

**Interreg**  
**Greece-Italy**  
**IR2MA**

European Regional Development Fund



EUROPEAN UNION



University  
Ioannina



HELLENIC REPUBLIC  
REGION OF EPIRUS



ISTITUTO DI SCIENZE  
DELLE PRODUZIONI  
ALIMENTARI



CIHEAM  
IAM BARI



CONSORZIO  
PER LA BONIFICA  
DELLA CAPTANATA



Regione Puglia

**Interreg V- A**  
**Greece-Italy**  
**Programme**  
**2014 2020**

[www.greece-italy.eu](http://www.greece-italy.eu)

**IR2MA**  
**Large Scale Irrigation**  
**Management Tools for**  
**Sustainable Water**  
**Management in Rural**  
**Areas and Protection**  
**of Receiving Aquatic**  
**Ecosystems**

Subsidy Contract No: I1/2.3/27

**WP4**

**Deliverable 5.1.2**

**Mapping of salinity extend**  
**at agricultural areas in**  
**coastal areas of the plain of**  
**Epirus**

Project co-funded by  
European Union, European Regional  
Development Funds (E.R.D.F.) and by  
National Funds of Greece and Italy



## Interreg V- A Greece-Italy Programme 2014 2020

[www.greece-italy.eu](http://www.greece-italy.eu)

**Interreg**  
**Greece-Italy**  
**IR2MA**



European Regional Development Fund

EUROPEAN UNION

### IR2MA

## Large Scale Irrigation Management Tools for Sustainable Water Management in Rural Areas and Protection of Receiving Aquatic Ecosystems

Subsidy Contract No: I1/2.3/27

### Partners



University  
of  
Ioannina



HELLENIC REPUBLIC  
REGION OF EPIRUS



ISTITUTO DI SCIENZE  
DELLE PRODUZIONI  
ALIMENTARI



CIHEAM  
IAM BARI



CONSORZIO  
PER LA BONIFICA  
DELLA CAPITANATA



Regione Puglia

PB1/LB UNIVERSITY OF IOANNINA - Research Committee (Uoi) <http://www.rc.uoi.gr/>

PB2 REGION of EPIRUS (ROE) <http://www.php.gov.gr/>

PB2 ISTITUTO SCIENZE DELLE PRODUZIONI ALIMENTARI (ISPA/CNR) <http://www.ispacnr.it/>

PB4 CIHEAM - ISTITUTO AGRONOMO MEDITERRANEO – BARI (IAMB) <http://www.iamb.it/>

PB5 CONSORZIO PER LA BONIFICA DELLA CAPITANATA (CBC) <http://consorzio.fg.it/>

Associated partners

REGION OF PUGLIA (ROP) <http://www.regione.puglia.it/>

Project co-funded by European Union, European Regional Development Funds (E.R.D.F.) and by National Funds of Greece and Italy

## This image shows a single sheet of white paper with horizontal ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There are no margins, text, or other markings on the paper.

## **D4.1.2 Participatory systems current state report**

### **Participatory irrigation and drainage systems (Land Reclamation Organisations) of the Region of Epirus**

---

Involved partners:

PB1 – University of Ioannina / Research Account

Authoring team:

Christos Myriounis

Place and time: 28/02/2020

#### **IR2MA**

Project co-funded by European Union, European Regional Development Funds (E.R.D.F.) and by National Funds of Greece and Italy

Project co-funded by European Union, European Regional Development Funds (E.R.D.F.) and by National Funds of Greece and Italy



© This open access document is published under the Creative Commons Attribution Non-Commercial ([CC BY-NC](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)) license and is freely accessible online to anyone.

[illegible]

## Περιεχόμενα

Εισαγωγή .....	11
Το φαινόμενο της υφαλμύρισης.....	12
Γενικά.....	12
Μαθηματικές σχέσεις προσδιορισμού της διεπιφάνειας γλυκού/θαλασσινού νερού .....	12
Επίδραση των υδρομαστευτικών έργων στην υφαλμύριση .....	16
Αναλυτικές σχέσεις μελέτης του φαινομένου .....	18
Γεωχημική ανάλυση του φαινομένου.....	23
Μελέτη του φαινομένου .....	24
Παρακολούθηση του φαινομένου .....	24
Υδροδυναμική μελέτη του φαινομένου .....	25
Υδροχημική μελέτη του φαινομένου .....	26
Γεωφυσική έρευνα και μελέτη .....	29
Τηλεπισκοπική παρακολούθηση.....	30
Τα αίτια του φαινομένου της υφαλμύρισης .....	31
Φυσικά αίτια .....	32
Μείωση των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων – κλιματική αλλαγή .....	32
Άνοδος της στάθμης της θάλασσας .....	32
Γεωλογικά αίτια.....	33
Ανθρωπογενή αίτια.....	33
Υπεράντληση .....	33
Παράνομες γεωτρήσεις.....	34
Οικιστική ανάπτυξη .....	34
Εγγειοβελτιωτικά έργα και αποστράγγιση .....	34
Μέτρα αντιμετώπισης του φαινομένου .....	34
Συνοπτική περιγραφή των υφάλμυρων περιοχών.....	36
Υφάλμυρες περιοχές της ηπειρωτικής Ελλάδας.....	36
Υφάλμυρες περιοχές της νησιωτικής Ελλάδας.....	38
Το υδατικό διαμέρισμα της Ηπείρου .....	41
Εισαγωγή .....	41
Λεκάνες απορροής.....	42
Λεκάνη απορροής ποταμού Αώου (EL11) .....	42
Λεκάνη απορροής ποταμού Καλαμά (EL12).....	43
Λεκάνη απορροής ποταμού Αχέροντα (EL13) .....	44
Λεκάνη απορροής ποταμού Αράχθου (EL14) .....	44
Λεκάνη απορροής ποταμού Κέρκυρας – Παξών (EL34) .....	45
Λεκάνη απορροής ποταμού Λούρου (EL46).....	45
Χρήσεις στο Υδατικό διαμέρισμα .....	46
Συλλογικά δίκτυα άρδευσης στην περιοχή της Ηπείρου .....	48
Υδάτινοι πόροι στην περιοχή της Ηπείρου .....	51
Ποτάμια υδατικά συστήματα.....	51
Λιμναία υδατικά συστήματα.....	55
Μεταβατικά υδατικά συστήματα.....	55

Παράκτια υδατικά συστήματα .....	57
Υδατικά συστήματα υπογείων υδάτων .....	57
Υδατικά συστήματα ιδιαιτέρως τροποποιημένων συστημάτων και τεχνητά υδατικά συστήματα .....	59
Πιέσεις στο υδάτινο διαμέρισμα .....	60
Υδρομορφολογικές πιέσεις .....	61
Απολήψεις ύδατος .....	61
Εισαγωγή .....	61
Απολήψεις από επιφανειακά υδατικά συστήματα .....	64
Απολήψεις από υπόγεια υδατικά συστήματα .....	67
Λοιπές πιέσεις .....	69
Ταξινόμηση των υδάτινων πόρων της Ηπείρου .....	69
<b>Περιοχές με φαινόμενα υφαλμύρισης.....</b>	<b>74</b>
Εισαγωγή .....	74
Σύστημα Φιλιατών-Ηγουμενίσσας EL050A070 .....	76
Σύστημα Χερσονήσου Πρέβεζας EL0500140 .....	78
Σύστημα Πάργας EL0500170 .....	80
Σύστημα Εκβολών Αχέροντα – Π. Κωκυτού EL 500270 .....	83
Σύστημα Άρτας EL0500160 .....	83
Χαρτογράφηση του φαινομένου της υφαλμύρισης στην περιοχή της Ηπείρου .....	87
Synopsis in English language .....	89
Σύνοψη στην ελληνική γλώσσα .....	90
Riassunto in italiano .....	91
Βιβλιογραφικές Αναφορές .....	92

## Πίνακες

Πίνακας 1 Χαρακτηρισμός βαθμού ρύπανσης νερού από τη διείσδυση της θάλασσας (Καλλέργης, 2000) .....	26
Πίνακας 2 Δορυφορικά συστήματα και τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά τους, καθώς και οι εφαρμογές αυτών σε θέματα παράκτιων περιοχών (Πηγή: Donato and Klemas, 2001) .....	31
Πίνακας 3 Λεκάνες Απορροής Ποταμού στο ΥΔ 05.....	42
Πίνακας 4 Ποσοστιαία κάλυψη χρήσεων γης στο ΥΔ Ηπείρου (EL05) (πηγή: ΟΠΕΚΕΠΕ 2015).....	46
Πίνακας 5 Οι ενεργοί και ανενεργοί Γ.Ο.Ε.Β. και Τ.Ο.Ε.Β. της Ηπείρου .....	48
Πίνακας 6 Τα αρδευτικά συστήματα που χρησιμοποιούνται στην περιοχή ευθύνης του κάθε Τ.Ο.Ε.Β. ....	49
Πίνακας 7 Ποτάμια υδατικά συστήματα και νέα τυπολογία, σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Απόφαση 2013/480/ΕΚ και την MED GIG, ανά ΛΑΠ του ΥΔ Ηπείρου (EL05) .....	51
Πίνακας 8 Λιμναία ΥΣ με νέα τυπολογία ανά ΛΑΠ του ΥΔ Ηπείρου (EL05) .....	55
Πίνακας 9 Ποτάμια ΙΤΥΣ λιμναίου τύπου (ταμιευτήρες) με νέα τυπολογία ανά ΛΑΠ του ΥΔ Ηπείρου (EL05).....	55
Πίνακας 10 Μεταβατικά υδατικά συστήματα ανά ΛΑΠ του ΥΔ Ηπείρου (EL05) .....	56
Πίνακας 11 Παράκτια υδατικά συστήματα του ΥΔ Ηπείρου (EL05).....	57



Πίνακας 12 Πίνακας υπόγειων υδατικών συστημάτων ΥΔ Ηπείρου (EL05) .....	58
Πίνακας 13 Οριστικώς προσδιορισμένα ιδιαιτέρως τροποποιημένα υδατικά συστήματα στο Υδατικό Διαμέρισμα Ηπείρου (EL05).....	59
Πίνακας 14 Στατιστικά στοιχεία υδρομορφολογικών αλλοιώσεων στο Υδατικό Διαμέρισμα Ηπείρου	61
Πίνακας 15 Υπόγεια υδάτινα συστήματα και ποιητική και ποσοτική κατάσταση σύμφωνα με τη 1η αναθεώρηση του ΣΔΛΑΠ Ηπείρου .....	75
Πίνακας 14 Πίνακας μέσης τιμής συγκέντρωσης ανά παράμετρο ανά θέση δειγματοληψίας για το υπόγειο υδατικό σύστημα EL050A070 .....	76
Πίνακας 15 Μέσες ετήσιες τιμές των ποιοτικών παραμέτρων .....	79
Πίνακας 16 Πίνακας μέσης τιμής συγκέντρωσης ανά παράμετρο ανά θέση δειγματοληψίας για το υπόγειο υδατικό σύστημα EL0500170.....	81

