέγχου των δραστηριοτήτων για το Παγκόσμιο Όραμα για το Νερό (World Water Vision), ενεργοποιήθηκαν οι πολιτικές πρωτοβουλίες για την χρηματοδότηση της προστασίας και αξιοποίησης των υδατικών πόρων, και δημιουργήθηκε Διεθνής Επιτροπή για το νερό, την ειρήνη και την ασφάλεια. Το ίδιο έτος συστάθηκε και η Ευρωπαϊκή Οδηγία Πλαίσιο για τα Ύδατα (ΟΠΥ) 2000/60/ΕΚ, η οποία βρίσκεται σε ισχύ έως σήμερα, και αποτελεί επιστέγασμα και ολοκλήρωση των αρχών των προηγούμενων διακηρύξεων. Βάση της ΟΠΥ, τα Υδάτινα Σώματα (ΥΣ) χαρακτηρίζονται βάσει της ποσοτικής και ποιοτικής τους κατάστασης: «Ελλιπής», «Κακή», «Μέτρια», και «Καλή» (European Commission, 2000). Σκοπός της είναι κάθε κράτος μέλος όχι μόνο να παρακολουθεί το καθεστώς των υδάτων αλλά να καταφέρει να τα διατηρεί σε καλή οικολογικά κατάσταση. Η διασφάλιση της «καλής κατάστασης», ή η ανάκαμψη όλων των επιφανειακών και υπόγειων υδάτινων σωμάτων θα είναι το αποτέλεσμα της εφαρμογής των αρχών της «προστασίας» και «ο ρυπαίνων πληρώνει». Επιπλέον, σύμφωνα με την Οδηγία, το σύστημα διαχείρισης ορίζεται σε επίπεδο λεκάνης απορροής ποταμού, και όχι διοικητικών ορίων, κάτι που απαιτεί συνεργασία των αρμόδιων φορέων και συμμετοχικό σχεδιασμό. Η παρούσα εργασία αποτελεί παράδειγμα καλής εφαρμογής και συνδυασμού των

παραπάνω. Όπως αναλύεται και στη συνέχεια, συνδυάζεται η επιστημονική γνώση με την εμπειρική έρευνα και την ανάπτυξη πολιτικών διαχείρισης και προστασίας των υδατικών πόρων.

Η ενσωμάτωση της Οδηγίας Πλαίσιο για τα Ύδατα στην ελληνική νομοθεσία έγινε με τον Νόμο 3199/09.12.2003 περί προστασίας και διαχείρισης των υδάτων (ΦΕΚ 280/A/ 9-12-2003) και το ΠΔ 51/08.03.2007 περί καθορισμού μέτρων και διαδικασιών για την ολοκληρωμένη προστασία και διαχείριση των υδάτων (ΦΕΚ 54/A/8-3-2007) όπως τροποποιήθηκαν και ισχύουν. Συγκεκριμένα, με τις διατάξεις αυτές εντάσσονται οι βασικές αρχές της ΟΠΥ στην εθνική νομοθεσία και συγκροτείται η Ειδική Γραμματεία Υδάτων¹ ως συντονιστικός φορέας διαχείρισης των υδάτων στη χώρα, η οποία υπάγεται στο Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής. Κύρια αρμοδιότητα της Ειδικής Γραμματείας Υδάτων είναι η κατάρτιση των Σχεδίων Διαχείρισης των Λεκανών Απορροής Ποταμών των 14 Υδατικών Διαμερισμάτων της χώρας². Περαιτέρω αρμοδιότητες αυτής συνίστανται στον συντονισμό των ζητημάτων διαχείρισης νερού, την εφαρμογή της ΟΠΥ, την παρακολούθηση της ποιότητας και της ποσότητας του νερού, τη διαχείριση και επαναχρησιμοποίηση λυμάτων, τη διαχείριση των πλημμυρών. Τα Σχέδια Διαχείρισης συνοδεύονται από Στρατηγική Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων. Αναπτύσσεται παράλληλα σχέδιο διαχείρισης της ξηρασίας και της λειψυδρίας για κάθε περιοχή λεκανών απορροής ποταμών. Τα Σχέδια Διαχείρισης αναθεωρούνται και ενημερώνονται ανά εξαετία.

Λόγω νομοθετικών και διοικητικών εμποδίων, κοινωνικοοικονομικών και τεχνικών περιορισμών η έγκριση και υποβολή των 14 ΣΔΛΑΠ στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή για την περίοδο 2009 έως 2015 ολοκληρώθηκε με καθυστέρηση με αποτέλεσμα το διάστημα που απομένει για την εφαρμογή του προτεινόμενου προγράμματος λήψης μέτρων εντός του 2015 και για την αναθεώρηση των σχεδίων για το δεύτερο κύκλο της ΟΠΥ να είναι πολύ περιορισμένο³.

Η αναθεώρηση των 14 ΣΔΛΑΠ έγινε τον Δεκέμβριο 2017 και αφορά στον δεύτερο κύκλο διαχείρισης για την περίοδο 2016 έως 2021. Τα αναθεωρημένα ΣΔΛΑΠ αποτελούν σημαντικό στρατηγικό εργαλείο για την ολοκληρωμένη και βιώσιμη διαχείριση των υδάτων. Το πρόγραμμα μέτρων περιλαμβάνει νομοθετικά, διοικητικά εργαλεία αλλά και έργα υποδομών για τη στήριξη

¹ Με το ΠΔ 84/2019 (ΦΕΚ Α 123 - 17.07.2019) εντάσσεται η Ειδική Γραμματεία Υδάτων στη Γενική Γραμματεία Φυσικού Περιβάλλοντος και Υδάτων του Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας.

² Τα ΣΔΛΑΠ έχουν καθορισθεί με την Απόφαση 706/2010 της Εθνικής Επιτροπής Υδάτων (ΦΕΚ 1383/B'/02-09-2010 και ΦΕΚ 1572/B'/28-09-2010) η οποία τροποποιήθηκε με την 1300/2014 Απόφαση της Εθνικής Επιτροπής Υδάτων (ΦΕΚ 3665/B'/31-12-2014).

³ Το Δικαστήριο της Ευρωπαϊκής Ένωσης έχει λάβει απόφαση κατά της Ελλάδας για τη μη εμπρόθεσμη έγκριση και υποβολή των σχεδίων και επέβαλε την ποινή της αμεσιμότητας στο τρέχον ΕΣΠΑ για την εξαετή καθυστέρηση, με συνέπεια την δέσμευση πόρων του ΕΣΠΑ, ύψους περίπου 2,5 δις ευρώ, στους τομείς της ύδρευσης, της άρδευσης και της αποχέτευσης. (Υπόθεση C-297/1). Ωστόσο, η ολοκλήρωση της πρώτης αναθεώρησης των σχεδίων διαχείρισης από την Ειδική Γραμματεία Υδάτων του Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας το Δεκέμβριο του 2017 είχε ως αποτέλεσμα την άρση της αμεσιμότητας και την αρχειοθέτηση της καταδίκης της χώρας.

της χώρας με στόχο τη βέλτιστη αξιοποίηση των υδατικών πόρων και την προστασία των οικοσυστημάτων.

Η σύνταξη των πρώτων ΣΔΛΑΠ ανατέθηκε σε διαφορετικούς συμβούλους και συντονίστηκε από την ΕΓΥ (εξαιρουμένων των GR13/14 τα οποία συντάχθηκαν από την ΕΓΥ) με αποτέλεσμα να υπάρχουν κάποιες διαφορές όσον αφορά τις μεθοδολογίες και τα διαθέσιμα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν μεταξύ των διαφορετικών ομάδων των συμβούλων.

ΠΛΑΠ	Ημερομηνία έγκρισης του ΣΔΛΑΠ	Ημερομηνία υποβολής της έκθεσης* σχετικά με το ΣΔΛΑΠ
GR01	08/04/2013	13/09/2013
GR02	08/04/2013	13/09/2013
GR03	08/04/2013	13/09/2013
GR04	18/09/2014	05/12/2014
GR05	04/09/2013	28/01/2014
GR06	08/04/2013	05/09/2013
GR07	08/04/2013	05/09/2013
GR08	18/09/2014	05/12/2014
GR09	30/01/2014	25/09/2014
GR10	30/01/2014	25/09/2014
GR11	04/09/2013	19/03/2014
GR12	04/09/2013	12/02/2014
GR13	27/02/2015	16 /03/2016
GR14	17/09/2015	11/03/2016

Πίνακας 1 Έγκριση και υποβολή έκθεσης προς την Επιτροπή σχετικά με τα ΣΔΛΑΠ της Ελλάδας. (Πηγή: ΣΔΛΑΠ και Συμβούλιο Ανάπτυξης και Ανασυγκρότησης).

Ένα από τα νέα στοιχεία που εισήγαγε η Οδηγία είναι ότι για πρώτη φορά στην πολιτική της ΕΕ για το περιβάλλον, ένα νομικό κείμενο προτείνει οικονομικές αρχές και οικονομικά εργαλεία ως βασικά μέτρα για την επίτευξη συγκεκριμένων περιβαλλοντικών στόχων. Η χρήση οικονομικών εργαλείων που επιτάσσει η ΟΠΥ, στοχεύει στον περιορισμό της οποιασδήποτε υποβάθμισης των υδάτινων συστημάτων, στη βελτίωση της κατάστασής τους, και στην ανάκτηση του πλήρους κόστους υπηρεσιών νερού. Για τα δύο πρώτα η συνήθης προσέγγιση (σύμφωνα με την ΟΠΥ και την Ελληνική νομοθεσία) είναι η εξής: i) Προσδιορισμός πιέσεων για κάθε ΥΣ, ii) Προσδιορισμός επιπτώσεων, iii) Χαρακτηρισμός κατάστασης κάθε ΥΣ, iv) Καθορισμός του στόχου-κατάστασης στην οποία πρέπει να μεταβεί το κάθε ΥΣ, v) Καθορισμός των απαραίτητων μέτρων για την επίτευξη του στόχου, με ταυτόχρονη εξασφάλιση περιβαλλοντικής, οικονομικής και κοινωνικής βιωσιμότητας (SDG). Τα προτεινόμενα μέτρα δημοσιεύονται στα Σχέδια Διαχείρισης, χωρίς όμως να τυγχάνουν πάντα εφαρμογής. Η έλλειψη των απαραίτητων

επενδύσεων είναι το σύνθηρες εμπόδιο, παραπέμποντας στον τρίτο παράγοντα, την έννοια της ανάκτησης του πλήρους κόστους. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι αν η υπηρεσία παροχής εισπράττει το πλήρες κόστος του νερού, τότε θα μπορεί να χρησιμοποιήσει αυτά τα έσοδα για να αναβαθμίσει τις υπηρεσίες της, και να εφαρμόσει τα απαραίτητα μέτρα για τη βελτίωση της κατάστασης των ΥΣ.

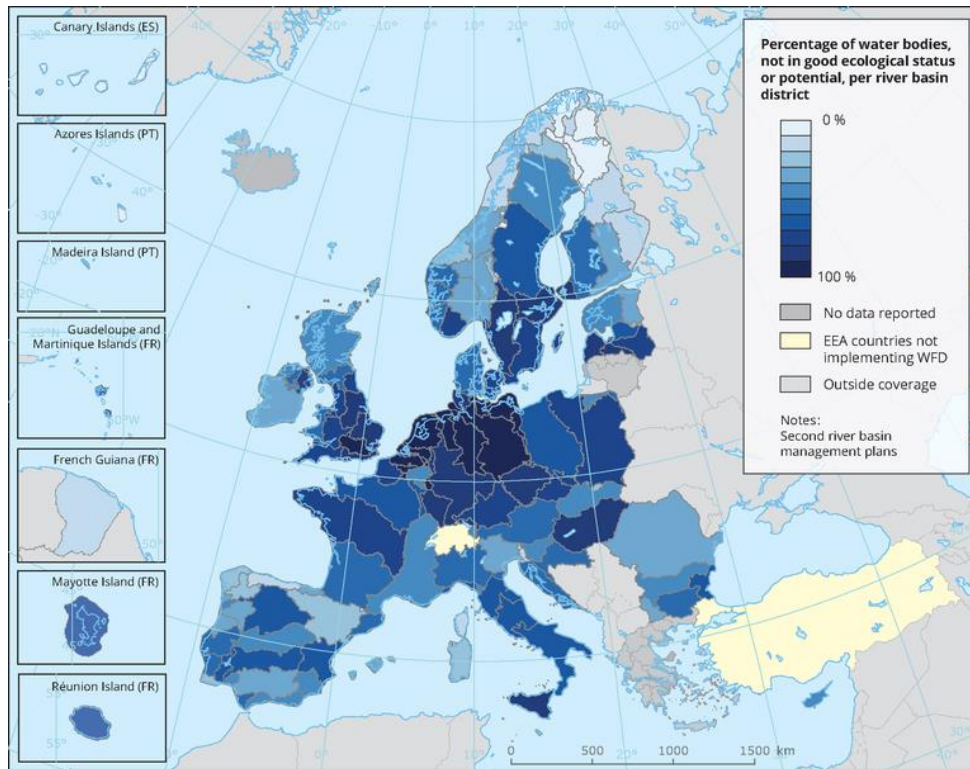
Η ανάκτηση κόστους δεν περιορίζεται στο άμεσο κόστος παροχής υπηρεσιών αλλά αναφέρεται και στα κόστη που σχετίζονται με τις αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Το Άρθρο 9.1 της Οδηγίας αναφέρεται στο συνολικό κόστος των υπηρεσιών νερού και καθιστά αναγκαία την αναλυτική εκτίμηση των συνιστωσών του, οι οποίες είναι:

- Το χρηματοοικονομικό (άμεσο) κόστος που περιλαμβάνει τα κόστη κεφαλαίου, λειτουργίας και συντήρησης των έργων, διαχειριστικά και διοικητικά κόστη και άλλα άμεσα οικονομικά κόστη (π.χ. επενδύσεων).
- Το κόστος των φυσικών πόρων, το οποίο αντιπροσωπεύει την απώλεια οφέλους λόγω του περιορισμού των διαθέσιμων υδατικών πόρων σε βαθμό μεγαλύτερο από το φυσικό ρυθμό ανανέωσης τους (WATECO, 2002). Με τη νεότερη, διευρυμένη ερμηνεία, το κόστος φυσικών πόρων αντιπροσωπεύει το κόστος ευκαιρίας από την κατανομή του νερού υπό συνθήκες έλλειψης στις επιμέρους χρήσεις, συνδέοντας το έτσι με τη μη οικονομικά αποδοτική χρήση, τόσο χωρικά όσο και σε διαφορετικές χρονικές στιγμές.
- Το περιβαλλοντικό κόστος αντιπροσωπεύει το κόστος από τις επιπτώσεις που προκαλούν οι χρήσεις νερού στο περιβάλλον και τα υδάτινα οικοσυστήματα (υποβάθμιση φυσικών πόρων). Ο ορισμός που προτάθηκε από το WATECO (2002) περιλαμβάνει εκτός από τις επιπτώσεις στο περιβάλλον, και τις επιπτώσεις στους χρήστες (π.χ. αναψυχή, επιπτώσεις στην υγεία, αυξημένα κόστη επεξεργασίας νερού λόγω αυξημένων συγκεντρώσεων νιτρικών από γεωργικές δραστηριότητες κλπ.).

Εισάγεται λοιπόν η έννοια της κοστολόγησης του νερού, σύμφωνα με την πλήρη αξία του. Αυτή με τη σειρά της θα δώσει τη σκυτάλη στην τιμολόγησή του, ένα από τα κύρια οικονομικά εργαλεία της Διαχείρισης Υδατικών Πόρων σήμερα, για τη δημιουργία κινήτρων εξοικονόμησης του πόρου. Αυτή η προσέγγιση της Οδηγίας δημιούργησε μία σειρά νέων προκλήσεων για τη γενικότερη χρήση οικονομικών μέσων, καθώς το νερό δεν είναι ένα οικονομικό αγαθό όπως τα υπόλοιπα λόγω του ότι αποτελεί εξαντλήσιμο περιβαλλοντικό αγαθό, με έντονα κοινωνικό χαρακτήρα.

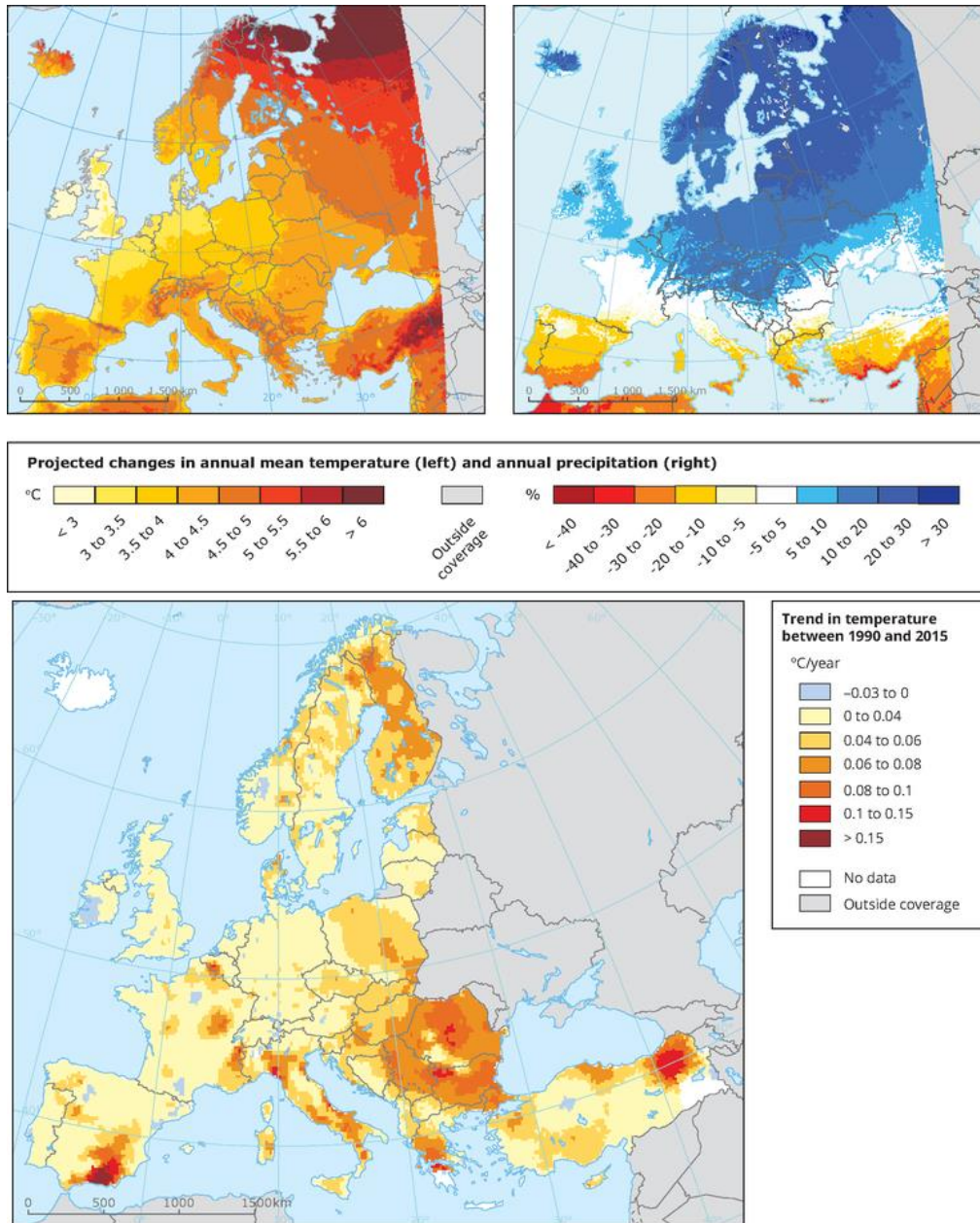
Η κατάσταση στην Ευρώπη

Σύμφωνα με το European Environmental Protection Agency (EEPA, 2018;2019), η Ευρώπη ήδη αντιμετωπίζει προκλήσεις ως προς την ποσοτική και ποιοτική κατάσταση των υδάτων, αλλά και ως προς τη μελλοντική αύξηση της ζήτησης, σε συνδυασμό με τη γενική αύξηση θερμοκρασίας και μείωση κατακρημνισμάτων που προβλέπεται λόγω κλιματικής αλλαγής.



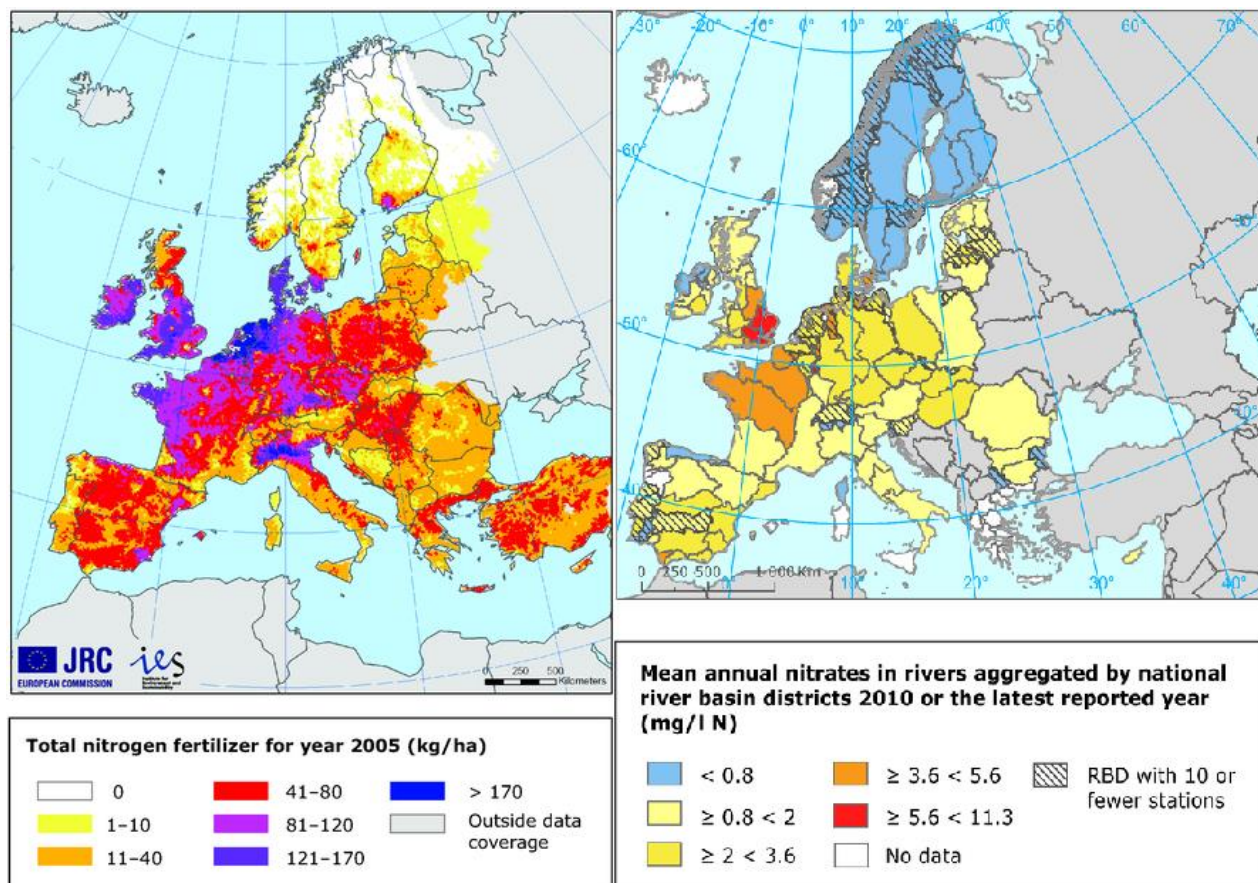
Εικόνα 1. Ποσοστά υδάτινων σωμάτων που δεν είναι σε καλή οικολογική κατάσταση (EEPA, 2019).

Η Εικόνα 1 είναι ενδεικτική της γενικότερης «μέτριας» οικολογικής κατάστασης στην Ευρώπη. Η επόμενη Εικόνα δείχνει τις τάσεις επιδείνωσης της κατάστασης, με την έννοια της ποσοτικής ανεπάρκειας και αύξησης της ζήτησης λόγω μελλοντικής μείωσης βροχοπτώσεων (στο νότιο τμήμα) και αύξησης θερμοκρασίας (επάνω), καθώς και την ήδη παρατηρημένη τάση στη μέση ετήσια θερμοκρασία (κάτω). Γίνεται αντιληπτό ότι η Ελλάδα ήδη βρίσκεται στην πιο ξηρή ζώνη.



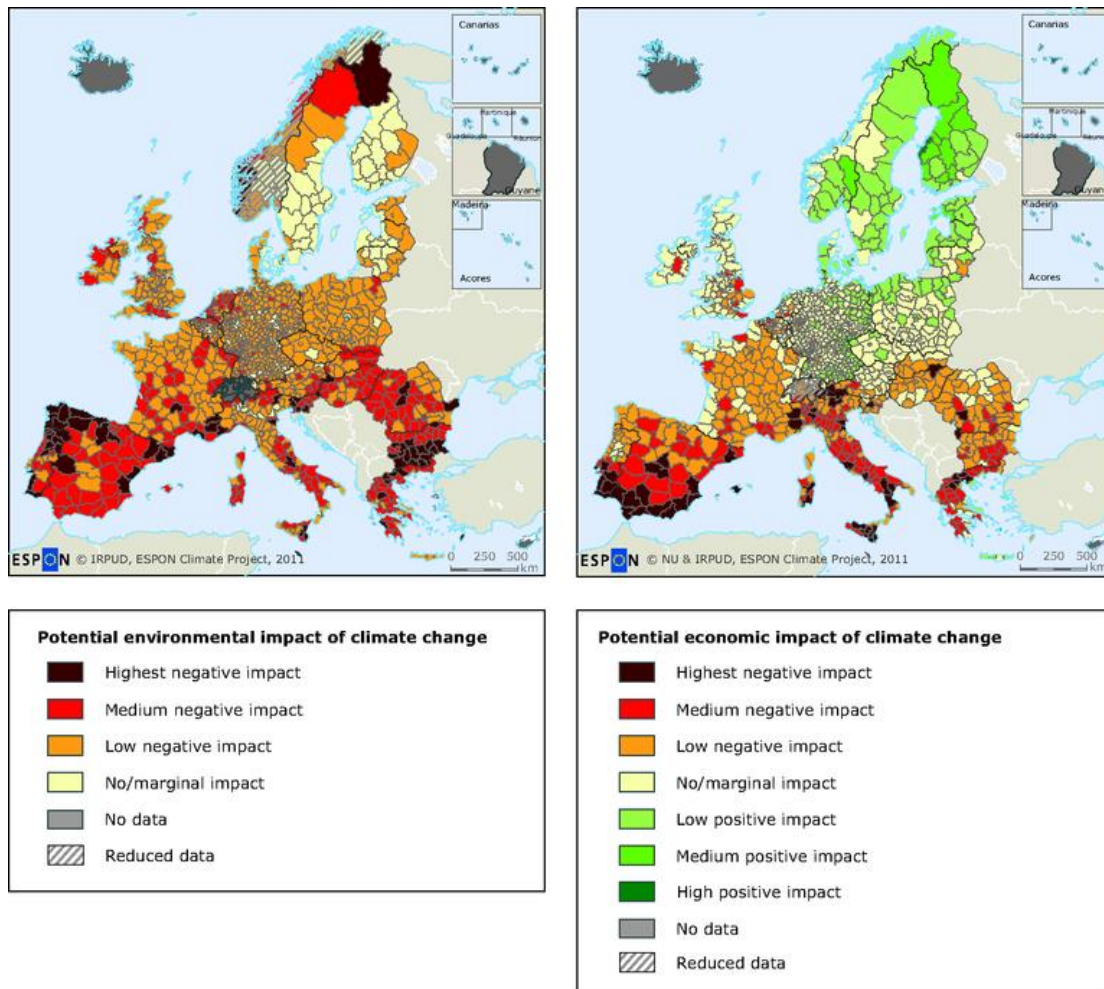
Εικόνα 2. Προβολές θερμοκρασίας και βροχόπτωσης κατά τα έτη 2071-2100 σύμφωνα με τα αποτελέσματα του προγράμματος CORDEX (επάνω) και παρατηρημένη τάση αλλαγής θερμοκρασίας της ιστορικής περιόδου 1990-2015 (κάτω) (προσαρμοσμένο από ΕΕΡΑ, 2018).

Αναφορικά με τη γενική εικόνα που επικρατεί στην ποιοτική υποβάθμιση των Ευρωπαϊκών ΥΣ, η επόμενη Εικόνα παρουσιάζει ενδεικτικές τιμές χρήσης Αζωτούχων λιπασμάτων (N) σε κιλά ανά εκτάριο και συγκεντρώσεις εντοπισμού αντίστοιχων ουσιών σε ποτάμια ΥΣ. Η κατανομή εμφανίζει συσχέτιση (παρόλη τη διαφορά πέντε ετών) και το ΕΕΡΑ τονίζει ακριβώς ότι σε βάθος χρόνου δεν έχουν πραγματοποιηθεί σημαντικές βελτιώσεις.



Εικόνα 3. Χρήση αζωτούχων λιπασμάτων ανά έκταση (αριστερά) και μετρηθείσες συγκεντρώσεις νιτρικών σε ποτάμια ΥΣ (δεξιά).

Σε γενικό πλαίσιο, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των αλλαγών στη βροχοπτώση, τις μέρες βροχοπτώσεων, τη μέση ετήσια θερμοκρασία, τις καλοκαιρινές μέρες, τις ημέρες παγετού, τις ημέρες χιονοκάλυψης, τη μέση ετήσια εξάτμιση, τη διάβρωση του εδάφους, την περιεκτικότητα σε οργανικό άνθρακα στο έδαφος, τις προστατευόμενες φυσικές περιοχές και τις δασικές πυρκαγιές ευαίσθησία, αποτυπώνονται στο αριστερό τμήμα της επόμενης Εικόνας. Στο δεξί απεικονίζονται οι οικονομικές συνέπειες (ενεργειακή προσφορά και ζήτηση, κύριες οικονομικές δραστηριότητες), σύμφωνα με το ΕΕΡΑ (2018).



Εικόνα 4. Περιβαλλοντικές συνέπειες (αριστερά) και οικονομικές συνέπειες (δεξιά) της κλιματικής αλλαγής (EEPA, 2018).

Η Ελλάδα ανήκει στις μεσαίες-υψηλές κατηγορίες επιπτώσεων, και στις δύο κατηγορίες. Η γενική εικόνα της Ευρώπης είναι επίσης αποθαρρυντική για τη συνέχιση των ίδιων πρακτικών. Όπως προαναφέρθηκε, οι αγροτικο-κτηνοτροφικές δραστηριότητες αποτελούν σημαντική πίεση, άρα η προσέγγιση μιας Ολοκληρωμένης ΔΥΠ είναι αναγκαία. Η χρήση τεχνικών μέτρων και οικονομικών εργαλείων, όπως αναλύθηκε στην προηγούμενη ενότητα, κατά τις επιταγές της ΟΠΥ, συνεχίζει να αποτελεί πρόκληση.

Στο αγροτικό νερό, στις περιπτώσεις που δε μετράται η ποσότητα κατανάλωσης, εκ πρώτης όψεως δεν υπάρχει σαφής βάση για τον καθορισμό μιας τιμής αγοράς (Akinsete et al., 2019). Οι χρήστες συνήθως πληρώνουν μόνο τα ιδιωτικά κόστη πρόσβασης στις υπηρεσίες παροχής ύδατος, χωρίς να χρεώνεται αυτή καθαυτή η χρήση του (εξαντλήσιμου) πόρου.

Συνήθως η βάση του συστήματος κοστολόγησης βρίσκεται στην ανάκτηση του χρηματοοικονομικού κόστους. Η κατανομή του κόστους κεφαλαίου της εταιρείας παροχής νερού

πραγματοποιείται με διάφορους τρόπους. Παραδείγματος χάρι, στην Ισπανία η κατανομή του κόστους πραγματοποιείται στη βάση συντελεστών, οι οποίοι λαμβάνουν υπόψη, μεταξύ άλλων, και το θεωρητικό οικονομικό όφελος από τη χρήση νερού (Escriva-Bou et al., 2017). Στην Κύπρο αντίθετα, η κατανομή του κόστους κεφαλαίου βασίζεται στη μακρόχρονη χρήση της υποδομής, δηλαδή στην ποσότητα που καταναμιήθηκε σε κάθε χρήση καθ' όλη τη διάρκεια λειτουργίας κάθε έργου (Sofroniou and Bishop, 2014), ενώ η κατανομή μπορεί να πραγματοποιηθεί και όπως στην περίπτωση του λειτουργικού κόστους, δηλαδή ανάλογα με την ετήσια ποσότητα νερού που καταναμιήθηκε σε κάθε χρήση.

Όσον αφορά τα κόστη φυσικού πόρου και περιβαλλοντικό, οι δυσκολίες στην εφαρμογή των ορισμών και των εννοιολογικών τους προεκτάσεων, οδήγησαν ακόμη και στο Δικαστήριο της Ευρωπαϊκής Ένωσης, με τη διαμάχη το 2014 μεταξύ της Γερμανίας με την Επιτροπή (Borrego-Marín et al., 2016). Έπειτα, η Γερμανία υιοθέτησε σύστημα παρακολούθησης επιφανειακών υδάτων με στόχο τη μείωση του κόστους φυσικού πόρου και του περιβαλλοντικού κόστους (Arle et al., 2016). Η Γαλλία επίσης συμμερίζεται την παραπάνω άποψη (Feuillette et al., 2016) και ενισχύει την απαίτηση για αναδιαμόρφωση της Οδηγίας λόγω των δυσκολιών εφαρμογής της (Hering et al., 2010). Γενικότερα, μέχρι πρόσφατα είναι ελάχιστες οι εφαρμογές αυστηρών οικονομικών μεθοδολογιών κοστολόγησης στην Ευρώπη. Οι Balana et al. (2011) και οι Martin-Ortega et al. (2015) τονίζουν αυτό το φαινόμενο στην ανασκόπηση που πραγματοποίησαν. Επίσης διαπιστώνουν ότι στα περισσότερα Κράτη-μέλη δεν έχει αλλάξει η σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας (Άρθρο 11 και Άρθρο 4) των μέτρων που εφαρμόζονται για την κοστολόγηση του νερού πριν και μετά την εφαρμογή της Οδηγίας 2000/60. Από την άλλη πλευρά, το Ηνωμένο Βασίλειο και η Ολλανδία είναι σταθεροί υποστηρικτές της εντατικής χρήσης εργαλείων οικονομικής ανάλυσης στη διαχείριση των υδάτων και έχουν σημειώσει σημαντική πρόοδο σε αυτόν τον τομέα, κυρίως όμως μέσω της διατήρησης χαμηλών επιπέδων κόστους νερού μέσω ελέγχου, παρά μέσω κάποιας μεθοδολογίας εκτίμησής τους (Edens and Graveland, 2014).

Στις μεσογειακές χώρες, όπου η χρήση αρδευτικού νερού είναι αυξημένη και συχνά παρατηρείται υπερεκμετάλλευση των υδατικών πόρων για την ικανοποίηση των γεωργικών αναγκών σε νερό, δεν έχει παρατηρηθεί ακόμη κάποια εφαρμογή των επιταγών της Οδηγίας (De Stefano, 2010). Οι μέθοδοι αποτίμησης του κόστους νερού είναι δύσκολο να εφαρμοστούν, καθώς απαιτούν μια χρηματική αποτίμηση των οφελών της καλής οικολογικής κατάστασης, προκειμένου να συγκριθούν με τη ζημία (Berbel et al., 2011). Έτσι, χρησιμοποιούνται συστήματα κοστολόγησης που βασίζονται σε δείκτες αποτελεσματικής χρήσης των πόρων, ενώ εμπόδιο αποτελεί και το σύστημα τιμολόγησης, όπου συνήθως γίνεται με βάση την καλλιεργούμενη έκταση (Toan, 2016).

