

## Οι ανάγκες σε υδροδότηση, η υπεράντληση των υδροφορέων και η διαχείριση των υδάτινων πόρων στην Κύπρο

Γεωργία Σιήκκη<sup>1</sup>, Μάριος Μιχαήλ<sup>1</sup>, Ιωσηφίνα Λοΐζου<sup>1</sup>, Χαράλαμπος Κωνσταντίνου<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Απόφοιτος/η Πολιτικός Μηχανικός, Πανεπιστήμιο Κύπρου

<sup>2</sup> Μεταδιδακτορικός Ερευνητής, Πανεπιστήμιο Κύπρου, Νέοι Επαγγελματίες Υδάτων Κύπρου (NEYK), Cyprus Young Water Professionals (CYWP)

Ανάκαθεν, η κάλυψη των αναγκών σε νερό, ήταν ένα από τα καίρια προβλήματα των πολιτισμών. Η άντληση, αποθήκευση και διανομή νερού είναι ένα χωροχρονικό πρόβλημα που δυσκολεύεται περιγράφεται από τους νόμους της προσφοράς και ζήτησης αγαθών. Αυτό, γιατί συνήθως το νερό δεν είναι διαθέσιμο στο χώρο και χρόνο όπου υπάρχει ανάγκη. Τα τελευταία 50 χρόνια η ζήτηση νερού στη Κύπρο έχει αυξηθεί σημαντικά ενώ αντιθέτως η προσφορά έχει ελαττωθεί. Αυτό προέκυψε από το συνδυασμό τόσο της κλιματικής αλλαγής και της μείωσης της βροχόπτωσης, όσο και από την αύξηση του πληθυσμού και του τουρισμού, την ανάπτυξη της οικονομίας και της κοινωνίας και της εξέλιξης της γεωργικής δραστηριότητας. Η Κύπρος σήμερα υδρεύεται κατά κύριο λόγο από τη βροχόπτωση (φράγματα) κατά 20%, από γεωτρήσεις άντλησης νερού κατά 10% και από αφαλατώσεις οι οποίες και καταλαμβάνουν το μεγαλύτερο ποσοστό ύδρευσης (70%). Η υπερεκμετάλλευση των υδάτινων πόρων, και συγκεκριμένα των υπόγειων υδροφορέων δημιούργησε αρκετά προβλήματα στο νησί λόγω της υπεράντλησης νερού με αποτέλεσμα τη διείσδυση του θαλάσσιου μέτρωπου (υφαλμύρωση). Η αύξηση της ποσότητας αλατιού των υπόγειων νερών, λόγω της διείσδυσης του θαλασσινού νερού στους υπόγειους υδροφορείς, καθιστά το νερό ως ακατάλληλο για ανθρώπινη κατανάλωση ή για άρδευση.

Το πρόβλημα της υπεράντλησης και η αντιμετώπιση αποτελούν κομμάτι μιας πιο γενικής ιδέας. Για αυτήν τη συζήτηση, θα χρησιμοποιηθεί η θεωρία παιγνίων που αποτελεί ένα από τα ισχυρότερα μαθηματικά εργαλεία για την ανάλυση τέτοιων προβλημάτων. Σκοπός είναι η εύρεση αποτελεσματικών λύσεων για τη βιώσιμη διαχείριση των υδάτινων πόρων, προστατεύοντας ταυτόχρονα το περιβάλλον και εξασφαλίζοντας την ικανοποίηση των αναγκών όλων των ενδιαφερομένων. Το κλασικό παράδειγμα της θεωρίας αυτής είναι το δίλημμα του φυλακισμένου: δυο ορθολογιστές «παίκτες» ακολουθούν σε ένα παιχνίδι τη δική τους στρατηγική, με το αποτέλεσμα σαφώς να επηρεάζεται από τις κινήσεις του κάθε ατόμου. Τα δύο άτομα συλλαμβάνονται από την αστυνομία για ένα έγκλημα και απομονώνονται, ώστε να μην έχουν επικοινωνία. Έχοντας μη επαρκή στοιχεία, η αστυνομία δίνει την ευκαιρία στον καθένα να καταθέσει εναντίον του άλλου, ή να παραμείνει σιωπηλός. Οι δυο «παίκτες» σκέφτονται το δικό τους προσωπικό συμφέρον, οπότε επιλέγουν τη μη βέλτιστη λύση, καταθέτοντας ο ένας εναντίον του άλλου (η βέλτιστη λύση είναι να παραμείνουν σιωπηλοί), εκτιόντας μεγαλύτερη ποινή φυλάκισης.