## Σχήματα

Σχήμα 1 Σχέση γλυκού και θαλασσινού νερού σε παράκτιο ελεύθερο υδροφόρο ορίζοντα (θεωρία Gyben-Hertzerg) (πηγή: Καλλέργης 2000 με τροποποιήσεις) .....	13
Σχήμα 2 Διάγραμμα ροής κατά Glover (πηγή: Glover, 1964, από Καλλέργη, 2000) .....	14
Σχήμα 3 Η διεπιφάνεια γλυκού – αλμυρού νερού σε ελεύθερο υδροφόρο (πηγή: Essink, 2001) .....	15
Σχήμα 4 Η διεπιφάνεια γλυκού – αλμυρού νερού σε υπό πίεση υδροφόρο (πηγή: Essink, 2001) ....	16
Σχήμα 5 Σχηματική παράσταση διείδυσης θαλασσινού νερού στη ζώνη γλυκού νερού, λόγω άντλησης (πηγή: Schmorak-Mercado 1969 με τροποποιήσεις).....	17
Σχήμα 6 Υδροχημικό διάγραμμα (α) Piper και (β) Διευρυμένο Durov για την αξιολόγηση της ποιότητας των υπογείων νερών (Piper, 1944, Durov, 1948) .....	27
Σχήμα 7 (α) Διάγραμμα SAR και (β) διάγραμμα Wilcox για την αξιολόγηση της ποιότητας των υπογείων νερών (Ayers and Westcot, 1994, Wilcox, 1955) .....	28
Σχήμα 8 Γεωηλεκτρική απεικόνιση υπεδάφους (Κωσταρέλης, 2008) .....	29
Σχήμα 9 Υφάλμυρα υπόγεια νερά θαλάσσιας διείδυσης (πηγή: Περγιαλιώτης και Παπαδάκου, 1998) .....	37
Σχήμα 10 Μορφολογικός χάρτης του Υδατικού Διαμερίσματος Ηπείρου .....	41
Σχήμα 11 Κατηγοριοποίηση των χρήσεων γης στο ΥΔ Ηπείρου (πηγή: ΟΠΕΚΕΠΕ 2015).....	46
Σχήμα 12 Ταξινόμηση των χρήσεων γης στο ΥΔ Ηπείρου περίοδος 2000 (πηγή: πρόγραμμα CORINE) .....	47
Σχήμα 13 Ταξινόμηση των χρήσεων γης στο ΥΔ Ηπείρου περίοδος 2018 (πηγή: πρόγραμμα CORINE) .....	47
Σχήμα 14 Το ποτάμια συστήματα της Ηπείρου .....	54
Σχήμα 15 Τυπολογία μεταβατικών υδάτινων συστημάτων της Ηπείρου .....	56
Σχήμα 16 Θέση και όρια υπόγειων υδατικών συστημάτων Ηπείρου (EL05).....	59
Σχήμα 17 Εποπτική εικόνα των ιδιαιτέρως τροποποιημένων και των τεχνητών υδατικών συστημάτων στο Υδατικό Διαμέρισμα Ηπείρου (EL05) .....	60
Σχήμα 18 Κατανομή ετήσιων απολήψεων ύδατος στο Υδατικό Διαμέρισμα Ηπείρου (EL05).....	62
Σχήμα 19 Κατανομή ετήσιων απολήψεων ύδατος στη ΛΑΠ Αώου (EL0511) .....	62
Σχήμα 20 Κατανομή ετήσιων απολήψεων ύδατος στη ΛΑΠ Καλαμά (EL0512) .....	63

Σχήμα 21 Κατανομή ετήσιων απολήψεων ύδατος στη ΛΑΠ Αχέροντος (EL0513).....	63
Σχήμα 22 Κατανομή ετήσιων απολήψεων ύδατος στη ΛΑΠ Αράχθου (EL0514).....	63
Σχήμα 23 Κατανομή ετήσιων απολήψεων ύδατος στη ΛΑΠ Λούρου (EL0546) .....	64
Σχήμα 24 Κατανομή ετήσιων απολήψεων ύδατος στη ΛΑΠ Κέρκυρας - Παξών (EL0534).....	64
Σχήμα 25 Κατηγορίες ποιοτικών στοιχείων που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της κατάστασης των επιφανειακών υδατικών συστημάτων .....	70
Σχήμα 26 Οικολογική κατάσταση επιφανειακών υδατικών συστημάτων του ΥΔ 05 .....	71
Σχήμα 27 Χημική κατάσταση επιφανειακών υδατικών συστημάτων του ΥΔ 05 .....	71
Σχήμα 28 Συνολική κατάσταση επιφανειακών υδατικών συστημάτων του ΥΔ 05 .....	72
Σχήμα 29 Χημική κατάσταση ΥΥΣ του υδατικού Διαμερίσματος Ηπείρου.....	72
Σχήμα 30 Ποσοτική κατάσταση ΥΥΣ του υδατικού Διαμερίσματος Ηπείρου .....	73
Σχήμα 31 Υφαλμύριση Υπόγειων Υδατικών Συστημάτων (εγκεκριμένο ΣΔΛΑΠ Ηπείρου) .....	74
Σχήμα 32 Χάρτης απεικόνισης σημείων παρακολούθησης ποιοτικής κατάστασης υπόγειου υδατικού συστήματος EL050A070.....	76
Σχήμα 33 Χάρτης απεικόνισης σημείων παρακολούθησης ποιοτικής κατάστασης υπόγειου υδατικού συστήματος EL0500140 .....	78
Σχήμα 34 Διακύμανση των θειικών ιόντων και των ιόντων χλωρίου (Γεώτρηση 05/Γ1) .....	79
Σχήμα 35 Διάγραμμα διακύμανσης απόλυτου υψομέτρου στάθμης Γεωτρήσεων .....	80
Σχήμα 36 Χάρτης απεικόνισης σημείων παρακολούθησης ποιοτικής κατάστασης υπόγειου υδατικού συστήματος GR0500170 .....	81
Σχήμα 37 Διάγραμμα διακύμανσης απόλυτου υψομέτρου στάθμης Γεωτρήσεων .....	82
Σχήμα 38 Θέση του ΥΥΣ Εκβολές Αχέροντα – Π. Κωκυτού .....	83
Σχήμα 39 Χάρτης απεικόνισης σημείων παρακολούθησης ποιοτικής κατάστασης υπόγειου υδατικού συστήματος EL0500160 .....	84
Σχήμα 40 Θεματικός χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων του συστήματος GR0500160 .....	85
Σχήμα 41 Θεματικός χάρτης συγκέντρωσης αγωγιμότητας του συστήματος GR0500160 .....	85
Σχήμα 42 Διακύμανση των θειικών ιόντων και των ιόντων χλωρίου (Γεώτρηση ΑΓ13 και ΑΡ20) .....	86
Σχήμα 43 Διάγραμμα διακύμανσης απόλυτου υψομέτρου στάθμης Γεωτρήσεων .....	87
Σχήμα 44 Χάρτης κατανομής του φαινομένου της υφαλμύρισης για την περιοχή της Ηπείρου .....	88

## Εισαγωγή

Στις παράκτιες περιοχές χαρακτηρίζονται από τη δυναμική κατάσταση ισορροπίας μεταξύ της θάλασσας και των και υπόγειων υδάτων. Υπό φυσικές συνθήκες οι υπόγειοι υδροφορείς αποστραγγίζονται προς τη θάλασσα, όμως σε περίπτωση που η στάθμη του γλυκού νερού μειωθεί τότε μπορεί να αντιστραφεί η κατάσταση αυτή (Αμβραμίδου, 2008). Το αποτέλεσμα είναι η διείσδυση του θαλασσινού νερού στους παράκτιους υδροφορείς και πρόκειται στην πραγματικότητα για ένα ιδιαίτερα σοβαρό φυσικό φαινόμενο, το οποίο είναι γνωστό με τον όρο «διείσδυση αλμυρού νερού» (saline water intrusion) ή απλά ως «υφαλμύριση». Η σοβαρότητα του φαινομένου έγκειται στο γεγονός πως ταυτόχρονα αποτελεί και ένα ιδιαίτερο περιβαλλοντικό πρόβλημα, από τη στιγμή που η ανάμειξη του αλμυρού νερού με το γλυκό, το καθιστά ακατάλληλο για κάθε χρήση.

Το φαινόμενο της υφαλμύρισης εντείνεται από διάφορες ανθρωπογενείς δραστηριότητες με κύρια την υπεράντληση των υδάτων. Με τον τρόπο αυτό μειώνεται η στάθμη του γλυκού νερού και εάν τα αποθέματά του δεν ανανεωθούν σύντομα, τότε το υπόγειο νερό υφαλμυρώνεται. Η υφαλμύριση, αν και είναι ένα φυσικό φαινόμενο τείνει να γίνει ένα από τα μεγαλύτερα περιβαλλοντικά προβλήματα και στην Ελλάδα, με άμεσο κίνδυνο για την ανάπτυξη των παράκτιων περιοχών της.

Οι ιδιαιτερότητες των παράκτιων υδροφόρων στρωμάτων σε σχέση με τους ηπειρωτικούς υδροφορείς σχετίζονται με το γεγονός ότι πρακτικά δεν μπορεί να αξιοποιηθεί από αυτά το σύνολο των ανανεώσιμων υδατικών αποθεμάτων, καθώς η υπεράντληση μπορεί να διαταράξει την ισορροπία γλυκού και αλμυρού νερού με αποτέλεσμα την υφαλμύριση των παράκτιων περιοχών. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με το χαμηλότερο μέσο βροχομετρικό ύψος των παραθαλάσσιων περιοχών συγκριτικά με την ορεινή ηπειρωτική Ελλάδα συνεπάγεται πως η διαχείριση των υδάτων που προέρχονται από παράκτιους υδροφορείς πρέπει να τυχαίνει ιδιαίτερης προσοχής.