Η κατάσταση στην Ελλάδα

Σύμφωνα με την αξιολόγηση της Επιτροπής των πρώτων ΣΔΛΑΠ της Ελλάδας⁴, το 49% της οικολογικής κατάστασης των φυσικών συστημάτων επιφανειακών υδάτων είναι σε υψηλή ή καλή κατάσταση (8% και 41% αντίστοιχα), το 16% είναι σε μέτρια κατάσταση, το 9 % σε ελλιπή και κακή κατάσταση (8% και 1% αντίστοιχα), ενώ το 27% παραμένει σε άγνωστη κατάσταση. Οι GR08 και GR09 παρουσιάζουν το υψηλότερο ποσοστό υδατικών συστημάτων σε ελλιπή και κακή κατάσταση (40% και 25% αντίστοιχα).

ΠΑΑΠ	Σύνολο	Υψηλή		Καλή		Μέτρια		Ελλιπής		Κακή		Άγνωστη	
		Αριθ.	(%)	Αριθ.	(%)	Αριθ.	(%)	Αριθ.	(%)	Αριθ.	(%)	Αριθ.	(%)
GR01	109	9	8 %	51	47 %	10	9 %	4	4 %	0	0 %	35	32 %
GR02	88	13	15 %	27	31 %	8	9 %	5	6 %	0	0 %	35	40 %
GR03	89	10	11 %	20	22 %	23	26 %	6	7 %	0	0 %	30	34 %
GR04	101*	3*	3 %*	82*	81 %*	13*	13 %*	1*	1 %*	0*	0 %*	2*	2 %*
GR05	90	10	11 %	66*	73 %*	10	11 %	0	0 %	0	0 %	4*	5 %*
GR06	25	2	8 %	6	24 %	7	28 %	4	16 %	1	4 %	5	20 %
GR07	96	12	13 %	38	40 %	17	18 %	7	7 %	3	3 %	19	20 %
GR08	70*	5*	7 %*	11*	16 %*	19*	27 %*	28*	40 %*	0*	0 %*	7*	10 %*
GR09	128*	3	2 %	47	37 %*	20	16 %	27*	21 %*	5	4 %	26	20 %*
GR10	108	7	6 %	38	35 %	7	6 %	20	19 %	1	1 %	35	32 %
GR11	66	0	0 %	13	20 %	31	47 %	3	5 %	0	0 %	19	29 %
GR12	166	4	2 %	81	49 %	45	27 %	11	7 %	0	0 %	25	15 %
GR13	130	20	15 %	26	20 %	15	12 %	2	2 %	0	0 %	71	55 %
GR14	158	14	9 %	74	47 %	2	1 %	0	0 %	0	0 %	68	43 %
Σύνολο	1 424	112	8 %	580	41 %	227	16 %	118	8 %	10	1 %	381	27 %

Πίνακας 2. Οικολογική κατάσταση φυσικών συστημάτων επιφανειακών υδάτων (Πηγή: WISE, *διορθώσεις/προσθήκες που υπέβαλε η ελληνική πλευρά στα τέλη του 2014).

Όσον αφορά στη χημική κατάσταση των φυσικών συστημάτων επιφανειακών υδάτων που παρουσιάζεται στα ΣΔΛΑΠ, το 23 % είναι σε καλή κατάσταση, το 6% σε ελλιπή κατάσταση, ενώ το 71 % παραμένει σε άγνωστη κατάσταση.

⁴ SWD, 2015. 54 draft, 17.07.2018.

ΠΛΑΠ	Σύνολο	Καλή		Ελλιπής		Άγνωστη	
		Αριθ.	%	Αριθ.	%	Αριθ.	%
GR01	109	10	9 %	5	5 %	94	86 %
GR02	88	5	6 %	3	3 %	80	91 %
GR03	89	6	7 %	18	20 %	65	73 %
GR04	101*	72*	71 %*	0*	0 %*	29*	29 %*
GR05	90	54	60 %	0	0 %	36	40 %
GR06	25	6	24 %	0	0 %	19	76 %
GR07	96	34	35 %	2	2 %	60	63 %
GR08	70*	25*	36 %*	5*	7 %*	40*	57 %*
GR09	128*	50*	39 %*	9	7 %	69*	54 %*
GR10	108	43	40 %	12	11 %	53	49 %
GR11	66	8	12 %	9	14 %	49	74 %
GR12	166	4	2 %	22	13 %	140	84 %
GR13	134	3	2 %	0	0 %	131	98 %
GR14	158	2	1 %	0	0 %	156	99 %
Σύνολο	1 428	322	23 %	85	6 %	1021	71 %

Πίνακας 3. Χημική κατάσταση φυσικών συστημάτων επιφανειακών υδάτων (Πηγή: WISE *διορθώσεις/προσθήκες που υπέβαλε η ελληνική πλευρά στα τέλη του 2014).

Η χημική κατάσταση των συστημάτων υπόγειων υδάτων που παρουσιάζονται στα ΣΔΛΑΠ καταδεικνύει ότι το 83% είναι σε καλή κατάσταση και το 17% σε ελλιπή. Οι κύριοι ρύποι που ευθύνονται για την αποτυχία επίτευξης καλής χημικής κατάστασης είναι κυρίως οι χλωριούχες ενώσεις, οι νιτρικές ενώσεις, η αγωγιμότητα και οι θεικές ενώσεις, ακολουθούμενες από το αργίλιο, τον μόλυβδο, το χρώμιο, το νικέλιο και το αρσενικό.

Όσον αφορά στην ποσοτική κατάσταση των υπόγειων υδατικών συστημάτων, το 82% είναι σε καλή κατάσταση και το 18% σε ελλιπή. Ο λόγος για την μη επίτευξη καλής ποσοτικής κατάστασης είναι ότι ο μακροπρόθεσμος ετήσιος μέσος όρος άντλησης υπερβαίνει τον διαθέσιμο πόρο υπόγειων υδάτων, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε μείωση των επιπέδων των υπόγειων υδάτων και διείσδυση θαλασσινού νερού.

ΠΛΑΠ	Καλή		Ελλιπής		ΠΛΑΠ	Καλή		Ελλιπής	
	Αριθ.	%	Αριθ.	%		Αριθ.	%	Αριθ.	%
GR01	24	92,3 %	2	7,7 %	GR01	24	92,3 %	2	7,7 %
GR02	22	84,6 %	4	15,4 %	GR02	24	92,3 %	2	7,7 %
GR03	17*	63 %*	10*	37 %*	GR03	22	81,5	5	18,5 %
GR04	24*	96 %*	1*	4 %*	GR04	23*	92 %*	2*	8 %*
GR05	25	96,2 %	1	3,8 %	GR05	25	96,2 %	1	3,8 %
GR06	13	54,2 %	11	45,8 %	GR06	15	62,5 %	9	37,5 %
GR07	40	87 %	6	13 %	GR07	41	89,1 %	5	10,9 %
GR08	28*	87,5 % *	4*	12,5 % *	GR08	22*	68,8 %*	10*	31,2 % *
GR09	58	93,5 %	4	6,5 %	GR09	48	77,4 %	14	22,6 %
GR10	31	79,5 %	8	20,5 %	GR10	28	71,8 %	11	28,2 %
GR11	14	93,3 %	1	6,7 %	GR11	14	93,3 %	1	6,7 %
GR12	14	77,8 %	4	22,2 %	GR12	18	100 %	0	0
GR13	82	90,1	9	9,9	GR13	81	89	10	11
GR14	81	71,7	32	28,3	GR14	80	70,8	33	29,2
Σύνολο	473	83 %	97	17 %	Σύνολο	465	82 %	105	18 %

Πίνακας 4. Χημική (αριστερά) και ποσοτική (δεξιά) κατάσταση συστημάτων υπόγειων υδάτων. (Πηγή: WISE *διορθώσεις/προσθήκες που υπέβαλε η ελληνική πλευρά στα τέλη του 2014)

Επισημαίνεται ότι το εθνικό δίκτυο παρακολούθησης δεν είχε τεθεί σε λειτουργία κατά τη στιγμή της συλλογής των δεδομένων για τους σκοπούς των ΣΔΛΑΠ με αποτέλεσμα τα διαθέσιμα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την ταξινόμηση να είναι αρκετά περιορισμένα. Συγκεκριμένα, τα στοιχεία για την κατάρτιση των ΣΔΛΑΠ συλλέχθηκαν από το Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής, το Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων, τις Διευθύνσεις Υδάτων των Περιφερειών, καθώς και μέσω των σχετικών μελετών και ερευνών και ήταν αποσπασματικά. Το Εθνικό Δίκτυο Παρακολούθησης της ποιοτικής και ποσοτικής κατάστασης των υδάτων διαμορφώθηκε, μετά από μια μεγάλη περίοδο συζητήσεων με τους αρμόδιους Φορείς, το Σεπτέμβριο του 2011, με την ΚΥΑ 140384/2011. Περιλαμβάνει συνολικά 2008 σταθμούς παρακολούθησης, από τους οποίους οι 616 βρίσκονται σε επιφανειακά και οι 1392 σε υπόγεια ύδατα. Επιπλέον, στα πλαίσια εφαρμογής της Οδηγίας 2007/60 για την αξιολόγηση και διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας, η οποία ενσωματώθηκε στην εθνική νομοθεσία με την Κ.Υ.Α. 31822/1542/Ε103/2010 (ΦΕΚ 1108 Β'/2010) όπως τροποποιήθηκε και ισχύει, σε κάθε υδατικό διαμέρισμα και για τις ζώνες δυνητικά υψηλού κινδύνου πλημμύρας καταρτίστηκαν σχέδια διαχείρισης κινδύνων πλημμύρας με βάση τους χάρτες επικινδυνότητας και τους χάρτες κινδύνων πλημμύρας.

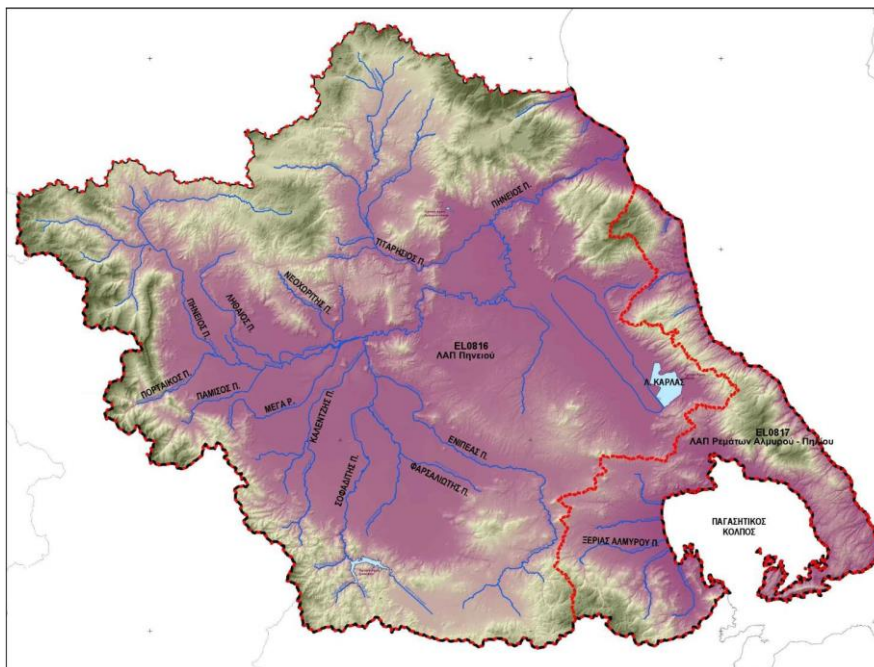
Τέλος, η οικονομική πλευρά της ΟΠΥ, αποτέλεσε ιδιαίτερη πρόκληση και ως προς τον υπολογισμό των συνιστωσών του πλήρους κόστους, και ως προς την εφαρμογή του μέτρου. Το χρηματοοικονομικό κόστος αποτελείται από τα κόστη κεφαλαίου, συντήρησης και λειτουργίας,

επενδύσεων, και λοιπά άμεσα κόσθη. Συνήθως τα έξοδα αυτά υπολογίζονται με τιμές μονάδας, βάση προμέτρησης ποσοτήτων ή με τελικούς πίνακες δαπανών, βάση των απαιτούμενων πληρωμών. Εφόσον υπάρχουν και τηρούνται τα απαραίτητα στοιχεία, η εκτίμηση του άμεσου κόστους, είναι βασισμένη στις αρχές της λογιστικής και των χρηματοοικονομικών, ενώ συνήθως είναι και το μόνο μέρος του κόστους (ή το μέγιστο) που ανακτάται στην περίπτωση του αρδευτικού νερού (ΥΠΕΚΑ, 2013).

Το ΥΠΕΚΑ στην Ελλάδα εξισώνει το κόστος φυσικού πόρου και το περιβαλλοντικό με το «κόστος σχετικών μέτρων» που απαιτούνται για να φτάσουν τα Υδάτινα Σώματα (ΥΣ) στην καλή κατάσταση. Αρχικά εξετάστηκαν μέτρα όπως η αφαλάτωση, η μεταφορά νερού, η τεχνητή ή και φυσική αναπλήρωση υπόγειου υδροφορέα, και η δημιουργία ταμιευτήρα, ενώ σπανιότερα έχουν προσεγγιστεί ως διαφυγόντα κέρδη από άλλες ανταγωνιστικές χρήσεις (Giannopoulou et al., 2017). Η έννοια των «σχετικών μέτρων» θεωρεί γενικότερα όλες εκείνες οι ενέργειες που θα βελτιώσουν την ποσότητα και την ποιότητα των ΥΣ (συμπεριλαμβανομένων και των προγραμμάτων εκπαίδευσης και ενημέρωσης). Αυτά τα μέτρα κοστολογούνται με εκτιμήσεις των μελετητών, και το συνολικό κόστος κατανέμεται ποσοστιαία σε κάθε χρήση νερού (Αλαμάνος, 2019). Οι κατευθύνσεις του ΥΠΕΚΑ για την εφαρμογή των γενικών κανόνων κοστολόγησης υπηρεσιών ύδατος αφήνουν μεγάλη ελευθερία στους τοπικούς παρόχους νερού να προσαρμόσουν κατάλληλα τα μέτρα που θα κρίνουν ορθότερα, και να τα κοστολογήσουν αναλόγως. Σε αυτό το σημείο εντοπίζονται αδυναμίες στην εφαρμογή, καθώς οι ίδιοι οι πάροχοι πολλές φορές δεν είναι προετοιμασμένοι να αναλάβουν αυτή την αρμοδιότητα.

Περιοχή μελέτης: Υδατικό Διαμέρισμα Θεσσαλίας (EL08 ή GR08)

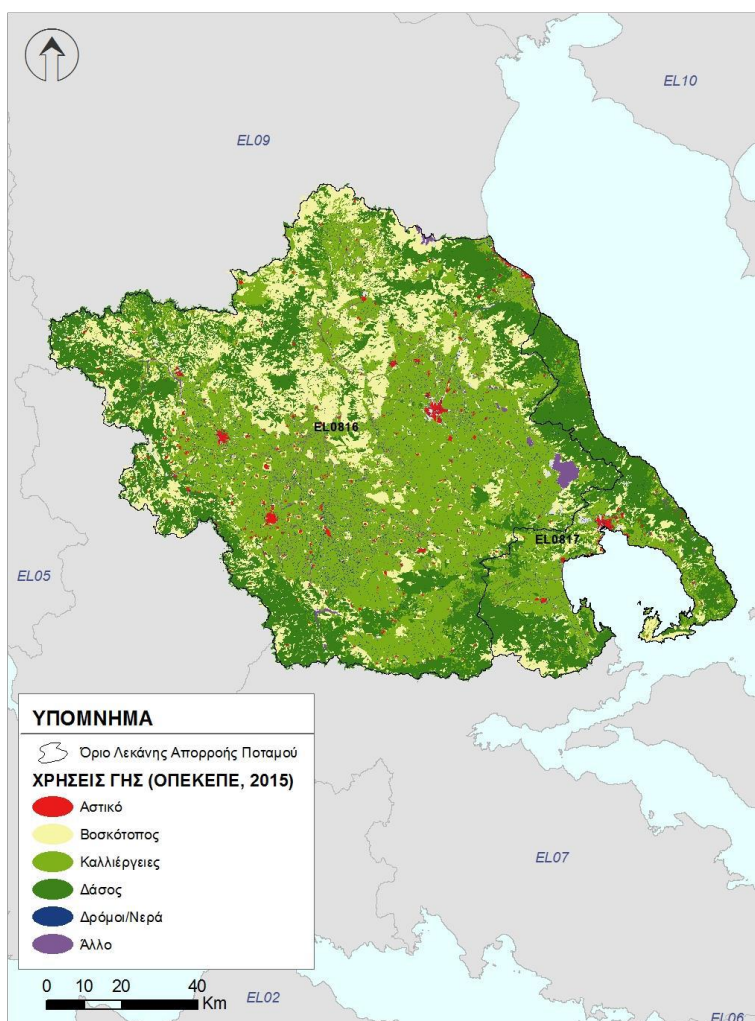
Το ΥΔ Θεσσαλίας στα Σχέδια Διαχείρισης Λεκανών Απορροής έχει χωριστεί σε δύο λεκάνες-περιοχές: Πηνειού (EL0816), έκτασης 11062 km² και ρεμάτων περιοχής Αλμυρού-Πηλίου (EL0817), έκτασης 2078 km². Η συνολική έκταση του ΥΔ είναι 13377 km².



Εικόνα 5. ΥΔ Θεσσαλίας, Διαχειριστικές περιοχές και κύρια ΥΣ (Πηγή: ΥΠΕΚΑ, 2017).

Όπως διακρίνεται και στην Εικόνα 5, τα ορεινά τμήματα βρίσκονται περιμετρικά και τα πεδινά στο κεντρικό τμήμα της περιοχής. Συνεπώς, οι υψηλότερες βροχοπτώσεις (>1100 mm/έτος) σημειώνονται στο περιμετρικό τμήμα του ΥΔ, ενώ το κεντρικό-πεδινό είναι πιο ξηρό (600-800 mm/έτος). Η μέση ετήσια θερμοκρασία κυμαίνεται από 16 ως 17°C, με ψυχρούς χειμώνες και θερμά καλοκαίρια (με θερμοκρασιακό εύρος μεγαλύτερο των 22°C). Αυτές οι συνθήκες δικαιολογούν και το μεγάλο όγκο απωλειών νερού με τη μορφή εξάτμισης, περί τα 6260 hm³ ετησίως – ίσο με το 60% της συνολικής μέσης ετήσιας βροχόπτωσης (Κουτσογιάννης κ.ά., 2008).

Το ΥΔ περιλαμβάνει 82 ΥΣ, εκ των οποίων τα 65 είναι ποτάμια της ΛΑΠ Πηνειού, τα 8 ποτάμια της ΛΑΠ Αλμυρού-Πηλίου, ενώ τα υπόλοιπα είναι λιμναία της ΛΑΠ Πηνειού και παράκτια της ΛΑΠ Αλμυρού-Πηλίου. Τα υπόγεια ΥΣ, σύμφωνα με τον επαναπροσδιορισμό τους από το αναθεωρημένο Σχέδιο Διαχείρισης, ανέρχονται σε 27 για τη ΛΑΠ Πηνειού (συνολική έκταση 10586 km²) και 6 για τη ΛΑΠ Αλμυρού-Πηλίου (συνολική έκταση 2118 km²).



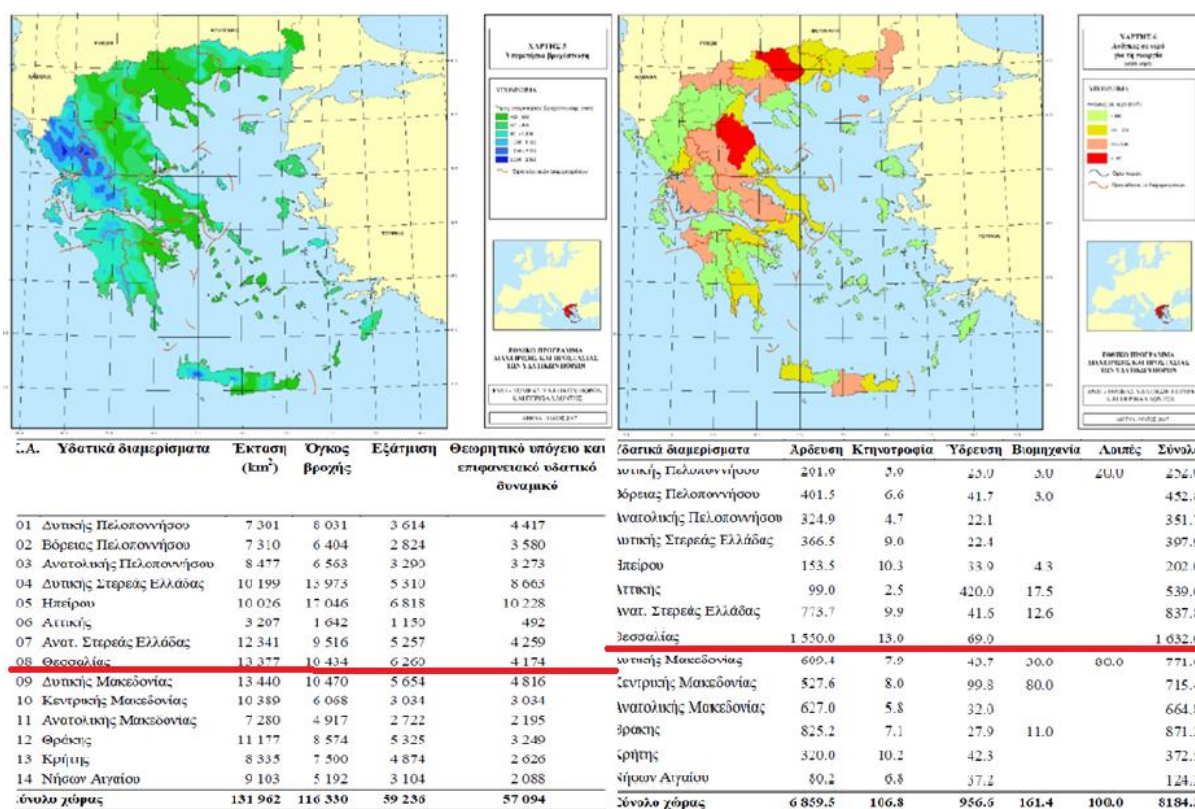
Εικόνα 6. ΥΔ Θεσσαλίας, κύριες χρήσεις γης (Πηγή: ΥΠΕΚΑ, 2017).

Στο χάρτη της Εικόνα 6 φαίνονται οι κυριότερες χρήσεις γης, σύμφωνα με τα δεδομένα του ΟΠΕΚΕΠΕ (2015). Η κατανομή των χρήσεων γης, καθώς και των κυρίαρχων καλλιεργειών την τελευταία δεκαετία δεν έχει αλλάξει σημαντικά, με εξαίρεση την τάση μείωσης των αγροτικών εκτάσεων και αντικατάστασής τους από βιομηχανικές και αστικές (Αλαμάνος, 2019). Περισσότερη από τη μισή έκταση καλύπτεται από αρδευόμενες εκτάσεις και βοσκότοπους, ενώ ακολουθούν οι δασικές εκτάσεις, και σε πολύ μικρότερα ποσοστά οι συγκοινωνίες/ΥΣ και αστικές εκτάσεις.

Παρόμοια κατανομή ακολουθούν και οι υδατικές απαιτήσεις, με την άρδευση να είναι ο μεγαλύτερος καταναλωτής νερού και ρυπαντής, αλλά και με τη μεγαλύτερη δυσκολία εναρμόνισης σε μια συστηματική οικονομική διαχείριση και έλεγχο. Κάθε πίεση αναλύεται ξεχωριστά στη συνέχεια, ακολουθώντας την προσέγγιση και τα δεδομένα των Σχεδίων Διαχείρισης.

Ποσοτική ανεπάρκεια – Υδατικό ισοζύγιο.

Παρόμοια κατανομή με τις χρήσεις γης ακολουθεί και η ζήτηση νερού. Η άρδευση να καταναλώνει ετησίως περίπου 1550 hm³ (92%), την ύδρευση 94 hm³/έτος (6,63%), την κτηνοτροφία 13 hm³/έτος (0,91%) και τη βιομηχανία 9 hm³/έτος (0,62%) (ΥΠΕΚΑ, 2017). Λαμβάνοντας υπόψη τα ανωτέρω, καθώς και τις μέσες ετήσιες τιμές βροχόπτωσης και εξάτμισης στο ΥΔ, φαίνεται ότι το υδατικό ισοζύγιό του από ανανεώσιμα ύδατα είναι κατ' εξακολούθηση ελλειμματικό (περίπου κατά 1650 hm³/έτος), οδηγώντας συχνά σε υπεράντληση των μόνιμων υπόγειων αποθεμάτων (Κουτσογιάννης κ.ά., 2008; Alamanos et al., 2019b). Στο αριστερό τμήμα της Εικόνα 7 φαίνεται η υπερετήσια (μέση) βροχόπτωση (χάρτης) και βασικές παράμετροι του υδρολογικού ισοζυγίου (πίνακας). Είναι προφανές ότι το ΥΔ Θεσσαλίας είναι από τα ξηρότερα, γεγονός που επιβεβαιώνεται και από τις χαμηλές τιμές βροχόπτωσης και τις υψηλές τιμές εξάτμισης σε σχέση με την έκτασή του, που επηρεάζουν το διαθέσιμο επιφανειακό και υπόγειο υδατικό δυναμικό του.



Εικόνα 7. ΥΔ Θεσσαλίας σε σχέση με τα υπόλοιπα ελληνικά ΥΔ (Προσαρμοσμένα από Κουτσογιάννης κ.ά., 2008).

Στη δεξιά τμήμα απεικονίζονται οι μέσες ετήσιες αρδευτικές ανάγκες (χάρτης) και οι υδατικές απαιτήσεις ανά χρήση νερού (πίνακας), και φαίνεται ότι η Θεσσαλία καταναλώνει τις μεγαλύτερες ποσότητες αρδευτικού νερού στη χώρα με διαφορά. Οι υδατικές απαιτήσεις

καλύπτονται από επιφανειακά ύδατα κατά 24% ενώ για το υπόλοιπο 76% των αναγκών αντλούνται τα υπόγεια αποθέματα μέσω νόμιμων ή παράτυπων γεωτρήσεων (ΥΠΕΚΑ, 2017). Η αστική ζήτηση καλύπτεται εξ' ολοκλήρου από υπόγεια ύδατα.

Αναλυτικοί πίνακες με την ένταση απολήψεων από κάθε ΥΣ, υπάρχουν στο αναθεωρημένο Σχέδιο Διαχείρισης (ΥΠΕΚΑ, 2017). Ενδεικτικά όμως αναφέρεται ότι όλα τα επιφανειακά ΥΣ χρησιμοποιούνται με σκοπό την άρδευση και το 32% περίπου αυτών δέχεται μεσαία-υψηλή ένταση απολήψεων. Όσον αφορά τα υπόγεια ΥΣ, τα 9 από τα 27 (33%) βρίσκονται υπό καθεστώς υπερεκμετάλλευσης (φυσική εκφόρτιση, μεγάλη πτώση στάθμης λόγω άντλησης μόνιμων αποθεμάτων), όπου δικαιολογεί και το χαρακτηρισμό της κατάστασής τους ως «κακής ποσοτικά». Το εντόνως ελλειμματικό υδατικό ισοζύγιο λοιπόν τόσο συνολικά, όσο και σε επιμέρους ΥΣ, αποτελεί σημαντική πίεση. Το ΥΔ υφίσταται ιστορικά αυτήν την πίεση, όπως φαίνεται και στην επόμενη Εικόνα, βάση ενδεικτικών δεδομένων για περίοδο 10-ετίας.

Κ.Α. Υδατικά διαμερίσματα	Προσφορά	Ζήτηση	Παρατηρήσεις
01 Δυτικής Πελοποννήσου	73	55	Πλεονασματικό
02 Βόρειας Πελοποννήσου	122	104	Πλεονασματικό
03 Ανατολικής Πελοποννήσου	56	67	Ελλειμματικό
04 Δυτικής Στερεάς Ελλάδας	417	82	Πλεονασματικό
05 Ηπείρου	206	39	Πλεονασματικό
06 Αττικής	64	64	Οριακά πλεονασματικό ⁽¹⁾
07 Ανατ. Στερεάς Ελλάδας	128	176	Ελλειμματικό ⁽²⁾
08 Θεσσαλίας	223	337	Ελλειμματικό
09 Δυτικής Μακεδονίας	159	136	Πλεονασματικό
10 Κεντρικής Μακεδονίας	137	130	Οριακά πλεονασματικό
11 Ανατολικής Μακεδονίας	354	132	Πλεονασματικό
12 Θράκης	424	253	Πλεονασματικό
13 Κρήτης	130	133	Οριακά ελλειμματικό ⁽³⁾
14 Νήσων Αιγαίου	7	25	Ελλειμματικό
Σύνολο χώρας	2 500	1 733	

⁽¹⁾ Οι υδατικοί πόροι είναι κατά βάση μεταφερόμενοι από γειτονικά διαμερίσματα.
⁽²⁾ Οι αρδευόμενες εκτάσεις κατά ΕΣΥΕ φαίνονται υπερεκτιμημένες και γι' αυτό, το διαμέρισμα, ενώ έχει σήμερα οριακά επαρκείς πόρους, εμφανίζεται ως έντονα ελλειμματικό.
 Μεγέθη σε hm³. Πηγή: Κουτσογιάννης κ.ά. (2008)

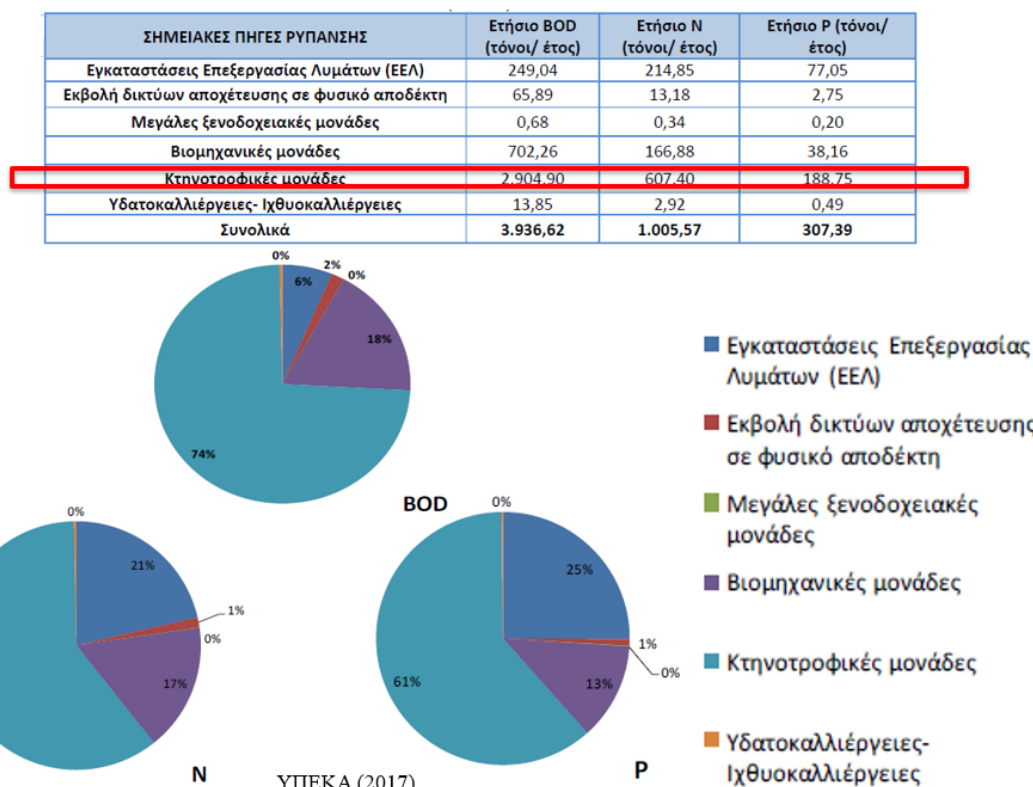


Εικόνα 8. Υδατικό ισοζύγιο ΥΔ Θεσσαλίας σε σχέση με τα υπόλοιπα ελληνικά ΥΔ, και ανάλυση συνιστωσών προσφοράς – ζήτησης (κατανάλωσης), και κάλυψης υδατικών αναγκών.

Ποιοτική υποβάθμιση – σημειακή ρύπανση.

Οι σημειακές πηγές ρύπανσης που παράγουν συμβατικούς ρύπους (BOD, N, P) αφορούν Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων (ΕΕΛ), Εκβολή δικτύων αποχέτευσης σε φυσικό αποδέκτη, Μεγάλες ξενοδοχειακές μονάδες, Βιομηχανικές μονάδες, Κτηνοτροφικές μονάδες, Υδατοκαλλιέργειες – Ιχθυοκαλλιέργειες, και Διαρροές από ΧΑΔΑ και ΧΥΤΑ. Η κτηνοτροφία είναι η μεγαλύτερη πίεση αναφορικά με τις ετήσιες εκπομπές ρύπων καθώς είναι υπεύθυνη για το 74% του συνολικού BOD, το 60,4% του συνολικού N, και το 62% του συνολικού P (Εικόνα 9). Βιομηχανία και ΕΕΛ ακολουθούν, ενώ οι υπόλοιπες πηγές ευθύνονται για πολύ μικρότερα

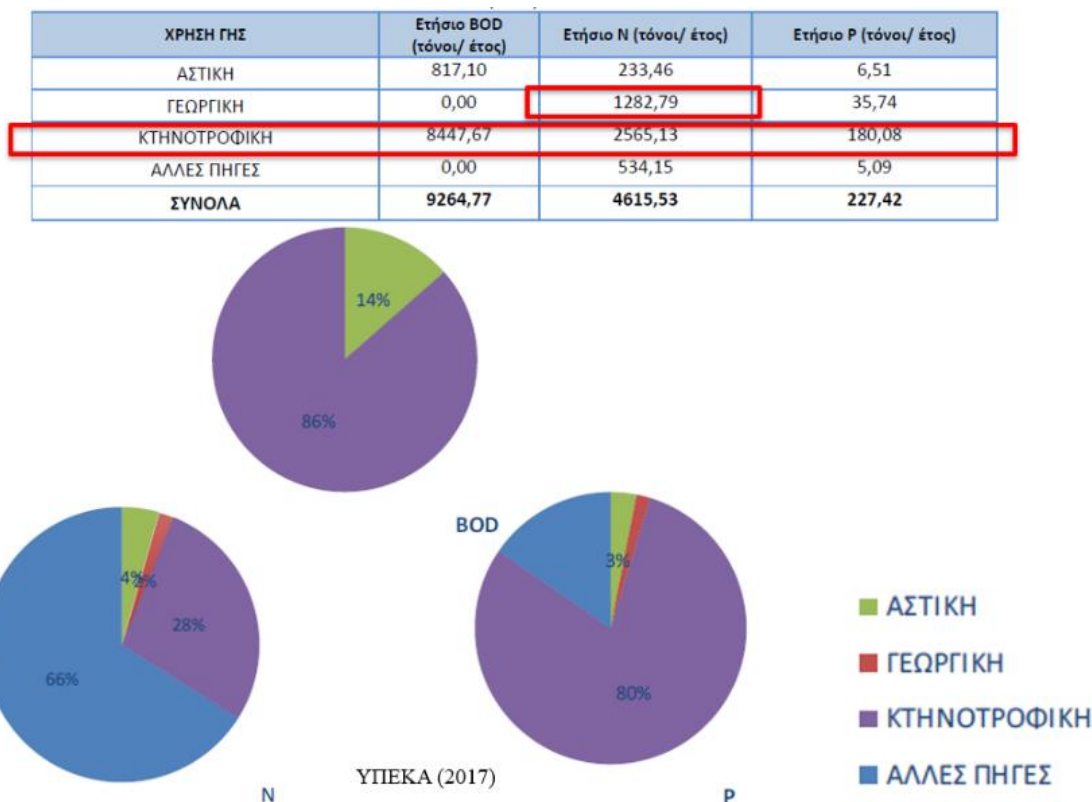
ποσοστά ρύπων. Δεδομένης της σχεδόν ομοιόμορφης κατανομής των σημειακών πηγών ρύπανσης στο ΥΔ, και οι συγκεντρώσεις ρύπων ακολουθούν παρόμοια κατανομή.