Στην περίπτωση της υπεράντλησης του υπόγειου υδροφορέα έχουμε ό,τι ακριβώς χρειάζεται για την προσομοίωση με βάση τη θεωρία παιγνίων: ορθολογικούς παίκτες που ενεργούν με βάση το προσωπικό τους συμφέρον, ενώ από την άλλη πλευρά βρίσκουμε την προσπάθεια για προστασία του περιβάλλοντος. Κάθε «παίκτης» συνειδητοποιεί πως θα κερδίζει χρήματα εάν αντλεί νερό από γεωτρήσεις. Αφού όλοι οι «παίκτες» είναι ορθολογιστές και σκέφτονται το προσωπικό τους συμφέρον, όλοι ακολουθούν την ίδια τακτική αντλώντας νερό. Αποτέλεσμα είναι, τελικά, η πτώση της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα και κατά συνέπεια η υφαλμύρωση. Αυτή η «κατάσταση» δεν είναι καινούρια και ακούει στο όνομα «τραγωδία των κοινών» που εισήχθη στην θεωρία παιγνίων από τον Hardin: οι παίκτες αγνοούν ότι το κοινό καλό δεν συμπίπτει με το ατομικό συμφέρον και ενεργούν προσπαθώντας να μεγιστοποιήσουν το κέρδος τους.

Η ισορροπία που προκύπτει από τη θεωρία παιγνίων μπορεί να αλλάξει μόνο με παρέμβαση στο παιχνίδι που μεταφράζεται σε λήψη μέτρων. Τέτοια μέτρα, περιλαμβάνουν συνήθως οδηγίες και νόμους. Στην Κύπρο έχουν ληφθεί διάφορα μέτρα και πρωτοβουλίες που τελούνται κάτω από την ομπρέλα της Οδηγίας Πλάσιο για τα Ύδατα 2000/60/ΕΚ της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Τα εργαλεία για την υλοποίηση της

οδηγίας στο νησί μας είναι τα σχέδια διαχείρισης λεκάνης απορροής (με χρονικούς ορίζοντες τις περιόδους 2009-2015, 2016-2021, 2021-2027). Στόχος είναι η αξιολόγηση της οικολογικής, χημικής και συνολικής κατάστασης των υδάτινων σωμάτων των ποταμών και λιμνών και, με βάση την αξιολόγηση αυτή, η λήψη μέτρων προσαρμοσμένων στην κυπριακή πραγματικότητα. Συγκεκριμένα, το ζήτημα της υπεράντλησης στην Κύπρο διορθώνεται με την αποτελεσματική διαχείριση της ζήτησης νερού, που περιλαμβάνει την εφαρμογή μέτρων για τη μείωση των απωλειών νερού (π.χ. πράσινων φόρων), την προώθηση της αποτελεσματικής άρδευσης και σωστής χρήσης του νερού, με την ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση των υδάτινων πόρων, καθώς και με την ευαισθητοποίηση και ενημέρωση των πολιτών.

Σε αυτήν την πολιτική πρόληψης, έρχονται να προστεθούν σημαντικά μέτρα και τακτικές για αντιμετώπιση της ποσοτικής έλλειψης νερού στους υδροφορείς στα πλαίσια της αναβάθμισης των υδάτινων πόρων και την αποκατάσταση υδρολογικών οικοσυστημάτων. Στην Κύπρο, έχουν εφαρμοστεί ζώνες προστασίας γεωτρήσεων ύδρευσης, ενώ έχουν εγκατασταθεί συστήματα παρακολούθησης της ροής πηγών για την έγκαιρη ανίχνευση προβλημάτων. Επιπλέον, πραγματοποιείται εμπλουτισμός των υδροφορέων. Οι υδροφορείς της Έζουσας και Ακρωτηρίου εμπλουτίζονται με νερό τριτοβάθμιας επεξεργασίας. Προς αυτή την κατεύθυνση, πραγματοποιούνται έρευνες στην Κύπρο για τον ακριβή σχεδιασμό γεωτρήσεων εμπλουτισμού. Ο βασικός μηχανισμός πίσω από αυτή την εφαρμογή είναι η ροή σε πορώδη μέσα. Το νερό στο υπέδαφος κινείται διαμέσου των διάκενων μεταξύ των κόκκων του εδάφους. Ωστόσο, διαφέρουν οι συννοριακές και υδραυλικές συνθήκες από περιοχή σε περιοχή (π.χ., τάσεις εδάφους, υδραυλική αγωγιμότητα, πιέσεις πόρων, κοκκομετρική διαβάθμιση). Κάθε συνθήκη εξετάζεται ξεχωριστά και αναπτύσσεται ένα γενικό πλαίσιο για την ένταση και διάρκεια της ροής σε κάθε περίπτωση.