Σε όλα τα παραπάνω πρέπει να προστεθεί ένας σημαντικός παράγοντας που συμβάλλει στη μείωση των υδατικών αποθεμάτων κοντά στις ακτές και αυτός σχετίζεται με την αγροτική δραστηριότητα. Οι παράκτιες περιοχές είναι συνήθως πεδινές και καλλιεργούνται εντατικά. Αυτό σημαίνει πως χρειάζονται μεγάλες ποσότητες γλυκών νερών για την άρδευση των καλλιεργειών. Στην Ελλάδα το μεγαλύτερο ποσοστό των υδατικών πόρων καταναλώνεται στο γεωργικό τομέα, ποσοστό που αγγίζει μέχρι και το 86% των συνολικού νερού που χρησιμοποιείται για τις διάφορες χρήσεις (ύδρευση, άρδευση, βιομηχανία). Στη συνέχεια παρουσιάζεται μια αξιολόγηση και χαρτογράφηση του φαινομένου της υφαλμύρισης για την περιοχή της Ηπείρου.

# Το φαινόμενο της υφαλμύρισης

## Γενικά

Υφαλμύριση (ή υφαλμύρωση) είναι ο εμπλουτισμός του υπόγειου νερού με διαλυμένα άλατα και συγκεκριμένα με ιόντα χλωρίου και νατρίου. Η υφαλμύριση μπορεί να θεωρηθεί σαν ένας τύπος περιβαλλοντικής ρύπανσης, που οφείλεται σε ανθρώπινες δραστηριότητες ή/και σε υδρογεωλογικούς παράγοντες. Ειδικότερα σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό Περιβαλλοντικό Οργανισμό (European Environmental Agency, EEA) ως υφαλμύριση περιγράφεται το φυσικό φαινόμενο το οποίο προσβάλλει όλους τους παράκτιους υπόγειους υδροφόρους. Στις παράκτιες περιοχές το θαλασσινό νερό έρχεται σε επαφή με το γλυκό και δεν αναμειγνύονται καθώς το αλμυρό νερό είναι βαρύτερο λόγω της μεγαλύτερης πυκνότητάς του. Σε περίπτωση μείωσης της στάθμης του γλυκού νερού, αυτό έρχεται σε επαφή με το αλμυρό και χλωριούχα ιόντα το εμπλουτίζουν, καθιστώντας το ακατάλληλο για κάθε χρήση. Από πολλούς η υφαλμύριση θεωρείται σαν η σύγχρονη «ασθένεια» των υπόγειων νερών. Γενικά οι κατηγορίες υφάλμυρων νερών είναι:

- υφάλμυρα νερά οφειλόμενα σε διείσδυση της θάλασσας
- υφάλμυρα νερά που οφείλονται σε διεργασίες δημιουργίας των πετρωμάτων
- υφάλμυρα νερά οφειλόμενα σε συμπίκνωση διαλυμένων αλάτων σε περιοχές έντονης
- υφάλμυρα νερά που οφείλονται σε διάλυση ευδιάλυτων αλάτων
- Διείσδυση θαλασσινού νερού σε παράκτιους υδροφόρους ορίζοντες

Το πρόβλημα της υφαλμύρισης, λόγω διείσδυσης θαλασσινού νερού (seawater intrusion) στους παράκτιους υδροφόρους ορίζοντες είναι γνωστό τόσο στην Ελλάδα όσο και σε άλλες χώρες (Ισραήλ, ΗΠΑ, Κύπρο, κλπ) (FAO, 1997). Ως γνωστόν οι παράκτιοι υδροφόροι κάτω από φυσικές συνθήκες αποστραγγίζονται προς τη θάλασσα. Οι έντονες αντλήσεις στις παράκτιες περιοχές ελαττώνουν ή αναστρέφουν τη φυσική υδραυλική βαθμίδα προς τη θάλασσα με συνέπεια τη διείσδυση του θαλασσινού νερού προς την ενδοχώρα. Θεωρώντας ότι το γλυκό και θαλασσινό νερό δεν αναμειγνύονται, επειδή έχουν διαφορετικές πυκνότητες, σχηματίζεται μεταξύ τους μια διεπιφάνεια παραβολικού σχήματος, που η μορφή της καθορίζεται από τις τοπικές υδροδυναμικές συνθήκες.

Η υφαλμύριση γενικότερα, είναι μία κατάσταση πολύ δύσκολα αντιστρεπτή με αποτέλεσμα το νερό που έχει μετατραπεί σε υφάλμυρο να μην μπορεί πλέον να χρησιμοποιηθεί. Αυτό έχει αντίκτυπο τόσο στα εδάφη, όσο και στην αγροτική παραγωγή. Συγχρόνως οι ποσότητες των γλυκών νερών που κρίνονται ακατάλληλες, λόγω ρύπανσης από υφαλμύριση είναι ποσότητες που αφαιρούνται από τα ανανεώσιμα αποθέματα, με αποτέλεσμα τη γενικότερη περιβαλλοντική υποβάθμιση των περιοχών.

## Μαθηματικές σχέσεις προσδιορισμού της διεπιφάνειας γλυκού/θαλασσινού νερού

Για τη μελέτη του φαινομένου έχουν προταθεί αναλυτικές σχέσεις η βασικότερη των οποίων είναι η σχέση που προτάθηκε αρχικά από τον FAO, 1997 και έπειτα από τον A. Herzberg (1901), και καλείται νόμος των Ghyben-Herzberg (Bear at al., 1999 ,Todd, 1980). Η σχέση περιγράφει τη θέση της διεπιφάνειας μεταξύ του γλυκού και του θαλασσινού νερού. Σύμφωνα με τον παραπάνω νόμο, όταν οι άλλοι παράγοντες παραμένουν σταθεροί, η θέση της διεπιφάνειας εξαρτάται, μόνο από το υδραυλικό φορτίο. Σχηματική ανάλυση του νόμου των Ghyben-Hertzerger παρουσιάζεται στο Σχήμα 1. Στο σχήμα οι υδροστατικές πιέσεις στα σημεία A και B είναι ίσες με αποτέλεσμα να ισχύει:

$$P_A = P_B \text{ δηλ.}$$

$$\rho_s \cdot g \cdot Z = \rho_f \cdot g \cdot h_f + \rho_f \cdot g \cdot Z$$

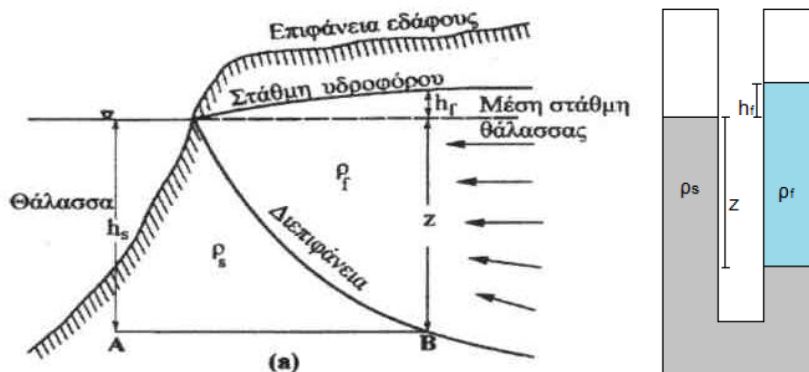
Όπου:  $h_s = Z$  = η στήλη (m) του γλυκού νερού κάτω από τη μέση στάθμη της θάλασσας

$h_f$  = η στήλη (m) του γλυκού νερού επάνω από τη μέση στάθμη της θάλασσας.

$\rho_s$  = η πυκνότητα του θαλασσινού νερού (gr/cm<sup>3</sup> ή kg/L) και

$\rho_f$  = η πυκνότητα του γλυκού νερού (gr/cm<sup>3</sup> ή kg/L)

$$Z = \frac{\rho_f}{\rho_s - \rho_f} \cdot h_f$$



**Σχήμα 1** Σχέση γλυκού και θαλασσινού νερού σε παράκτιο ελεύθερο υδροφόρο ορίζοντα (θεωρία Ghyben-Hertzberg) (πηγή: Καλλέργης 2000 με τροποποιήσεις)

Από την ανωτέρω σχέση προκύπτει η σχέση που καθορίζει το βάθος της διεπιφάνειας μεταξύ του γλυκού και του θαλασσινού νερού. Με δεδομένο ότι η πυκνότητα του θαλασσινού νερού είναι 1,025 gr/cm<sup>3</sup> και του γλυκού 1,000 gr/cm<sup>3</sup>, προκύπτει ότι  $Z = 40 \cdot h_f$ . Ο Essink (2001) συνοψίζοντας τις παραδοχές του μοντέλου των Ghyben-Hertzberg, όσον αφορά τις συνθήκες ροής αναφέρει ότι ο παραπάνω νόμος προϋποθέτει:

- Ομοιόμορφο υδροφορέα
- Υδροδυναμική διασπορά αμελητέα
- Η ροή στον υδροφόρο είναι οριζόντια, ενώ η κατακόρυφη ροή θεωρείται αμελητέα
- Το θαλασσινό νερό θεωρείται στάσιμο.

Ο νόμος των Ghyben-Hertzberg ωστόσο δεν απεικονίζει την πραγματικότητα γιατί θεωρεί ακίνητη τη διεπιφάνεια αλμυρού-γλυκού νερού, κάτι που συνήθως δεν ισχύει. Η διεπιφάνεια αποτελεί μια ζώνη σημαντικού πλάτους που δημιουργείται με τον μηχανισμό της διάχυσης (συνεχής θερμική κίνηση των μορίων νερού). Πρέπει να σημειωθεί ότι το θαλασσινό νερό αναμιγνύεται με το γλυκό ακόμα και σε στατικές συνθήκες. Επίσης υπάρχει σημαντική κατακόρυφη συνιστώσα της ταχύτητας, ειδικά στην επιφάνεια διαστάλαξης του γλυκού νερού προς τη θάλασσα, κάτι που παραβλέπεται στο νόμο του Ghyben-Hertzberg. Παρ' όλα αυτά ο νόμος του Ghyben-Hertzberg αποτελεί χρήσιμο εργαλείο για τον καθορισμό προσεγγιστικά της θέσης της διεπιφάνειας αλμυρού-γλυκού νερού (Μυριούνης, 2008).