Εικόνα 9. Πιέσεις ποιότητας υδάτων: Σημειακές πηγές ρύπανσης (Προσαρμοσμένα από ΥΠΕΚΑ, 2017).

Ποιοτική υποβάθμιση – διάχυτη ρύπανση.

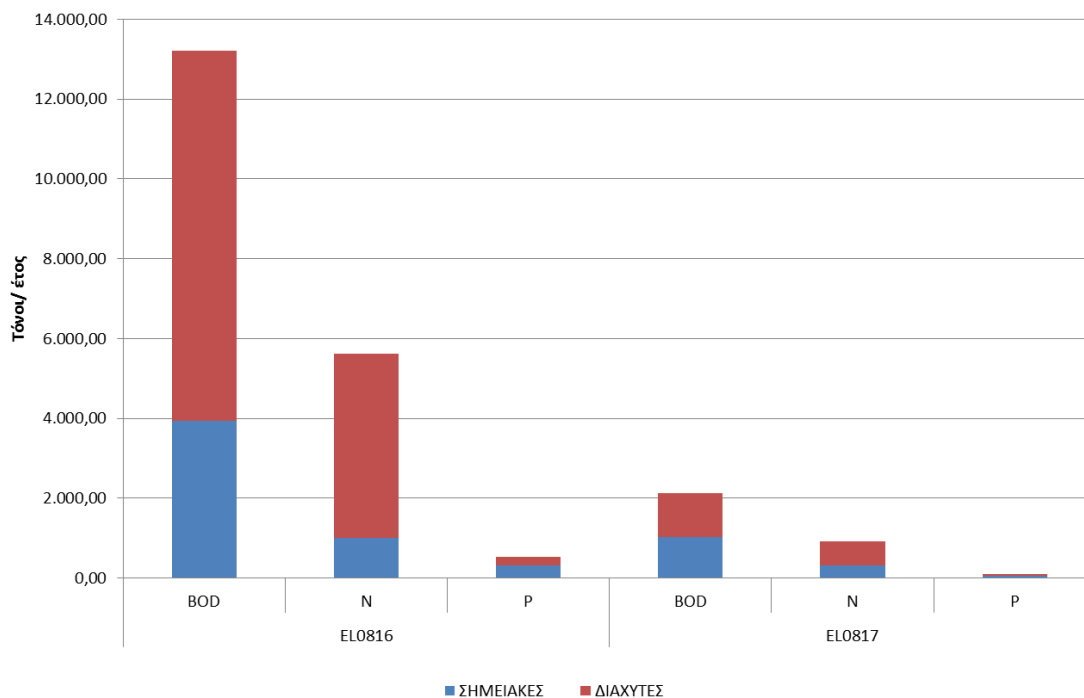
Η μη-σημειακή ρύπανση αποτελεί τη μεγαλύτερη ποιοτική πρόκληση για το ΥΔ. Αφορά: Γεωργικές δραστηριότητες, Αστικά λύματα που δεν καταλήγουν σε ΕΕΛ, Κτηνοτροφία (ποιμενική), Επιβάρυνση των υδάτων από άλλες πηγές (ΥΠΕΚΑ, 2017). Και σε αυτήν την κατηγορία ρύπανσης παρατηρείται παρόμοια κατανομή ανά χρήση γης: οι ετήσιες εκπομπές BOD, N και P λόγω της κτηνοτροφίας συγκεντρώνουν ποσοστά 92%, 56% και 79% αντίστοιχα επί του συνόλου εκπομπών. Αναφορικά με το BOD, η αστική χρήση αποτελεί τη δεύτερη σημαντικότερη πίεση, ενώ η γεωργική ακολουθεί στις εκπομπές N και P (Εικόνα 10).



Εικόνα 10. Πιέσεις ποιότητας υδάτων: Μη-σημειακές πηγές ρύπανσης (Προσαρμοσμένα από ΥΠΕΚΑ, 2017).

Ποιοτική υποβάθμιση – Συνολική ρύπανση.

Η κατανομή των εκπομπών είναι σχετικά ομοιόμορφη στο ΥΔ, με μεγαλύτερη συγκέντρωσή τους στο κεντρικό και νότιο τμήμα του. Η Εικόνα 11 συνοψίζει τις συνολικές ετήσιες συγκεντρώσεις των φορτίων BOD, N, P για το ΥΔ από όλες τις χρήσεις γης και όλες τις πηγές ρύπανσης. Όπως είναι αναμενόμενο, η μη-σημειακή ρύπανση αποτελεί τη μεγαλύτερη πίεση.

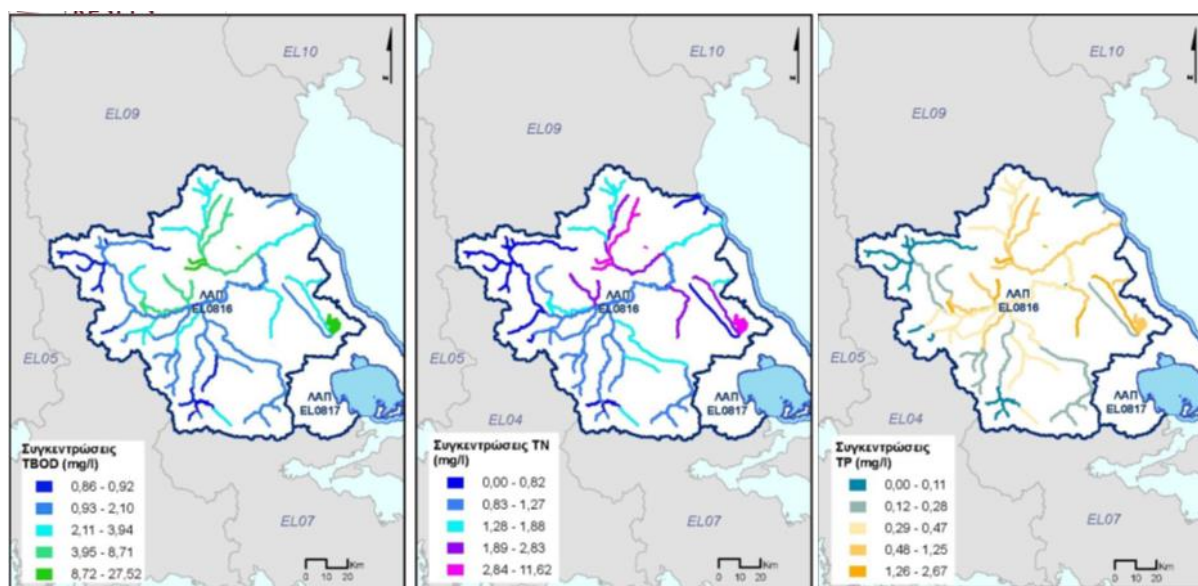


Εικόνα 11. Συνολικές ετήσιες εκπομπές BOD, N και P για στις ΛΑΠ Πηνειού (EL0816), και Αλμυρού-Πηλίου (EL0817) (Πηγή: ΥΠΕΚΑ, 2017).

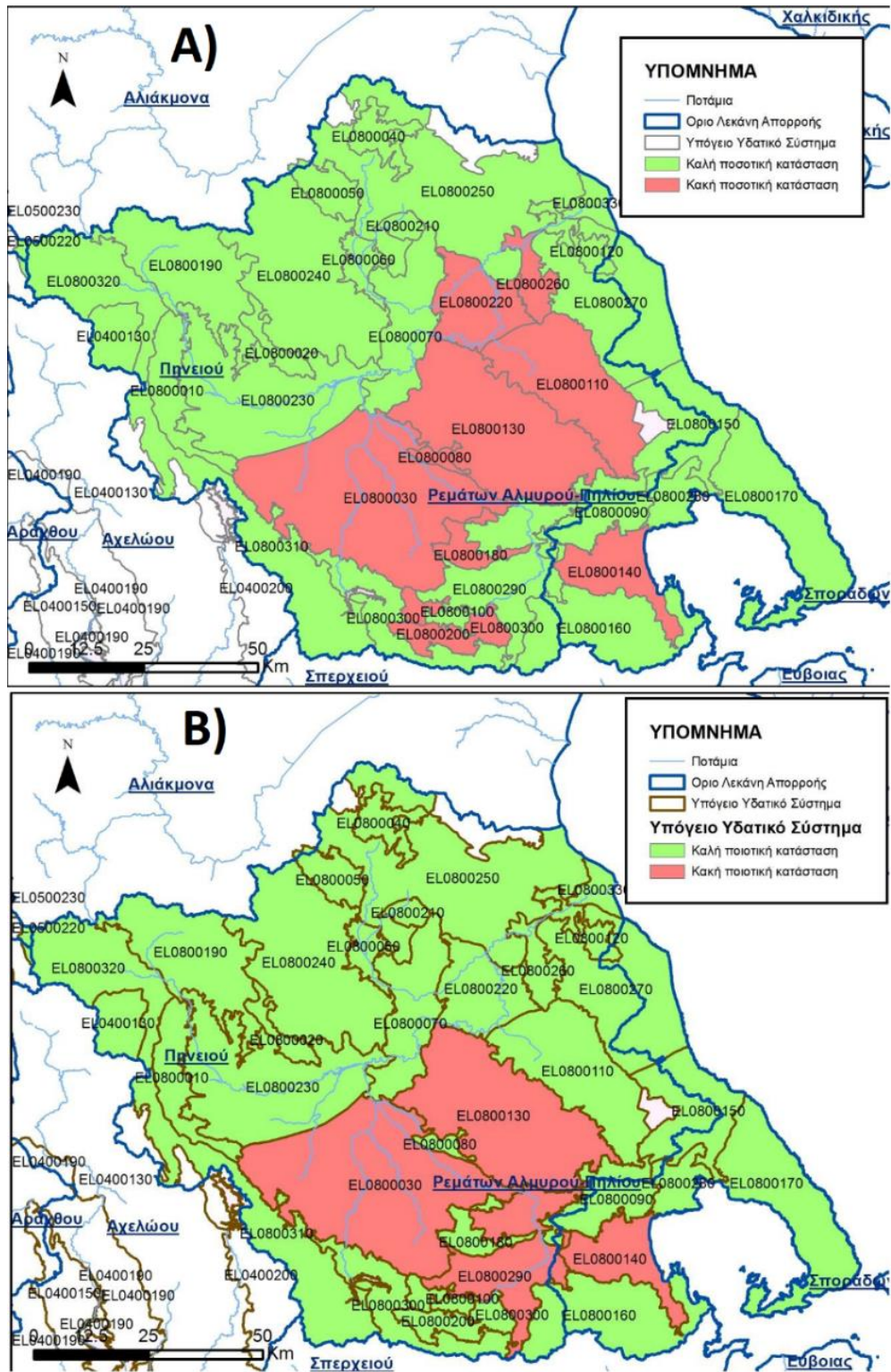
Ποσοτική και ποιοτική υποβάθμιση – Αντίκτυπο στο ΥΣ.

Το αντίκτυπο όλων των ανωτέρω πιέσεων στα επιφανειακά και υπόγεια ΥΣ του ΥΔ μεταφράζεται σε όρους ποσοτικής σπανιότητας (έλλειμμα υδατικού ισοζυγίου) και ποιοτικής υποβάθμισης. Η ποσοτική ανεπάρκεια (όπου αποτελεί και τη σημαντικότερη πίεση στο ΥΔ) δεν εξετάζεται ως ξεχωριστή παράμετρος επιφανειακών υδάτων στα Σχέδια Διαχείρισης, αλλά ως συνιστώσα της «οικολογικής» κατάστασης των ΥΣ, και μόνο σε κάποιες περιπτώσεις. Η οικολογική κατάσταση χωρίζεται σε πέντε κλάσεις (από Κακή-Υψηλή) και καθορίζεται από βιολογικά, υδρομορφολογικά και φυσικοχημικά ποιοτικά στοιχεία που προβλέπονται στο Παράρτημα V της ΟΠΥ. Σύμφωνα με αυτό, οι υδρομορφολογικές συνθήκες εξετάζονται μόνο εάν το επιφανειακό υδατικό σύστημα πρόκειται να ταξινομηθεί στην υψηλή ή καλή οικολογική κατάσταση ή στο μέγιστο ή καλό οικολογικό δυναμικό, αν είναι ιδιαίτερος τροποποιημένο ή τεχνητό. Αντίστοιχα, για την ταξινόμηση σε υψηλή έως μέτρια κατάσταση απαιτείται η εξέταση και των φυσικοχημικών παραμέτρων, ενώ τα βιολογικά ποιοτικά στοιχεία εφαρμόζονται σε όλες τις κλάσεις ποιότητας. Η ποσοτική κατάσταση λαμβάνεται υπόψη ως ξεχωριστή παράμετρος μόνο στα υπόγεια ΥΣ από τα Σχέδια Διαχείρισης, και καθορίζεται από μετρήσεις στάθμης,

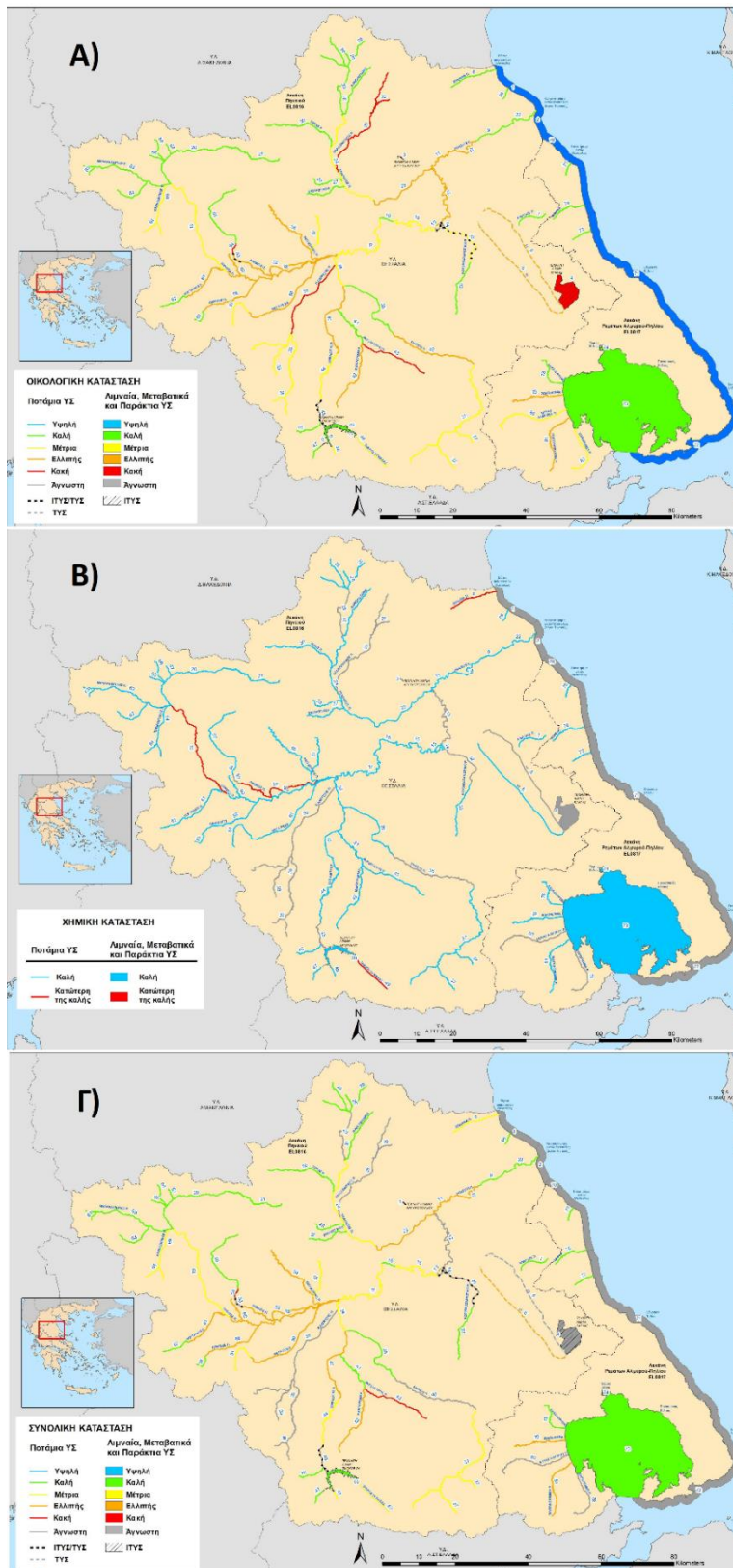
υδατικές ανάγκες και υδατικό ισοζύγιο. Η «χημική» κατάσταση είναι ο δεύτερος δείκτης που εξετάζεται, χωρίζεται σε δύο κλάσεις (Καλή-Κατώτερη της καλής) και καθορίζεται από τις οριακές τιμές ποιότητας (ανώτερα επιτρεπόμενα όρια) ορισμένων επικίνδυνων ουσιών (ρύπων) που καταλήγουν στο υδάτινο περιβάλλον. Οι ουσίες αυτές καθορίζονται στο Παράρτημα Χ της ΟΠΥ. Η συνολική κατάσταση προκύπτει από το συνδυασμό των αποτελεσμάτων οικολογικής και χημικής κατάστασης. Τα αποτελέσματα του παραπάνω συστήματος αξιολόγησης για κάθε ΥΣ έχουν παρουσιαστεί αναλυτικά στο αναθεωρημένο Σχέδιο Διαχείρισης (ΥΠΕΚΑ, 2017), ενώ στις Εικόνες που ακολουθούν φαίνονται τα συνολικά αποτελέσματα κάθε κατηγορίας για επιφανειακά και υπόγεια ΥΣ.



Εικόνα 12. Ετήσια διάλυση ρύπων ΒΟD, Ν και Ρ (mg/l) από το σύνολο των πηγών ρύπανσης για τη ΛΑΠ Πηνειού (Στοιχεία ΥΠΕΚΑ, 2017).



Εικόνα 13. Α) Ποσοτική κατάσταση Β) Ποιοτική-Χημική κατάσταση υπόγειων ΥΣ (Προσαρμοσμένα από ΥΠΕΚΑ, 2017).



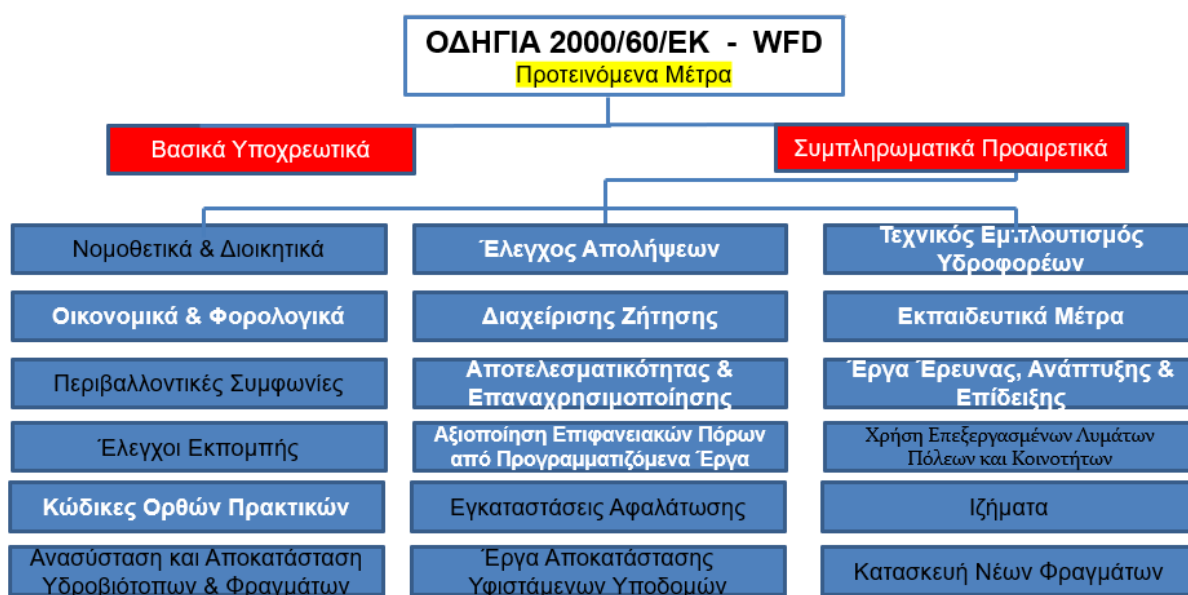
Εικόνα 14. Α) Οικολογική, Β) Χημική, και Γ) Συνολική κατάσταση επιφανειακών ΥΣ (Προσαρμοσμένο από ΥΠΕΚΑ, 2017).

Όπως προαναφέρθηκε, όλα τα επιφανειακά ΥΣ χρησιμοποιούνται με σκοπό την άρδευση και το 32% περίπου αυτών δέχεται μεσαία-υψηλή ένταση απολήψεων. Όσον αφορά τα υπόγεια ΥΣ, τα 9 από τα 27 (33%) βρίσκονται υπό καθεστώς υπερεκμετάλλευσης (φυσική εκφόρτιση, μεγάλη πτώση στάθμης λόγω άντλησης μόνιμων αποθεμάτων), όπου δικαιολογεί και το χαρακτηρισμό της κατάστασής τους ως «κακής ποσοτικά».

- Οικολογική κατάσταση ποτάμιων ΥΣ: Άγνωστη-1,4%, Ελλιπής-16,67%, Κακή-4,17%, Μέτρια-22,22%, Καλή-55,5%
- Χημική κατάσταση ποτάμιων ΥΣ: Κατώτερη της καλής-22,22%, Καλή-77,78%
- Οικολογική κατάσταση λιμναίων ΥΣ: 3 λιμναία ΥΣ, από τα οποία ένα βρίσκεται σε Καλή, ένα σε Κακή και ένα σε Άγνωστη κατάσταση
- Χημική κατάσταση λιμναίων ΥΣ: 3 λιμναία ΥΣ, από τα οποία ένα βρίσκεται σε Καλή, και δύο σε Άγνωστη κατάσταση
- Ποσοτική κατάσταση υπόγειων ΥΣ: Κακή-30,3%, Καλή-69,7%
- Χημική κατάσταση υπόγειων ΥΣ: Κακή-12,1%, Καλή-87,9%

Μέτρα βελτίωσης της κατάστασης – ΟΠΥ.

Στα πλαίσια της ΟΠΥ, ορίζονται βασικά μέτρα για τη βελτίωση της ποσοτικής και ποιοτικής κατάστασης των ΥΣ, καθώς και συμπληρωματικά (προαιρετικά) μέτρα, τα οποία περιλαμβάνουν ένα ευρύ φάσμα δράσεων και ενεργειών με διεπιστημονικό χαρακτήρα (Εικόνα 15).



Εικόνα 15. Διάρθρωση μέτρων για τη βελτίωση της κατάστασης των ΥΣ και των υπηρεσιών ύδατος σύμφωνα με την ΟΠΥ (Προσαρμοσμένο από Koundouri and Papandreou, 2013). Με λευκό χρώμα απεικονίζονται τα πιο σημαντικά για την περιοχή μελέτης.

Τα βασικά μέτρα για το ΥΔ Θεσσαλίας έχουν ενσωματωθεί στην ελληνική νομοθεσία με μια σειρά διατάξεων, με αρμοδιότητα των αντίστοιχων φορέων:

Υδατα Κολύμβησης (Οδηγία 2006/7/ΕΚ) - ΕΓΥ Δ/νση Υδάτων της Αποκεντρωμένης Διοίκησης, Προστασία των άγριων πτηνών (Οδηγία 2009/147/ΕΚ), και οικοτόπων (Οδηγία 92/43/ΕΟΚ) - ΥΠΕΝ, Φορείς Διαχείρισης προστατευόμενων Περιοχών, Πόσιμο Νερό (Οδηγίες 98/83/ΕΚ, 2015/1787/ΕΕ) - Υπουργείο Υγείας, Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις από Έργα/Δραστηριότητες (Οδηγίες 2011/92/ΕΕ, 2014/52/ΕΕ) - ΥΠΕΝ, Πρόληψη - Έλεγχος ρύπανσης (Οδηγία 2010/75/ΕΕ) - Αποκεντρωμένη Διοίκηση, Προστασία από Νιτρορρύπανση (Οδηγίες 91/676/ΕΟΚ) - ΕΓΥ, ΥΠΑΑΤ, Προϊόντα Φυτοπροστασίας (Οδηγία 2009/128/ΕΚ, Κανονισμός (ΕΚ) αριθ. 1107/2009, και Κανονισμός (ΕΕ) αριθ. 652/2014) -ΥΠΑΑΤ, Αντιμετώπιση των κινδύνων μεγάλων ατυχημάτων (Οδηγία 2012/18/ΕΕ) - Αποκεντρωμένη Διοίκηση, Ιλύς σταθμών καθαρισμού (Οδηγία 86/278/ΕΟΚ) - ΥΠΕΝ, Επεξεργασία Αστικών Λυμάτων (Οδηγία 91/271/ΕΟΚ, 98/15/ΕΚ) και Ανάκτηση κόστους Υπηρεσιών Ύδατος (Άρθρο 9) - Περιφέρεια, ΔΕΥΑ, Δήμοι.

Τα βασικά μέτρα συνοπτικά περιλαμβάνουν:

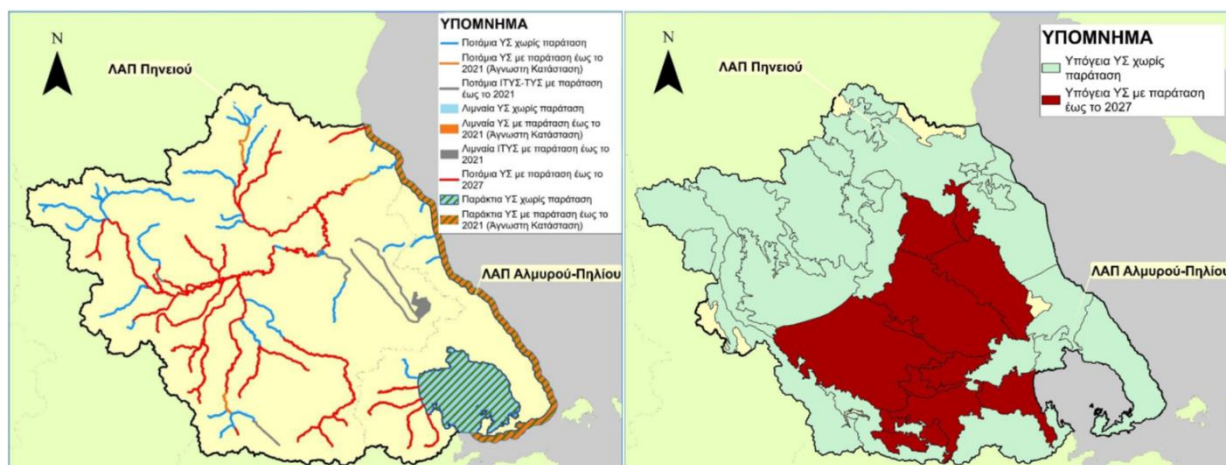
- Μέτρα για την προώθηση της αποδοτικής και αειφόρου χρήσης του νερού ώστε να μην διακυβεύεται η επίτευξη των στόχων της Οδηγίας (Άρθρο 4)
- Μέτρα για την προστασία των υδάτων που προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση (Άρθρο 7)
- Μέτρα ελέγχου απόληψης επιφανειακού και υπόγειου νερού - αποθήκευσης επιφανειακού νερού
- Μέτρα για τον έλεγχο και την αδειοδότηση του τεχνητού εμπλουτισμού των ΥΥΣ
- Μέτρα για τις σημειακές πηγές απορρίψεων
- Μέτρα για την αντιμετώπιση αρνητικών επιπτώσεων στην κατάσταση επιφανειακών υδατικών συστημάτων ιδίως από υδρομορφολογικές αλλοιώσεις
- Μέτρα για τις ουσίες προτεραιότητας και άλλες ουσίες

Τα συμπληρωματικά μέτρα συνοψίζονται στη λίστα της Εικόνα 16 για το ΥΔ Θεσσαλίας.

ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ
Στρέμματα προς άρδευση στο σύνολο του Υδατικού Διαμερίσματος Θεσσαλίας 2.500.000 (περίπου 23% σε συλλογικά αρδευτικά δίκτυα και 77% ιδιωτικές γεωτρήσεις)
Υφιστάμενα έργα ταμίευσης στη Θεσσαλία: 165 εκατομμύρια κυβικά ανά έτος <ul style="list-style-type: none">- Λ. Πλαστήρα: 80 (ως βιώσιμα από 100 που είναι η υφιατάμενη απόληψη)- Λ. Σμοκόβου: 65- Μικροί ταμειυτήρες Λάρισας: 20
Βιώσιμη διαθέσιμη ποσότητα από υπόγεια και επιφανειακά: 780 εκατομμύρια κυβικά ανά έτος <ul style="list-style-type: none">- Υπόγεια: 620 εκατομμύρια κυβικά ανά έτος (προσμετρώνται οι βιώσιμες ποσότητες απόληψης όλων των υπόγειων Υ.Σ. του ΥΔ, έχοντας αφαιρέσει και ικανές ποσότητες για την επανάκαμψη των πεδινών υπόγειων Υ.Σ. σε 60 χρόνια)- Επιφανειακά: 160 εκατομμύρια κυβικά ανά έτος (εκ των οποίων τα 60 είναι στραγγίδια άρδευσης)
Πρώτη δέσμη μέτρων: μείωση κατανάλωσης αρδευτικού νερού μέσω μείωσης απωλειών και εξορθολογισμού μεθόδων άρδευσης (περιλαμβάνονται στο εγκεκριμένο Σχέδιο Διαχείρισης) Ποσότητα στόχος για άρδευση καλλιεργειών – τυπικό στρέμμα (κυβικά/στρέμμα/έτος): 450 από 524 (στοιχεία 2013, στα στοιχεία του 2013 περιλαμβάνεται και ελλειμματική άρδευση) . Ονομαστική μείωση 14%, πραγματική μείωση περίπου 20% (όταν δεν λαμβάνεται υπόψη η ελλειμματική άρδευση)
Απαιτούμενη ποσότητα νερού άρδευσης: 1.125 εκατομμύρια κυβικά ανά έτος (μετά την εφαρμογή της πρώτης δέσμης μέτρων) Απαιτούμενη ποσότητα για άλλες χρήσεις: 115 εκατομμύρια κυβικά ανά έτος ΣΥΝΟΛΟ: 1.240 εκατομμύρια κυβικά ανά έτος Ποσοτικό έλλειμμα μετά τη λήψη της πρώτης δέσμης μέτρων: 295 εκατομμύρια κυβικά ανά έτος
Δεύτερη δέσμη μέτρων: (από «ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΜΕΝΑ» νέα έργα ταμίευσης στη Θεσσαλία: 60 εκατομμύρια κυβικά ανά έτος (συμπεριλαμβανομένων έργων κεφαλής και δικτύων διανομής) - περιλαμβάνονται στο εγκεκριμένο Σχέδιο Διαχείρισης) Μείωση βιώσιμων από υπόγεια: 20 εκατομμύρια κυβικά ανά έτος Καθαρό όφελος «δρομολογημένων»: 40 εκατομμύρια κυβικά ανά έτος Ποσοτικό έλλειμμα μετά τη λήψη της δεύτερης δέσμης μέτρων: 255 εκατομμύρια κυβικά ανά έτος (ισοδύναμο με αναγκαία ποσότητα άρδευσης 555.000 στρεμμάτων)
Τρίτη δέσμη μέτρων Α. Υλοποίηση «ΠΡΟΣΘΕΤΩΝ» νέων έργων ταμίευσης στη Θεσσαλία: 150 εκατομμύρια κυβικά ανά έτος (συμπεριλαμβανομένων έργων κεφαλής και δικτύων διανομής) – νέα μέτρα Μείωση βιώσιμων από υπόγεια: 30 εκατομμύρια κυβικά ανά έτος Καθαρό όφελος «Πρόσθετων»: 120 εκατομμύρια κυβικά ανά έτος Β. Τεχνητός εμπλουτισμός υπογείων: 10 εκατομμύρια κυβικά ανά έτος - περιλαμβάνονται στο εγκεκριμένο Σχέδιο Διαχείρισης και προτείνεται κα νέο σχετικό μέτρο Ποσοτικό έλλειμμα μετά τη λήψη της δεύτερης δέσμης μέτρων και των Α και Β της τρίτης δέσμης μέτρων: 125 εκατομμύρια κυβικά ανά έτος (ισοδύναμο με ποσότητα άρδευσης 300.000 στρεμμάτων)
Γ. Υλοποίηση έργων ταμίευσης τύπου λιμνοδεξαμενών σε πεδινές ή λοφώδεις περιοχές: 125 εκατομμύρια κυβικά ανά έτος – νέο μέτρο Ποσοτικό έλλειμμα μετά τη λήψη της δεύτερης και τρίτης δέσμης μέτρων: ~0

Εικόνα 16. Διάρθρωση τριών δεσμών συμπληρωματικών μέτρων για την αντιμετώπιση των προβλημάτων της υφιστάμενης κατάστασης του ΥΔ Θεσσαλίας.

Στην πράξη η αποτελεσματικότητα-εφαρμοσιμότητα αυτών των μέτρων κρίνεται από την παρατηρούμενη βελτίωση στην κατάσταση των ΥΣ. Σύμφωνα με τα τελευταία συγκεντρωτικά στοιχεία των αναθεωρημένων ΣΔΛΑΠ, η πλειοψηφία των ΥΣ βρίσκεται σε παράταση έως το 2021 (για επιφανειακά) και το 2027 (για υπόγεια), για την επίτευξη της καλής τους κατάστασης (Εικόνα 17).



Εικόνα 17. Επιφανειακά ΥΣ (αριστερά) και υπόγεια ΥΣ (δεξιά) με παράταση προθεσμίας για την επίτευξη καλής κατάστασης (Προσαρμοσμένο από ΥΠΕΚΑ, 2017).

Για τη μέχρι τώρα περιγραφή της ποσοτικής και ποιοτικής κατάστασης, και των προγραμμάτων των μέτρων, παρουσιάστηκε η επίσημη προσέγγιση, όπως προκύπτει από τα Αναθεωρημένα Σχέδια Διαχείρισης Λεκανών Απορροής (ΥΠΕΚΑ, 2017). Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί ότι πολλά σημεία αυτών των Σχεδίων αμφισβητούνται από τους Φορείς της Θεσσαλίας, ως προς το χαρακτηρισμό και την υφιστάμενη κατάσταση των ΥΣ, αλλά και τις προτεινόμενες πρακτικές για την επίτευξη της «καλής κατάστασής» τους. Αναλυτικότερα, τα επιπρόσθετα προβλήματα που οι τοπικοί φορείς εντοπίζουν, αφορούν:

- Το οικολογικό – περιβαλλοντικό πρόβλημα της σταδιακής αποκατάστασης του συσσωρευμένου ελλείμματος υπόγειων υδάτων, το οποίο τους φαίνεται αδύνατο να αντιμετωπιστεί αποτελεσματικά με βάση τα προτεινόμενα μέτρα.
- Την αδυναμία προόδου στην μείωση της κατανάλωσης αρδευτικού νερού 14-20% (πρόβλεψη 1^{ης} δέσμης μέτρων), αδυναμία διαπιστωμένη ήδη από το 2017.
- Την αδυναμία υλοποίησης του προγράμματος μέτρων – δράσεων και έργων της 2^{ης} και 3^{ης} δέσμης μέτρων,
- Την ασάφεια των συμπληρωματικών μέτρων (δομικών κατασκευών και διοικητικά μέτρα), και την αδυναμία τεκμηρίωσής τους (μελέτες, προϋπολογισμοί, οργάνωση υπηρεσιών).
- Τις αβεβαιότητες και τον «ουτοπικό» χαρακτήρα του προγράμματος υλοποίησης «πρόσθετων έργων δομικών κατασκευών». Πιο συγκεκριμένα κάνουν λόγο για ανωριμότητα μελετών, χρονοβόρες διαδικασίες, και περιορισμένες οικονομικές δυνατότητες.

- Ως χαρακτηριστικό παράδειγμα αναφέρουν το μέτρο ξηρικών καλλιεργειών, δηλαδή το σενάριο που εξετάστηκε και στο Σχέδιο Διαχείρισης Λεκανών Απορροής για μετατροπή χιλιάδων στρεμμάτων αρδευόμενων εκτάσεων σε ξηρικές. Το μέτρο φαντάζει ως απειλή για τους αγρότες, δεδομένων των πραγματοποιηθέντων επενδύσεων τους σε μηχανήματα και εξοπλισμό.
- Τέλος τονίζουν την έλλειψη προσοχής στις διατυπώσεις τους αναφορικά με τα παραπάνω προβλήματα.