Η υπεράντληση των υπόγειων υδροφορέων δεν αφορά μόνο την Κύπρο, αλλά εντάσσεται στην Ευρώπη σε ένα γενικότερο πλαίσιο διαχείρισης των υδάτινων σωμάτων. Τα κράτη-μέλη υποχρεούνται να διαφυλάξουν τον υπόγειο πλούτο υιοθετώντας διάφορες λύσεις που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν στο νησί μας. Τέτοιες λύσεις αποτελούν η απόληψη του υφάλμυρου νερού, η τεχνητή προέλαση της ξηράς προς το μέρος της θάλασσας και η δημιουργία διαφραγμάτων (υπόγειων φραγμάτων) για την παρεμπόδιση της διείσδυσης της θάλασσας στο γλυκό νερό. Συγκεκριμένα, η δημιουργία διαφραγμάτων μπορεί να επιτευχθεί μέσω τεχνολογιών κρυστάλλωσης μέσα σε εδαφικούς σχηματισμούς είτε με χρήση χημικών, είτε με χρήση τεχνολογιών που μιμούνται τη φύση – παράδειγμα η εναπόθεση ανθρακικού ασβεστίου μέσω της μεθόδου microbially induced carbonate precipitation MICP. Η τελευταία μέθοδος έχει μελετηθεί εις βάθος σε εργαστηριακό επίπεδο και αποτελεί μια περιβαλλοντική λύση κατά την οποία χρησιμοποιούνται μη τοξικά βακτήρια με σκοπό τη δημιουργία ανθρακικού ασβεστίου μεταξύ των διάκενων των κόκκων του εδάφους. Ως αποτέλεσμα, μειώνεται το πορώδες του εδάφους, δημιουργώντας ένα «τοίχο» και κατά συνέπεια μειώνεται η ροή του θαλασσινού νερού, μετριάζοντας το πρόβλημα της υφαλμύρωσης. Η μέθοδος έχει αποδειχθεί αρκετά αποτελεσματική ως προς τη μείωση των παραμέτρων που ελέγχουν τη ροή (υδραυλική αγωγιμότητα, πορώδες). Αξίζει να σημειωθεί ότι υπάρχουν αρκετές παραλλαγές ως προς τις διάφορες παραμέτρους (π.χ. πληθυσμός βακτηρίων, συγκέντρωση χημικών, χρονική κλίμακα εφαρμογής) οι οποίες πρέπει να βελτιστοποιηθούν σε σχέση με τα χαρακτηριστικά του εδαφικού υλικού. Τέτοια χαρακτηριστικά είναι το μέγεθος και σχήμα των κόκκων όπως και η κοκκομετρική διαβάθμιση. Σε αυτό το στάδιο, η έρευνα που πραγματοποιείται στη χώρα μας επικεντρώνεται σε αυτές τις αλληλεπιδράσεις.

Οι υδάτινοι πόροι είναι ουσιώδεις για την επιβίωση και την ευημερία της Κύπρου και η εποπτεία, προστασία και βελτίωσή τους αποτελούν ευθύνη όλων μας. Η διαχείριση τους είναι ένα ζωτικό ζήτημα που επιβάλλει την συλλογική προσπάθεια και συνεργασία. Μέσα από αυτήν την συνεργασία και τη συνειδητοποίηση, μπορούμε να διασφαλίσουμε ένα βιώσιμο μέλλον για τις επόμενες γενιές, διατηρώντας τους υδάτινους πόρους ως πολύτιμο θησαυρό που πρέπει να φροντίζουμε με αγάπη και σεβασμό.