Μια πιο ακριβής σχέση για τη θέση και το σχήμα της διεπιφάνειας, με την οποία συνδέονται οι συντεταγμένες της  $z$  και  $x$ , ανέπτυξε ο Glover, (1959 & 1964). Ο Glover, 1964 ανέπτυξε ένα απλό μοντέλο που συνδέει τις συντεταγμένες  $Z$ ,  $X$  της διεπιφάνειας όπως αυτό περιγράφεται στο παρακάτω Σχήμα 2:

$$Z = \frac{\Lambda Q'}{k} + \sqrt{\frac{2\Lambda Q'X}{k}}$$

όπου:  $\Lambda = \text{ο λόγος των πυκνοτήτων } \rho_f / (\rho_s - \rho_f)$

$Q' = \text{η παροχή του γλυκού νερού προς τη θάλασσα ανά μονάδα μήκους ακτογραμμής}$

$k = \text{η υδραυλική αγωγιμότητα του υδροφόρου}$

Το πλάτος του μετώπου εκροής γλυκού νερού προς τη θάλασσα  $X_0$  και το ύψος  $h$  της υδροστατικής στάθμης του υδροφόρου σε απόσταση  $x$ , από την ακτή δίνονται από τις παρακάτω εξισώσεις (Todd and Mays, 2005):

$$X_0 = -\frac{\Lambda Q'}{2k} \quad h = \sqrt{\frac{2 \cdot (\rho_s - \rho_f) \cdot q' \cdot x}{\rho_s \cdot K}}$$

Ο Essink (2001) συνοψίζοντας τις θεωρίες που αφορούν στις μαθηματικές εξισώσεις που περιγράφουν τον μηχανισμό της θαλάσσιας διείσδυσης σε παράκτιους υδροφόρους περιγράφει τρεις κύριες κατηγορίες:

- Ελεύθερος υδροφόρος (περίπτωση μονοδιάστατης ροής).

Σε ελεύθερο (φρεάτιο) υδροφόρο αναπτύσσεται φακός γλυκού νερού λόγω φυσικού εμπλουτισμού σε νερό, όπως παρουσιάζεται στο παρακάτω Σχήμα 3. Οι τρεις εξισώσεις που περιγράφουν μαθηματικά τις συνθήκες ροής του υπόγειου νερού σε ελεύθερο υδροφόρο, είναι οι παρακάτω (Van Dam, 1992):

- Darcy:  $q = -k \cdot (H + h) \cdot \frac{dh}{dx}$
- Εξίσωση της συνέχειας:  $dp = f \cdot dx$
- Νόμος Gyben-Hertzberg:  $h = a \cdot H$

Όπου:

$q = \text{η ροή του υπόγειου νερού ανά μονάδα μήκους της ακτογραμμής (L}^2/\text{t)}$

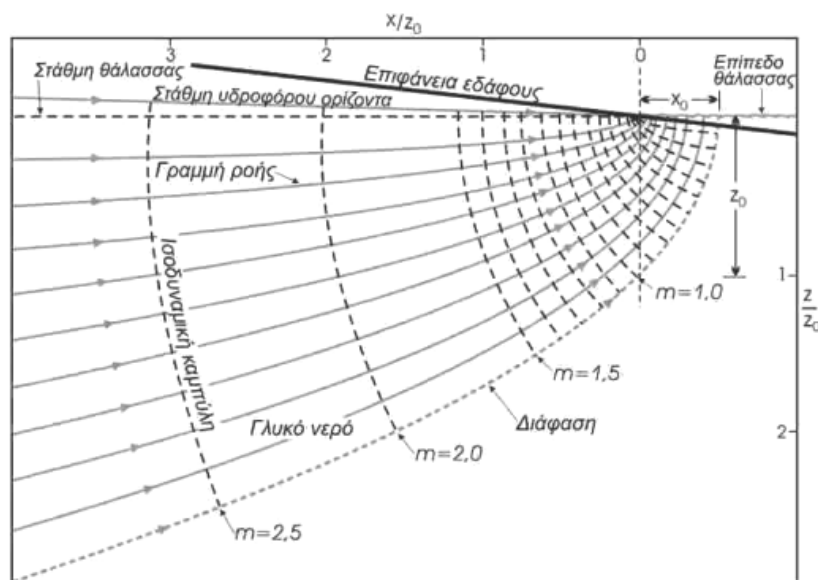
$H = \text{το βάθος του διεπιφάνειας γλυκού-αλμυρού νερού κάτω από τη μέση στάθμη της θάλασσας (L)}$

$f = \text{φυσικός εμπλουτισμός (L/T)}$

$x = \text{η οριζόντια θέση (L)}$

$a = \text{η σχετική διαφορά πυκνότητας } (\rho_s - \rho_f) / \rho_f$

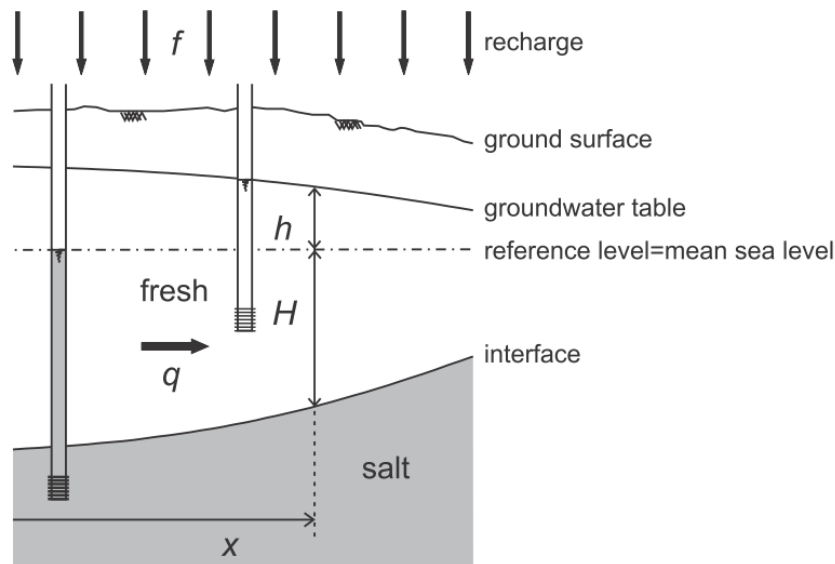
$h = \text{η πιεζομετρική στάθμη του υδροφόρου σε σχέση με τη μέση στάθμη της θάλασσας (L)}$



**Σχήμα 2** Διάγραμμα ροής κατά Glover (πηγή: Glover, 1964, από Καλλέργη, 2000)

Συνδυάζοντας τις παραπάνω εξισώσεις προκύπτει η παρακάτω αναλυτική εξίσωση (Van Dam and Sikkema, 1982, Καλλιώρας, 2007):

$$H = \sqrt{\frac{-f \cdot x^2 - 2 \cdot C_1 \cdot x - 2 \cdot C_2}{k \cdot (1+a) \cdot a}}, \quad h = a \cdot H, \quad q = fx + C_1$$



**Σχήμα 3** Η διεπιφάνεια γλυκού – αλμυρού νερού σε ελεύθερο υδροφόρο (πηγή: Essink, 2001)

- Υπό πίεση υδροφόρος (περίπτωση μονοδιάστατης ροής)

Σε υπό πίεση υδροφόρο (Σχήμα 4) οι τρεις εξισώσεις που περιγράφουν μαθηματικά τις συνθήκες ροής του υπόγειου νερού παρουσιάζονται παρακάτω:

- Darcy:  $q = -k \cdot H \cdot \frac{dh}{dx}$
- Εξίσωση της συνέχειας:  $q = q_0$
- Νόμος Gyben-Hertzberg:  $h = a \cdot (H+A)$

Όπου:

$q_0$  = ο φυσικός εμπλουτισμός ανά μονάδα μήκους της ακτογραμμής ( $L^2/t$ )

$A$  = η μέση στάθμη της θάλασσας σε σχέση με το ύψος του υδροφόρου ορίζοντα ( $L$ )

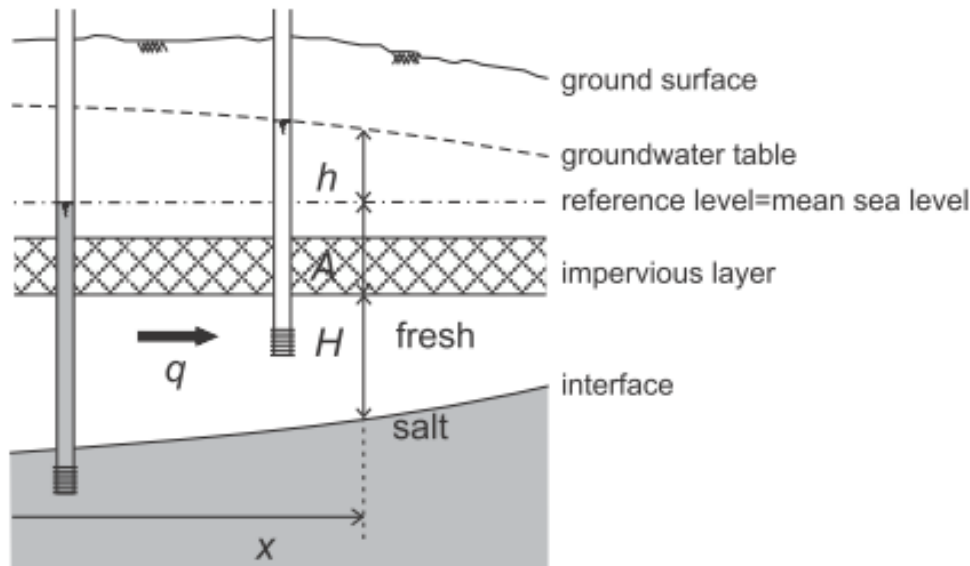
Συνδυάζοντας τις παραπάνω εξισώσεις προκύπτει η παρακάτω αναλυτική εξίσωση (Essink, 2001):

$$H = \sqrt{\frac{2 \cdot q_0 \cdot x}{k \cdot a}} + C, \quad h = a \cdot (H+A), \quad q = q_0$$

Όπου:

$q_0$  = ο φυσικός εμπλουτισμός ανά μονάδα μήκους της ακτογραμμής ( $L^2/t$ )

$A$  = το ύψος από τη μέση στάθμη της θάλασσας έως τον υδροφόρο ορίζοντα ( $L$ )



**Σχήμα 4** Η διεπιφάνεια γλυκού – αλμυρού νερού σε υπό πίεση υδροφόρο (πηγή: Essink, 2001)

- Μερικώς υπό πίεση υδροφόρος (περίπτωση μονοδιάστατης ροής)

Στην περίπτωση μερικώς υπό πίεση υδροφόρου, ο οποίος είναι περιορισμένος από δύο ημιπερατά στρώματα, τα οποία παρουσιάζουν τέτοια αντίσταση, ώστε να καταστέλλεται η κατακόρυφη ροή του υπόγειου νερού οι εξισώσεις που περιγράφουν μαθηματικά την περίπτωση αυτή είναι οι εξής:

- Darcy:  $q = -k \cdot (H+h) \cdot \frac{dh}{dx} = \frac{dq}{dx} = -k \cdot \left( H \frac{d^2h}{dx^2} + \frac{dH}{dx} \times \frac{dh}{dx} \right)$
- Εξίσωση της συνέχειας: **Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.**  

$$dq = -\frac{h-p}{c} \cdot dx \Rightarrow \frac{dp}{dx} = -\frac{h-p}{c}$$
- Νόμος Ghyben-Hertzberg:  $h = -a(H+A) \Leftrightarrow \frac{dh}{dx} = a \cdot \frac{dH}{dx} \Leftrightarrow \frac{d^2h}{dx^2} = a \cdot \frac{d^2H}{dx^2}$

Όπου,  $c$  = η υδαυλική αντίσταση του υδροφόρου ( $T$ ) =  $d/ku$ , όπου  $d$  το πάχος του υδροφόρου ( $L$ ) και  $ku$  ( $L/T$ ) η κατακόρυφη υδραυλική αγωγιμότητα. Συνδυάζοντας τις παραπάνω εξισώσεις έχουμε (Essink, 2001):

$$H \cdot \frac{d^2H}{dx^2} + \left( \frac{dH}{dx} \right)^2 - \frac{H-E}{Kc} = 0, \text{ όπου } E = \rho/a - A$$

## Επίδραση των υδρομαστευτικών έργων στην υφαλμύριση

Για τον προσδιορισμό της επίδρασης των υδρομαστευτικών έργων στην υφαλμύριση σημαντικό ρόλο διαδραματίζουν οι εκμεταλλεζόμενες ποσότητες υπόγειου νερού που αντλούνται από τον υπόγειο υδροφόρο καθώς επίσης και ο φυσικός εμπλουτισμός. Όταν ένας υδροφόρος περιέχει ένα υποκείμενο στρώμα υφάλμυρου νερού και αντλείται από μια γεώτρηση που το διατρύει, τότε παρατηρείται μια τοπική ανύψωση της διεπιφάνειας (upcoming). Η μείωση λοιπόν του υδραυλικού φορτίου λόγω, εντατικής μείωσης του φυσικού εμπλουτισμού προκαλεί αλμύριση του υπόγειου νερού, όταν η ανύψωση της διεπιφάνειας υπερβεί ένα καθορισμένο όριο.

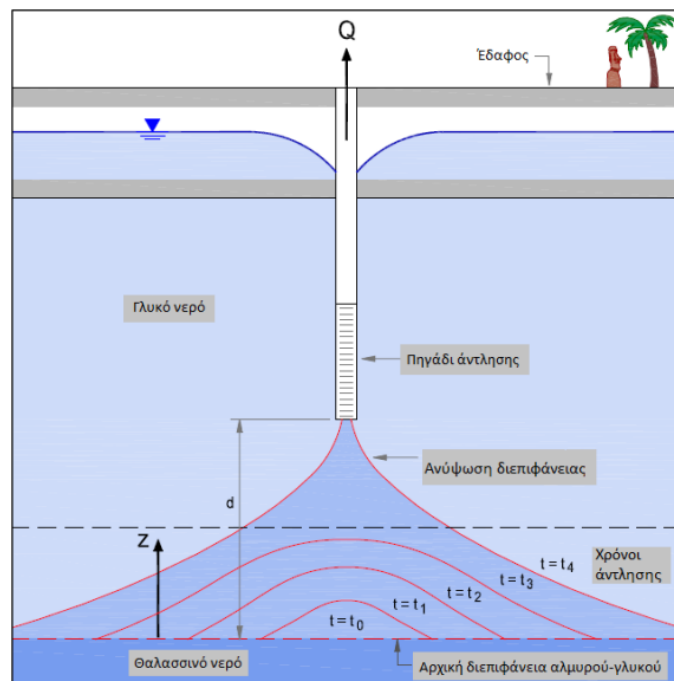


Μια αναλυτική λύση βασισμένη στην υπόθεση Dupuit και τη σχέση Ghyben-Herzberg για την ανύψωση κάτω από την αντλούμενη γεώτρηση, σύμφωνα με τους Schmorak-Mercado (1969) είναι η παρακάτω:

$$Z = \frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot d \cdot k \cdot \frac{\rho_s - \rho_f}{\rho_f}}$$

Η κρίσιμη ανύψωση ( $Z_{kr}$ ) της διεπιφάνειας για να μην αλμυρίσει μια γεώτρηση ισούται με 0,3-0,5 της κατακόρυφης απόστασης ( $d$ ) της αρχικής θέσης της διεπιφάνειας από τον πυθμένα της γεώτρησης (Σχήμα 5). Λαμβάνοντας ως κρίσιμη ανύψωση, την ανύψωση με τιμή  $Z_{kr}/d=0,3$  σε υδροφόρο με υδροπερατότητα  $k$ , υπολογίζεται η μέγιστη παροχή  $Q$ , χωρίς να αλμυρίσει η γεώτρηση (Καλλέργης, 2000):

$$Q < 0,6 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot k \cdot \frac{\rho_s - \rho_f}{\rho_f}$$



**Σχήμα 5** Σχηματική παράσταση διεύδυσης θαλασσινού νερού στη ζώνη γλυκού νερού, λόγω άντλησης (πηγή: Schmorak-Mercado 1969 με τροποποιήσεις)

Για λόγους απλοποίησης, μαθηματική προσέγγιση του φαινομένου της ανόδου της διεπιφάνειας αφορά στην ύπαρξη μιας αιχμηρής σφήνας η οποία διαχωρίζει ευδιάκριτα τα υγρά διαφορετικής πυκνότητας. Στην πραγματικότητα, αυτό που όντως συμβαίνει είναι η δημιουργία μιας μεταβατικής ζώνης, τα όρια της οποίας καθορίζονται από εντελώς αλμυρό και γλυκό νερό (Bear, 1979). Η έννοια της ύπαρξης μιας μεταβατικής ζώνης έχει μεγάλη σημασία μια καθώς δείχνει ότι τα υφάλμυρο νερό μπορεί να εισχωρήσει και να προκαλέσει ρύπανση στο υδροφόρο και το υδρομαστευτικό έργο, νωρίτερα σχετικά, από την περίπτωση της θεωρούμενης ως αιχμηρής διεπιφάνειας.

Από διαχειριστική άποψης είναι σημαντικό να καθορισθεί το βάθος, η βέλτιστη θέση και η παροχή άντλησης για την οποία θα εξασφαλισθεί η μέγιστη ποσότητα γλυκού νερού, ενώ συγχρόνως θα ελαχιστοποιηθεί η ανάμειξη γλυκού και αλμυρού νερού. Με βάση τα παραπάνω, ένα καλά

κατανεμημένο σύστημα αβαθών υδρογεωτρήσεων με σχετικά χαμηλούς ρυθμούς άντλησης γλυκού υπογείου νερού, αποτελεί μεταξύ άλλων, σημαντική πρόληψη για την αποφυγή της υφαλμύρινσης.

## **Αναλυτικές σχέσεις μελέτης του φαινομένου**

Με την ανάπτυξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών, για τη μελέτη της σχέσης του γλυκού με το θαλασσινό νερό στα παράκτια περιβάλλοντα, εφαρμόζονται αναλυτικές λύσεις και σχέσεις πεπερασμένων στοιχείων και πεπερασμένων διαφορών. Από τη δεκαετία του 80 και έπειτα η βιβλιογραφία στη μελέτη του φαινομένου με την εφαρμογή των παραπάνω μεθόδων είναι πλούσια (Μαντόλογλου και Κουράκος, 2005). Γενικά υπάρχουν δύο κατηγορίες μοντέλων προσομοίωσης παράκτιων υδροφορέων με διαφορετικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα η κάθε μια.

Η μια κατηγορία βασίζεται στην θεώρηση διεπιφάνειας πεπερασμένου πάχους, λόγω υδροδυναμικής διασποράς, όπου θεωρείται ότι υπάρχουν δύο αναμίξιμα υγρά, το αλμυρό νερό της θάλασσας και το καθαρό νερό του υδροφορέα. Σε αυτήν την κατηγορία οι διαφορικές εξισώσεις που χρησιμοποιούνται είναι πολύπλοκες και η επίλυση τους είναι ιδιαίτερα χρονοβόρα. Επίσης απαιτούνται παράμετροι διασποράς του άλατος που λόγω της πολυπλοκότητας των υδροφορέων είναι συχνά δύσκολο να εκτιμηθούν. Η άλλη κατηγορία βασίζεται στην θεώρηση απότομης διεπιφάνειας, όπου γίνεται η παραδοχή ότι συνυπάρχουν δύο μη αναμίξιμα υγρά και οι εξισώσεις απλοποιούνται με αποτέλεσμα σημαντική οικονομία χρόνου, με κόστος βέβαια στην ακρίβεια των αποτελεσμάτων.

Σε πολλές περιπτώσεις όμως η προσέγγιση της απότομης διεπιφάνειας δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα, όπως σε περιοχές όπου το πραγματικό πάχος της διεπιφάνειας είναι μικρό σε σχέση με το πάχος του υδροφορέα. Σε κατάσταση φυσικής ισορροπίας (απουσία άντλησης) η διεπιφάνεια παραμένει ακίνητη. Η αυξημένη όμως άντληση - σε τέτοιο βαθμό ώστε η φυσική επαναπλήρωση να μην οδηγεί στην αποκατάστασή του υδροφορέα - έχει ως αποτέλεσμα την πτώση του πιεζομετρικού φορτίου και την κίνηση της διεπιφάνειας προς το εσωτερικό μέχρι την επίτευξη νέας κατάστασης ισορροπίας. Η ποσότητα του γλυκού νερού που εξέρχεται στη θάλασσα και του αλμυρού νερού που εισέρχεται στον υδροφορέα καθορίζεται από τις τιμές του πιεζομετρικού φορτίου, το οποίο σχετίζεται άμεσα με τις οριακές συνθήκες, την επιφανειακή τροφοδοσία και την άντληση (Μαντόλογλου και Κουράκος, 2005).