Οικονομικά – διαχειριστικά προβλήματα.

Για την επαρκή περιγραφή της οικονομικής πτυχής και κατάστασης στο ΥΔ, κρίνεται σκόπιμο να περιγραφεί αρχικά η διοικητική δομή με τις αντίστοιχες αρμόδιες αρχές. Ξεκινώντας από το ανώτατο όργανο χάραξης της πολιτικής, η Εθνική Επιτροπή Υδάτων, έχει ορισθεί και αποτελείται από τους υπουργούς Περιβάλλοντος και Ενέργειας (Πρόεδρο), Υποδομών και Μεταφορών, Οικονομικών, Οικονομίας και Ανάπτυξης, Εσωτερικών, Υγείας, Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων. Σε αυτό γνωμοδοτούν με τη σειρά το Εθνικό Συμβούλιο Υδάτων (εθνικά προγράμματα με Πρόεδρο τον Υπουργό Περιβάλλοντος και Ενέργειας και μέλη εκπροσώπου κομμάτων και φορέων), και η Ειδική Γραμματεία Υδάτων η οποία σε συνεργασία με τις Διευθύνσεις Υδάτων των Αποκεντρωμένων Διοικήσεων παρακολουθεί και συντονίζει την εφαρμογή των εθνικών προγραμμάτων. Το Υδατικό Διαμέρισμα Θεσσαλίας περιλαμβάνει την Περιφερειακή Ενότητα Λάρισας, σχεδόν στο σύνολό της, πολύ μεγάλο μέρος των Περιφερειακών Ενοτήτων Μαγνησίας, Τρικάλων και Καρδίτσας, και μικρά τμήματα των Π.Ε. Πιερίας, Γρεβενών και Φθιώτιδας. Σε περιφερειακό επίπεδο, το Συμβούλιο Υδάτων Αποκεντρωμένης Διοίκησης και οι Διευθύνσεις Υδάτων της Αποκεντρωμένης Διοίκησης ευθύνονται για τη συμπληρωματική παρακολούθηση και συντονισμό των έργων και δράσεων των εθνικών προγραμμάτων. Τη διαχείριση του αρδευτικού νερού έχει αναλάβει ο Γεωργικός Οργανισμός Εγγείων Βελτιώσεων (ΓΟΕΒ Θεσσαλίας, με έδρα τη Λάρισα) και την εκτέλεση των έργων/μέτρων/οικονομικών πολιτικών αναλαμβάνουν σε τοπικό επίπεδο κυρίως οι Τοπικοί Οργανισμοί Εγγείων Βελτιώσεων (ΤΟΕΒ). Οι υπόλοιπες χρήσεις είναι κατά κανόνα αρμοδιότητα των ΔΕΥΑ. Στις ΔΕΥΑ οι τιμολόγηση είναι συνήθως ογκομετρική (ανά m³ χρήσης) επομένως ο διαχειριστικός έλεγχος είναι ευκολότερα εφικτός σε σχέση με την περίπτωση του αγροτικού νερού, όπου κάτι τέτοιο είναι ακόμη πρόκληση.

Τα έσοδα των ΤΟΕΒ προέρχονται αποκλειστικά από τις εισφορές των μελών τους, αφού το Κράτος συνεισφέρει μόνο στις περιπτώσεις των μεγάλων εγγειοβελτιωτικών έργων. Οι εισφορές

αφορούν αρδευτικές χρεώσεις που γίνονται με βάση την καλλιεργούμενη έκταση. Πιο αναλυτικά, για τα επιφανειακά ύδατα μέχρι το 2013 το κόστος ανερχόταν στα 11 €/στρέμμα για κάθε καλλιέργεια, ενώ από το 2014 το κόστος ανέρχεται στα 12,5 €/στρέμμα (στοιχεία ΤΟΕΒ Πηνείου, 2015). Για την άρδευση από υπόγεια ύδατα το κόστος είναι 50 €/στρέμμα για καλλιέργειες βαμβακιού και τεύτλων, και 55 €/στρέμμα για μηδική καλλιέργεια και καλλιέργεια καλαμποκιού. Πίεση ασκείται κυρίως μέσω μη καταβολής των εισφορών των γεωργών στους ΤΟΕΒ. Οι οφειλές αρχικά αντιμετωπίζονται με προειδοποιήσεις και από τον τέταρτο χρόνο δικαστικώς. Σύμφωνα με δηλώσεις των ιθυνόντων των ΤΟΕΒ Πηνείου και Κάρλας, αν οι οφειλές των μελών δεν ήταν τόσο μεγάλες το κόστος της εισφοράς θα μπορούσε να μειωθεί έως και στα 8 Ευρώ ανά στρέμμα για τα επιφανειακά νερά (Τσιούστα, 2015). Οι αγρότες, από την πλευρά τους, δηλώνουν σε έρευνες (Myloroulos and Fafoutis, 2014; Μπουζούκης, 2016) ότι δε γνωρίζουν τον όγκο του νερού που καταναλώνουν, το 80% έχει αντιμετωπίσει πρόβλημα λειψυδρίας, και το 93% αυτών θεωρεί τους γειτονικούς καλλιεργητές υπεύθυνους. Ως εκ τούτου, διανοίγονται μη καταγεγραμμένες και ανεξέλεγκτες γεωτρήσεις δημιουργώντας έτσι μεγάλη απώλεια οφέλους στους ΤΟΕΒ αλλά και περιβαλλοντική υποβάθμιση. Η έλλειψη των απαραίτητων οικονομικών πόρων, οδήγησε εξ' άλλου και στην παύση του ΤΟΕΒ Κάρλας το 2015.

Η έννοια της ανάκτησης του πλήρους κόστους νερού στοχεύει στο να συγκεντρωθούν ποσά ικανά να βελτιώσουν την κατάσταση των ΥΣ, μέσω καλύτερων υποδομών και υπηρεσιών (και όχι για την κάλυψη άλλων οικονομικών ελλειμμάτων). Σύμφωνα με την ΟΠΥ η μείωση της κατανάλωσης και της ρύπανσης μπορεί να επιτευχθεί όταν οι τιμές και τα τέλη που πληρώνουν οι αρδευτές είναι ανάλογες με την κατανάλωση νερού και τη ρύπανση που προκαλείται από τη χρήση (WATECO, 2002). Η αποδοτικότερη χρήση του πόρου θα οδηγήσει σε φυσική και οικονομική βιωσιμότητα, καθώς θα εξασφαλίζονται τα απαραίτητα κεφάλαια για τον εκσυγχρονισμό και την ανανέωση του εξοπλισμού και τη χρηματοδότηση νέων επενδύσεων. Από την άλλη πλευρά, η υφιστάμενη στρεμματική τιμολόγηση δεν παρέχει κανένα κίνητρο για ορθολογικότερη χρήση νερού. Ο βαθμός ανάκτησης κόστους άρδευσης στο Υδατικό Διαμέρισμα της Θεσσαλίας είναι 6,38% (Κουντούρη, 2008). Γίνεται ουσιαστικά ανάκτηση μόνο ενός μέρους του χρηματοοικονομικού κόστους, χωρίς να λαμβάνονται υπόψη το κόστος φυσικού πόρου (λόγω ελλειμματικότητας νερού) και το περιβαλλοντικό κόστος (λόγω ρύπανσης). Η στρεμματική τιμολόγηση συνεχίζει να ισχύει ακόμα και μετά τον Ιούνιο του 2018, όπου ο τρόπος χρέωσης όφειλε να συμμορφωθεί με την ΟΠΥ. Πρακτικά, δεν υπάρχουν υδρόμετρα στα δίκτυα, και πολλές φορές η άντληση από τις γεωτρήσεις είναι ανεξέλεγκτη. Το νερό που καταναλώνεται δεν είναι δυνατό να μετρηθεί και επομένως να χρεωθεί ογκομετρικά, καθώς ούτε η κατάλληλη

υποδομή υπάρχει για να γίνει αυτό, ούτε υλικά, ούτε θεσμικά. Στους περισσότερους ΤΟΕΒ δεν υπάρχουν βασικά στοιχεία-μετρήσεις, έλλειψη ενημέρωσης για τις ακριβείς αρμοδιότητές τους, και για τον τρόπο υπολογισμού ορισμένων παραμέτρων (Αλαμάνος, 2019). Συνεπώς, όλη η φυσική διαθεσιμότητα του νερού μπορεί να καταναλωθεί από τους γεωργούς, όπου σε συνδυασμό με τις απώλειες μεταφοράς και εφαρμογής της άρδευσης, προκαλούν την υπερκατανάλωσή του. Το έλλειμμα καλύπτεται από τα τοπικά υπόγεια ύδατα μέσω ενός απλού (αλλά αρκετά ανεξέλεγκτου) συστήματος αδειοδότησης ιδιωτικών ή παράνομων γεωτρήσεων. Αυτό συνεπάγεται μεγάλα κόστη φυσικού πόρου και περιβαλλοντικά κόστη, όπου δεν εκτιμώνται, και έτσι δε μπορεί να γίνει ανάκτηση, ούτε βελτίωση των υπηρεσιών.

Στην τελευταία διαπίστωση, ότι το έδαφος είναι ακατάλληλο για την εφαρμογή του μέτρου του πλήρους κόστους νερού, συμφωνούν και οι τοπικοί φορείς. Τονίζουν την ελλιπή ενημέρωση των χρηστών και φορέων της Θεσσαλίας, τις καθυστερήσεις και τις αναβολές στην εφαρμογή του μέτρου ως κύριες αιτίες που δημιουργήσαν δυσπιστία (πχ. διαφοροποιημένο κόστος μεταξύ αρδευτών στην περιοχή Καρδίτσας) και αντιδράσεις. Οι τοπικοί φορείς αναγνωρίζουν τα περιβαλλοντικά-οικολογικά προβλήματα των παράνομων γεωτρήσεων που προαναφέρθηκαν, καθώς επίσης και τις αδυναμίες του θεσμικού πλαισίου (με περιορισμένες δυνατότητες των ΤΟΕΒ και την πολυδιάσπαση αρμοδιοτήτων). Η κοινή παραδοχή των προβλημάτων αποτελεί αισιόδοξο βήμα για τη συνεργασία για την επίλυσή τους.

Η Αθηναϊκή Ζυθοποιία (ΑΖ) στο Υ.Δ. Θεσσαλίας

Το 2008 η ΑΖ εγκαινίασε το πρώτο και μεγαλύτερο Πρόγραμμα Συμβολαιακής Καλλιέργειας Κριθαριού για την παραγωγή μπίρας στην Ελλάδα. Έκτοτε, κάθε χρόνο προμηθεύεται ελληνικό κριθάρι από τοπικούς παραγωγούς για την παραγωγή των προϊόντων της. Το 2014 κατάφερε να πετύχει το στόχο που είχε θέσει από την αρχή του Προγράμματος καλύπτοντας το 100% των αναγκών της από ελληνικό κριθάρι – κάτι που συμβαίνει έκτοτε κάθε χρόνο. Από το 2011 έχει ξεκινήσει τη λειτουργία Πειραματικών Αγρών, για την ανάπτυξη νέων ποικιλιών βυνοποιήσιμου κριθαριού, σε συνεργασία με το Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών αλλά και την παροχή της απαραίτητης τεχνογνωσίας σε παραγωγούς και συνεργάτες.

Το Πρόγραμμα Συμβολαιακής Καλλιέργειας της ΑΖ σε αριθμούς:

- Η καλλιεργητική σεζόν 2020-2021 είναι η 13^η χρονιά που υλοποιείται το Πρόγραμμα.
- Στο πρόγραμμα συμμετέχουν σχεδόν 2.000 Έλληνες παραγωγοί από 19 νομούς.

- Από το 2008 η εταιρεία έχει προμηθευτεί περισσότερους από 510.000 τόνους βυνοποιήσιμου ελληνικού κριθαριού υψηλής ποιότητας, 55.000 εκ των οποίων το 2019-2020.
- Η καλλιεργήσιμη έκταση υπολογίζεται σε περίπου 130.000 στρέμματα ελληνικής γης συνολικά.
- Η προστιθέμενη αξία που έχει παραχθεί υπερβαίνει τα €100 εκατ.
- Το Πρόγραμμα βάσει της Μελέτης Κοινωνικού και Οικονομικού αντικτύπου της εταιρείας έχει δημιουργήσει 800 θέσεις εργασίας στον πρωτογενή τομέα.
- Υπάρχει συνεργασία με 26 συγκεντρωτές, 4 συνεταιρισμούς-ομάδες παραγωγών και 2 Πανεπιστήμια (Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών).
- Λειτουργία 6 πειραματικών αγρών για δοκιμή αποδοτικότερων ποικιλιών κριθαριού, καθώς και 3 για δοκιμή φυτοπροστατευτικών σκευασμάτων. Συνολικά όλα τα χρόνια έχουν δοκιμαστεί 60 ποικιλίες κριθαριού, 18 από τις οποίες έχουν μπει στην παραγωγή. Στην Περιφέρεια Θεσσαλίας, η εταιρεία διαθέτει 3 πειραματικά στην περιοχή των Φαρσάλων και 1 στο Στεφανοβίκειο (Μαγνησία).
- Η εταιρεία διαθέτει ιδιόκτητα βυνοποιεία (1 σε Πάτρα και 1 σε Θεσσαλονίκη). Αυτό στην πράξη σημαίνει ότι η Αθηναϊκή Ζυθοποιία έχει μια καθετοποιημένη ελληνική αλυσίδα παραγωγής.

Την περίοδο 2019-2020 συμμετείχαν περίπου 800 παραγωγοί από όλη τη Θεσσαλία, αλλά κυρίως από Φάρσαλα, Λάρισα και Αλμυρό, δευτερευόντως από Τρίκαλα και λίγοι παραγωγοί από την Καρδίτσα.

Νομοί	Εκτιμώμενες εκτάσεις (στρ.)	Κύριες Καλλιέργειες
Λάρισα	18.000	Ξηρικές (χειμερινές): σιτάρι, κριθάρι ζωτροφής και ψυχανθή (βίκος, μπιζέλι, φακή, ρεβύθι), ελαιοκράμβη. Αρδευόμενες (εαρινές): αραβόσιτος, βαμβάκι, μηδική. Δευτερευόντως κηπευτικά, καθώς και δέντρα (κυρίως φυστικιές και αμυγδαλιές).
Καρδίτσας	800	
Τρικάλων	3.000	
Μαγνησίας	12.000	
Συνολικά	34.100	

Πίνακας 5. Στοιχεία συμβολαιακών καλλιεργειών ΑΖ στη Θεσσαλία (στοιχεία ΑΖ για το 2020).

Το κριθάρι που χρησιμοποιείται από την Αθηναϊκή Ζυθοποιία ως πρώτη ύλη καλλιεργείται κατά 95% ως ξηρικό (μη αρδευόμενο), αξιοποιώντας το νερό της βροχόπτωσης.

Η μεγάλη κατανάλωση νερού υπό συνθήκες ελλειμματικού ισοζυγίου αναγνωρίζονται, καθώς και τα αίτια που οφείλονται κυρίως σε: Ανεπαρκείς υποδομές (πεπαλαιωμένα αρδευτικά δίκτυα και μη αποδοτικές μέθοδοι άρδευσης), και Εντατικοποίηση της γεωργίας και υπεράρδευση. Πολλοί παραγωγοί δεν γνωρίζουν τις πραγματικές ανάγκες της εκάστοτε καλλιέργειας. Οι πιέσεις στην ποσοτική κατάσταση των υπόγειων ΥΣ εντείνονται από το μεγάλο αριθμό γεωτρήσεων μέσου βάθους >250 μέτρων (Sidiropoulos et al., 2018). Όσον αφορά τις απώλειες, διακρίνονται σε απώλειες δικτύου και εφαρμογής της άρδευσης και για τον υπολογισμό τους λαμβάνεται υπόψη η απόδοση των δικτύων (επιφανειακών, υπόγειων, ανοικτών και υπό πίεση) από έρευνες πεδίου, και οι μέσες αποδόσεις των χρησιμοποιούμενων μεθόδων άρδευσης. Και οι δύο αποδόσεις σταθμίζονται με βάση την εξυπηρετούμενη έκταση από κάθε τύπο δικτύου και μέθοδο άρδευσης αντίστοιχα. Η αύξηση αυτών των αποδόσεων στην περιοχή είναι βασικό βήμα προς τη βιωσιμότητα του υδατικού ισοζυγίου, ελαττώνει σημαντικά τη ζήτηση, σε βαθμό όπου μπορεί να θεωρηθεί ισοδύναμη με αύξηση της προσφερόμενης ποσότητας νερού (Αλαμάνος, 2019).

Καλλιέργεια	Υδατικές απαιτήσεις καλλιεργειών (m³/στρ/έτος)
<i>ΜΗΛΙΚΗ</i>	800
<i>ΑΡΑΒΟΣΙΤΟΣ</i>	720
<i>ΒΑΜΒΑΚΙ</i>	650
<i>ΚΗΠΕΥΤΙΚΑ</i>	700
ΣΙΤΑΡΙ	150
ΔΕΝΔΡΩΔΗ	500
ΖΑΧΑΡΟΤΕΥΤΛΑ	700
ΝΤΟΜΑΤΕΣ	750
ΕΛΙΕΣ	500
ΑΜΠΕΛΩΝΕΣ	500
ΑΓΡΑΝΑΠΑΥΣΗ	-
<i>ΛΟΙΠΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ</i>	600

Πίνακας 6. Εκτιμώμενες ετήσιες υδατικές απαιτήσεις καλλιεργειών (Πηγή: ΥΠΕΚΑ, 2013).

Στον

Πίνακας 6 δίνονται οι ενδεικτικές μέσες ετήσιες υδατικές απαιτήσεις, σύμφωνα με τις εκτιμήσεις του ΥΠΕΚΑ. Οι υδατικές απαιτήσεις των ξηρικών καλλιεργειών θεωρούνται μηδενικές, καθώς καλύπτονται εξ' ολοκλήρου από την (ενεργό) βροχόπτωση, ενώ όσον αφορά της αρδευόμενες, με *πλάγια γράμματα* στον Πίνακας 6 αναγράφονται αυτές του Πίνακας 5. Στοιχεία συμβολαιακών καλλιεργειών ΑΖ στη Θεσσαλία (στοιχεία ΑΖ για το 2020). **Error! Reference source not found.**(μέση απαίτηση $\approx 700 \text{ m}^3/\text{στρ}/\text{έτος}$).

Της επόμενες ενότητες αναλύονται οι δύο βασικότερες ιστορικά κλιματολογικές προκλήσεις της περιοχής, οι οποίες θα συνεχίσουν να απασχολούν τη Θεσσαλία και στο μέλλον: Φαινόμενα Ξηρασίας, και Πλημμύρες, ενώ τέλος, τονίζεται η επιβάρυνση της συνολικής κατάστασης λόγω της κλιματικής αλλαγής.

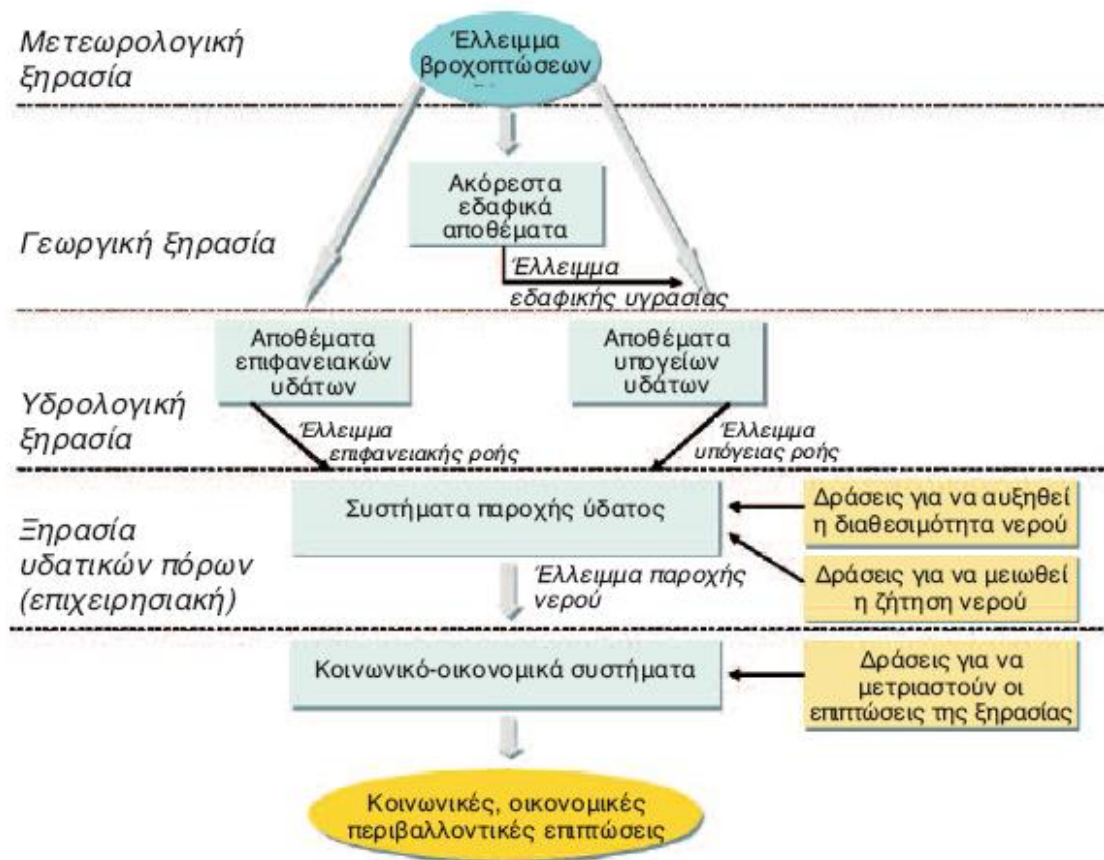
Φαινόμενα Ξηρασίας

Σύμφωνα με τις τελευταίες ανακοινώσεις της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για την αντιμετώπιση του προβλήματος λειψυδρίας και ξηρασίας, την τελευταία τριακονταετία, ο αριθμός και η ένταση των κρουσμάτων ξηρασίας στην ΕΕ αυξάνεται με ραγδαίους ρυθμούς (European Commission, 2008). Η Ελλάδα λόγω της γεωγραφικής της θέσης και του κλίματός της συγκαταλέγεται στις ευάλωτες περιοχές της ΕΕ. Από την περιγραφή του ΥΔ Θεσσαλίας που προηγήθηκε, γίνεται αντιληπτό ότι (όντας το ξηρότερο ΥΔ της χώρας) οι κοινωνικοοικονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις λόγω ξηρασίας πρέπει να αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι της υδατικής πολιτικής (Άρθρο 13.5 της Οδηγίας).

Ορισμός Ξηρασίας (Drought): Φυσική περιστασιακή (τυχαία) προσωρινή κατάσταση συνεχούς μείωσης στη βροχόπτωση και στη διαθεσιμότητα ύδατος αναφορικά με τις κανονικές τιμές, που εκτείνεται σε μια σημαντική χρονική περίοδο και καλύπτει μια ευρεία περιοχή. Προκαλείται από φυσικά αίτια (MEDROPLAN, 2006).

Βάση της επικρατέστερης παγκοσμίως κατηγοριοποίησης για τις ξηρασίες (Wilhite, 2000), διακρίνονται σε: **μετεωρολογική** ξηρασία (μειωμένο συνολικό ύψος και/ή αριθμός ημερών βροχής), **γεωργική** ξηρασία (ανεπάρκεια της εδαφικής υγρασίας να καλύψει τις ανάγκες διαπνοής των φυτών, ώστε να ξεκινήσει ή να συνεχιστεί η ανάπτυξη τους με άμεση συνέπεια τη δραστική μείωση στην απόδοση της γεωργίας), **υδρολογική** ξηρασία (μείωση επιφανειακής απορροής και υπόγειας κατεΐσδυσης του νερού), και **κοινωνικοοικονομική** ξηρασία (αδυναμία

των συστημάτων υδατικών πόρων να καλύψουν τη ζήτηση νερού). Η Εικόνα 18 συνοψίζει τις κατηγορίες αυτές.



Εικόνα 18. Είδη ξηρασίας, χρονική ακολουθία και σχέσεις μεταξύ τους (Πηγή: MEDROPLAN, 2006).

Η ξηρασία μετρείται με βάση την **ένταση** (έννοια μεγέθους-σοβαρότητας), τη **διάρκεια** (χρονικά), και τη **χωρική κατανομή** της (εδώ αναλύεται σε επίπεδο ΥΔ). Οι **δείκτες ξηρασίας** χρησιμοποιούνται για την ανάλυση μεγάλου όγκου ιστορικών δεδομένων και «μετάφρασή» τους σε απλούς και κατανοητούς όρους που μεταδίδουν την πληροφορία που σχετίζεται με τις τρεις αυτές παραμέτρους. Οι γνωστότεροι δείκτες ξηρασίας είναι: Ποσοστό κανονικής βροχόπτωσης (percent of normal precipitation) (Willeke et al., 1994), Τυποποιημένος δείκτης βροχοπτώσεων (Standardized Precipitation Index – SPI) (McKee et al., 1993), Δείκτης δριμύτητας ξηρασίας κατά Palmer, Palmer Drought Severity Index – PDSI (Palmer, 1965), Δείκτης παροχής επιφανειακών υδάτων, Surface Water Supply Index – SWSI (Shafer and Dezman, 1982), Δείκτης εκμετάλλευσης νερού Water Exploitation Index (WEI) και Δείκτης Reconnaissance Drought Index (RDI) (Tsakiris and Vangelis, 2005; Tsakiris et al., 2007). Σε γενικές γραμμές, οι τιμές των δεικτών υπολογίζονται βάση της σχέσης των απολήψεων με τη διαθεσιμότητα νερού, βάση υδρολογικού ισοζυγίου. Μια παρόμοια προσέγγιση ακολουθείται στην Ευρώπη και στην Ελλάδα

από το Σχέδιο Αντιμετώπισης Φαινομένων Λειψυδρίας και Ξηρασίας - (ΥΠΕΚΑ, 2014), όπου βασίζεται σε μια παραλλαγή του δείκτη WEI (Πίνακας 7). Βάση των αποτελεσμάτων, το ΥΔ Θεσσαλίας βρίσκεται υπό συνθήκες σοβαρής ανεπάρκειας στο μεγαλύτερο μέρος του (λεκάνη Πηνειού), και υπό συνθήκες ανεπάρκειας σε μικρότερο μέρος (διαχειριστική λεκάνη Αλμυρού-Πηλίου).

Δείκτης WEI	Βαθμονόμηση	Προσαρμογή για Ελλάδα
$WEI = \frac{TWA}{WA}$	<p>WEI < 20% → no water stress (επάρκεια νερού)</p> <p>20% < WEI < 40% → water stress (ανεπάρκεια νερού)</p> <p>WEI > 40% → severe water stress (σοβαρή ανεπάρκεια νερού)</p>	$WEI^{GR} = \frac{TWA}{RWA}$, όπου $RWA = Renewable\ WA$ (ανανεώσιμα ύδατα)
<p>$TWA = Total\ Water\ Abstraction$ (Συνολική Αντληση Νερού)</p> <p>$WA = Water\ Availability$ (Διαθεσιμότητα Νερού)</p>	<p>Τιμή WEI για την Ελλάδα = 13.5 % (επάρκεια νερού)</p>	<p>Προσαρμογή για να αναδείξει ενδεχόμενες πιέσεις σε τοπικό επίπεδο (λεκάνης απορροής), τις περιβαλλοντικές παροχές (διατήρηση περιβάλλοντος), και τις επιστροφές από χρήσεις νερού</p>
Εφαρμογή στο ΥΔ Θεσσαλίας		
Παράμετροι	Λεκάνη Πηνειού	Λεκάνη Αλμυρού-Πηλίου
RWA	2824	564
TWA	1388	122
WEI^{GR}	49%	22%
Κατάσταση	σοβαρή ανεπάρκεια	ανεπάρκεια (οριακά)

Πίνακας 7. Προσέγγιση δείκτη ξηρασίας WEI για την Ελλάδα (άνω τμήμα) και το Υ.Δ. Θεσσαλίας (κάτω τμήμα), σύμφωνα με το ΥΠΕΚΑ (2014).

Όπως αναφέρεται και στη συνέχεια, η αποτίμηση των ξηρασιών στη Θεσσαλία, ανεξαρτήτως του δείκτη που χρησιμοποιείται, οδηγεί στα ίδια συμπεράσματα (άλλες μελέτες αποδεικνύουν και τονίζουν εκτενώς τη σοβαρότητα και το αντίκτυπο των φαινομένων).

Οι συνέπειες της παρατεταμένης μείωσης της μηνιαίας και ετήσιας βροχόπτωσης συνοψίζονται

ως εξής:

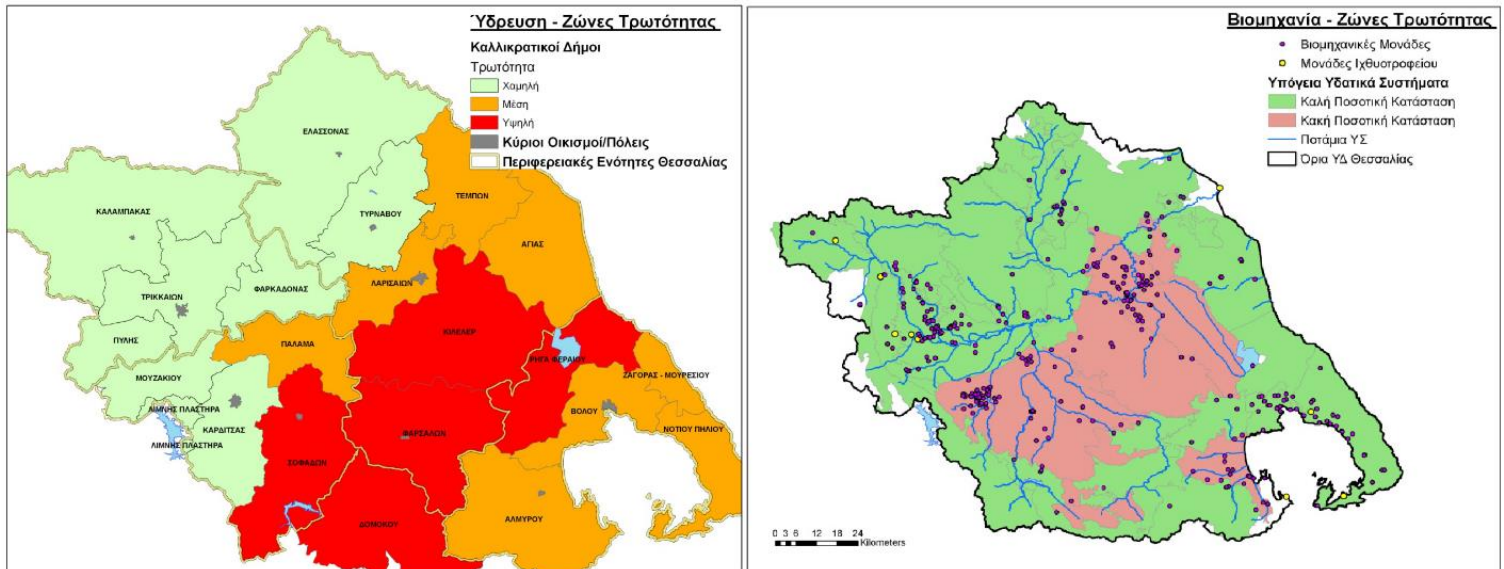
- Δραματική επίδραση στους υδάτινους πόρους της περιοχής,
- υψηλότεροι ρυθμοί εξατμισοδιαπνοής και άνυδρα εδάφη (λόγω του ότι οι ξηρές περίοδοι συνοδεύονται από υψηλές θερμοκρασίες),
- αρνητική επίδραση στη φυσική βλάστηση, στις αρδεύσιμες εκτάσεις, στα διαθέσιμα αποθέματα των ταμιευτήρων,
- αύξηση μη αρδευόμενων εκτάσεων,
- υπερεκμετάλλευση υπόγειων υδροφορέων,
- μείωση απόδοσης καλλιεργειών.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η δραστική μείωση στην απόληψη νερού από τον ταμιευτήρα Πλαστήρα για αρδευτική χρήση, κατά τη διάρκεια του υδρολογικού έτους 1989-1990 (περίπου 70%), ενώ οι αρδεύσιμες εκτάσεις από επιφανειακούς υδάτινους πόρους μειώθηκαν κατά 90% (Loukas and Vasiliades, 2004). Τα φαινόμενα αυτά συνοδεύονται και από αντίστοιχη πτώση στάθμης των υπόγειων υδροφορέων και περιβαλλοντική υποβάθμιση (Kanellou et al., 2008).

Σύμφωνα με τα στοιχεία των ΔΕΥΑ της περιοχής, κατά την περίοδο της ξηρασίας του υδρολογικού έτους 1989-1993:

- Η ΔΕΥΑ Μείζονος Βόλου (ΔΕΥΑΜΒ) επέβαλε χρηματικά πρόστιμα για να περιορίσει φαινόμενα αλόγιστης χρήσης, τα οποία ισχύουν έως σήμερα,
- Η ΔΕΥΑ Λάρισας αντιμετώπισε σοβαρό πρόβλημα μετά το στέρεμα του Πηνειού, όπου και διανοίχτηκε ομάδα γεωτρήσεων στον Αμπελώνα, και έτσι η Λάρισα απέκτησε τη δυνατότητα υδροδότησής της, κατά 100% από γεωτρήσεις, πράγμα που συνεχίζεται έως σήμερα. Τα τελευταία χρόνια λόγω των αυξημένων αντλήσεων τόσο για την ύδρευση όσο και για την άρδευση παρατηρείται τοπική ταπείνωση της στάθμης υποδηλώνοντας την οριακή κατάσταση εκμετάλλευσης της υπόγειας υδροφορίας.
- Η προτεραιότητα δόθηκε στην κάλυψη των υδρευτικών αναγκών, και έτσι προέκυψε μείωση των απολήψεων νερού για άρδευση περίπου ίση με 70%.

Στην Εικόνα 19 φαίνονται οι ζώνες τρωτότητας ξηρασίας. Το μέγεθος αυτό εκφράζει (και συνδέεται) με την ποσοτική κατάσταση των πηγών υδροληψίας για κάθε χρήση, και στα αντίστοιχα Σχέδια του ΥΠΕΚΑ (2014) χωρίστηκε σε τρεις κλάσεις: Χαμηλή, Μέση, Υψηλή.



Εικόνα 19. Τρωτότητα σε ξηρασία για την ύδρευση και τη βιομηχανική χρήση νερού (Προσαρμοσμένα από ΥΠΕΚΑ, 2014). Η άρδευση παραπέμπεται στην κατάσταση των ΥΣ βάσει ΟΠΥ (ΥΠΕΚΑ, 2017).

Το ζήτημα της ξηρασίας στο ΥΔ έχει απασχολήσει ευρέως την επιστημονική κοινότητα, και στο σημείο αυτό κρίνεται σκόπιμο να παρουσιαστούν οι κυριότερες συνεισφορές, καθώς μπορούν να αντληθούν χρήσιμες πληροφορίες για την προσέγγιση του φαινομένου και την αναγκαιότητα αντιμετώπισής του:

- Οι Loukas and Vasiliades (2004) χρησιμοποίησαν μηνιαία δεδομένα βροχόπτωσης για την περίοδο 1960–1993 από 50 σταθμούς, χώρισαν το ΥΔ σε κάναβο 212 κελιών (8×8 km) και εφάρμοσαν χωρική παρεμβολή του Standardized Precipitation Index (SPI) για διαφορετικές χρονικές κλίμακες ώστε να αναλύσουν τα χαρακτηριστικά των ιστορικών ξηρασιών. Οι σοβαρές, χωρικά εκτεταμένες, υψηλής συχνότητας ξηρασίες αποδεικνύεται ότι είναι κοινά φαινόμενα στη Θεσσαλία.
- Οι Loukas et al. (2007) χώρισαν το ΥΔ σε 12 υδρολογικές υπο-λεκάνες και χρησιμοποίησαν δεδομένα από 50 βροχομετρικούς σταθμούς προκειμένου να εκτιμήσουν τις μελλοντικές τάσεις της ξηρασίας υπό κλιματική αλλαγή (σενάρια SRES περιόδων 2020-2050, 2070-2100). Τα αποτελέσματα του δείκτη SPI για την ιστορική και τη μελλοντική περίοδο υποδεικνύουν ότι η ένταση, η διάρκεια και σοβαρότητα ξηρασιών αυξάνεται, και ότι στο μέλλον αναμένονται συχνές, ακραίες και χωρικά εκτεταμένες ξηρασίες.
- Ο Tigkas (2008) στη μελέτη του για το χαρακτηρισμό και την παρακολούθηση των ξηρασιών στην Ελλάδα, με χρήση του δείκτη Reconnaissance Drought Index (RDI),

συμπεριέλαβε και το ΥΔ Θεσσαλίας. Βάση των μετεωρολογικών δεδομένων της περιόδου 1955-2002, προκύπτει ότι κατά τα έτη 1958-59, 1969-70, 1970-74, 1992-94, 1997-98, και 1999-00 συνέβησαν σημαντικά γεγονότα ξηρασίας. Υπήρξαν συνθήκες ξηρασίας διάρκειας μέχρι και τέσσερα χρόνια, παρόλο που κανένα γεγονός σοβαρής ή ακραίας ξηρασίας δε διήρκησε πάνω από ένα χρόνο.

Τα παραπάνω αποτελέσματα: 1) επιβεβαιώνουν τη συνεχιζόμενη επιβάρυνση του ΥΔ από φαινόμενα ξηρασίας, 2) την αυξανόμενη σοβαρότητα του θέματος στο μέλλον, 3) υποδεικνύουν ότι οι δράσεις προσαρμογής σε αυτές τις συνθήκες είναι αναγκαίες.

Πλημμύρες

Οι πλημμύρες θεωρούνται από τους πιο συχνούς και καταστροφικούς τύπους φυσικών καταστροφών παγκοσμίως, με σημαντικές συνέπειες (απώλειες ανθρώπων και ζώων, καταστροφή γεωργικών καλλιεργειών και απώλεια εδάφους, ζημιές σε υποδομές, επικοινωνίες, και δίκτυα, μεταφορά ιζημάτων και ρύπων). Οι ορισμοί και οι ταξινομήσεις ποικίλλουν για διαφορετικούς τύπους πλημμυρών, συμπεριλαμβανομένων καταστροφικών (catastrophic), αιφνίδιων (flash), ακραίων (extreme), ποτάμιων (river), παράκτιων (coastal), pluvial και μεγάλων πλημμυρών (large floods) (Psomiadis et al., 2019).

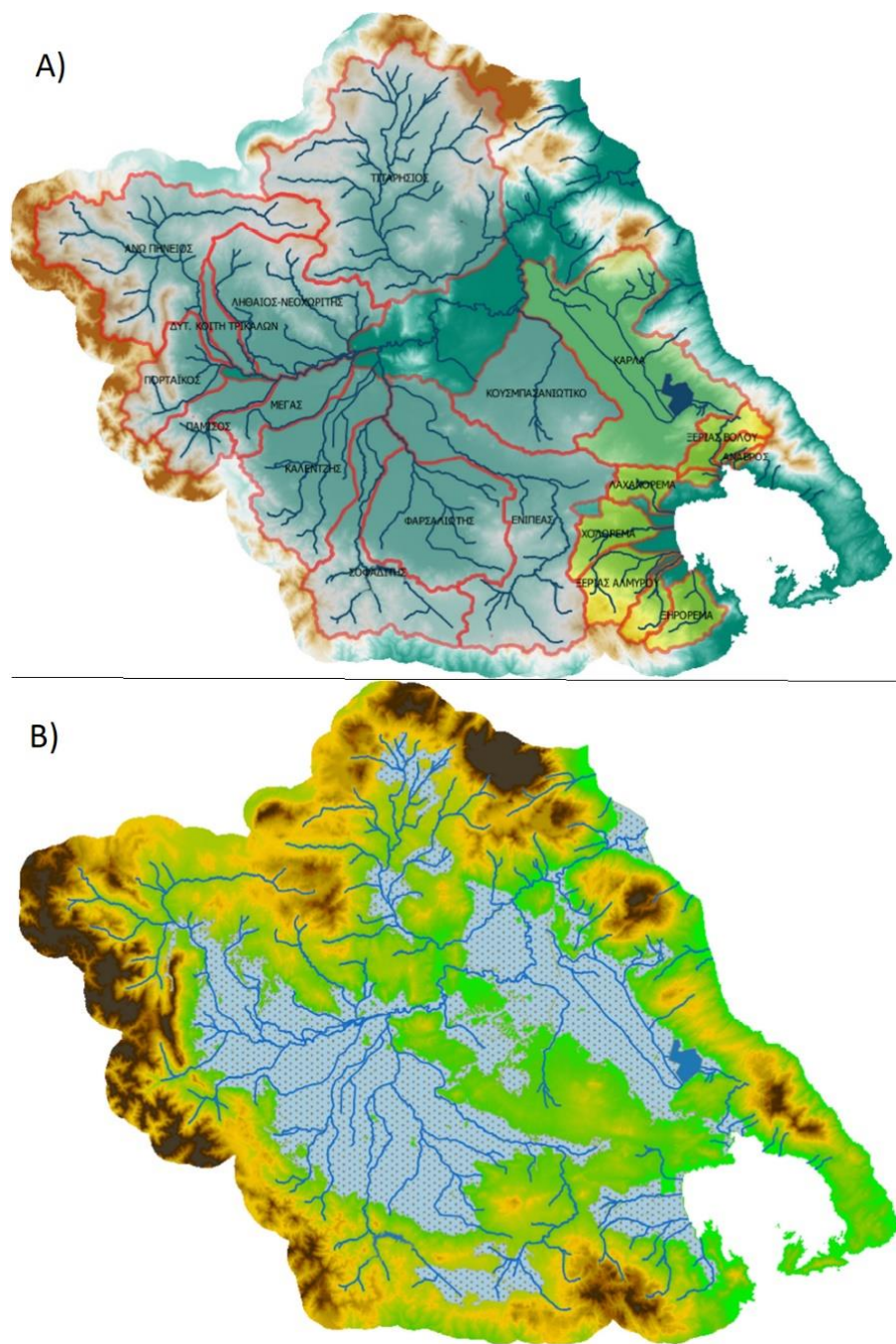
Στην Ευρώπη, η μέση ετήσια ζημία από τις πλημμύρες τις τελευταίες δύο δεκαετίες ήταν περίπου 4 δισεκατομμύρια/έτος (EEA, 2010). Στις χώρες της Μεσογείου, οι πλημμύρες τείνουν να είναι μεγαλύτερες σε μέγεθος σε σύγκριση με την υπόλοιπη Ευρώπη, και συχνά προκαλούν καταστροφικές ζημιές (Gaume et al., 2009).

Στην Ελλάδα, οι Diakakis et al. (2012) χρησιμοποίησαν δεδομένα φαινομένων πλημμύρας των τελευταίων 130 χρόνων, και σύμφωνα με τη στατιστική και χωρική τους ανάλυση, οι αστικές περιοχές τείνουν να παρουσιάζουν υψηλότερα ποσοστά υποτροπής πλημμυρών από τις ορεινές και αγροτικές. Παρατηρείται επίσης αυξανόμενη τάση στους αριθμούς των πλημμυρών που αναφέρθηκαν τις τελευταίες δεκαετίες. Έχει αποδειχτεί ότι υπάρχει σύνδεση μεταξύ περιόδων ή γεγονότων ξηρασίας με γεγονότα αυξημένης βροχής που οδηγούν σε πλημμύρες, και παρά την έργων ελέγχου πλημμυρών (φράγματα, αναβαθμοί, έργα διόδευσης), η αύξηση ζημιών από πλημμύρες τα τελευταία χρόνια, επιβεβαιώνεται (Bathrellos et al., 2018). Η αποψίλωση των δασών και η αστικοποίηση ενισχύουν σημαντικά την εμφάνιση πλημμυρών (Mimikou and Koutsoyiannis, 1995).

Η πεδιάδα του ΥΔ Θεσσαλίας είναι ιστορικά γνωστή από το γεωγράφο Στράβωνα για τις πλημμύρες της, και τα πρώτα έργα προστασίας αναφέρονται πριν 2500 χρόνια, για τον έλεγχο της ροής του Πηνειού. Το ΥΔ συνεχίζει να παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, και έχει προσελκύσει σημαντικό αριθμό εργασιών πάνω σε πλημμύρες: Οι Psomiadis et al. (2019) εφάρμοσαν remote sensing για παρακολούθηση αιφνίδιων πλημμυρών, περιοχές επικινδυνότητας ανάμεσα σε Λάρισα και Καρδίτσα, και αποτίμηση ζημιών. Οι Papaioannou et al. (2018) συνδύασαν υδρολογικές και υδραυλικές μεθόδους για την εφαρμογή της Ευρωπαϊκής Οδηγίας για τις Πλημμύρες στην περιοχή του χειμάρρου Ξεριά (Μαγνησία). Οι Bathrellos et al. (2018) βασισμένοι σε ιστορικά δεδομένα της λεκάνης απορροής του Πηνειού, ανέλυσαν την χωρική και χρονική κατανομή των γεγονότων πλημμύρας και της σοβαρότητάς τους ως προς τις ζημιές. Στη συνέχεια παρατίθενται τα στοιχεία αριθμού γεγονότων από την ίδια μελέτη, σε αύξουσα σειρά, για την περίοδο 1979-2010:

- Καρδίτσα - Ενιπέας 63
- Λάρισα - Κάρλα 33
- Τρίκαλα - Νεοχωρίτης 21
- Κάτω ρους Πηνειού 12
- Ρέμα Τιταρήσιου 7
- Κοιλιάδα Τεμπών 6
- Άνω ρους Πηνειού 4

Η περιοχή Καρδίτσας και Ενιπέα, αν και γνωστή για την ευαλωτότητά της, εξακολουθεί να αντιμετωπίζει προβλήματα, (βλ. πρόσφατα γεγονότα). Από τις κυριότερες αιτίες είναι οι πυρκαγιές οι οποίες μειώνουν την απορροφητικότητα του εδάφους και έτσι αυξάνεται η ροή των ρεμάτων (Batelis and Nalbantis, 2014). Ο συνολικός αριθμός των γεγονότων πλημμύρας στο ΥΔ είναι σημαντικός, και σύμφωνα με τους Bathrellos et al. (2018), συμβαίνουν περισσότερο τους μήνες Οκτώβριο, Μάρτιο, Ιούνιο, Νοέμβριο, ενώ οι ζημιές αφορούν αγροτική γη στην πλειοψηφία τους. Το ΥΔ Θεσσαλίας είναι το πλέον ευάλωτο της Ελλάδας, καθώς οι πλημμυρικές ζώνες καλύπτουν το 31.2% της περιοχής (4172 από τα 13377 km²) (Εικόνα 20).



Εικόνα 20. Α) λεκάνες απορροής που εξετάζονται στο Σχέδιο Αντιμετώπισης Πλημμυρών, Β) Ζώνες Δυσνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας (Προσαρμοσμένο από ΥΠΕΚΑ, 2018).

Τα τελευταία χρόνια, οι πλημμύρες του ΥΔ Θεσσαλίας συνεχίζουν να αποτελούν το σημαντικότερο φυσικό κίνδυνο, με πιο χαρακτηριστικά τα γεγονότα της 21-26 Φεβρουαρίου 2018⁵, και της 19 Σεπτεμβρίου 2020 (Εικόνα 21).

⁵ Το γεγονός του Φεβρουαρίου 2018 έπληξε κυρίως τις περιοχές: Βαλτίνο, Εξάλοφο, Φαρκαδόνα, Ελευθεροχώρι Τρικάλων, Ζαγορά, Ματσουκιάτικα, Δενδροχώρι, και ανακοινώθηκαν εκκενώσεις <http://floodlist.com/europe/greece-floods-thessaly-february-march-2018>



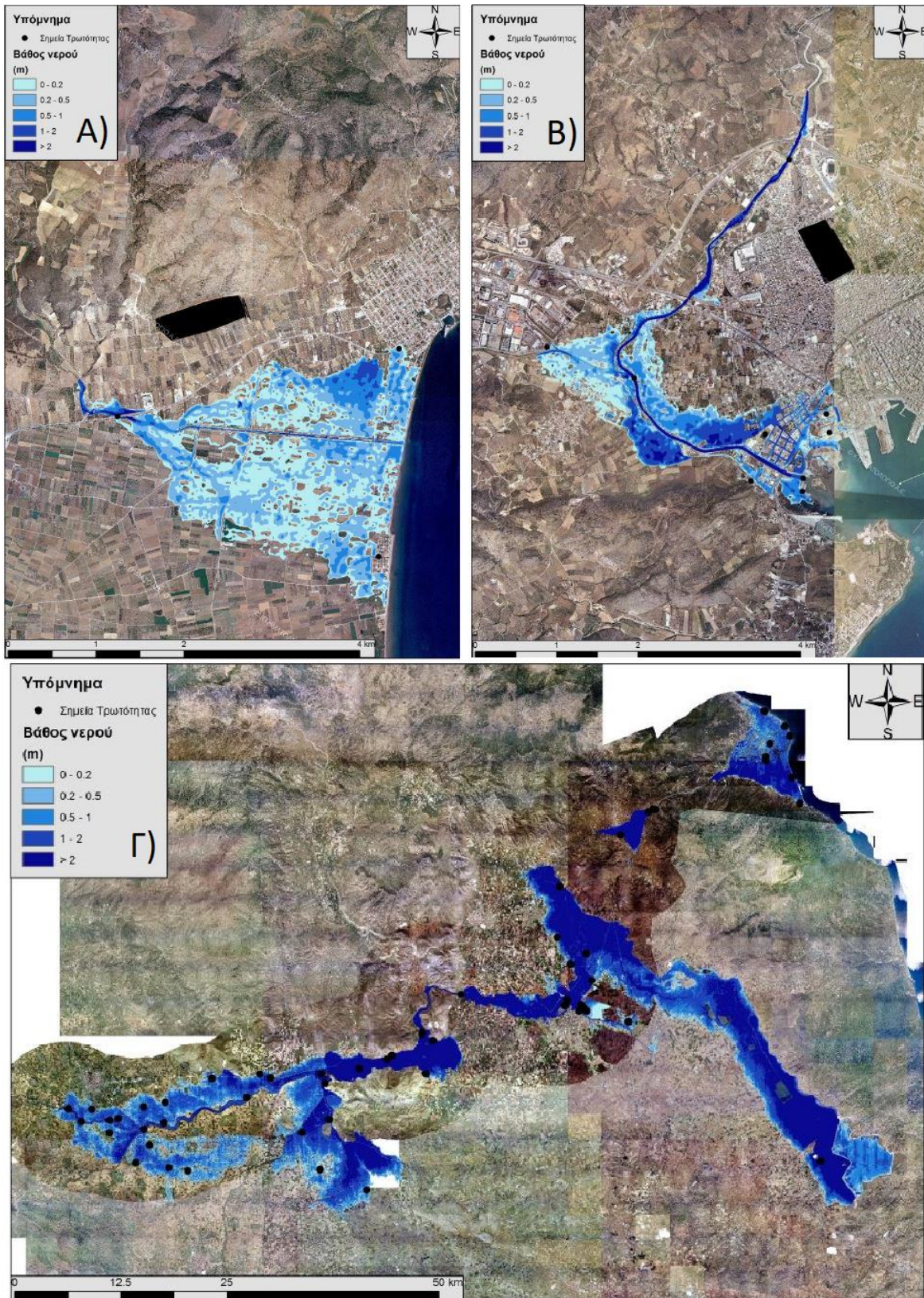
Εικόνα 21. Εικόνες από τις πλημμύρες του 09/2020 με τη σειρά από πάνω προς τα κάτω: Μαγούλα Καρδίτσας, Μουζάκι Καρδίτσας, και πόλη Καρδίτσας (Πηγές: AP News, 2020; greekreporter, 2020)⁶.

⁶ <https://apnews.com/article/storms-greece-europe-floods-9819a20faa42f557bf0998b280600180/gallery/8c3af80692ba4c3aa8ddc63f601d0ab0>
<https://greece.greekreporter.com/2020/09/20/ianos-three-dead-in-thessaly-widespread-destruction-around-the-country/>

Σύμφωνα με την οδηγία της ΕΕ για τις πλημμύρες (Ε.Σ. 2007/60), η χαρτογράφηση και η σχετική εκτίμηση κινδύνου πλημμύρας πρέπει να εφαρμόζονται με τα κατάλληλα εργαλεία. Η παρακολούθηση των πλημμυρών και των επιπτώσεών τους είναι απαραίτητα στοιχεία για οποιοδήποτε σχέδιο αντιμετώπισης κινδύνων πλημμύρας, τον εντοπισμό καταστροφών, και τις υπηρεσίες αποζημίωσης. Το ΥΠΕΚΑ (2018), στα Σχέδια Αντιμετώπισης Πλημμυρών, εξετάζει τις αστικές και τις μη-αστικές περιοχές. Σύμφωνα με τα Σχέδια, οι συνολικές ζημιές από πλημμύρες κατηγοριοποιούνται ανάλογα τον αριθμό των ανθρώπινων θυμάτων, το ποσό χρηματικής αποζημίωσης (κρατική αποζημίωση για ζημιές σε γεωργία και οικισμούς), ή το μέγεθος της πλημμυρισμένης περιοχής (Πίνακας 8).

Κατηγορίες συνολικών ζημιών	Ανθρώπινες απώλειες	Αποζημίωση (€)	Πλημμυρισμένη έκταση (km ²)
Χαμηλή		< 50.000	< 2
Μέση		50.000 – 200.000	2 – 5
Υψηλή		200.000 – 500.000	5 – 10
Πολύ υψηλή	≥ 1	> 500.000	> 10

Πίνακας 8. Κατηγορίες ζημιών, ποσό χρηματικής αποζημίωσης και πλημμυρισμένη έκταση βάσει ιστορικών γεγονότων πλημμύρας.



Εικόνα 22. Ενδεικτικά αποτελέσματα προσομοιώσεων: Α) Λαχανόρεμα Αλμυρός ($T=50$), Β) Ξηριάς Βόλου ($T=100$), Κεντρική Κοίτη Πηνειού ($T=1000$). (ΥΠΕΚΑ, 2018).

Επιπτώσεις κλιματικής μεταβλητότητας

Οι αλλαγές του κλίματος μέσα από τα σενάρια πρόβλεψης

Η ραγδαία τεχνολογική και οικονομική ανάπτυξη έχει προκαλέσει την αύξηση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου και των αεροζόλ, ιδιαίτερα των θειούχων, με ανησυχητικές τάσεις αύξησης στο εγγύς μέλλον (Τζαμπύρας, 2009; Macknick, 2011). Αυτή η αύξηση δεσμεύει μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα, ενισχύοντας το φαινόμενο του θερμοκηπίου (υπερθέρμανση του πλανήτη). Η σχέση αυτή ανθρωπογενών πιέσεων – θερμοκρασίας διατυπώθηκε αρχικά από τον Ζοζέφ Φουριέ (1822), αναλύθηκε στη συνέχεια από τον Σβάντε Αρρένιους (1896) ως το φαινόμενο που σήμερα είναι γνωστό ως κλιματική αλλαγή και θεωρείται αιτία μεταβολής μιας σειράς παραμέτρων, όπως η ακτινοβολία, η θερμοκρασία, η βροχόπτωση, το λιώσιμο των παγετώνων, η μέση στάθμη θάλασσας, η μέση εξάτμιση από τους ωκεανούς κ.ά. Για την πρόβλεψη αυτών των παραμέτρων και τη μελέτη της προσαρμογής του πλανήτη και των ανθρώπων στις νέες συνθήκες, το IPCC διαμορφώνει σενάρια προσομοίωσης του μέλλοντος της ανθρωπότητας, ώστε να ποσοτικοποιηθούν οι πιθανές ανθρωπογενείς πιέσεις και να γίνουν προβλέψεις.

Πιο συγκεκριμένα, το πρώτο Assessment Report (FAR) που πραγματοποιήθηκε το 1990 (IPCC, 1990), και η συμπληρωματική έκθεση (SR) του 1992 (IPCC, 1992) προβλέπουν τις παγκόσμιες μέσες μεταβολές κλιματικών παραμέτρων στη διάρκεια του 21ου αιώνα υπό ένα σενάριο βάσης (“business as usual” – BAU scenario), λόγω της αύξησης των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου. Η δεύτερη έκθεση (Second Assessment Report - SAR) που ολοκληρώθηκε το 1996 (IPCC, 1996), μέσω τριών Ομάδων Εργασίας (Working Groups – WG), μελέτησε το υπόβαθρο της πρόβλεψης της κλιματικής αλλαγής, τις επιπτώσεις, την προσαρμογή και τον περιορισμό της, καθώς και τις κοινωνικοοικονομικές διαστάσεις της, παρατηρώντας παράλληλα ότι οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου συνεχίζονται να αυξάνονται. Ακολούθησε η τρίτη έκθεση (Third Assessment Report – TAR) του 2001 όπου διαμόρφωσε τα σενάρια πρόβλεψης SRES (Special Report on Emissions Scenarios) (IPCC, 2001), και η τέταρτη (Fourth Assessment Report – AR4), το 2007, όπου πλέον επιστήμονες από 130 χώρες συνεισέφεραν στη μελέτη των επιπτώσεων, της προσαρμογής, της τρωτότητας και του περιορισμού της κλιματικής αλλαγής (IPCC, 2007). Το Fifth Assessment Report (AR5) το 2014, δημοσίευσε τα αποτελέσματα των σεναρίων πρόβλεψης RCP (Representative Concentration Pathways) που αντικατέστησαν τα προηγούμενα σενάρια SRES (IPCC, 2014). Το όνομα Representative Concentration Pathways (RCPs) επιλέχθηκε ώστε να δώσει έμφαση στον όρο pathways (μονοπάτια), δείχνοντας έτσι ότι τα σενάρια αυτά

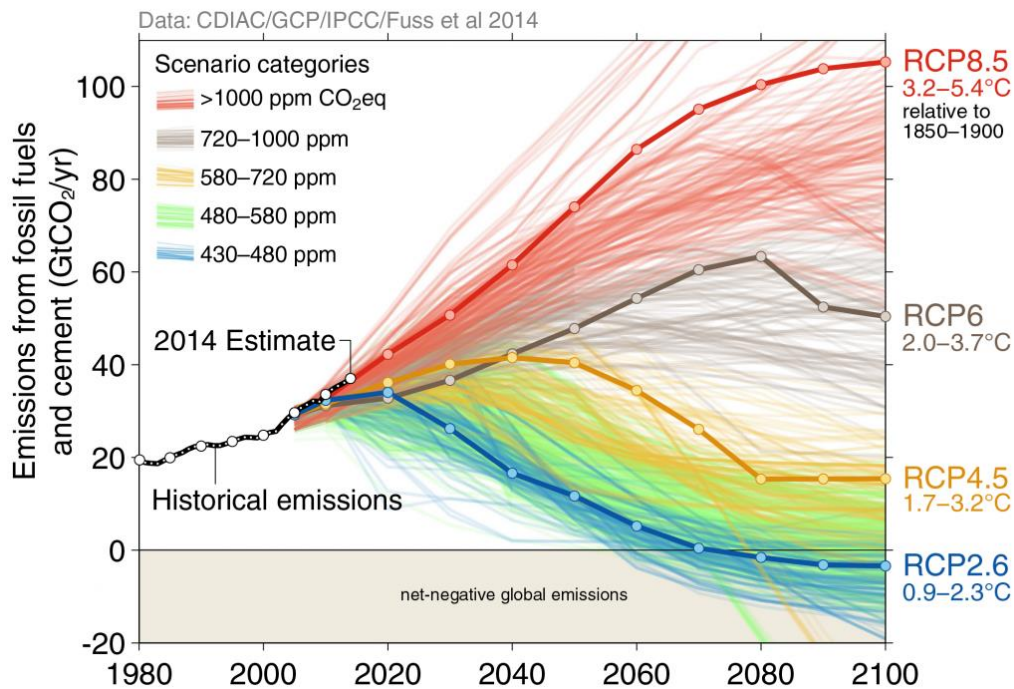
αποσκοπούν κυρίως στο να παρέχουν προβολές ατμοσφαιρικών συγκεντρώσεων αερίων του θερμοκηπίου, χρονικώς εξαρτημένες. Ο όρος pathway δηλώνει ότι δεν πρόκειται απλώς για μία μακροπρόθεσμη πρόβλεψη συγκεντρώσεων (ή άλλων παραμέτρων), αλλά και ότι η προβολή έχει λάβει υπόψη και το χρονικό παράγοντα (IPCC, 2007). Σύμφωνα με το IPCC, τα σενάρια περιγράφουν εύλογες «τροχιές» διαφορετικών όψεων του μέλλοντος που έχουν κατασκευαστεί για να διερευνήσουν τις πιθανές συνέπειες της ανθρωπογενούς κλιματικής αλλαγής. Αντιπροσωπεύουν πολλές από τις κύριες κινητήριες δυνάμεις – συμπεριλαμβανομένων διαδικασιών, επιπτώσεων (φυσικών, οικολογικών και κοινωνικοοικονομικών) και πιθανών αποκρίσεων (π.χ. μέτρα προστασίας, ενημέρωση, κλπ.). Ο στόχος της διαμόρφωσης των σεναρίων δεν είναι να προβλεφθεί το μέλλον, αλλά να κατανοηθούν καλύτερα οι αβεβαιότητες και τα εναλλακτικά «μονοπάτια», προκειμένου να εξεταστεί το πόσο ισχυρές μπορεί να είναι οι διάφορες αποφάσεις ή επιλογές, κάτω από αυτό το ευρύ φάσμα πιθανών μελλοντικών καταστάσεων (IPCC, 2014).

Κάθε RCP περιέχει ένα σύνολο τιμών εκκίνησης για κάθε κατηγορία εκπομπών, καθώς και τις εκτιμώμενες εκπομπές μέχρι το 2100, βάσει παραδοχών σχετικά με την οικονομική δραστηριότητα, τις πηγές ενέργειας, την αύξηση του πληθυσμού και άλλους κοινωνικοοικονομικούς παράγοντες. Τα δεδομένα περιέχουν επίσης ιστορικές πληροφορίες του πραγματικού κόσμου. Ενώ οι κοινωνικοοικονομικές προβλέψεις προέρχονται από τη βιβλιογραφία για την ανάπτυξη των οδών εκπομπής, η βάση δεδομένων δεν περιλαμβάνει κοινωνικοοικονομικά δεδομένα. Τα βασικά σενάρια που αναπτύχθηκαν είναι τα RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 και RCP8.5, τα οποία αναπαριστούν με τη σειρά τις πιο ήπιες έως τις πιο δυσμενείς προβλέψεις. Τα χαρακτηριστικά του κάθε σεναρίου αναλύονται στη συνέχεια:

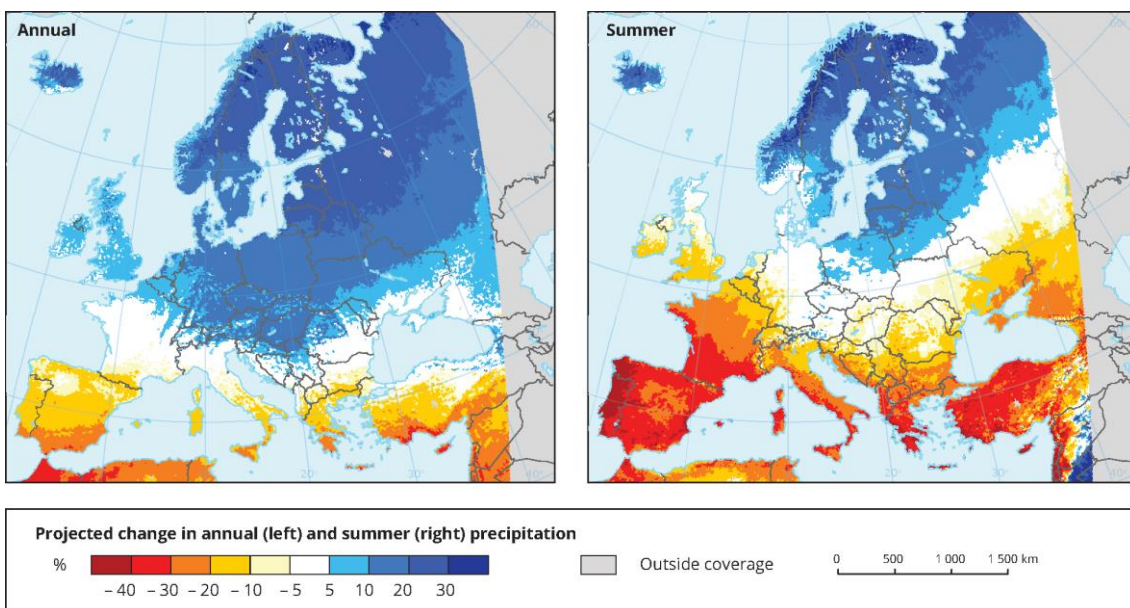
- RCP2.6: Αναπτύχθηκε από την ομάδα προσομοίωσης IMAGE της Υπηρεσίας Περιβαλλοντικής Αξιολόγησης της PBL της Ολλανδίας. Το «μονοπάτι» εκπομπών είναι αντιπροσωπευτικό των σεναρίων της βιβλιογραφίας που οδηγούν σε πολύ χαμηλά επίπεδα συγκέντρωσης αερίων θερμοκηπίου (Van Vuuren et al., 2011). Πρόκειται για ένα σενάριο «αιχμής και μείωσης» (peak-and-decline). Το επίπεδο ακτινοβολίας του για πρώτη φορά φτάνει σε τιμή περίπου $3,1 \text{ W/m}^2$ μέχρι τα μέσα του αιώνα και επιστρέφει στα $2,6 \text{ W/m}^2$ ως το 2100. Για να επιτευχθεί αυτή η μείωση στα επίπεδα ακτινοβολίας, οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (και οι έμμεσες εκπομπές ρύπων) μειώνονται σημαντικά, με την πάροδο του χρόνου. Υιοθετείται δηλαδή η παραδοχή ότι η ανθρωπότητα συμμορφώνεται με τα μέτρα περιορισμού της κλιματικής απορρύθμισης.

- RCP4.5: Αναπτύχθηκε από την ομάδα μοντελοποίησης της GCAM στο Pacific Northwest National Laboratory's Joint Global Change Research Institute (JGCRI), των Ηνωμένων Πολιτειών. Πρόκειται για ένα σενάριο σταθεροποίησης στο οποίο η ολική εκπεμπόμενη ακτινοβολία σταθεροποιείται σύντομα μετά το 2100, χωρίς να υπερβεί το μακροπρόθεσμα επιδιωκόμενο επίπεδο ακτινοβολίας (Smith and Costa 2018).
- RCP6.0: Αναπτύχθηκε από την ομάδα μοντελοποίησης AIM στο Εθνικό Ινστιτούτο Περιβαλλοντικών Μελετών (NIES) στην Ιαπωνία. Πρόκειται για ένα σενάριο σταθεροποίησης στο οποίο η ολική ακτινοβολία αναγκάζεται να σταθεροποιηθεί σύντομα μετά το 2100, χωρίς υπέρβαση αλλά με την εφαρμογή μιας σειράς τεχνολογιών και στρατηγικών για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (Fujino et al. 2006; Hijioaka et al. 2008).
- RCP8.5: Αναπτύχθηκε με τη χρήση του μοντέλου MESSAGE και του Ολοκληρωμένου Πλαισίου Αξιολόγησης του IIASA (Διεθνές Ινστιτούτο Ανάλυσης Εφαρμοσμένων Συστημάτων) της Αυστρίας. Χαρακτηρίζεται από την αύξηση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου με την πάροδο του χρόνου, και είναι αντιπροσωπευτικό των σεναρίων της βιβλιογραφίας που οδηγούν σε υψηλά επίπεδα συγκέντρωσης αερίων θερμοκηπίου (Riahi et al. 2007). Πρόκειται δηλαδή για ένα ακραίο σενάριο, στο οποίο υιοθετείται η παραδοχή ότι οι εκπομπές των αερίων συνεχίζουν με τους ίδιους ρυθμούς, χωρίς να λαμβάνονται υπόψη οι συνέπειες της κλιματικής αλλαγής.

Συνοπτικά, όλες οι προβλέψεις προσανατολίζονται στις ίδιες αλλαγές των κλιματικών παραμέτρων, απλώς με διαφορετικό ρυθμό. Πιο συγκεκριμένα, η παγκόσμια επιφανειακή θερμοκρασία προβάλλεται να αυξηθεί, ειδικά στα βορειότερα μεγάλα γεωγραφικά πλάτη κατά την ψυχρή περίοδο (van Vuuren et al., 2011). Η εξάτμιση και η βροχόπτωση προβάλλεται να αυξηθεί το χειμώνα στα βορειότερα μεσαία και υψηλά γεωγραφικά πλάτη, την τροπική Αφρική και την Ανταρκτική και το καλοκαίρι στη νοτιότερη και ανατολικότερη Ασία. Αντίθετα μειώσεις προβάλλονται στη χειμερινή βροχόπτωση της Αυστραλίας, κεντρικής Αμερικής και νοτιότερης Αφρικής. Ακόμη, προβάλλονται σοβαρές μεταβολές στα ακραία μετεωρολογικά φαινόμενα, όπως αύξηση θερμών ημερών, μείωση παγωμένων ημερών, αύξηση δριμύτητας και συχνότητας ακραίων βροχοπτώσεων και ξηρών καλοκαιρινών περιόδων (van Vuuren et al., 2011). Επιβεβαιώνεται η υποχώρηση των παγετώνων που είχε προβλεφθεί στα σενάρια SRES, με αποτέλεσμα την άνοδο του μέσου επιπέδου της θαλάσσιας στάθμης (IPCC, 2014).



Εικόνα 23. Οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα από ορυκτά καύσιμα και τσιμέντο σύμφωνα με την πέμπτη αξιολόγηση του IPCC για τα σενάρια RCP2.6, RCP4.5, RCP6 και RCP8.5. Η μαύρη γραμμή σηματοδοτεί τις ιστορικές παρατηρήσεις. Στο τέλος κάθε προβολής φαίνεται η αύξηση της θερμοκρασίας που θα προκληθεί (Fuss et al., 2014).



Εικόνα 24. Προβλεπόμενες αλλαγές στην ετήσια (αριστερά) και καλοκαιρινή (δεξιά) βροχόπτωση (σε ποσοστά) κατά την περίοδο 2071-2100 σε σύγκριση με την περίοδο βάσης 1971-2000 για το σενάριο RCP 8.5. Οι προσομοιώσεις μοντέλων βασίζονται στο μέσο όρο του συνόλου των προσομοιώσεων RCM από τη βάση δεδομένων EURO-CORDEX (Jacob et al., 2014).

Η περιοχή της Μεσογείου είναι αντιπροσωπευτική για την περιοχή μελέτης. Τα περιοχικά μοντέλα (που αναλύονται στη συνέχεια) δίνουν συγκρουόμενα στοιχεία για τα μελλοντικά

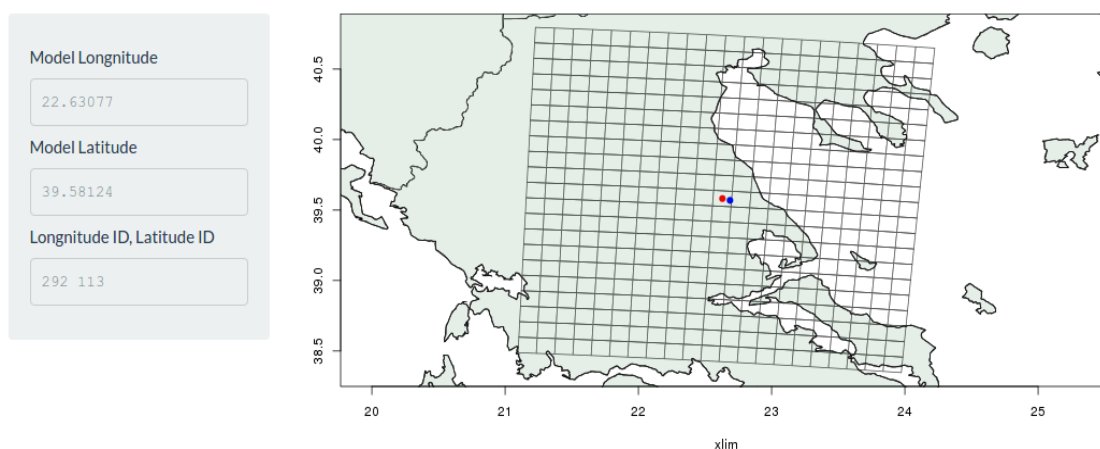
χαρακτηριστικά του κλίματος της Νοτιότερης Ευρώπης. Έτσι είναι πολύ δύσκολο να διακριθούν πιθανές κλιματικές αλλαγές σε αυτή την κλίμακα, εκτός από το κοινό εύρημα των προσομοιώσεων, που είναι η αισθητή αύξηση της θερμοκρασίας.