Με βάση την παραδοχή της απότομης επιφάνειας και σε συνθήκες μόνιμης ροής, η θέση της διεπιφάνειας μπορεί να προσδιοριστεί χρησιμοποιώντας την παραδοχή Ghyben – Herzberg, θεωρώντας ότι η ροή του γλυκού νερού είναι οριζόντια, και το γλυκό νερό επιπλέει πάνω από το ακίνητο θαλασσινό νερό. Σε συνθήκες μη μόνιμης ροής, η θέση της διεπιφάνειας εξαρτάται από την ποσότητα τόσο του γλυκού όσο και του θαλασσινού νερού που εισέρχεται ή εξέρχεται στον υδροφορέα. Η προσέγγιση της απότομης διεπιφάνειας είναι κατάλληλη μόνο για προσομοίωση μακροχρόνιων ενώ είναι δυνατή η προσομοίωση μικρής χρονικά κλίμακας όταν η κίνηση της διεπιφάνειας πραγματοποιείται με ευκολία.

Παρακάτω παρουσιάζονται συνοπτικά ορισμένα από τα πιο διαδεδομένα μαθηματικά μοντέλα προσομοίωσης των υπογείων ροών (Θεοδοσίου, 1994, Μυριούνης, 2004).

- MODFLOW (Modular three – dimensional finite – difference ground – water flow model) – (McDonald and Harbaugh, 1988). Είναι ίσως το πιο διαδεδομένο εμπορικό πρόγραμμα προσομοίωσης της λειτουργίας υπογείων υδροφορέων. Η προσομοίωση γίνεται με τη μέθοδο των πεπερασμένων διαφορών χρησιμοποιώντας τρισδιάστατο κানাβο διακριτοποίησης. Παράλληλα με το MODFLOW κυκλοφορούν αρκετά άλλα προγράμματα

είτε για την πιο εύκολη εισαγωγή των δεδομένων και την αξιοποίηση των δυνατοτήτων του προγράμματος, είτε για την επεξεργασία και καλύτερη παρουσίαση των αποτελεσμάτων.

- MOC (Method of Characteristics) – (Konikow and Bredehoeft, 1978). Το MOC είναι ένα πρόγραμμα υπολογισμού του δισδιάστατου προβλήματος της ροής και της μεταφοράς σε υπόγειους υδροφορείς. Το μοντέλο συναγωγής – διασποράς ρυπαντών επιλύεται με τη μέθοδο των χαρακτηριστικών.
- SUTRA (Saturated unsaturated transport) – (Voss, 1984). Το SUTRA είναι ένα από τα πλέον διαδεδομένα προγράμματα προσομοίωσης υπογείων υδροφόρων με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων. Έχει ένα πολύ ευρύ φάσμα εφαρμογών, αφού μπορεί να μελετήσει τόσο το πρόβλημα της ροής όσο και το πρόβλημα της μεταφοράς ρυπαντών σε οριζόντιους υδροφορείς αλλά και σε κατακόρυφες τομές.
- FEMWATER (Finite element model of water flow through saturated – unsaturated porous media) – (Yeh, 1987). Είναι ένα από τα πιο σύγχρονα προγράμματα, που χρησιμοποιεί εξελιγμένες τεχνικές της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων για την προσομοίωση της ροής στην κορεσμένη και στην ακόρεστη ζώνη υπόγειων υδροφορέων. Συνοδεύεται από μια σειρά από συμβατικά προγράμματα της ίδιας ερευνητικής ομάδας για την αντιμετώπιση εξειδικευμένων προβλημάτων.

Όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω ο πιο διαδεδομένος κώδικας προσομοίωσης είναι ο κώδικας MODFLOW. Με δεδομένη λοιπόν την ευρεία εφαρμογή του κώδικα αυτού στη συνέχεια παρουσιάζονται συνοπτικά τα κύρια χαρακτηριστικά του. Το μοντέλο MODFLOW ουσιαστικά είναι ένα τρισδιάστατο μοντέλο πεπερασμένων διαφορών. Το μοντέλο αυτό στηρίζεται στην αριθμητική επίλυση της κύριας διαφορικής εξίσωσης, η οποία και προκύπτει από εφαρμογή της εξίσωσης διατήρησης της μάζας και του νόμου του Darcy. Το Modflow είναι γραμμένο σε γλώσσα προγραμματισμού FORTRAN και περιλαμβάνει το κεντρικό πρόγραμμα και μια σειρά από ανεξάρτητα υποπρογράμματα (packages). Τα υποπρογράμματα συνίστανται από υπορουτίνες (modules). Η κάθε υπορουτίνα επιτελεί συγκεκριμένους υπολογισμούς. Με άλλα λόγια τα modules έχουν ομαδοποιηθεί με τη μορφή «πακέτων» και κάθε πακέτο είναι μια ομάδα από modules, που σχετίζεται με μια φάση της προσομοίωσης.

Η τρισδιάστατη κίνηση των υπογείων νερών σταθερής πυκνότητας δια μέσου του πορώδους υλικού μπορεί να περιγραφεί από την εξίσωση (McDonald and Harbaugh, 1988, Μυριούνης, 2008):

- Για τους ελεύθερους υδροφορείς

$$S_y \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( K_{xx} h \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_{yy} h \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_{zz} h \frac{\partial h}{\partial z} \right) - W$$

- Για τους υπό πίεση υδροφορείς

$$S \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( T_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( T_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( T_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) - W$$

Όπου:

- $K_{xx}$ ,  $K_{yy}$  και  $K_{zz}$ : οι τιμές της υδραυλικής αγωγιμότητας κατά μήκος των  $x$ ,  $y$ , και  $z$  αξόνων συντεταγμένων, οι οποίες θεωρούνται να είναι παράλληλοι προς τους κύριους άξονες της υδραυλικής αγωγιμότητας ( $Lt^{-1}$ ).
- $T_{xx}$ ,  $T_{yy}$  και  $T_{zz}$ : οι τιμές της μεταβιβαστικότητας κατά μήκος των  $x$ ,  $y$  και  $z$  αξόνων συντεταγμένων, οι οποίες θεωρούνται να είναι παράλληλοι προς τους κύριους άξονες της μεταβιβαστικότητας ( $L^2t^{-1}$ ).
- $h$ : το υδραυλικό φορτίο ( $L$ ).

- $W$ : είναι η ογκομετρική ροή ανά μονάδα χρόνου και αναπαριστά εισροές και/ή εκροές του νερού ( $t^{-1}$ ).
- $S$ : ο συντελεστής υδροχωρητικότητας και  $S_y$  η ειδική απόδοση του πορώδους υλικού.
- $t$ : ο χρόνος ( $t$ )

Η παραπάνω εξίσωση μαζί με τον προσδιορισμό της ροής, των αρχικών συνθηκών πιεζομετρικής στάθμης, και των συνθηκών της πιεζομετρικής στάθμης στα όρια του υδροφόρου συστήματος, αποτελεί τη μαθηματική αναπαράσταση της ροής του υπόγειου υδροφόρου συστήματος. Η μέθοδος που χρησιμοποιείται για την επίλυση των παραπάνω διαφορικών εξισώσεων είναι αυτή των πεπερασμένων διαφορών. Με τη μέθοδο αυτή το συνεχές σύστημα που περιγράφεται από την εξίσωση αυτή, αντικαθίσταται από μια πεπερασμένη σειρά διακριτών σημείων στο χώρο και στο χρόνο και οι μερικές παράγωγοι αντικαθίστανται από όρους που υπολογίζονται από τις διαφορές στις τιμές της στάθμης στα σημεία αυτά.

Όταν υπεισέρχεται η σχέση σε κατάσταση μη μόνιμης ροής, όπου τα μεγέθη μεταβάλλονται με τον χρόνο, η χρονική παράγωγος επιτυγχάνεται με τη μέθοδο της προς τα πίσω διαφοράς (backward difference). Τελικά προκύπτουν συστήματα γραμμικών αλγεβρικών εξισώσεων, των οποίων η επίλυση παρέχει τιμές της στάθμης σε καθορισμένα σημεία και χρόνους. Για την επίλυση το πρόγραμμα Modflow χρησιμοποιεί την επαναληπτική μέθοδο και συγκεκριμένα υπάρχει η δυνατότητα χρήσης τριών διαφορετικών μεθόδων:

- Ισχυρά πεπλεγμένα (Strongly Implicit Procedure, S.I.P)
- Σταδιακή υπερχαλάρωση των κόμβων (Slise Successive Overlaxation, S.O.R.)
- Υπό προϋποθέσεις συζυγών κλίσεων (Preconditioned Conjuate Gradient, P.C.G.)

Η χωρική διακριτοποίηση του υδροφορέα πραγματοποιείται με τη μορφή ενός δικτύου από στοιχειώδη τρισδιάστατα ορθογώνια που ονομάζονται κυψέλες (cells), η θέση των οποίων περιγράφεται με τη μορφή γραμμών, στηλών και στρωμάτων. Η στάθμη του υπόγειου νερού υπολογίζεται για ένα σημείο της κάθε κυψελίδας που ονομάζεται κόμβος. Στην προσομοίωση με το Modflow ο υπολογισμός του φορτίου γίνεται στο κέντρο των κυψελίδων. Οι τύποι των κυψελίδων που χρησιμοποιούνται για να αναπαραστήσουν τις συνθήκες κατά μήκος των διαφόρων υδρολογικών ορίων είναι οι ακόλουθοι:

- Σταθερού φορτίου (constand head). Στα όρια αυτά η στάθμη παραμένει σταθερή σε όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης. Αποδίδονται με τον κωδικό -1.
- Κυψελίδες μηδενικής ροής (no flow boundary ή inactive). Στα όρια μηδενικής ροής περιλαμβάνονται οι κυψελίδες, όπου καμία ροή νερού από και προς αυτές δεν λαμβάνει χώρα, δηλ. όταν οι εισροές είναι μηδενικές. Αποδίδονται με τον κωδικό 0.
- Κυψελίδες μεταβαλλόμενου φορτίου (variable head cell). Ο τύπος κυψελίδων μεταβαλλόμενου φορτίου είναι αυτός, κατά τον οποίο η στάθμη μεταβάλλεται με το χρόνο. Αποδίδονται με τον κωδικό 1.
- Κυψελίδες σταθερής εισροής ή constant ή GHB (general head boundaries). Στα όρια αυτά η εισροή παραμένει σταθερή και η στάθμη μεταβάλλεται ανάλογα με τις μεταβολές στις γειτονικές κυψελίδες.