Μοντέλα Παγκόσμιας Ατμοσφαιρικής Κυκλοφορίας

Τα μοντέλα που αποτελούν τη βάση των προβλέψεων των μεταβολών των κλιματικών παραμέτρων που αναφέρθηκαν παραπάνω χρησιμοποιούν την παγκόσμια κλίμακα ως σημείο εκκίνησης. Λέγονται μοντέλα παγκόσμιας ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας (Global Circulation Models – GCMs) καθώς αναπαριστούν την κυκλοφορία ατμόσφαιρας – ωκεανών σε μεγάλη (πλανητική) κλίμακα, χρησιμοποιώντας εξισώσεις Navier–Stokes για περιστρεφόμενη σφαίρα με θερμοδυναμικούς όρους διαφόρων πηγών ενέργειας (όπως ακτινοβολία κλπ.). Από θεωρητική άποψη το κύριο πλεονέκτημα της απόκτησης πληροφοριών από τα μοντέλα αυτά είναι ότι η ανάδραση προκύπτει από την κλιματική αλλαγή σε μια συγκεκριμένη περιοχή σε πλανητική κλιματική κλίμακα και το κλίμα άλλων περιοχών επιτρέπεται για διαφυσικές και δυναμικές διαδικασίες μέσα στο μοντέλο (Τζαμπύρας, 2009; Sørland et al., 2018). Από την άλλη, το μειονέκτημά τους είναι ότι δε μπορούν να εξάγουν ασφαλή συμπεράσματα για μικρότερες κλίμακες του κανάβου (φατνίων) που χρησιμοποιούν στην ανάλυσή τους (συνήθως 1000x1000 km), αγνοώντας έτσι αν οι αλλαγές οφείλονται σε κάποιο τοπικό φαινόμενο.

Για την εξαγωγή αποτελεσμάτων πρόβλεψης σε μικρότερες (τοπικές) χωρικές κλίμακες, δεκάδων χιλιομέτρων, χρησιμοποιούνται τα περιοχικά μοντέλα κυκλοφορίας (Regional Circulation Models – RCMs). Τα RCMs προσομοιώνουν τις διεργασίες της ατμόσφαιρας και της επιφάνειας της γης, λαμβάνοντας όμως υπόψη και τοπογραφικά δεδομένα, αντιθέσεις χερσαίων και θαλάσσιων επιφανειών, χαρακτηριστικά επιφάνειας και άλλα στοιχεία του συστήματος της Γης (von Storch 1995; 1999; Sørland et al., 2018). Επομένως αποτελούν κατά κάποιο τρόπο υπο-κλιμάκωση των GCMs, παρέχοντας έτσι πληροφορίες ειδικής τοποθεσίας, οι οποίες μπορεί να είναι πολύ σημαντικές για αρκετές μελέτες επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής (Mearns et al., 2003). Για περεταίρω υπο-κλιμάκωση (downscaling) χρησιμοποιούνται στατιστικές τεχνικές καταβιβασμού κλίμακας (Strandberg et al., 2014). Ο στατιστικός καταβιβασμός κλίμακας περιλαμβάνει την ανάπτυξη ποσοτικών σχέσεων ανάμεσα σε μεγάλης κλίμακας ατμοσφαιρικές εξαρτημένες μεταβλητές πρόγνωσης (predictors) και τοπικές επιφανειακές ανεξάρτητες μεταβλητές πρόγνωσης (predictands), ώστε οι προβλέψεις να προσαρμοστούν στις συνθήκες της εκάστοτε περιοχής μελέτης (Strandberg et al., 2014). Αυτές οι τεχνικές διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες (Rummukainen, 2016): Υψηλής και μεταβλητής ανάλυσης γενικά μοντέλα κυκλοφορίας (AGCMs), χωρικά (ή ένθετα περιορισμένης περιοχής) κλιματικά μοντέλα, και

εμπειρικές/στατιστικές και στατιστικές/δυναμικές μέθοδοι (Murphy, 1999; von Storch et al., 1993; Crane and Hewitson, 1998; Wilks and Wilby, 1999; Hewitson and Crane, 1996; Giorgi et al., 2001; 2009). Οι τεχνικές εμφανίζουν διαφορετικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα και η χρήση τους εξαρτάται από τις ανάγκες της κάθε εφαρμογής (Pilling and Jones, 2002; Rummukainen, 2010). Το κύριο πλεονέκτημα των στατιστικών μεθόδων καταβιβασμού κλίμακας σε σχέση με τα RCMs η χαμηλή υπολογιστική τους απαίτηση, καθώς αρκεί να βρεθεί μια σχέση μετατροπής των τιμών σε τοπική κλίμακα (Arnell, 2003; Di Luca et al., 2015; 2016). Ο αριθμός των μοντέλων GCM και RCM που έχουν αναπτυχθεί είναι αρκετά μεγάλος, καθώς επιχειρείται όσο δυνατόν μεγαλύτερη ακρίβεια, περιορισμός των αβεβαιοτήτων και πιο αντιπροσωπευτικά αποτελέσματα στην εκάστοτε κλίμακα μελέτης (Di Luca et al., 2016). Σε αυτό το πλαίσιο, αναπτύχθηκαν το πρόγραμμα [Ensemble](#) και ο διάδοχός του, το Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment ([Cordex](#)), τα οποία συνδυάζουν πολλά μοντέλα πρόβλεψης (ensemble-mean) και παρέχουν τα συνολικά τους αποτελέσματα, σε περιοχική πλέον κλίμακα. Η επόμενη Εικόνα είναι ένα παράδειγμα της μορφής των αποτελεσμάτων περιοχικών μοντέλων σε κάναβο (grid). Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν βασίζονται στην πλατφόρμα DEAR - Clima (2017). Αν για παράδειγμα μας ενδιαφέρει η περιοχή με κέντρο το μπλε σημείο (γεωγραφικό μήκος και πλάτος), τότε αυτό δηλώνεται και επιλέγεται για ανάλυση. Στη συνέχεια επιλέγονται τα κλιματικά μοντέλα (π.χ. ποιων GCM και RCM θα χρησιμοποιηθούν) και το πρόγραμμα θα επιλύσει τις προγνωστικές εξισώσεις τους για κάθε κελί πλέγματος (δεδομένα σε grid). Έτσι, τα αποτελέσματα είναι αντιπροσωπευτικά για κάθε φαινόμενο. Για το παράδειγμά μας, η κόκκινη κουκίδα απεικονίζει το κέντρο του σημείου πλέγματος που είναι πλησιέστερο στην τοποθεσία ενδιαφέροντος (μπλε).



Εικόνα 25. Μορφή χωρικής ανάλυσης αποτελεσμάτων κλιματικών μοντέλων σε αντιπροσωπευτική περιοχή για τη Θεσσαλία (10x10 km²) (Πηγή: Alamanos et al., 2019c).

Επιπτώσεις κλιματικής μεταβολής στη Διαχείριση Υδατικών Πόρων

Οι αλλαγές στο μελλοντικό κλίμα θα επηρεάσουν τους θεμελιώδεις παράγοντες του υδρολογικού κύκλου, αλλά και τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Οι προβλέψεις των κλιματικών μοντέλων, κυρίως μέσω της αύξησης της θερμοκρασίας και της μείωσης των βροχοπτώσεων, θα οδηγήσουν σε αύξηση της ζήτησης νερού, και επομένως θα οξύνουν τα φαινόμενα λειψυδρίας. Η κλιματική αλλαγή έχει πολλαπλές και αυξανόμενες επιπτώσεις στις αστικές και γεωργικές δραστηριότητες (Feilberg and Mark, 2016). Αυτές οι επιπτώσεις έχουν σοβαρές πιθανές συνέπειες για κάθε τομέα που συνδέεται άμεσα ή έμμεσα με τους υδάτινους πόρους (Molle and Berkoff, 2009). Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στη διαθεσιμότητα των υδάτινων πόρων συγκαταλέγονται στα πλέον ευρέως συζητημένα περιβαλλοντικά θέματα τις τελευταίες δεκαετίες (IWA, 2015). Αναπόφευκτα λοιπόν, η διαχείριση των υδάτινων πόρων πρέπει να εξετάζει τον μακροπρόθεσμο σχεδιασμό και μία από τις κύριες πτυχές της είναι το μεταβαλλόμενο κλίμα (Russo, et al., 2014, Mourato et al., 2015).

Πολλές έρευνες και μελέτες έχουν ασχοληθεί με τις επιπτώσεις και την προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή δραστηριοτήτων σχετικά με τους υδατικούς πόρους, και κυρίως τη γεωργία (Schlenker et al., 2007; Fisher et al., 2012; Chartzoulakis and Bertaki, 2015). Το αστικό νερό θεωρείται μείζονος προτεραιότητας και η κάλυψη των υδρευτικών αναγκών υπό κλιματική αλλαγή θα είναι εφικτή με την κατάλληλη διαχείριση, η οποία είναι σαφώς πιο αισθητή από την αντίστοιχη του αρδευτικού νερού. Όσον αφορά τη βέλτιστη διαχείριση του αρδευτικού νερού υπό συνθήκες κλιματικής αλλαγής, η πλειοψηφία των μελετών επικεντρώνεται στην αύξηση της απόδοσης της χρήσης του νερού και την επίτευξη υψηλής ποιότητας τροφίμων (Fischer et al., 2007; Sun et al., 2008; Palmer et al., 2008; Alcamo et al., 2007; McDonald and Girvetz, 2013). Οι πιο πρόσφατες προσεγγίσεις είναι πιο ολιστικές, όπως αυτή των Calzadilla et al. (2014) που προσομοιώνουν τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην κοινωνικοοικονομική κατάσταση περιοχών, συνδεδεμένων με την αγροτική παραγωγή και προτείνουν επιλογές βέλτιστης προσαρμογής.

Η κατάσταση στη Θεσσαλία

Όπως γίνεται αντιληπτό από τα παραπάνω, οι προβλεπόμενες μεταβολές της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης, θα εντείνουν τις προκλήσεις που ήδη αντιμετωπίζει το ΥΔ Θεσσαλίας, ως προς όλες τις παραμέτρους που αναλύθηκαν. Πιο αναλυτικά ήδη παρατηρούνται επιπτώσεις σε:

- Υδατικό ισοζύγιο. Οι προβλέψεις αφορούν γενικά αύξηση θερμοκρασίας και μείωση βροχόπτωσης. Όσον αφορά τη διαθεσιμότητα των υδατικών αποθεμάτων, η

προσφερόμενη ποσότητα νερού από επιφανειακά ύδατα θα μειωθεί λόγω των αυξημένων απωλειών λόγω εξάτμισης. Η ποσότητα των ανανεώσιμων υδάτων του υπόγειου υδροφορέα μεταβάλλεται, καθώς με τις νέες τιμές θερμοκρασίας και βροχόπτωσης θα έχουμε μειωμένη επιφανειακή απορροή και κατείσδυση. Όλα τα παραπάνω, πρακτικά υπολογίζονται με τη βοήθεια υδρολογικών μοντέλων. Οι αρδευτικές υδατικές απαιτήσεις σε συνθήκες αυξημένης θερμοκρασίας και μειωμένης βροχόπτωσης, θα είναι υψηλότερες, ώστε να καλύψουν την αυξημένη εξατμισοδιαπνοή των φυτών. Θα προκληθεί έτσι μείωση των διαθέσιμων υδατικών αποθεμάτων (διαθεσιμότητα) και αύξηση στη ζήτηση, επομένως τα ετήσια υδρολογικά (διαθεσιμότητα) αλλά και υδατικά (προσφορά-ζήτηση) ισοζύγια θα επιβαρυνθούν ακόμα περισσότερο, με αποτέλεσμα να έχουμε μεγαλύτερα ελλείμματα.

- Οικονομία. Η αγροτική οικονομία συγκεκριμένα κινδυνεύει λόγω της πιθανής απώλειας καλλιεργήσιμης γης, της σμίκρυνσης των καλλιεργητικών περιόδων και της αβεβαιότητας σχετικά με το είδος και το χρόνο εγκατάστασης συγκεκριμένων καλλιεργειών (FAO, 2009). Άμεσες αναμένεται να είναι οι επιπτώσεις στα αποθέματα ειδών διατροφής, με όξυνση προβλημάτων σίτισης, και ακολούθως σε μία σειρά οικονομικών παραγόντων (Lobell et al., 2008). Ακόμα και με την παραδοχή ότι δε μπορούμε ίσως να προβλέψουμε με ασφάλεια αλλαγές σε καλλιεργήσιμες εκτάσεις, χορηγούμενες επιδοτήσεις και τιμές προϊόντων, εκτιμάται ότι και πάλι, θα παρατηρηθούν αυξήσεις στο συνολικό κόστος παραγωγής λόγω αυξημένων αναγκών απόδοσης, εκμετάλλευσης πόρων, και παραγωγικότητας. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι το οι περισσότερες περιοχές της Ανατολικής Θεσσαλίας έχουν τεράστιο κόστος άρδευσης που υπερβαίνει τα 60 €/στρέμμα και πλησιάζει το 50% του κόστους παραγωγής πολλών εκτατικών καλλιεργειών, σύμφωνα με πρωτογενή δεδομένα της Εταιρείας Θεσσαλικών Μελετών (Ε.ΘΕ.Μ).
- Παραγωγή. Η απόδοση των καλλιεργειών (yield) μπορεί να συσχετιστεί με τις μετεωρολογικές μεταβολές της κλιματικής αλλαγής, ωστόσο οι ακριβείς επιπτώσεις είναι ακόμα αβέβαιες. Η εκτίμηση της επίδρασης των κλιματικών μεταβολών στην αγροτική παραγωγή, μέσω της φυσιολογίας του φυτού είναι μια σύνθετη διαδικασία που περιβάλλεται από σημαντική αβεβαιότητα (Τράπεζα Ελλάδος, 2011). Στο παρελθόν έχουν γίνει προσπάθειες και σημαντικά βήματα για την εκτίμηση των επιπτώσεων του κλίματος στην αγροτική οικονομία (Schlenker et al., 2005; Schlenker et al., 2007; Fisher et al., 2012; Auffhammer et al., 2013; Clemens, 2014). Οι προσεγγίσεις που στοχεύουν στην εύρεση σχέσης μεταξύ της απόδοσης των καλλιεργειών και των κλιματικών

παραμέτρων ποικίλουν, ανάλογα με τις ιδιαιτερότητες της περιοχής και της εξεταζόμενης καλλιέργειας (Domingo et al., 1996; Kirda et al., 1999; Alexandrov and Hoogenbown, 2000; Lobell et al., 2011; Roberts et al., 2012; Calzadilla et al., 2014). Σύμφωνα με πειραματικές εκτιμήσεις, μια άνοδος της θερμοκρασίας κατά ένα βαθμό Κελσίου, τείνει να μειώνει τις γεωργικές αποδόσεις σε ποσοστό 5%, κατά μέσο όρο (Lobell et al., 2011). Παρόλα αυτά εκφράζονται και αμφιβολίες για το αν πράγματι η κλιματική αλλαγή είναι αυτή που μειώνει διαχρονικά τις αποδόσεις των καλλιεργειών, καθώς οι εκτιμήσεις αυτές βασίστηκαν σε στατιστικά μοντέλα, που μπορεί να μην είναι ακριβή (Porter and Semenov, 2005; Kang et al., 2009). Η απόδοση των καλλιεργειών δύναται να εξαρτάται και από άλλους παράγοντες, πέρα από τον καιρό, οι οποίες όμως πολύ δύσκολα αποτιμώνται, όπως οι διακυμάνσεις της προσφοράς και ζήτησης στην αγορά, οι τιμές των λιπασμάτων, οι διαθέσιμες αγροτικές τεχνολογίες κ.ά. (Lobell et al., 2007; Lee et al., 2011).

- Ακραία φαινόμενα. Όσο η ατμόσφαιρα θερμαίνεται, πολλοί θερμοδυναμικοί παράγοντες αλλάζουν, με αποτέλεσμα να επηρεάζεται η θερμοκρασία και η βροχοπτώση παντού. Η δημιουργία υδρατμών, σύννεφων, το ύψος τους και η πιθανότητα δημιουργίας βροχής, αλλά και οι διάρκειες των βροχοπτώσεων θα είναι διαφορετικές. Έτσι, πέρα από τις υγρές-ξηρές περιόδους, οι ξηρασίες και οι πλημμύρες που αναλύθηκαν παραπάνω τείνουν να επιδεινωθούν, ως προς την ένταση και τη συχνότητα εμφάνισης. Ήδη υπάρχει αύξηση στις ακραίες τιμές ημερίσιας βροχόπτωσης, στη διάρκεια των ξηρών περιόδων ανάμεσα από καταιγίδες, και αύξηση των ωριαίων ακραίων γεγονότων βροχής. Επομένως, αύξηση των ημερών καύσωνα και γενικότερη απορρύθμιση του τοπικού κλίματος αναμένεται να προκαλέσουν σημαντικές επιπτώσεις σε όλους τους τομείς που ήδη αναφέρθηκαν (υδρολογία, υδατικό ισοζύγιο, οικονομία, παραγωγή), και να επιβαρύνουν ακόμη περισσότερο τις τοπικές κοινότητες και το οικοσύστημα με καταστροφές και ζημιές. Εκτός από ξηρασίες και πλημμύρες, προβλέπεται αύξηση στον αριθμό των ημερών με εξαιρετικά αυξημένο κίνδυνο πυρκαγιάς.

Οι περιβαλλοντικές και κοινωνικο-οικονομικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής δε συνοψίζονται ούτε περιορίζονται μόνο στα τέσσερα αυτά σημεία. Η μελέτη της Τράπεζας της Ελλάδος (2011) αναφέρει αναλυτικά τις επιπτώσεις σε μια λίστα τομέων και δραστηριοτήτων, που εδώ απλώς αναφέρονται επιγραμματικά: αυξανόμενη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας για ψύξη το καλοκαίρι και μείωση θέρμανσης το χειμώνα, γενικότερη υποβάθμιση των οικοσυστημάτων (έδαφος, καθιζήσεις, βιοποικιλότητα, δομημένο περιβάλλον, κλπ.), αλλά και σχετικών

δραστηριοτήτων (όπως αλιεία, τουρισμός, αναψυχή), επιπτώσεις σε μεταφορές, υγεία, εξορυκτική βιομηχανία, κ.ά.

Έρευνες σχετικά με την κλιματική αλλαγή στη Θεσσαλία

Σε αυτή την ενότητα γίνεται ανασκόπηση των εργασιών που έχουν μελετήσει την κλιματική αλλαγή και τις επιπτώσεις της σε διάφορες πτυχές της διαχείρισης των υδατικών πόρων, τα τελευταία 20 χρόνια. Η ανασκόπηση αυτή συνοψίζει και αποδεικνύει τις ανωτέρω θεωρητικές αρχές, ενώ είναι πολύ χρήσιμο να μελετηθούν τα συμπεράσματά τους και οι προτάσεις αντιμετώπισης, καθώς είναι πλέον αντιπροσωπευτικά για την ευρύτερη διαχειριστική κατάσταση και μέριμνα στο ΥΔ.

- Οι Mimikou et al., (2000) μελέτησαν τα περιοχικά (regional) αποτελέσματα της κλιματικής αλλαγής μέσω ποσοτικών και ποιοτικών δεικτών. Χρησιμοποίησαν δύο μοντέλα GCM (HadCM2 και UKHI). Η αύξηση στη θερμοκρασία και η μείωση στη βροχόπτωση προκαλούν σημαντική μείωση στην επιφανειακή απορροή σε όλους τους μήνες του έτους, αλλά ιδιαίτερα κατά τις καλοκαιρινές ξηρές περιόδους. Η ποιότητα επηρεάζεται αρνητικά λόγω της σημαντικής μείωσης απορροών.
- Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο της ξηρασίας, οι εργασίες των Loukas et al. (2007a; 2008) χρησιμοποίησαν τα σενάρια SRES για τις περιόδους 2020-2050, 2070-2100 και απέδειξαν ότι η ένταση, η διάρκεια και σοβαρότητα ξηρασιών στο μέλλον αυξάνεται. Ήδη παρατηρούνται τέτοια φαινόμενα στην περίοδο που διανύουμε.
- Οι Sidiropoulos et al. (2013) βασισμένοι στα αποτελέσματα του GCM CGCMa2, και με μια υβριδική μέθοδο στατιστικής υποκλιμάκωσής τους για τον υδροφορέα της λεκάνης απορροής της λίμνης Κάρλας, έλεγξαν δύο σενάρια κλιματικής αλλαγής. Η βέλτιστη άντληση υπόγειων υδάτων φαίνεται ότι είναι απαραίτητο να προσαρμοστεί στις νέες κλιματικές συνθήκες.
- Οι Poulos et al., (2013) εξέτασαν τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στο Δέλτα του Πηνειού. Καταλήγουν ότι οι κλιματολογικές συνθήκες, επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό την έκταση του δέλτα, τις υπόγειες γεωλογικές/ γεωφυσικές συνθήκες, τον υδροφορέα, αλλά και τις μηνιαίες επιφανειακές ροές, τόσο ποσοτικά όσο και ποιοτικά.
- Τα αποτελέσματα της εργασίας των Loukas et al. (2015) βασισμένα σε υδρολογικό μοντέλο και μοντέλο προσομοίωσης υπόγειας ροής αντίστοιχα, δείχνουν ότι η κλιματική αλλαγή δεν επηρεάζει σημαντικά τον υπόγειο υδροφορέα της λεκάνης απορροής της λίμνης Κάρλας, σε σύγκριση με την έντονη ανθρώπινη εκμετάλλευσή του.

- Οι Tzabiras et al. (2016) εξετάζουν δύο επιχειρησιακές στρατηγικές υδρο-τεχνικών έργων και τρεις στρατηγικές διαχείρισης της ζήτησης νερού, για την ανατροπή των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στην λεκάνη απορροής της λίμνης Κάρλας. Τα αποτελέσματα για το μεγαλύτερο αντίκτυπο της ανθρώπινης εκμετάλλευσης σε σχέση με αυτόν του κλίματος, είναι σε συμφωνία με τις δύο προηγούμενες μελέτες, αλλά και με τη μεταγενέστερη έρευνα των Alamanos et al. (2017).
- Στην τελευταία εργασία, χρησιμοποιήθηκαν ήδη παρατηρημένες (ιστορικές, και όχι μελλοντικές) μέγιστες και ελάχιστες τιμές βροχόπτωσης και θερμοκρασίας, ακριβώς για να εξετασθεί η επίδρασή τους (ευαισθησία) στο υδατικό ισοζύγιο και το κόστος άρδευσης. Σε σχέση με άλλες διαχειριστικές πολιτικές και τιμολόγησης νερού, επιβεβαιώνεται ότι το κλίμα έχει μικρότερη επίδραση, που δεν παύει όμως να είναι αρνητική.
- Το ίδιο συμπέρασμα εξάγεται και για την επίδραση της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης στη ζήτηση του αστικού νερού, και συγκεκριμένα του Βόλου, σύμφωνα με τις εργασίες των Myloroulos et al. (2017) και Alamanos et al. (2019c). Οι μελέτες αυτές υπολόγισαν τις ελαστικότητες πολλών διαφορετικών, κλιματικών και κοινωνικοοικονομικών παραμέτρων, ενώ η τελευταία εργασία εξέτασε την επίδρασή τους βάση κλιματικής αλλαγής και στο υδατικό ισοζύγιο. Οι ελαστικότητες είναι σχετικά μικρές, παρόλα αυτά η επίδραση στο ισοζύγιο δεν είναι αμελητέα, και τονίζεται ότι πρέπει να υπάρξει πρόληψη από τη ΔΕΥΑΜΒ.
- Οι Arampatzis et al. (2018) βρίσκουν ότι η διαθεσιμότητα νερού πρόκειται να μειωθεί, στην ήδη επιβαρυσμένη λεκάνη απορροής του Πηνειού. Αυτό συνεπάγεται και μικρότερη κατείδουση, άρα λιγότερο εμπλουτισμό υπόγειων υδάτων, που όμως συνοδεύεται από αυξημένες αρδευτικές απαιτήσεις στην περιοχή.
- Οι μέχρι τώρα μελέτες αφορούσαν αποτελέσματα των κλιματικών σεναρίων SRES του IPCC. Τα αποτελέσματα των νέων σεναρίων RCP του AR5 του IPCC ελέγχθηκαν για πρώτη φορά στη Θεσσαλία από τους Alamanos et al. (2018; 2019d) (RCP2.6, RCP4.5 και RCP8.5). Επίσης, για πρώτη φορά η κλιματική αλλαγή εξετάστηκε υπό ensemble mean, σε αντίθεση με τη μέχρι τώρα χρήση ενός ή δύο κλιματικών μοντέλων, έτσι οι μεταβολές σε θερμοκρασία και βροχόπτωση περιλαμβάνουν ένα ευρύ φάσμα προβλεπόμενων προβολών του κλίματος. Χρησιμοποιήθηκε το σύνολο των αποτελεσμάτων πέντε GCM και 10 προσομοιώσεων RCM, τα οποία ‘καταβιβάστηκαν’ στατιστικά για την λεκάνη απορροής της λίμνης Κάρλας και την πόλη του Βόλου για τις τριακονταετίες 2010-2040, 2040-2070 και 2070-2100 (Εικόνα 25). Η ανάλυση

επιπτώσεων προβλέπει μικρή αύξηση στη ζήτηση της ύδρευσης του Βόλου, αλλά σημαντικά μεγαλύτερη ευαλωτότητα στο σύνολο του υδατικού ισοζυγίου της περιοχής, συμπεριλαμβανομένης και της (αγροτικής) λεκάνης της Κάρλας. Από ένα σύνολο διαχειριστικών σεναρίων που εξετάζονται, φαίνεται ότι η κατάσταση μπορεί να αναστραφεί μέσω ορθολογικής διαχείρισης, επιβεβαιώνοντας τις προγενέστερες μελέτες.

- Οι εργασίες των Tziatzios et al. (2018) και των Sidiropoulos et al. (2019), επίσης βασισμένες στα σενάρια RCP, μελέτησαν τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στο συνδυασμό ποσοτικής και ποιοτικής κατάστασης, στον υπόγειο υδροφορέα της λεκάνης απορροής της λίμνης Κάρλας. Ο υδροφορέας που ήδη βρισκόταν υπό καθεστώς υπερεκμετάλλευσης, παρουσιάζει μελλοντικά εμφανή ποιοτική υποβάθμιση λόγω της κατείδυσης νιτρικών, κάτι που ενισχύεται από την ήδη ποσοτικά υποβαθμισμένη κατάστασή του. Τα αποτελέσματα συμπληρώνουν αυτά των Mimikou et al. (2000) και των Poulos et al. (2013), και δείχνουν ότι η ποσοτική-ποιοτική υποβάθμιση είναι αλληλένδετες σε επιφανειακά, υπόγεια ύδατα, και δέλτα ποταμών.

Με μια πρώτη ματιά, το προφανές συμπέρασμα είναι ότι την τελευταία 20ετία η επιστημονική κοινότητα διαρκώς προειδοποιεί για τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής και προτείνει ορθολογικότερη διαχείρισή τους. Αυτά μόνο για τους υδατικούς πόρους, δηλαδή δεν αναλύθηκαν επιπτώσεις σε άλλους τομείς, οπότε γίνεται αντιληπτή η σοβαρότητα της κατάστασης.

Μια πιο αναλυτική εξέταση του προβλήματος δείχνει ότι οι μελέτες που παρουσιάστηκαν χρησιμοποιούν διαφορετικές πηγές (GCM, RCM) για την εκτίμηση των αρχικών συνθηκών του εκάστοτε μελετώμενου συστήματος. Το κάθε μοντέλο εμπεριέχει αβεβαιότητες, οι οποίες αναπαράγονται και μεταφέρονται στα στάδια εκτίμησης υδρολογικών και υδατικών υπολογισμών, όμως τα ευρήματα όλων των ανωτέρω εργασιών τονίζουν ξεκάθαρα ότι: Η υποβάθμιση σε επιφανειακά και υπόγεια ύδατα, τόσο ποσοτικά όσο και ποιοτικά, είναι ένα κοινό εύρημα που προκύπτει από αρκετές διαφορετικές εργασίες. Η περίοδος που διανύουμε είναι ήδη στις περιόδους πρόβλεψης τέτοιων φαινομένων, κάτι που γίνεται αντιληπτό και από την ανάλυση του παρόντος παραδοτέου. Παρόλα αυτά, αρκετές εργασίες αποδεικνύουν ότι αυτή η κατάσταση μπορεί ακόμη να αναστραφεί. Τα κοινά τους ευρήματα είναι αφενός η προώθηση πρακτικών αποδοτικότερης χρήσης νερού, και αφετέρου η διαπίστωση ότι η ανθρώπινη διαχείριση επιδρά περισσότερο στην κατάσταση των ΥΣ σε σχέση με την κλιματική αλλαγή.

Παρά τις επιπτώσεις αυτές, όπως τονίζουν και οι τοπικοί φορείς του ΥΔ, ακόμα δεν έχει δοθεί η δέουσα προσοχή στο ζήτημα όσον αφορά τις δράσεις και παρεμβάσεις. Πιο αναλυτικά, το Σχέδιο Αντιμετώπισης Φαινομένων Λειψυδρίας και Ξηρασίας - (ΥΠΕΚΑ, 2014), και κατ' επέκταση το

Περιφερειακό Σχέδιο Προσαρμογής στην Κλιματική Αλλαγή (ΠεΣΠΚΑ) για τη Θεσσαλία επίσης τονίζουν τις συνέπειες της κλιματικής αλλαγής και τη σημασία πρόληψης των επιπτώσεών της σε ένα πλήθος τομέων (κλιματικά, μετεωρολογικά, γεωλογικά, σεισμολογικά, εδαφολογικά, ορυκτό πλούτο, πολιτισμό, χωροταξία, βιομηχανία, λιμάνια, αεροδρόμια, δομημένο περιβάλλον, οδικούς άξονες κλπ.). Αναφέρουν επίσης συμπεράσματα-στόχους για την ενίσχυση της ανθεκτικότητας της Περιφέρειας στις επιπτώσεις από την κλιματική αλλαγή, και την αύξηση της ετοιμότητας και της ικανότητας αντιμετώπισης των επιπτώσεών της.

Προτεινόμενα μέτρα

Από τα παραπάνω είναι φανερό ότι το ΥΔ Θεσσαλίας είναι περιοχή ιδιαίτερου ενδιαφέροντος, όσο ως προς την αντιμετώπιση ξηρασιών, τόσο και ως προς την προστασία από πλημμύρες. Η ενότητα αυτή καταγράφει συνοπτικά τα κυριότερα μέτρα που έχουν προταθεί από την Πολιτεία και από την επιστημονική κοινότητα μέχρι στιγμής αναφορικά με την αντιμετώπιση, προστασία και προσαρμογή σε συνθήκες λειψυδρίας-ξηρασίας και πλημμυρών.

Κρατική προσέγγιση

Όσον αφορά τη λειψυδρία-ξηρασία, τα προτεινόμενα μέτρα από το ΥΠΕΚΑ που βρίσκονται σε ισχύ αφορούν τη διαχείριση της ζήτησης του νερού (μέσω διατάξεων, τιμολογιακής πολιτικής, κλπ.), την καλύτερη αξιοποίηση υποδομών, μέτρων ασφαλείας, νέα έργα υδροδότησης και αποθήκευσης νερού, αύξηση της απόδοσης χρήσης νερού (εφαρμογή νέων τεχνολογιών, κλπ.), ελέγχου (π.χ. καταγραφή αντλούμενων ποσοτήτων από γεωτρήσεις), αντίστοιχες θεσμικές και αδειοδοτικές διατάξεις. Αναφορικά με την πλημμυρική προστασία, τα έργα αφορούν τεχνικές επεμβάσεις (αντιπλημμυρικά έργα προστασίας και υποδομές)⁷. Για τα φαινόμενα ρύπανσης υπόγειων και επιφανειακών ΥΣ που περιεγράφηκαν παραπάνω, η Κοινή Αγροτική Πολιτική (ΚΑΠ) και οι αντίστοιχοι Κώδικες Ορθής Γεωργικής Πρακτικής (Υπ.Αγρ.Αν., 2015), περιλαμβάνουν σχεδόν όλα όσα αφορούν την άρδευση, τη λίπανση και τη χρήση των φυτοφαρμάκων. Ενδεικτικά, προάγεται η γεωργία ακριβείας (προσαρμοσμένη εφαρμογή λίπανσης και άρδευσης, π.χ. διαφορετικές ποσότητες σε διαφορετικά σημεία του αγρού) μέσω τηλεπίσκοπησης, συστήματα εντοπισμού θέσης και αισθητήρες. Ακόμη, αναλύονται προγράμματα προστασίας της ποιότητας των υδάτων όπως για παράδειγμα τα προγράμματα νιτρορύπανσης (π.χ. οι αγροτές επιδοτούνται με ένα πόσο 40-50€/στρ. με στόχο να μειώσουν την χρήση των αζωτούχων λιπασμάτων).

Η προοπτική τοπικών φορέων για μέτρα και το μέλλον του ΥΔ ως απάντηση της μέχρι στιγμής

⁷ <https://ypodomes.com/thessalia-antiplimmyrika-erga-ypsoys-5-ekat-eyro-stoys-parapotamoys-toy-pineiou/>

κρατικής προσέγγισης είναι απαισιόδοξη. Εκτιμούν ότι στο εγγύς μέλλον η βιώσιμη διαχείριση των ΥΣ της Θεσσαλίας δεν θα είναι εφικτή γιατί υπάρχει έλλειψη συστηματικού ενδιαφέροντος. Επίσης εντοπίζουν έλλειψη σταθερού πλάνου εφαρμογής (masterplan) έργων και δράσεων, δεδομένου ότι το Σχέδιο Διαχείρισης αποτελεί απλή χάραξη στόχων και μάλιστα γενικών και όχι δεσμευτικών. Ακόμα, εισπράττουν ανεπαρκή προγραμματισμό και αξιολόγηση έργων από πλευράς κόστους – ωφέλειας, αναξιόπιστες προβλέψεις για τις μελλοντικές ανάγκες της γεωργίας του ΥΔ λόγω της αβεβαιότητας σε δεδομένα και διαδικασίες.

Ερευνητικές προσεγγίσεις

Μεγαλύτερο ερευνητικό ενδιαφέρον παρουσιάζει η προσαρμογή της Θεσσαλικής γεωργίας σε συνθήκες ξηρασίας-λειψυδρίας με έλεγχο απολήψεων νερού και ρύπανσης (διατήρηση αποδόσεων καλλιεργειών, αύξηση παραγωγικότητας, αποδοτική χρήση νερού, οικονομικά εργαλεία, βιωσιμότητα, κλπ.).

Ο επόμενος Πίνακας συνοψίζει τις κυριότερες συνεισφορές.