Η προσομοίωση ενός παράκτιου υδροφορέα είναι μια σύνθετη υπόθεση και αυτό οφείλεται στην ύπαρξη της διεπιφάνειας αλμυρού – γλυκού νερού. Υπάρχουν μοντέλα που ειδικεύονται στις προσομοιώσεις παράκτιων υδροφορέων, όπως το SEAWAT. Τα μοντέλα μεταβλητής πυκνότητας βασίζονται στην ταυτόχρονη επίλυση των εξισώσεων που περιγράφουν την κίνηση του υπόγειου νερού μεταβλητής πυκνότητας και τη μεταφορά διαλυμένης μάζας σε πορώδες μέσο. Η θεωρία της κίνησης του νερού μεταβλητής πυκνότητας συνήθως παρουσιάζεται με όρους υδραυλικής πίεσης

και πυκνότητας του υγρού. Σε αυτήν την παράγραφο, ωστόσο, η κίνηση του νερού μεταβλητής πυκνότητας εξετάζεται με όρους του ισοδύναμου υδραυλικού φορτίου και πυκνότητας του υγρού. Η επίλυση βασίζεται στην αρχή του υδραυλικού φορτίου γλυκού νερού ή του ισοδύναμου υδραυλικού φορτίου σε περιβάλλον υφάλμυρου υπόγειου νερού. Η κατανόηση αυτής της αρχής είναι απαιτούμενη τόσο για τη δημιουργία των εξισώσεων μεταβλητής πυκνότητας της κίνησης του υπόγειου νερού που χρησιμοποιούνται κατά την επίλυση όσο και για την κατανόηση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν. Παρακάτω δίνεται ένα παράδειγμα που βοηθάει στην κατανόηση αυτής της αρχής.

Το υδραυλικό φορτίο δεν είναι συνάρτηση μόνο της πίεσης και του υψομέτρου, αλλά και της πυκνότητας. Έτσι, σε δύο σημεία με ίδια πίεση και υψόμετρο, αλλά διαφορετική πυκνότητα θα καταγραφεί διαφορετικό υδραυλικό φορτίο. Η εξίσωση της κίνησης της υπόγειας ροής μπορεί να σχηματιστεί με βάση το φορτίο  $h$ , αλλά το αποτέλεσμα είναι πολύπλοκες εκφράσεις που περιλαμβάνουν την πυκνότητα και τις παραγώγους της. Αντίθετα, ο σχηματισμός των εξισώσεων με όρους ισοδύναμου υδραυλικού φορτίου γλυκού νερού απλοποιεί το πρόβλημα και επιτρέπει την χρησιμοποίηση λογισμικών, όπως το MODFLOW με μικρές τροποποιήσεις. Οι τιμές που υπολογίζονται κατά την προσομοίωση μοντέλων μεταβλητής πυκνότητας είναι τιμές ισοδύναμου υδραυλικού φορτίου, όπως αντιστοιχούν στο πιεζόμετρο  $A$ . Οι τιμές αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν από την εξίσωση Darcy τροποποιημένη για προβλήματα μεταβλητής πυκνότητας για τον υπολογισμό της ροής σε υπόγειο υδροφόρο. Ωστόσο, οι τιμές των υδραυλικών φορτίων που προκύπτουν από την προσομοίωση δε θα συμπίπτουν με τις αρχικές τιμές που θα κατέγραφε ένα πιεζόμετρο που θα μετρούσε το φορτίο σε σημεία όπου το υπόγειο νερό θα ήταν υφάλμυρο. Έτσι, είναι απαραίτητο να γίνεται μετατροπή των μετρήσεων υδραυλικού φορτίου σε ισοδύναμο υδραυλικό φορτίο γλυκού νερού και το αντίστροφο όταν χρειάζεται.

Το πρόγραμμα SEAWAT έχει αναπτυχθεί στη βάση του MODFLOW και του MT3DMS και επιλύει ταυτόχρονα το πρόβλημα της κίνησης του υπόγειου νερού και της μεταφοράς διαλυμένης μάζας. Κάποια μέρη του MODFLOW τροποποιήθηκαν για να συμπεριλάβουν τους επιπλέον όρους που απαιτούνται και τους όρους με τους οποίους ποσοτικοποιείται η αναλογία μεταβολής της μάζας, εξαιτίας των μεταβολών στη συγκέντρωση. Ο συνδυασμός του υπολογισμού της ροής και της μεταφοράς επιτυγχάνεται μέσω μιας ταυτόχρονης σταδιακής προσέγγισης, κατά την οποία πραγματοποιείται εναλλάξ υπολογισμός της εξίσωσης της ροής με το πρόγραμμα MODFLOW και υπολογισμός της εξίσωσης μεταφοράς διαλυμένης μάζας με το πρόγραμμα MT3DMS.

Το SEAWAT περιλαμβάνει δύο μεθοδολογίες επίλυσης (ρητή και πεπλεγμένη) για την ταυτόχρονη επίλυση των δύο διαφορικών εξισώσεων. Σύμφωνα με την ρητή επίλυση, χρησιμοποιείται μια υστέρηση (lag) στον καθορισμό των πυκνοτήτων στην εξίσωση ροής. Αυτό σημαίνει ότι οι πυκνότητες υπολογίζονται από την επίλυση της εξίσωσης μεταφοράς του προηγούμενου χρονικού βήματος. Έπειτα, υπολογίζεται η κίνηση διαλυμένης μάζας από μεταφορά με βάση την λύση της εξίσωσης της ροής στο τρέχον χρονικό βήμα και η λύση χρησιμοποιείται στην εξίσωση κίνησης διαλυμένης μάζας. Σύμφωνα με την πεπλεγμένη μέθοδο, η επίλυση των εξισώσεων κίνησης του νερού και κίνησης της μάζας επαναλαμβάνεται, ενώ οι συγκεντρώσεις και οι πυκνότητες ενημερώνονται σε κάθε χρονικό βήμα, ωστόσο η μέγιστη διαφορά πυκνότητας στα κελιά, για διαδοχικές επαναλήψεις γίνει μικρότερη από μια καθορισμένη τιμή. Ο τρόπος χρονικής διακριτοποίησης που εφαρμόζεται στο SEAWAT είναι συνδυασμός των αντίστοιχων τρόπων που εφαρμόζονται στα προγράμματα MODFLOW και MT3DMS.

Στο MODFLOW, η συνολική περίοδος προσομοίωσης διαιρείται σε μια ή και περισσότερες περιόδους. Κατά τη διάρκεια μιας περιόδου, οι παροχές και οι οριακές συνθήκες διατηρούνται

σταθερές (Guo et. al., 2002). Επιπλέον, κάθε περίοδος χωρίζεται σε ένα ή και περισσότερα χρονικά βήματα, ώστε τα αποτελέσματα να είναι είτε πιο ακριβή είτε να επιτρέπουν την εξαγωγή αποτελεσμάτων τις συγκεκριμένες χρονικές στιγμές. Κατά τη διάρκεια του χρονικού βήματος, το MODFLOW επιλύει την εξίσωση ροής για την περίοδο  $t_n$  έως  $t_{n+1}$ . Το πρόγραμμα MT3DMS αρχικά σχεδιάστηκε έτσι ώστε να συνεργάζεται με το MODFLOW. Σε μια συμβατική εφαρμογή που συνδυάζει το MODFLOW με το MT3DMS οι χωρικές και χρονικές μεταβολές του πεδίου πυκνοτήτων υποτίθεται ότι είναι τόσο μικρές, ώστε δεν επηρεάζουν την κίνηση του νερού. Έτσι, αναπτύχθηκε μια πρακτική διαδικασία, σύμφωνα με την οποία πρώτα εκτελείται η προσομοίωση της κίνησης των υπόγειων νερών και κατά την διάρκεια της προσομοίωσης διάφορες πληροφορίες σχετικές με την κίνηση των υπόγειων νερών που απαιτούνται από το MT3DMS αποθηκεύονται σε ένα ξεχωριστό αρχείο.

Στη συνέχεια, με βάση αυτό το αρχείο το πρόγραμμα MT3DMS εκτελεί την προσομοίωση της κίνησης της διαλυμένης μάζας. Στο MT3DMS, κάθε χρονικό βήμα του MODFLOW χωρίζεται επιπλέον σε πιο μικρά χρονικά τμήματα που ονομάζονται βήματα μεταφοράς. Ο όρος βήματα μεταφοράς εισήχθη για να αποφευχθεί η σύγχυση με τα χρονικά βήματα στα οποία χωρίζεται μια περίοδος στο MODFLOW. Ωστόσο, το βήμα μεταφοράς δεν είναι τίποτα άλλο από ένα χρονικό βήμα, σύμφωνα με το οποίο υπολογίζεται η μεταφορά μάζας. Αυτός ο επιπλέον διαχωρισμός γίνεται κυρίως για λόγους σταθερότητας της λύσης που δίνει το MT3DMS. Ο Zheng (2010) όρισε κάποιους περιορισμούς, ώστε η λύση που δίνεται από το πρόγραμμα να είναι σταθερή και ακριβής.

Το MT3DMS χρησιμοποιεί τους παραπάνω περιορισμούς για να υπολογίσει το μέγιστο επιτρεπόμενο χρονικό βήμα μεταφοράς, το οποίο υπολογίζεται από το πρόγραμμα και κατ'επέκταση όχι από το χρήστη (Guo et. al., 2002). Στην περίπτωση της πρώτης εξίσωσης, ο υπολογισμός απαιτεί να είναι γνωστό το πεδίο των ταχυτήτων. Έτσι για ένα χρονικό βήμα του MODFLOW από  $t_n$  σε  $t_{n+1}$ , το MT3DMS χρησιμοποιεί το πεδίο ταχυτήτων που έχει υπολογισθεί για το τέλος του βήματος μεταφοράς, δηλαδή την στιγμή  $t_{n+1}$ , για να υπολογίσει την διάρκεια και τον αριθμό των βημάτων μεταφοράς πέρα από το διάστημα  $t_n$  στο  $t_{n+1}$ . Επιπρόσθετα, το MT3DMS έχει διαδικασίες σύμφωνα με τις οποίες ο χρήστης καθορίζει το βήμα μεταφοράς, το οποίο από την μια μπορεί να μειώσει τον αριθμό των βημάτων μεταφοράς που απαιτούνται σε μια προσομοίωση, αλλά ταυτόχρονα τίθενται θέματα σύγκλισης και ακρίβειας εάν το βήμα μεταφοράς είναι πολύ μεγάλο.