Μελέτη	Αντικείμενο	Προτεινόμενα μέτρα
Panagopoulos et al., 2002	Δράσεις για τον περιορισμό των νιτρικών αλάτων στους υδάτινους πόρους της Θεσσαλίας.	Εφαρμογή του Εθνικού Σχεδίου Δράσης προστασίας των ΥΣ από τη νιτρορύπανση.
Loukas et al., 2007	Σύστημα Μοντελοποίησης για την Αξιολόγηση των Στρατηγικών Διαχείρισης Υδατικών Πόρων στη Θεσσαλία.	Το σύστημα μοντελοποίησης αποτελείται από ένα υδρολογικό μοντέλο, ένα μοντέλο λειτουργίας ταμιευτήρα, και μεθόδους για τον υπολογισμό των αναγκών σε νερό. Αυτά προτείνονται και ως μέτρα αξιολόγησης πολιτικών διαχείρισης νερού.
Bakoroulou et al., 2008	Χρήση ανακυκλωμένου νερού για γεωργικούς σκοπούς στην περιοχή της Θεσσαλίας: διερεύνηση των απόψεων των πολιτών.	Επιθυμία πολιτών Θεσσαλίας να δεχτούν την επαναχρησιμοποίηση νερού για άρδευση. Υπάρχει θετική διάθεση, εφόσον παρέχονται επαρκείς πληροφορίες σχετικά με τις πρακτικές επαναχρησιμοποίησης νερού.
Sofios and Polyzos, 2009	Διαχείριση Υδατικών Πόρων στη Θεσσαλία και αντίκτυπο στην περιφερειακή ανάπτυξη.	Τονίζεται η κρισιμότητα της κατάστασης των υδατικών πόρων του ΥΔ και η μεγάλη σημασία της βελτίωσής της στην ευρύτερη ανάπτυξη της περιοχής.

Mylopoulos et al., 2009	Ανάπτυξη γεωργικών και υδάτινων πόρων στη Θεσσαλία, στο πλαίσιο νέων πολιτικών της Ευρωπαϊκής Ένωσης.	Εφαρμογή των WFD και ΚΑΠ στο πλαίσιο της ορθολογικής διαχείρισης των υδάτινων πόρων, της εξασφάλισης νερού και τροφίμων, της προστασίας οικοσυστημάτων, περιορισμό των κινδύνων, ευαισθητοποίηση του κοινού, και τη διασφάλιση δράσεων συνεργασίας και συντονισμού με ολοκληρωμένο τρόπο.
Bakopoulou et al., 2011	Εκτίμηση της ποιότητας των λυμάτων στην περιοχή της Θεσσαλίας, για τον προσδιορισμό της δυνατότητας επαναχρησιμοποίησής τους για άρδευση.	Έπειτα από ανάλυση δειγμάτων ποιότητας νερού, συμπεραίνεται ότι τα δευτερογενή απόβλητα είναι γενικά αποδεκτά για επαναχρησιμοποίηση στην άρδευση, εφόσον εφαρμόζονται οι κατάλληλες μέθοδοι επεξεργασίας. Η πιθανή τοξικότητά τους πρέπει να παρακολουθείται.
Sidiropoulos et al., 2013	Βέλτιστη διαχείριση του υπερ-εκμεταλλεόμενου υδροφορέα της Κάρλας, υπό σενάρια κλιματικής αλλαγής.	Βέλτιστος όγκος νερού που μπορεί να αντληθεί από τον υδροφορέα και βέλτιστη θέση των γεωτρήσεων, ώστε η στάθμη του υδροφορέα να ανεβεί σε βιώσιμο επίπεδο, λαμβάνοντας υπόψη την αλλαγή του κλίματος.
Panagopoulos et al., 2014a	Αξιολόγηση της σχέσης κόστους-αποτελεσματικότητας των πρακτικών διαχείρισης των υδάτων άρδευσης του Πηνειού.	Στάγδην άρδευση, γεωργία ακριβείας, επαναχρησιμοποίηση νερού, βελτίωση της αποτελεσματικότητας μεταφοράς νερού, και συνδυασμοί τους.
Panagopoulos et al., 2014b	Βέλτιστη Εφαρμογή Πρακτικών Άρδευσης: Οικονομικά Αποδοτικό Σχέδιο Δράσης αντιμετώπισης της ερημοποίησης στη Λεκάνη Πηνειού.	Αξιολόγηση στάγδην άρδευσης, γεωργίας ακριβείας, επαναχρησιμοποίησης νερού, βελτίωσης της αποτελεσματικότητας μεταφοράς νερού, με βελτιστοποιημένη σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας, υπό σενάρια τρέχουσας και ογκομετρικής τιμολόγησης νερού, και μεταβολών των παραμέτρων κόστους.
Tzabiras et al., 2016	Αξιολόγηση στρατηγικών διαχείρισης νερού για την ανατροπή των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στην λεκάνη απορροής της λίμνης Κάρλας	Δύο επιχειρησιακές στρατηγικές υδρο-τεχνικών έργων και τρεις στρατηγικές διαχείρισης της ζήτησης νερού αξιολογούνται υπό σενάρια κλιματικής αλλαγής. Τα αποτελέσματα τονίζουν την κρισιμότητα της κατάστασης ακόμα και σε ήπιες συνθήκες κλιματικής αλλαγής.
Alamanos, et al., 2019a; 2019b	Προσομοίωση υδρολογικής, ποιοτικής και οικονομικής κατάστασης στη λεκάνη απορροής της λίμνης Κάρλας, και διαχειριστικά σενάρια για βελτίωσή τους.	Μείωση απωλειών μεταφοράς και διανομής άρδευσης, στάγδην άρδευση, επαναλειτουργία του ταμιευτήρα της Κάρλας για άρδευση, εναλλαγή καλλιεργειών, βελτιστοποίηση καλλιεργητικού πλάνου, επίδραση ποσοτικής αναπλήρωσης στην

		ποιοτική κατάσταση των υδάτων, κοστολόγηση αρδευτικού νερού.
Sidiropoulos et al. 2019	Μοντελοποίηση της ρύπανσης του υπόγειου υδροφορέα της Κάρλας υπό σενάρια κλιματικής αλλαγής και σενάρια διαχείρισης υδατικών πόρων.	Υιοθέτηση και εφαρμογή ορθών γεωργικών πρακτικών σε συνδυασμό με την εφαρμογή κατάλληλου προτύπου καλλιέργειας. Συμμόρφωση με τους στόχους-νομοθεσίες για την ποιότητα των υδατινών πόρων.
Gourgouletis et al., 2020	Δυνατότητες εξοικονόμησης νερού στο ΥΔ Θεσσαλίας.	Στάγδην άρδευση, εκσυγχρονισμός των δικτύων μεταφοράς νερού, ελλειμματική άρδευση, προγραμματισμένη άρδευση. Εξετάζονται ξεχωριστά και συνδυαστικά, με ενθαρρυντικά αποτελέσματα στη μείωση της συνολικής ζήτησης νερού.
Panagopoulos and Dimitriou., 2020	Η τεχνητή λίμνη Κάρλα ως μια μεγάλης κλίμακας φυσική λύση, και οι υπηρεσίες που προσφέρει στο οικοσύστημα.	Επαναλειτουργία του ταμιευτήρα της Κάρλας ως φυσική-λύση (nature-based solution), πολλαπλών χρηστικών υπηρεσιών και υπηρεσιών οικοσυστήματος (Ecosystem Services).

Πίνακας 9. Κατάλογος ερευνητικών προσεγγίσεων με προτεινόμενα μέτρα για την περιοχή μελέτης.

Είναι φανερό ότι το επιστημονικό ενδιαφέρον είναι έντονο, πράγμα που απορρέει από τη σοβαρότητα των προβλημάτων της περιοχής. Η εξέταση των ανωτέρω μέτρων, η προσέγγιση των τοπικών φορέων, και η αξιολόγηση των Κρατικών προσεγγίσεων που προαναφέρθηκαν, από ποικίλες επιστημονικές οπτικές γωνίες συμφωνούν ως προς την αναγκαιότητα δράσης στο ΥΔ Θεσσαλίας. Οι επιστημονικές απόψεις επικροτούν τις προσεγγίσεις και τις ανησυχίες των τοπικών φορέων, και συγκλίνουν όσον αφορά τη διασφάλιση της σωστής εφαρμογής και του ορθολογικού προγραμματισμού των Κρατικών Σχεδίων.

Φυσικές-λύσεις (Nature-based solutions): Το παράδειγμα της λίμνης Κάρλας

Η περίπτωση της λεκάνης απορροής της λίμνης Κάρλας και του νέου ταμιευτήρα αναφέρεται σε πολλές προσεγγίσεις του Πίνακας 9. Με αφορμή αυτό το παράδειγμα, σε αυτή την παράγραφο αναλύεται μια κατηγορία μέτρων ξεχωριστά, αυτή των *nature-based solutions*.

Σύμφωνα με τη Διεθνή Ένωση Προστασίας της Φύσης (International Union for Conservation of Nature – IUCN), οι *nature-based solutions* (NbS) ορίζονται «δράσεις για την προστασία, τη βιώσιμη διαχείριση και την αποκατάσταση φυσικών ή τροποποιημένων οικοσυστημάτων, που αντιμετωπίζουν αποτελεσματικά και προσαρμοστικά τις κοινωνικές προκλήσεις, παρέχοντας

ταυτόχρονα οφέλη για την ανθρώπινη ευημερία και τη βιοποικιλότητα»⁸. Απλούστερα είναι όλες οι τεχνικές με τις οποίες προάγουν την αειφόρο διαχείριση και χρήση της φύσης για την αντιμετώπιση των κοινωνικο-περιβαλλοντικών προκλήσεων. Τα οφέλη από αυτή την πρακτική περιβαλλοντικής διαχείρισης είναι πολλαπλά, καθώς οι NbS που αφορούν οικοσυστήματα συγκεντρώνουν πληθώρα υπηρεσιών (Υπηρεσίες Οικοσυστήματος, Ecosystem Services – ES). Για παράδειγμα, ένας υγροβιότοπος μπορεί να συγκρατεί τα νερά των πλημμυρικών απορροών, να «φιλτράρει» ρύπους που συνοδεύουν τις απορροϊκές παροχές, να ρυθμίζει το μικρο-κλίμα της περιοχής, να διατηρεί χλωρίδα, πανίδα, να προσφέρει πρώτες ύλες ή υπηρεσίες αναψυχής, και τουρισμού, κλπ.

Στο νοτιοανατολικό τμήμα του ΥΔ Θεσσαλίας, ανάμεσα στο Βόλο και τη Λάρισα, βρίσκεται η λεκάνη απορροής της λίμνης Κάρλας. Αποτελεί παράδειγμα NbS, τεράστιας σημασίας για την ευρύτερη περιοχή, και η επανασύστασή της (αναλύεται στη συνέχεια) αποτέλεσε το μεγαλύτερο περιβαλλοντικό έργο των Βαλκανίων⁹.

Η λεκάνη είναι κλειστή (δεν υπάρχει φυσική επιφανειακή υδραυλική της επικοινωνία με τη θάλασσα), επιμήκη λεκάνη μήκους 35 χιλιομέτρων, πλάτους 15 χιλιομέτρων, και συνολικής έκτασης 1173 km². Η γεωργική χρήση δεσπόζει παραδοσιακά στην περιοχή, ευθύνεται για το 94% της συνολικής κατανάλωσης νερού. Για την κάλυψή της χρησιμοποιείται ο υπόγειος υδροφορέας (έκτασης 500 km²), όπου βρίσκεται υπό καθεστώς υπερεκμετάλλευσης, και σε μικρότερο ποσοστό τα επιφανειακά ύδατα του Πηνειού ποταμού (Αλαμάνος, 2019).

Η λίμνη κρατούσε ζωντανή και υγιή την ευρύτερη περιοχή διότι παγίδευε τα πλημμυρικά νερά, τα αποθήκευε επιφανειακά, και υπόγεια (εμπλουτισμός), με αποτέλεσμα να μπορούν να χρησιμοποιηθούν για άρδευση. Όσον αφορά την ποιότητα του εδάφους και του νερού, απομάκρυνε θρεπτικά στοιχεία, κατακρατούσε ιζήματα και τοξικές ουσίες. Η συνεισφορά της στο μικρο-κλίμα της περιοχής ήταν επίσης σημαντική, αφού αποθήκευε (δέσμευση ηλιακής ακτινοβολίας) και ελευθέρωνε τη θερμότητα, ενώ τέλος, συντηρούσε χλωρίδα και πανίδα, στηρίζοντας τις τροφικές αλυσίδες (Σιδηρόπουλος, 2014; Αλαμάνος, 2019). Από την άλλη, η παγίδευση των πλημμυρικών απορροών στη λίμνη συνοδευόταν από την κατάκλυση μεγάλων γεωργικών εκτάσεων, ενώ δημιουργούσε προβλήματα στράγγισης και αύξανε τις συγκεντρώσεις αλάτων στα εδάφη της γύρω περιοχής. Επίσης η λίμνη είχε συνδεθεί με την ελονοσία που αντιμετώπιζαν οι ντόπιοι κατά καιρούς. Αυτά, σε συνδυασμό με την τάση για αγροτική εκμετάλλευση όλης της περιοχής, ενίσχυσαν την τεχνοκρατική αντίληψη που επικρατούσε στην

⁸ <https://www.iucn.org/commissions/commission-ecosystem-management/our-work/nature-based-solutions>

⁹ <https://www.almyros.gr/2018/10/06/to-megalytero-perivallontiko-ergo-sta-valkania-i-limni-karla-einai-pragmatikotita/>

<https://www.news247.gr/perivallon/limni-karla-to-megalytero-perivallontiko-ergo-ton-valkanion.6655234.html>

Ελλάδα τα τέλη του 19^{ου} αιώνα: Την αποξήρανση αρκετών λιμνών και υδροτόπων (Κωπαΐδα, έλος Γιαννιτσών, πεδιάδα Σερρών), με κίνητρο την επέκταση των γεωργικών εκτάσεων, χωρίς περιβαλλοντική και οικολογική μέριμνα. Έτσι, ξεκίνησε η αποξήρανση της λίμνης Κάρλας αποκόπτοντας την τροφοδοσία της από τον Πηνειό και συνεχίστηκε με την κατασκευή αντιπλημμυρικών και αποστραγγιστικών έργων το 1949. Η αποξήρανση έγινε το 1962 μέσω σήραγγας προς τον Παγασητικό Κόλπο ενώ προβλεπόταν η κατασκευή ενός ταμιευτήρα σε τμήμα της παλιάς λίμνης. Οι διαφωνίες για τη θέση του ταμιευτήρα, την έκτασή του, και το ρόλο του (αντιπλημμυρική προστασία έναντι αποθήκευσης νερού για άρδευση), είχαν ως αποτέλεσμα να αποξηρανθεί η λίμνη, χωρίς όμως να ολοκληρωθεί η κατασκευή του ταμιευτήρα και των έργων αντιπλημμυρικής προστασίας και αποθήκευσης νερού, με αποτέλεσμα την εμφάνιση σημαντικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων (Σιδηρόπουλος, 2014).

Η αποξήρανση της λίμνης αύξησε προσωρινά το εισόδημα καθώς αυξήθηκαν οι καλλιεργούμενες περιοχές, ενδυναμώθηκαν τα αγρο-οικοσυστήματα και μειώθηκαν οι ζημίες πλημμυρών. Η άρδευση επεκτάθηκε σχεδόν σε όλες τις καλλιεργούμενες εκτάσεις, χρησιμοποιώντας νερό υψηλής ποιότητας από βαθιές γεωτρήσεις. Αυτό οδήγησε σε σταθερή πτώση στάθμης του υπόγειου υδροφορέα, με αποτέλεσμα το αρδευτικό νερό των γεωτρήσεων να συμπληρώνεται με χαμηλής ποιότητας επιφανειακό αποθηκευμένο νερό από τις διάφορες τάφρους κατά την περίοδο του καλοκαιριού. Η υπερεκμετάλλευση των μόνιμων αποθεμάτων του υδροφορέα συνεχίζεται έως και σήμερα, μαζί με την υποβάθμιση της ποιότητας του νερού λόγω εντατικοποίησης της γεωργίας. Σημαντικό ήταν και το ρυπαντικό φορτίο που απέρρευε από την περιοχή στον Παγασητικό, όπου ήδη είχε προβλήματα ευτροφισμού, λόγω της στράγγισης της τέως λίμνης. Μια άλλη σημαντική συνέπεια ήταν η υποβάθμιση της υδρόβιας βλάστησης, του ιχθυοπληθυσμού και η απουσία μεταναστευτικών και παρυδάτιων πουλιών. Συνεπώς, οι ψαράδες (ένας εξαιρετικά δυναμικός τομέας της περιοχής) έχασαν τις εργασίες τους και τα αγροοικοσυστήματα έχασαν την ποικιλία τους. Το αποτέλεσμα ήταν να συρρικνωθεί ο πληθυσμός των οικονομικά ασθενέστερων οικισμών και να υπάρξουν τάσεις εγκατάλειψης της ευρύτερης περιοχής.

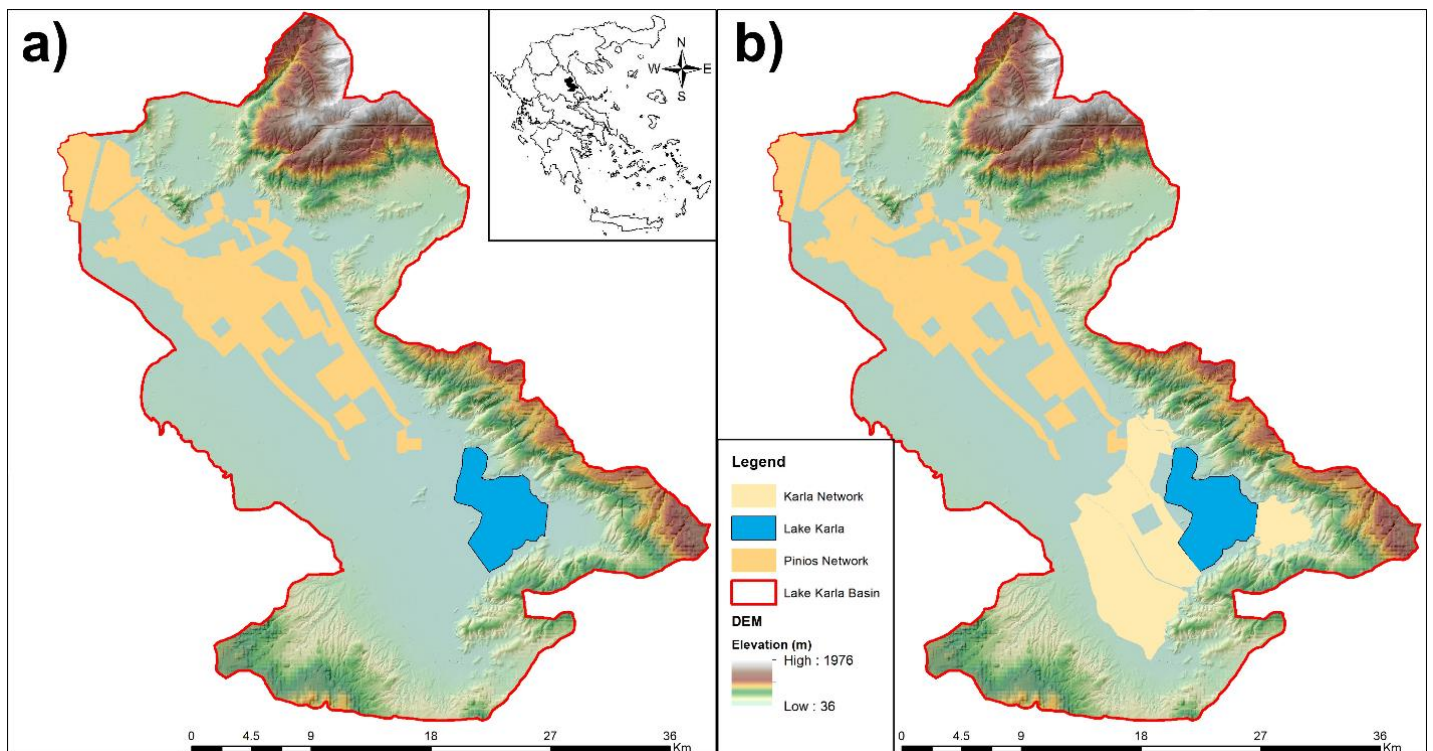
Η ανεξέλεγκτη άντληση και η έλλειψη νερού όξυναν τα προβλήματα αλατότητας των εδαφών. Η αποξήρανση συντέλεσε στην αύξηση της συχνότητας εμφάνισης ακραίων κλιματικών φαινομένων, με χαρακτηριστικότερο το παράδειγμα των πλημμυρών εξαιτίας της ανεπαρκούς παροχетеυτικής ικανότητας της σήραγγας, και τη ζημία λόγω παγετού στις καλλιέργειες. Έτσι, οι βιομηχανικές εγκαταστάσεις της Λάρισας διοχέτευαν μεγάλους όγκους (μη επεξεργασμένων) αποβλήτων στις αποχετευτικές τάφρους (Zalidis and Gerakis, 1999). Τέλος, οι επιπτώσεις ήταν σοβαρές και για το έδαφος (ποιότητα, διάβρωση, υποχώρηση, ιζηματογεννέσεις, ρηγματώσεις).

Όλα αυτά τα προβλήματα διογκώνονταν με την πάροδο του χρόνου και οδήγησαν στο σχεδιασμό της επανασύστασης της λίμνης. Από το αρχείο του Φορέα Διαχείρισης Κάρλας - Μαυροβουνίου – Κεφαλόβρυσου - Βελεστίνου - Δέλτα Πηνειού (Κα.Μα.Κε.Βε.Δε.Πη.)¹⁰, φαίνεται ότι οι πρώτες μελέτες έγιναν το 1978, ενώ το 1982 εκπονήθηκε η προμελέτη για τον ταμιευτήρα της Κάρλας και τα συναφή έργα. Ακολούθησαν και άλλες μελέτες επαναδημιουργίας της Κάρλας, συχνά αντικρουόμενες. Το 1995 εκπονήθηκε η «Οριστική Μελέτη Ταμιευτήρα Κάρλας και συναφών έργων» με βάση την προμελέτη του 1982. Το τελικό σχέδιο εντάχθηκε ως περιβαλλοντικό έργο στο Επιχειρησιακό Πρόγραμμα «Περιβάλλον – Αειφόρος Ανάπτυξη», Γ ΚΠΣ 2000-2006 το 1998 (Άξονας 9: Προστασία Φυσικού Περιβάλλοντος και Βιοποικιλότητας), από τη Διεύθυνση Εγγειοβελτιωτικών Έργων (Δ7) του τότε ΥΠΕΧΩΔΕ σε συνεργασία με τις Νομαρχίες Λάρισας και Μαγνησίας και ξεκίνησε να υλοποιείται από το 2000. Η Περιβαλλοντική Τεχνική Έκθεση, συνοδευμένη από μελέτη κόστους-οφέλους και υποστηρικτικές μελέτες είχαν ολοκληρωθεί ένα χρόνο νωρίτερα, το 1999. Η σύμβαση που δημοπρατήθηκε και έχει ανατεθεί από το 2000 για το σκοπό αυτό έχει ολοκληρωθεί στο πλαίσιο του Γ ΚΠΣ (2000-2006). Την 7/1/2009 υπεγράφη νέα σύμβαση υπηρεσιών. Το 25% περίπου του αντικειμένου της σύμβασης αυτής ολοκληρώθηκε στο Γ ΚΠΣ. Το υπόλοιπο 75% εντάχθηκε στο ΕΣΠΑ 2007-2013 στο ίδιο Επιχειρησιακό Πρόγραμμα. Τα αρδευτικά έργα, λόγω της φύσης τους, δεν ήταν δυνατό να ενταχθούν στο συγκεκριμένο Επιχειρησιακό Πρόγραμμα και εντάχθηκαν στο Πρόγραμμα «Αλέξανδρος Μπαλτατζής» του ΕΣΣΑΑ 2007-2013. Ο σκοπός των έργων ήταν κυρίως η αποκατάσταση της οικολογικής ισορροπίας, δευτερευόντως η αντιπλημμυρική προστασία της ευρύτερης περιοχής, η αποκατάσταση του υποβαθμισμένου υδροφόρου ορίζοντα, η εξασφάλιση επαρκών ποσοτήτων νερού από γεωτρήσεις για την ύδρευση του Βόλου, η γενική αποκατάσταση του υγροβιότοπου, και η ελαχιστοποίηση των απορροών της λεκάνης Κάρλας στη ρύπανση του Παγασητικού κόλπου. Το έργο περιλαμβάνει συνοπτικά τη δημιουργία τεχνητής λίμνης, μέσω συστημάτων συλλεκτήρων και τάφρων, ώστε να εξασφαλίζεται η τροφοδοσία της λίμνης από τον Πηνειό και η αντιπλημμυρική προστασία των πεδινών περιοχών. Ο νέος ταμιευτήρας έχει χωρητικότητα $184 \times 10^6 \text{ m}^3$, βρίσκεται στο χαμηλότερο τμήμα της παλιάς λίμνης Κάρλας, και καταλαμβάνει έκταση περίπου 38000 στρεμμάτων. Το συνολικό κόστος του έργου αγγίζει τα 246 εκ. €.

Τα έργα σήμερα έχουν ολοκληρωθεί, μετά από καθυστερήσεις εξαιτίας αρχαιολογικών ευρημάτων, μη ικανοποίησης των ιδιοκτητών από τις αποζημιώσεις για τις απαλλοτριώσεις, δικαστικών προσφυγών, έλλειψης οικονομικών πόρων και αντιδράσεων της τοπικής κοινωνίας για την εγκατάσταση των νέων υδρευτικών γεωτρήσεων (Παληκαρίδου, 1998). Ωστόσο, η

¹⁰ www.fdkarlas.gr/

επαναπλήρωση της λίμνης από τον Πηνειό συνεχίζεται με στόχο την ανώτατη στάθμη, όπου θα μπορεί πλέον να ξεκινήσει η λειτουργία της άρδευσης.

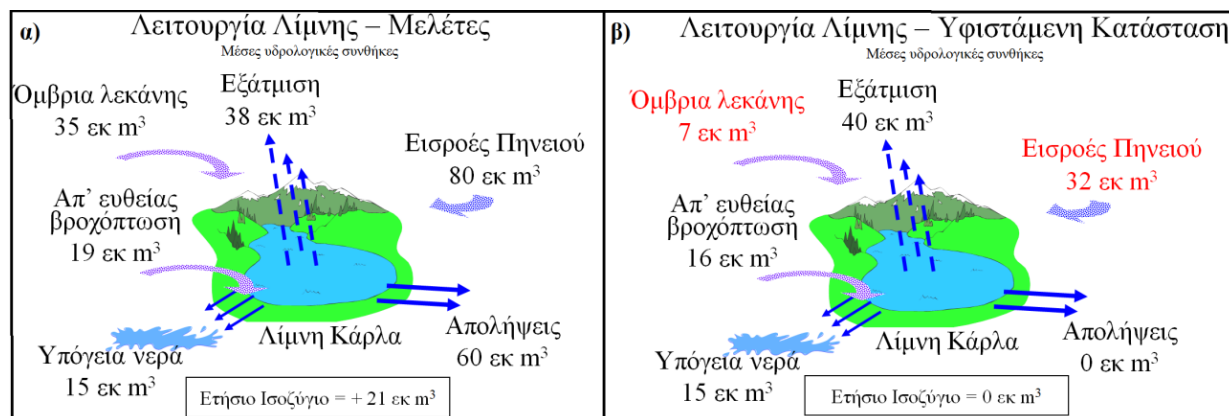


Εικόνα 26. Λεκάνη απορροής λίμνης Κάρλας α) υφιστάμενη κατάσταση, β) μελλοντική κατάσταση λειτουργίας ταμιευτήρα (Πηγή: Alamanos et al., 2019a).

Οι επιπτώσεις της επανασύστασης, σε όλους τους τομείς, μόνο θετικές μπορεί να είναι. Πιο συγκεκριμένα, σημαντικότερα οφέλη αναμένεται να έχει ο υπόγειος υδροφόρος, η διαχείριση υδάτινων όγκων, το έδαφος, το μικρο-κλίμα, η χλωρίδα, η πανίδα, η ορθή λειτουργία των αρδευτικών έργων, η ευρύτερη ισορροπία του οικοσυστήματος, η αισθητική και ο οικοτουρισμός. Στην Εικόνα 26 φαίνεται η κατάσταση της περιοχής χωρίς (τρέχουσα κατάσταση), και με λειτουργία του ταμιευτήρα, όπου απεικονίζονται οι αρδευτικές ζώνες που θα μπορούν να αρδεύονται από την Κάρλα. Στην τρέχουσα κατάσταση χρησιμοποιούν υπόγεια νερά, εντείνοντας την υποβάθμιση του υδροφόρου.

Η υδρολογική κατάσταση του νέου ταμιευτήρα κατά τη λειτουργία του παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Η μελέτη ανασύστασης προβλέπει τροφοδοσία του ταμιευτήρα από τον Πηνειό μέσω των τάφρων ίσες με 80 hm^3 . Σε μέσες υδρολογικές συνθήκες οι εισροές από τα όμβρια ύδατα εκτιμώνται σε 35 hm^3 και από απευθείας βροχόπτωση σε 19 hm^3 . Οι διαφυγές από τη λίμνη στον υπόγειο υδροφόρο είναι 15 hm^3 και οι απώλειες λόγω εξάτμισης 38 hm^3 . Οι αναμενόμενες απολήψεις θα έφταναν τα 60 hm^3 , δίνοντας ένα ετήσιο ισοζύγιο ταμιευτήρα ίσο με 21 hm^3 (Εικόνα 27α). Στην πραγματικότητα όμως, οι εισροές είναι πολύ μικρότερες, λόγω της

δέσμευσης των επιφανειακών υδάτων από τους γεωργούς για άρδευση, πριν αυτά φτάσουν στον ταμιευτήρα (Αλαμάνος, 2019). Έτσι κυριαρχούν οι απολήψεις, η λειτουργία του ταμιευτήρα δεν έχει αρχίσει ακόμα ουσιαστικά, και το ετήσιο ισοζύγιο του παραμένει οριακά σε ισορροπία (Εικόνα 27β).



Εικόνα 27. α) Το ετήσιο προβλεπόμενο ισοζύγιο του ταμιευτήρα, σε σύγκριση με: β) Το ετήσιο υφιστάμενο ισοζύγιο του ταμιευτήρα (Αλαμάνος, 2019).

Το 2019 και το 2020 αρδεύτηκαν περίπου 2.000 στρέμματα στην περιοχή Στεφανοβικείου και Ριζόμυλου, πιλοτικά από τον ταμιευτήρα της Κάρλας, για δύο μήνες το καλοκαίρι. Η μελέτη επανασύστασης αναφέρει ως στόχο λειτουργίας την άρδευση 92.500 στρεμμάτων. Σε αυτό το σημείο, για λόγους σύγκρισης, αξίζει να αναφερθεί ότι στη διδακτορική διατριβή του Σιδηρόπουλου (2014), έγινε προσομοίωση του υπόγειου υδροφορέα της λεκάνης της Κάρλας. Μέσω ενός διαχειριστικού σεναρίου (βέλτιστων απολήψεων από γεωτρήσεις) επιχειρείται η επαναφορά του υδροφορέα στην «πρότερή του κατάσταση». Η πρότερη κατάσταση αναφέρεται στα υδραυλικά ύψη (του μοντέλου της υπόγειας ροής) του 1987. Το έτος 1987 επιλέχθηκε ως «μη ουτοπικός» στόχος, καθώς και τότε υπήρχε άντληση υπόγειων υδάτων για την κάλυψη αρδευτικών αναγκών. Η άντληση δεν ήταν ασήμαντη, και αυτό φαίνεται από το γεγονός ότι από την αμέσως επόμενη χρονιά ξεκίνησε η πτωτική τάση των πιεζομέτρων (Σιδηρόπουλος, 2014). Τότε όμως η αντλούμενη ποσότητα δεν προέρχονταν από τα μη-ανανεώσιμα αποθέματα (μόνιμα υπόγεια αποθέματα) και το υδατικό ισοζύγιο του υδροφορέα ήταν θετικό. Πρακτικά, ο στόχος ήταν η στάθμη του υπόγειου υδροφορέα να καταφέρει να φτάσει τα επίπεδα του 1987, και αυτό μέσω της βελτιστοποιημένης διαχείρισης επιτυγχάνεται το 2044 (έτος-στόχος) (Σιδηρόπουλος, 2014).

Η λεκάνη απορροής της Κάρλας υπάγεται στην Αποκεντρωμένη Διοίκηση της Περιφέρειας Θεσσαλίας, στο Τμήμα Υδροοικονομίας, όπου ορίσθηκε ως αρμόδια υπηρεσία από την Εθνική

Επιτροπή Υδάτων με την Υπουργική Απόφαση 706 (ΦΕΚ 02-09-2010).

Κατά αντιστοιχία με το παράδειγμα της Κάρλας, οι NbSs μπορούν να χρησιμεύσουν ως έργα πολλαπλών χρήσεων στο ΥΔ, αν τύχουν της κατάλληλης εφαρμογής και προσοχής: για την καταπολέμηση της λειψυδρίας, αύξηση παραγωγής, σοδειάς και αντίστοιχων γεωργικών εσόδων στη γύρω περιοχή, συνεισφορά στην κάλυψη αναγκών άλλων χρήσεων σε νερό, ανάταση υπόγειων υδάτων, ανάπτυξη φυσικού καταφυγίου για τη βιοποικιλότητα και αναδυόμενη αναψυχή και τουριστικές ευκαιρίες. Ταυτόχρονα, τα κόστη κατασκευής και λειτουργίας τους κινούνται σε ανακτήσιμα επίπεδα, ενώ κατά κύριο λόγο τα κόστη λειτουργίας και συντήρησης είναι μηδαμινά.

Επίλογος

Το ΥΔ Θεσσαλίας αντιμετωπίζει έντονα ποσοτικά, ποιοτικά και διαχειριστικά προβλήματα νερού, όχι μόνο σε σχέση με τα υπόλοιπα ελληνικά ΥΔ, αλλά και σε επίπεδο Ευρώπης. Αυτό, δεδομένου ότι αποτελεί τη μεγαλύτερη πηγή αγροτικής παραγωγής της χώρας, χρίζει ιδιαίτερης προσοχής. Το παρόν πρόγραμμα αποτελεί πρόκληση, που όμως αναμένεται να επιφέρει σημαντικό αντίκτυπο με άμεσα και πρακτικά οφέλη για το σύνολο της κοινότητας, και να θέσει αισιόδοξες βάσεις για την αντιμετώπιση της κατάστασης σε οποιαδήποτε άλλη ελληνική Περιφέρεια.

Από τη μία η βιώσιμη Διαχείριση Υδατικών Πόρων είναι πρόκληση, καθώς πρόκειται για μία σύνθετη και διεπιστημονική διαδικασία, που εμπερικλείει πλήθος κλάδων, και στοχεύει στην εναρμόνιση των πρακτικών αντιθέσεων που εμφανίζονται, ώστε να διευκολύνει την εύρεση βέλτιστων, εφικτών, και κοινωνικά αποδεκτών πολιτικών. Από την άλλη όμως δε λείπει ούτε η επιστημονική κατάρτιση, ούτε η τεχνολογία, ούτε το όραμα, όπως άλλωστε φαίνεται από τη σύσταση της ομάδας και των συμμετεχόντων του προγράμματος «Νερό για το Αύριο». Ο συνδεδετικός κρίκος είναι η αφοσίωση και η υγιής επικοινωνία όλων των πλευρών, για καθολικά βέλτιστες λύσεις. Το συγκεκριμένο πρόγραμμα συνθέτει όλα αυτά τα στοιχεία, προσεγγίζει το πρόβλημα συστηματικά και ολοκληρωμένα, χτίζοντας στις αρχές της Θεωρίας Συστημάτων (Καινοτομική Προσέγγιση Συστημάτων για την ανάλυση των ενδιαφερομένων) προς επίτευξη – εφαρμογή ενός βιώσιμου μοντέλου ανάπτυξης.

Αναφορές

Διεθνής βιβλιογραφία

- Akinsete, E., Apostolaki, S., Chatzistamoulou, N., Koundouri, P., & Tsani, S. (2019). The Link between Ecosystem Services and Human Wellbeing in the Implementation of the European Water Framework Directive: Assessing Four River Basins in Europe. *Water*, 11(3), 508. <https://doi.org/10.3390/w11030508>
- Alamanos, A., Latinopoulos, D., Papaioannou, G., & Mylopoulos, N. (2019a). Integrated Hydro-Economic Modeling for Sustainable Water Resources Management in Data-Scarce Areas: The Case of Lake Karla Watershed in Greece. *Water Resources Management*, 33(8), 2775–2790. <https://doi.org/10.1007/s11269-019-02241-8>
- Alamanos, A., Latinopoulos, D., Xenarios, S., Tziatzios, G., Mylopoulos, N., & Loukas, A. (2019b). Combining hydro-economic and water quality modeling for optimal management of a degraded watershed. *Journal of Hydroinformatics*, 21(6), 1118–1129. <https://doi.org/10.2166/hydro.2019.079>
- Alamanos, A., Sfyris, S., Fafoutis, C., & Mylopoulos, N. (2019c). Urban water demand assessment for sustainable water resources management, under climate change and socioeconomic changes. *Water Supply*, 20(2), 679–687. <https://doi.org/10.2166/ws.2019.199>
- Alamanos, A., Loukas, A., Mylopoulos, N., Xenarios, S., Vasiliades, L., & Latinopoulos, D. (2019d). Climate change effects on agriculture in southeast Mediterranean: the case of Karla Watershed in Central Greece. EGU General Assembly, 2019. Vienna, Austria. April 7–12, 2019.
- Alamanos, A., Mylopoulos, N., Vasiliades, L., & Loukas, A. (2018). Climate change effects on the availability of water resources of Lake Karla watershed for irrigation and Volos city urban water use. Proceedings of the 14th Protection and Restoration of the Environment (PRE) Conference, Thessaloniki. pp. 3-12. July 3-6, 2018. ISBN: 978-960-99922-4-4.
- Alamanos, A., Fafoutis, C., Papaioannou, G., & Mylopoulos, N. (2017). Extension of an integrated hydro-economic model of Lake Karla basin, under management, climate and pricing scenario analysis. Proceedings of the Sixth International Conference on Environmental Management, Engineering, Planning & Economics. pp: 368-357. Thessaloniki. June 25-30, 2017. ISBN: 978-618-5271-15-2.

- Alcamo, J., Flörke, M., & Märker, M. (2007). Future long-term changes in global water resources driven by socio-economic and climatic changes. *Hydrological Sciences Journal*, 52(2), 247-275. doi:10.1623/hysj.52.2.247
- Alexandrov, V., & Hoogenboom, G. (2000). The impact of climate variability and change on crop yield in Bulgaria. *Agricultural and Forest Meteorology*, 104(4), 315-327. doi:10.1016/s0168-1923(00)00166-0.
- Arampatzis, G., Panagopoulos, A., Pisinaras, V., Tziritis, E., & Wendland, F. (2018). Identifying potential effects of climate change on the development of water resources in Pinios River Basin, Central Greece. *Applied Water Science*, 8(2), 51. <https://doi.org/10.1007/s13201-018-0690-1>
- Arle, J., Mohaupt, V., & Kirst, I. (2016). Monitoring of Surface Waters in Germany under the Water Framework Directive—A Review of Approaches, Methods and Results. *Water*, 8(6), 217. <https://doi.org/10.3390/w8060217>
- Arrhenius, S. (1896). On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperature of the Ground. *London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, 5(41), pp. 237–276.
- Auffhammer, M., Hsiangy, S.M., Schlenker, W. & Sobel A. (2013). Using Weather Data and Climate Model Output in Economic Analyses of Climate Change. *Review of Environmental Economics and Policy*, 7(2), pp. 181–198. doi:10.1093/reep/ret016.
- Bakopoulou, S., Emmanouil, C., & Kungolos, A. (2011). Assessment of wastewater effluent quality in Thessaly region, Greece, for determining its irrigation reuse potential. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 74(2), 188–194. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2010.06.022>
- Bakopoulou, S., Katsavou, I., Polyzos, S. & Kungolos, A. (2008). Using recycled water for agricultural purposes in the Thessaly region, Greece: a primary investigation of citizens' opinions. *Waste Management and the Environment IV. WIT Transactions on Ecology and the Environment*, Vol 109 (online: 10.2495/WM080881).
- Balana, B. B., Vinten, A., & Slee, B. (2011). A review on cost-effectiveness analysis of agri-environmental measures related to the EU WFD: Key issues, methods, and applications. *Ecological Economics*, 70(6), 1021–1031. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2010.12.020>
- Batelis, S.C., & Nalbantis, I. (2014). Potential Effects of Forest Fires on Streamflow in the Enipeas River Basin, Thessaly, Greece. *Environmental Processes*, 1(1), 73–85. <https://doi.org/10.1007/s40710-014-0004-z>

- Bathrellos, G. D., Skilodimou, H. D., Soukis, K., & Koskeridou, E. (2018). Temporal and Spatial Analysis of Flood Occurrences in the Drainage Basin of Pinios River (Thessaly, Central Greece). *Land*, 7(3), 106. <https://doi.org/10.3390/land7030106>
- Berbel, J., Martin-Ortega, J., & Mesa, P. (2011). A Cost-Effectiveness Analysis of Water-Saving Measures for the Water Framework Directive: The Case of the Guadalquivir River Basin in Southern Spain. *Water Resources Management*, 25(2), 623–640. <https://doi.org/10.1007/s11269-010-9717-6>
- Borrego-Marín, M. M., Gutiérrez-Martín, C., & Berbel, J. (2016). Estimation of Cost Recovery Ratio for Water Services Based on the System of Environmental-Economic Accounting for Water. *Water Resources Management*, 30(2), 767–783. <https://doi.org/10.1007/s11269-015-1189-2>
- Calzadilla, A., Zhu, T., Rehdanz, K., Tol, R.S.J., Ringler, C. (2014). Climate change and agriculture: Impacts and adaptation options in South Africa. *Water Resources and Economics* 5(2014), pp. 24–48.
- Chartzoulakis K. & Bertaki M. (2015). Sustainable Water Management in Agriculture under Climate Change, *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 4(2015), pp. 88-98.
- Clemens, M. A. (2014). *International Handbook on Migration and Economic Development*, Edward Elgar Publishing, 2014, chap. 6, pp. 152–185.
- Crane, R.G & Hewitson, B.C. 1998. Doubled CO₂ precipitation changes for the Susquehanna basin: down-scaling from the GENESIS general circulation model. *International Journal of Climatology*, (18), pp. 65-76.
- Data Extraction Application for Regional Climate (DEAR-Clima, 2017). AUTH, 2017. <http://meteo3.geo.auth.gr:3838/>
- De Stefano, L. (2010). Facing the water framework directive challenges: A baseline of stakeholder participation in the European Union. *Journal of Environmental Management*, 91(6), 1332–1340. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.02.014>
- Di Luca, A. D., Elía, R. D., & Laprise, R. (2015). Challenges in the Quest for Added Value of Regional Climate Dynamical Downscaling. *Current Climate Change Reports*, 1(1), 10-21. doi:10.1007/s40641-015-0003-9.
- Di Luca, A., Argüeso, D., Evans, J. P., Elía, R. D., & Laprise, R. (2016). Quantifying the overall added value of dynamical downscaling and the contribution from different spatial scales. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 121(4), 1575-1590. doi:10.1002/2015jd024009.

- Diakakis, M., Mavroulis, S., & Deligiannakis, G. (2012). Floods in Greece, a statistical and spatial approach. *Natural Hazards*, 62(2), 485–500. <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0090-z>
- Edens, B., & Graveland, C. (2014). Experimental valuation of Dutch water resources according to SNA and SEEA. *Water Resources and Economics*, 7, 66–81. <https://doi.org/10.1016/j.wre.2014.10.003>
- EEPA – European Environmental Protection Agency (2018; 2019). Maps and graphs. Retrieved November 03, 2020, from <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures>
- Escriva-Bou, A., Pulido-Velazquez, M., & Pulido-Velazquez, D. (2017). Economic Value of Climate Change Adaptation Strategies for Water Management in Spain’s Jucar Basin. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 143(5), 04017005. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000735](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000735)
- European Commission (2008). Drought Management Plan Report. Technical Report 2008-023.
- European Commission, 2000, Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23rd October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy, Official Journal 22 December 2000 L 327/1, Brussels: European Commission.
- European Environment Agency (EEA). Mapping the Impacts of Natural Hazards and Technological Accidents in Europe: An Overview of the Last Decade; Office for Official Publications of the European Communities: Luxembourg; European Environment Agency (EEA): Copenhagen, Denmark, 2010.
- Feilberg, M. & Mark O. (2016). Integrated Urban Water Management: Improve Efficient Water Management and Climate Change Resilience in Cities. *Sustainable Water Management in Urban Environments*, Springer International Publishing Switzerland 2016, pp. 1–32.
- Feuillette, S., Levrel, H., Boeuf, B., Blanquart, S., Gorin, O., Monaco, G., Penisson, B., & Robichon, S. (2016). The use of cost–benefit analysis in environmental policies: Some issues raised by the Water Framework Directive implementation in France. *Environmental Science & Policy*, 57, 79–85. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.12.002>
- Fischer, G., Tubiello, F. N., Velthuisen, H. V., & Wiberg, D. A. (2007). Climate change impacts on irrigation water requirements: Effects of mitigation, 1990–2080. *Technological Forecasting and Social Change*, 74(7), 1083-1107. [doi:10.1016/j.techfore.2006.05.021](https://doi.org/10.1016/j.techfore.2006.05.021)

- Fisher, A.C., Hanemann, W.M., Roberts, M.J. & Schlenker, W. (2012). The Economic Impacts of Climate Change: Evidence from Agricultural Output and Random Fluctuations in Weather: Comment. *The American Economic Review*, 102(7), pp. 3749-3760. <http://dx.doi.org/10.1257/aer>.
- Food & Agricultural Organization of the United Nations (FAO) (2009). *The State of Food Insecurity in the World: Economic Crises: Impacts & Lessons Learned*, Electronic Publishing Policy & Support Branch Communication Division, FAO.
- Fourier, J. B. (1822). De la Diffusion de la Chaleur. *Théorie Analytique De La Chaleur*, 425-601. doi:10.1017/cbo9780511693229.010.
- Fuss, S., Canadell, J.G., Peters, G.P., Tavoni, M.; Andrew, R.M.; Ciais, P. et al. (2014). Betting on negative emissions. *Nature, Climate change* 4(10), pp. 850–853. DOI 10.1038/nclimate2392.
- Gaume, E., Bain, V., Bernardara, P., Newinger, O., Barbuc, M., Bateman, A., Blaškovičová, L., Blöschl, G., Borga, M., Dumitrescu, A., Daliakopoulos, I., Garcia, J., Irimescu, A., Kohnova, S., Koutroulis, A., Marchi, L., Matreata, S., Medina, V., Preciso, E., ... Viglione, A. (2009). A compilation of data on European flash floods. *Journal of Hydrology*, 367(1), 70–78. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2008.12.028>
- Giannopoulou, I., Eleftheriadou, E., & Yannopoulos, S. (2017). Irrigation water pricing in the countries of the OECD - modern trends and critical review: The Greek case. *European Water*, No.59, 425–431.
- Giorgi, F., Hewitson, B., Christensen, O., Hulme, M., Storch, H., Whetton, P., Jones, R., Mearns, L. & Fu, C. (2001). Regional climate information – evaluation and projections, in *Climate Change 2001: The Scientific Basis*, Houghton, J.T., Ding, Y., Chjggs, D.J., Noguier M., van der Linden, P.J., Xiaosu, D., Eds., Cambridge University Press, Cambridge, pp. 583-638.
- Giorgi, F., Jones, C. & Asrar G.R. (2009). Addressing climate information needs at the regional level: the CORDEX framework *WMO Bull.* (58), pp. 175–83.
- Gourgouletis, N., Bariamis, G. & Baltas, E. (2020). Water saving potential in the RBD of Thessaly. *WSEAS Transactions on Environment and Development* 2020(16). DOI: 10.37394/232015.2020.16.23
- Hering, D., Borja, A., Carstensen, J., Carvalho, L., Elliott, M., Feld, C. K., Heiskanen, A.-S., Johnson, R. K., Moe, J., Pont, D., Solheim, A. L., & de Bund, W. van. (2010). The European Water Framework Directive at the age of 10: A critical review of the achievements with recommendations for the future. *The Science of the Total*

Environment, 408(19), 4007–4019. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.05.031>

- Hewitson, B.C. & Crane R.G. (1996). Climate downscaling: techniques and application. *Climate Research*, (7), pp. 85-95.
- International Water Association (IWA) (2015). Cities of the future – water security for cities through integrated design and water centric decision making. <http://www.iwa-network.org/projects2/cities-of-the-future>. Accessed in 23 Nov 2015.
- IPCC (1996). *Climate Change 1995: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Second Assessment Report (SAR)*, Edited by J.T. Houghton, L.G. Meira Filho, B.A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg and K. Maskell. IPCC Publications, 1996.
- IPCC (2000). *Special Report on Emissions Scenarios*. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change.
- IPCC (2001). *Climate Change 2001: Contribution of Working Groups I, II and III. Synthesis Report on the Third Assessment Report (TAR)*, IPCC Publications/Reports: 2001.
- IPCC (2007). *Towards New Scenarios for Analysis of Emissions, Climate Change, Impacts, and Response Strategies, Expert Meeting Report, 19–21 September, 2007*
- IPCC (2007): *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), *Synthesis Report (2014). Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]*. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
- IPCC, (1990). *Climate Change 1990: Report prepared for Intergovernmental Panel on Climate Change by Working Group I*. J.T. Houghton, G.J. Jenkins and J.J. Ephraums (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, Great Britain, New York, NY, USA and Melbourne, Australia 410 pp.
- IPCC, (1992). *Climate Change 1992: The IPCC Supplementary Report*; editors: J.T. Houghton, B.A. Callander and S.K. Varney; Cambridge University Press; 1992. IPCC Publications/Reports:1992 Supplementary Reports.
- Jacob, D. et al. (2014). EURO-CORDEX: New High-Resolution Climate Change Projections for European Impact Research,”*Regional Environmental Change* 14(2), pp. 563–78. doi:10.1007/s10113-013-0499-2.
- Kanellou, E., Domenikiotis, C., Tsiros, E., % Dalezios N.R. (2008). Satellite-based

Drought Estimation in Thessaly. *European Water* 23/24: 111-122, 2008.

- Kang Y., Khan S. & Ma X. (2009). Climate change impacts on crop yield, crop water productivity and food security – A review. *Progress in Natural Science* (19), pp. 1665–1674. doi:10.1016/j.pnsc.2009.08.001.
- Kirda, C., Moutonnet, P., Hera, C. & Nielsen, D.R. (1999). *Crop yield response to deficit irrigation*. Dordrecht, The Netherlands, Kluwer Academic Publishers.
- Koundouri, P., & Papandreou, N. A. (Eds.). (2014). *Water Resources Management Sustaining Socio-Economic Welfare: The Implementation of the European Water Framework Directive in Asopos River Basin in Greece*. Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-7636-4>
- Lee, J., De Gryze, S. & Six, J. (2011). Effect of climate change on field crop production in California’s Central Valley. *Climatic Change*, 2011. 109(Suppl 1), pp. 335–353. DOI 10.1007/s10584-011-0305-4.
- Lobell, D.B., Burke M.B., Tebaldi C., Mastrandrea M.D., Falcon W.P. & Naylor R.L. (2008). Prioritizing climate change adaptation needs for food security in 2030, *Science*, (319), pp. 607-10.
- Lobell, D.B., Cahill, K.N. & Field, C.B. (2007). Historical effects of temperature and precipitation on California crop yields. *Climatic Change*, 2007 (81), pp. 187–203. DOI 10.1007/s10584-006-9141-3.
- Lobell, D.B., Schlenker, W. & Costa-Roberts, J. (2011). Climate Trends and Global Crop Production Since 1980. *Science* 333(616). DOI: 10.1126/science.1204531.
- Loukas A., Sidiropoulos P., Mylopoulos N., Vasiliades L. & Zagoriti K. (2015). Assessment of the effect of climate variability and change and human intervention in the lake Karla aquifer. *European Water* 49: 19-31. E.W. Publications, 2015.
- Loukas, A. & Vasiliades, L. (2004). Probabilistic analysis of drought spatiotemporal characteristics in Thessaly region, Greece. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 4: 719–731.
- Loukas, A. Vasiliades, L., & Tzabiras, J. (2007a). Evaluation of Climate Change on Drought Impulses in Thessaly, Greece. *European Water* 17/18: 17-28, 2007.
- Loukas, A., Mylopoulos, N., & Vasiliades, L. (2007b). A Modeling System for the Evaluation of Water Resources Management Strategies in Thessaly, Greece. *Water Resources Management*, 21(10), 1673–1702. <https://doi.org/10.1007/s11269-006-9120-5>

- Loukas, A., Sidiropoulos, P., Mylopoulos, N., Vasiliades, L., & Zagoriti, K. (2015). Assessment of the effect of climate variability and change and human intervention in the lake Karla aquifer. *European Water*, 49, 19–31.
- Loukas, A., Vasiliades, L., & Tzabiras, J. (2008). Climate change effects on drought severity. *Advances in Geosciences*, 17, 23–29. <https://doi.org/10.5194/adgeo-17-23-2008>
- Macknick, J. (2011). Energy and CO2 emission data uncertainties. *Carbon Management*, 2(2), pp. 189-205. DOI: 10.4155/cmt.11.10.
- Martin-Ortega, J., Ferrier, R. C., Gordon, I. J., & Khan, S. (2015). *Water Ecosystem Services: A Global Perspective*. Cambridge University Press.
- McDonald, R.I., & Girvetz, E.H. (2013). Two Challenges for U.S. Irrigation Due to Climate Change: Increasing Irrigated Area in Wet States and Increasing Irrigation Rates in Dry States. *PLoS ONE* 8(6): e65589. doi:10.1371/journal.pone.0065589.
- McKee T. B., Doesken N. J. & Kleist J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*, Anaheim, California, 17-23 January.
- Meams, L.O., Giorgi, F., Whetton, P., Pabon, D, Hulme, M. & Lai, M. (2003). Guidelines for use of climate scenarios developed from Regional Climate Model experiments. Data Distribution Centre of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Mimikou, M. A., Baltas, E., Varanou, E., & Pantazis, K. (2000). Regional impacts of climate change on water resources quantity and quality indicators. *Journal of Hydrology*, 234(1), 95–109. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(00\)00244-4](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(00)00244-4)
- Mimikou, M., & Koutsoyiannis, D. (1995). Extreme floods in Greece: The case of 1994, U.S. - ITALY Research Workshop on the Hydrometeorology, Impacts, and Management of Extreme Floods, Perugia, Italy, doi:10.13140/RG.2.1.1945.8802.
- Molle, F. & Berkoff, J. (2009). Cities vs. agriculture: A review of intersectoral water re-allocation. *Natural Resources Forum*, (33), pp. 6–18.
- Mourato S., Moreira M. & J. Corte-Real (2015). Water Resources Impact Assessment Under Climate Change Scenarios in Mediterranean Watersheds, *Water Resources Management*, (29), pp. 2377–2391.
- Murphy, J.M. (1999). An evaluation of statistical and dynamical techniques for downscaling local climate. *Journal of Climate*, 12, pp. 2256-228.
- Mylopoulos, N., & Fafoutis, C. (2014). Willingness to pay for more efficient irrigation techniques in the Lake Karla basin, Greece. 16, 15055.
- Mylopoulos, N., Fafoutis, C., Sfyris, S., & Alamanos, A. (2017). Impact of water pricing

policy and climate change on future water demand in Volos, Greece. *European Water Journal*, (58):473-479.

- Mylopoulos, N., Kolokytha, E., Loukas, A., & Mylopoulos, Y. (2009). Agricultural and water resources development in Thessaly, Greece in the framework of new European Union policies. *International Journal of River Basin Management*, 7(1), 73–89. <https://doi.org/10.1080/15715124.2009.9635371>
- Palmer, M.A., Liermann, C.A.R., Nilsson, C., Florke, M., Alcamo J, et al. (2008). Climate change and the world's river basins: anticipating management options. *Frontiers in Ecology and the Environment* (6), pp. 81–89. doi: 10.1890/060148.
- Palmer, W.C. (1965). Meteorological drought. Research Paper No. 45, U.S. Department of Commerce Weather Bureau, Washington.
- Panagopoulos, A., Pateras, D., Panoras, A., Danalatos, N., Angelakis, C., & Kosmas, C. (2002). The Greek Action Plan for the mitigation of nitrates in water resources of the vulnerable district of Thessaly. *Journal of Mediterranean Ecology*, 3(2–3), 77–83.
- Panagopoulos, Y. & Dimitriou, E. (2020). A Large-Scale Nature-Based Solution in Agriculture for Sustainable Water Management: The Lake Karla Case. *Sustainability*, 12(17), 6761. <https://doi.org/10.3390/su12176761>
- Panagopoulos, Y., Makropoulos, C., Gkiokas, A., Kossida, M., Evangelou, L., Lourmas, G., Michas, S., Tsadilas, C., Papageorgiou, S., Perleros, V., Drakopoulou, S., & Mimikou, M. (2014a). Assessing the cost-effectiveness of irrigation water management practices in water stressed agricultural catchments: The case of Pinios. *Agricultural Water Management*, 139, 31–42. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.03.010>
- Panagopoulos, Y., Makropoulos, C., Kossida, M., & Mimikou, M. (2014b). Optimal Implementation of Irrigation Practices: Cost-Effective Desertification Action Plan for the Pinios Basin. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 140(10), 05014005. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000428](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000428)
- Papaioannou, G., Efstratiadis, A., Vasiliades, L., Loukas, A., Papalexiou, S. M., Koukouvinos, A., Tsoukalas, I., & Kossieris, P. (2018). An Operational Method for Flood Directive Implementation in Ungauged Urban Areas. *Hydrology*, 5(2), 24. <https://doi.org/10.3390/hydrology5020024>
- Pilling, C. & Jones, J.A.A (1999). High resolution climate change scenarios: implications for British runoff. *Hydrological Processes*, (13), pp. 2877-2895
- Porter J. R. & Semenov M. A. (2005). Crop responses to climatic variation. *Phil. Trans. R. Soc. B*, 2005(360), pp. 2021–2035. doi:10.1098/rstb.2005.1752.

- Poulos, S., Alexopoulos, J., Dassenakis, M., S., K., Lazogiannis, K., Matiatos, I., Paraskevopoulou, V., Sifnioti, D., Ghionis, G., Alexiou, I., & Panagopoulos, A. (2013, September 5). An investigation of the impact of the climate change on river deltas: Case study: the delta of R. Pinios (Thessaly, Greece) - Concept and preliminary results on surface water environmental state. Proceedings of The. 13th International Conference on Environmental Science and Technology, Athens, Greece.
- Psomiadis, E., Soulis, K. X., Zoka, M., & Dercas, N. (2019). Synergistic Approach of Remote Sensing and GIS Techniques for Flash-Flood Monitoring and Damage Assessment in Thessaly Plain Area, Greece. *Water*, 11(3), 448. <https://doi.org/10.3390/w11030448>
- Riahi, K., Grübler, A. & Nakicenovic, N. (2007). Scenarios of long-term socio-economic and environmental development under climate stabilization. *Technological Forecast and Social Changes* (74), pp. 887–935.
- Roberts, M.J., Schlenker, W. & Eyer, J. (2012). Agronomic weather measures in econometric models of crop yield with implications for climate change. *American Journal of Agricultural Economics*, 95(2), pp. 236–243. doi: 10.1093/ajae/aas047.
- Rummukainen, M. (2010). State-of-the-art with regional climate models. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 1(1), pp. 82-96. doi:10.1002/wcc.8.
- Russo, T., Alfredo, K. & Fisher, J. (2014). Sustainable Water Management in Urban, Agricultural, and Natural Systems. *Water* (6), pp. 3934 – 3956.
- Schlenker, W., Hanemann, M., Fisher, A.C. (2007). Water Availability, Degree Days, and the Potential Impact of Climate Change on Irrigated Agriculture in California. *Climatic Change* March 2007, 81(1), pp. 19–38. <https://doi.org/10.1007/s10584-005-9008-z>.
- Schlenker, W., Hanemann, W. M., & Fisher, A. C. (2005). Will U.S. Agriculture Really Benefit from Global Warming? Accounting for Irrigation in the Hedonic Approach. *American Economic Review*, 95(1), pp. 395-406. doi:10.1257/0002828053828455.
- Serageldin, D. I. (1995). Water Resources Management: A New Policy for a Sustainable Future. *Water International*, 20(1), 15–21. <https://doi.org/10.1080/02508069508686440>
- Shafer, B.A. and L.E. Dezman (1982). Development of a Surface Water Supply Index (SWSI) to assess the severity of drought conditions in snowpack runoff areas. In *Proceedings of the Western Snow Conference*, pp. 164–175. Colorado State University, Fort Collins, Colorado.

- Sidiropoulos, P., Mylopoulos, N., & Loukas, A. (2013). Optimal Management of an Overexploited Aquifer under Climate Change: The Lake Karla Case. *Water Resources Management*, 27(6), 1635–1649. <https://doi.org/10.1007/s11269-012-0083-4>
- Sidiropoulos, P., Tziatzios, G., Vasiliades, L., Mylopoulos, N., & Loukas, A. (2019). Groundwater Nitrate Contamination Integrated Modeling for Climate and Water Resources Scenarios: The Case of Lake Karla Over-Exploited Aquifer. *Water*, 11(6), 1201. <https://doi.org/10.3390/w11061201>
- Sidiropoulos, P., Tziatzios, G., Vasiliades, L., Mylopoulos, N., & Loukas, A. (2019). Groundwater Nitrate Contamination Integrated Modeling for Climate and Water Resources Scenarios: The Case of Lake Karla Over-Exploited Aquifer. *Water*, 11(6), 1201. <https://doi.org/10.3390/w11061201>
- Sidiropoulos, P., Tziatzios, G., Vasiliades, L., Papaioannou, G., Mylopoulos, N., & Loukas, A. (2018). Modeling Flow and Nitrate Transport in an Over-Exploited Aquifer of Rural Basin Using an Integrated System: The Case of Lake Karla Watershed. *Proceedings*, 2(11), 667. <https://doi.org/10.3390/proceedings2110667>
- Smid, M. & Costa, A.C. (2018). Climate projections and downscaling techniques: a discussion for impact studies in urban systems, *International Journal of Urban Sciences*, 22(3), pp. 277-307, DOI: 10.1080/12265934.2017.1409132.
- Sofios, S., & Polyzos, S. (2009). Water resources management in Thessaly region (Greece) and their impact on the regional development. *Journal of Environmental Protection and Ecology*. <http://ir.lib.uth.gr/xmlui/handle/11615/33133>
- Sofroniou, A., & Bishop, S. (2014). Water Scarcity in Cyprus: A Review and Call for Integrated Policy. *Water*, 6(10), 2898–2928. <https://doi.org/10.3390/w6102898>
- Sørland, S.L., Schär, C., Lüthi, D. & Kjellström E. (2018). Bias patterns and climate change signals in GCM-RCM model chains. *Environmental Research Letters* 13(7), pp. 074017. DOI:10.1088/1748-9326/aacc77.
- Strandberg, G., Barring, L., & Hansson, U. (2014). CORDEX scenarios for Europe from the Rossby Centre regional climate model RCA4. Norrköping: SMHI.
- Sun, G., McNulty, S.G., Myers, J.A.M. & Cohen, E.C. (2008). Impacts of Multiple Stresses on Water Demand and Supply across the Southeastern United States. *Journal of the American Water Resources Association* (44), pp. 1441–1457. doi: 10.1111/j.1752-1688.2008.00250.x.
- Tigkas, D. (2008). Drought Characterisation and Monitoring in Regions of Greece. *European Water* 23/24: 29-39, 2008.

- Toan, T. D. (2016). Water Pricing Policy and Subsidies to Irrigation: A Review. *Environmental Processes*, 3(4), 1081–1098. <https://doi.org/10.1007/s40710-016-0187-6>
- Tsakiris, G. and Vangelis, H., 2005. Establishing a Drought Index incorporating evapotranspiration. *European Water* 9/10: 3-11.
- Tsakiris, G., Pangalou, D., Vangelis, H., 2007b. Regional drought assessment based on the Reconnaissance Drought Index (RDI). *Water Resources Management* 21:821-833.
- Tzabiras, J., Vasiliades, L., Sidiropoulos, P., Loukas, A., & Mylopoulos, N. (2016). Evaluation of Water Resources Management Strategies to Overturn Climate Change Impacts on Lake Karla Watershed. *Water Resources Management*, 30(15), 5819–5844. <https://doi.org/10.1007/s11269-016-1536-y>
- Tziatzios G, Sidiropoulos P, Vasiliades L, Tzabiras J, Papaioannou G, Mylopoulos N, & Loukas A. (2018). Effects of climate change on groundwater nitrate modelling. In *Proceedings of the 14th Protection and Restoration of the Environment PRE2018*, Thessaloniki, Greece, July 3-6, 2018.
- van Vuuren et. al 2011, The representative concentration pathways: an overview *Climatic Change*, 2011(109), pp. 5–31. DOI 10.1007/s10584-011-0148-z.
- Von Storch, H. (1995). Inconsistencies at the interface of climate impact studies and global climate research. *Meteorology, Zeitschrift* (4), pp. 72-80.
- Von Storch, H. (1999). On the use of "inflation" in statistical downscaling. *Journal of Climate*, (12), pp. 3505-3506.
- Von Storch, H., Zorita, E. & Cubasch, U. (1993). Downscaling of global climate change estimates to regional scales: An application to Iberian rainfall in wintertime. *Journal of Climate*, (6), pp. 1161-1171.
- WATECO (2002). Common Implementation Strategy Working Group 2. EU Guidance Document: Economics and the Environment. The Implementation Challenge of the Water Framework Directive. August 2002, available at <http://forum.europa.eu.int/Public/irc/env/wfd/library>.
- Wilhite, D.A. (2000). Drought as a natural hazard: Concepts and definitions, in *Drought: A Global Assessment*, edited by Wilhite, D. A., Routledge, 3–18.
- Willeke, G.; J.R.M. Hosking; J.R. Wallis; and N.B. Guttman (1994). *The National Drought Atlas*. Institute for Water Resources Report 94–NDS–4, U.S. Army Corps of Engineers.
- WISE, 2014. <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/wise-wfd-4>

- Zalidis, G. & Gerakis, A. (1999). Research Evaluating Sustainability of Watershed Resources Management through Wetland Functional Analysis. *Environmental Management*, 24(2), pp.193-207. Doi:10.1007/s002679900226.
-
-
- **Ελληνική βιβλιογραφία**
- Αλαμάνος, Α. (2019). Ολοκληρωμένο σύστημα υποστήριξης αποφάσεων για τη βιώσιμη διαχείριση υδατικών πόρων, μέσω υδρο-οικονομικής μοντελοποίησης και πολυκριτηριακής ανάλυσης [Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας. Σχολή Πολυτεχνική. Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών. Υδραυλικής και Περιβαλλοντικής Μηχανικής. Εργαστήριο Υδρολογίας και Ανάλυσης Υδατικών Συστημάτων]. <http://hdl.handle.net/10442/hedi/45159>
- Βασιλειάδης, Α. (2017). Σημειώσεις Διαχείρισης Υδατικών Πόρων, Υδραυλικός Τομέας και Περιβάλλον – Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών.
- Κουντούρη, Φ. & συνεργάτες (2008). Εφαρμογή των οικονομικών πτυχών του άρθρου 5 της Κοινοτικής Οδηγίας περί υδάτων 2000/60/ΕΚ στην Ελλάδα. Υπουργείο Χωροταξίας, Περιβάλλοντος και Δημασίων Έργων, Αθήνα. Διαθέσιμο στην url: www2.aueb.gr/users/koundouri/resees/uploads/finalreportarticle5.doc
- Κουτσογιάννης, Δ. (2007). Σημειώσεις Διαχείρισης Υδατικών Πόρων - Μέρος 1, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2007.
- Κουτσογιάννης, Δ., Ανδρεαδάκης, Α., Μαυροδήμου, Ρ., Χριστοφίδης, Α., Μαμάσης, Ν., Ευστρατιάδης, Α., Κουκουβίνος, Α., Καραβοκυρός, Γ., Κοζάνης, Σ., Μαμάης, Δ., & Νουτσόπουλος, Κ. (2008). Εθνικό Πρόγραμμα Διαχείρισης και Προστασίας των Υδατικών Πόρων. ΤΥΠΕ. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.25384.62727>
- Μπουζούκης, Β. (2016). Κοινωνικοοικονομική ανάλυση της δυνατότητας χρήσης αυτοματοποιημένης στάγδην άρδευσης στη λεκάνη της λίμνης Κάρλας. Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία για το Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών Εφαρμοσμένη Μηχανική και Προσομοίωση Συστημάτων. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών. Βόλος, 2016.
- Μυλόπουλος, Ν. (2006). Διαχείριση Υδατικών Πόρων, Διδακτικές σημειώσεις, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών.
- ΟΠΕΚΕΠΕ (2015). <https://www.opekepe.gr/el/>

- Παληκαρίδου, Α. (1998). Οι παλαιοακτές της τέως λίμνης Κάρλας. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.
- Πρόγραμμα MEDROPLAN (2006). Ευρωπαϊκή Ένωση - Γραφείο Συνεργασίας Ευρωπαϊκής Βοήθειας (2006). «Ευρω-Μεσογειακό Περιφερειακό Πρόγραμμα για Τοπική Διαχείριση Υδάτων (MEDAWater), Μεσογειακή Ετοιμότητα και Σχεδιασμός Περιορισμού της Ξηρασίας (MEDROPLAN). Οδηγίες Διαχείρισης της Ξηρασίας. <http://www.iamz.ciheam.org/medroplan/guidelines/downloads.html>
- Σιδηρόπουλος, Π. (2014). Διαχείριση υπόγειων υδατικών πόρων σε συνθήκες αβεβαιότητας: Η αξία της πληροφορίας σε περιβαλλοντικά υποβαθμισμένους υδροφορείς. Διδακτορική Διατριβή. Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Βόλος, Νοέμβριος 2014.
- Τζαμπύρας, Ι. (2009). Ανάπτυξη υβριδικών μεθοδολογιών καταβιβασμού κλίμακας για την εκτίμηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στην ξηρασία. Εφαρμογή στη Θεσσαλία. Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία, Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Εφαρμοσμένη Μηχανική και Προσομοίωση Συστημάτων», Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
- Τράπεζα της Ελλάδος (2011). Οι περιβαλλοντικές, οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην Ελλάδα. Επιτροπή Μελέτης Επιπτώσεων Κλιματικής Αλλαγής, Ιούνιος 2011. ISBN 978-960-7032-49-2.
- Τσακίρης, Γ. (1995): Υδατικοί πόροι: Ι. Τεχνική Υδρολογία-Εισαγωγή στη Διαχείριση Υδατικών Πόρων. Έκδοση «Συμμετρία», Συντονιστής έκδοσης Γ. Τσακίρης, κεφ. 19, σελ. 657-671.
- Τσιούστα, Π. (2015). Αποτίμηση των αρδευτικών αναγκών και προτάσεις για τη διαχείρισή τους στον ΤΟΕΒ Πηνειού, Διπλωματική εργασία, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών
- ΥΠΕΚΑ (2013). Σχέδιο Διαχείρισης Λεκανών Απορροής του Υδατικού Διαμερίσματος Θεσσαλίας. Ειδική Γραμματεία Υδάτων, Αθήνα. Διαθέσιμο στην url: http://dl.dropboxusercontent.com/u/50959275/RBMP_GR08.pdf
- ΥΠΕΚΑ (2014). Σχέδιο Αντιμετώπισης Φαινομένων Λειψυδρίας και Ξηρασίας – Σχέδιο Διαχείρισης Λεκανών Απορροής του Υδατικού Διαμερίσματος Θεσσαλίας. Ειδική Γραμματεία Υδάτων, Αθήνα.
- ΥΠΕΚΑ (2017). 1^η Αναθεώρηση Σχεδίου Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Θεσσαλίας (EL08). Ειδική Γραμματεία Υδάτων, Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας.

- ΥΠΕΚΑ (2018). Σχέδιο Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Θεσσαλίας. Στάδιο Ι, 3^η Φάση – Παραδοτέο 5: Χάρτες Επικινδυνότητας Πλημμύρας. Αθήνα, 2018.
- Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης. (2015). Κοινή Αγροτική Πολιτική. <http://www.minagric.gr/index.php/el/the-ministry-2/agricultural-policy/koinagrotpolitik>