Η παραπάνω διαδικασία προϋποθέτει τον υπολογισμό των υδραυλικών φορτίων και του πεδίου ταχυτήτων πριν ξεκινήσει ο υπολογισμός της εξίσωσης μεταφοράς και δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ένα πρόγραμμα μεταβλητής πυκνότητας, λόγω της αλληλεξάρτησης μεταξύ των εξισώσεων ροής και μεταφοράς. Στο πρόγραμμα SEAWAT, η κάθε περίοδος χωρίζεται σε χρονικά βήματα. Αν για την εξίσωση κίνησης της διαλυμένης μάζας χρησιμοποιηθεί ρητή επίλυση τότε το χρονικό βήμα υπολογίζεται από το SEAWAT κατά την διάρκεια της προσομοίωσης, έτσι ώστε να ικανοποιούνται οι περιορισμοί των εξισώσεων 1 έως 3 και κατά συνέπεια, ο αριθμός των χρονικών βημάτων δεν είναι γνωστός πριν από την εκτέλεση του προγράμματος. Σε κάθε χρονικό βήμα επιλύονται και οι δύο εξισώσεις της ροής και μεταφοράς διαλυμένης μάζας.

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial \alpha} \left( \rho K_{f\alpha} \left[ \frac{\partial h_f}{\partial \alpha} + \frac{\rho - \rho_f}{\rho_f} \frac{\partial Z}{\partial \alpha} \right] \right) + \frac{\partial}{\partial \beta} \left( \rho K_{f\beta} \left[ \frac{\partial h_f}{\partial \beta} + \frac{\rho - \rho_f}{\rho_f} \frac{\partial Z}{\partial \beta} \right] \right) \\ & + \frac{\partial}{\partial \gamma} \left( \rho K_{f\gamma} \left[ \frac{\partial h_f}{\partial \gamma} + \frac{\rho - \rho_f}{\rho_f} \frac{\partial Z}{\partial \gamma} \right] \right) = \rho S_f \frac{\partial h_f}{\partial t} + n \frac{\partial \rho}{\partial c} \frac{\partial c}{\partial t} - \bar{\rho} q_s \end{aligned}$$

Η γενική εξίσωση της κίνησης της υπόγειας ροής σε περιβάλλον μεταβλητής πυκνότητας περιλαμβάνει έναν όρο για την ειδική παροχή, η οποία υπολογίζεται από τον νόμο του Darcy. Ως εκ τούτου, η γενικευμένη εξίσωση που περιγράφει την κίνηση υγρού μεταβλητής πυκνότητας σε έναν υδροφορέα βασίζεται στην μαθηματική έκφραση της αρχής διατήρησης της μάζας και το νόμο του Darcy και είναι η παρακάτω (Langevin et.al., 2007):

Η μεταφορά διαλυτών ουσιών και συγκεκριμένα η μεταφορά αλάτων στα υπόγεια νερά από την ανάμιξη νερών διαφορετικής πυκνότητας υπολογίζεται από το πλέον σύγχρονο μαθηματικό μοντέλο που είναι γνωστό ως MT3DMS (Zheng and Wang, 1998). Αξίζει να σημειωθεί ότι το λογισμικό SEAWAT αποτελεί έναν ενιαίο κώδικα ο οποίος συμπεριλαμβάνει και τροποποιημένη έκδοση του MT3DMS. Η τροποποιημένη εξίσωση μεταφοράς – διασποράς του λογισμικού MT3DMS που επιλύεται από το SEAWAT είναι η παρακάτω:

$$\frac{\partial}{\partial \alpha} \left( \rho K_{f\alpha} \left[ \frac{\partial h_f}{\partial \alpha} + \frac{\rho - \rho_f}{\rho_f} \frac{\partial Z}{\partial \alpha} \right] \right) + \frac{\partial}{\partial \beta} \left( \rho K_{f\beta} \left[ \frac{\partial h_f}{\partial \beta} + \frac{\rho - \rho_f}{\rho_f} \frac{\partial Z}{\partial \beta} \right] \right) + \frac{\partial}{\partial \gamma} \left( \rho K_{f\gamma} \left[ \frac{\partial h_f}{\partial \gamma} + \frac{\rho - \rho_f}{\rho_f} \frac{\partial Z}{\partial \gamma} \right] \right) = \rho S_f \frac{\partial h_f}{\partial t} + nE \frac{\partial c}{\partial t} - \bar{\rho} q_s$$

όπου:

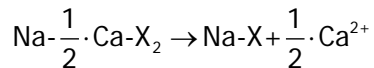
- $\alpha, \beta$ : οι κύριες κατευθύνσεις της υδραυλικής αγωγιμότητας (παράλληλα με τη στρώση)
- $\gamma$ : η κατεύθυνση κάθετη στο επίπεδο των  $\alpha$  και  $\beta$  (δηλ. κάθετη στη στρώση)
- $\rho$  και  $\rho_f$ : οι πυκνότητες του υφάλμυρου και του γλυκού νερού αντίστοιχα.
- $Z$ : το υψόμετρο του κελιού,
- $h$  και  $h_f$ : το υδραυλικό φορτίο και το ισοδύναμο υδραυλικό φορτίο του γλυκού νερού αντίστοιχα.
- $K_f$ : η υδραυλική αγωγιμότητα για το γλυκό νερό
- $S_f$ : η ειδική αποθηκευτικότητα για το γλυκό νερό [ $L^{-1}$ ].
- $E$ : μια αδιάστατη σταθερά, η οποία έχει μια προσεγγιστική τιμή ίση με 0,7143 για συνήθεις τιμές συγκέντρωσης μεταξύ γλυκού και αλμυρού νερού

## Γεωχημική ανάλυση του φαινομένου

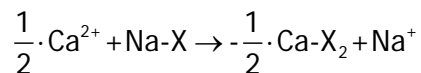
Κατά τη θαλάσσια διείσδυση, η χημική σύσταση του υπόγειου νερού μεταβάλλεται, διαταράσσοντας έτσι τη μηχανική και τη χημική ισορροπία του παράκτιου υδροφόρου. Από γεωχημική άποψη η υφαλμύριση συνίσταται από ένα διάλυμα υψηλής αλατότητας (θαλασσινό νερό) αναμειγμένο με ένα αραιωμένο διάλυμα (γλυκό νερό) σε ένα πορώδες μέσο, που περιέχει πολλά δραστικά στερεά (ορυκτά). Το νέο αυτό υψηλής αλατότητας διάλυμα, αποτελεί τη ζώνη μετάβασης και δημιουργείται μέσω της ανταλλαγής κατιόντων μεταξύ αλμυρού-γλυκού νερού έτσι μέχρις ότου επανέλθει η χημική ισορροπία του συστήματος σύμφωνα με τις νέες συγκεντρώσεις.

Ο ρόλος της ιοντοανταλλαγής, όπως αναφέρθηκε, είναι σημαντικός στη διαμόρφωση της ποιότητας των υπόγειων νερών παράκτιων υδροφορέων. Στο γλυκό νερό τα επικρατέστερα ιόντα τα οποία απαντώνται είναι τα ιόντα  $Ca$  και  $HCO_3$  (νερό οξυανθρακικό ασβεστούχο), λόγω της διάλυσης του ασβεστίτη. Έτσι οι κατιοντικοί ανταλλάκτες στον υδροφόρο περιέχουν κυρίως  $Ca$  που προσροφήθηκε στις επιφάνειες των σωματιδίων τους. Σε αντίθεση στο θαλασσινό νερό κυριαρχεί από τα κατιόντα το  $Na$  και από τα ανιόντα το  $Cl$ . Τα ιζήματα τα οποία βρίσκονται σε επαφή με το

θαλασσινό νερό προσροφούν σημαντικές ποσότητες Na. Κατά τη διείσδυση του θαλασσινού νερού σε παράκτιο γλυκό υδροφόρο λαμβάνει χώρα η εξής ιοντική ανταλλαγή:



Τα ιόντα νατρίου προσλαμβάνονται από τον ανταλλάκτη με αποτέλεσμα την απελευθέρωση ασβεστίου (Appelo and Postma, 2007). Βάσει της διαδικασίας αυτής ο χημισμός του υπόγειου νερού μεταβάλλεται από NaCl τύπο σε CaCl<sub>2</sub> τύπο νερού. Στην περίπτωση της αντίστροφης διαδικασίας, που λαμβάνει χώρα κατά τον εμπλουτισμό του υδροφορέα, όπου το γλυκό νερό αποπλένει το τμήμα του υδροφόρου που έχει καταληφθεί από θαλασσινό νερό, η ανταλλαγή κατιόντων που παρατηρείται είναι η εξής (Μυριούνης, 2008):



Κατά την αντίδραση αυτή παρατηρείται πρόσληψη ιόντων ασβεστίου από το νερό, με ανταπόδοση των ιόντων νατρίου και ως αποτέλεσμα ο χημικός τύπος του νερού μεταβάλλεται σε NaHCO<sub>3</sub> (Appelo and Postma, 2007).

Γενικά, η κύρια ανταλλαγή που λαμβάνει χώρα στους παράκτιους υδροφορείς, από τη δράση του θαλάσσιου νερού, είναι η αμφίδρομη αντικατάσταση των ιόντων Na με τα ιόντα Ca (Martinez and Bocanegra, 2002, Petalas and Lambrakis, 2006, Kallergis et al., 1997, Appelo and Willemssen, 1987, Appelo et al., 1990, Panagopoulos et al., 2004), ανάλογα με το εάν παρατηρείται διείσδυση θάλασσας σε γλυκούς υδροφορείς ή είσοδος γλυκού νερού σε αλμυρούς υδροφορείς.

## Μελέτη του φαινομένου

### Παρακολούθηση του φαινομένου

Η υφαλμύριση θεωρείται ως μία φυσική μορφή ρύπανσης που οφείλεται κυρίως σε περιβαλλοντικούς παράγοντες, ανεξάρτητα από το γεγονός ότι οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες βοηθούν στην εξέλιξη του φαινομένου. Το χλώριο, ως ρύπος στο υπόγειο νερό διαπιστώνεται με τη χρήση των κλασσικών υδρογεωλογικών και υδρολογικών μεθόδων, με τις οποίες ανιχνεύονται τα συστατικά του υπόγειου νερού και οι συγκεντρώσεις αυτών.

Έχει αναφερθεί και προηγούμενα πως η υφαλμύριση αποτελεί μία μορφή ρύπανσης των υπόγειων νερών. Με στόχο να διαπιστωθεί και να ελεγχθεί η ρύπανση αυτή στο υπόγειο νερό, πρέπει αρχικά να γίνει συλλογή δεδομένων τα οποία θα αξιολογηθούν στη συνέχεια. Τα δεδομένα αυτά προέρχονται από δείγματα νερού τα οποία λαμβάνονται κατά τη διαδικασία της δειγματοληψίας. Σκοπός της μελέτης των δειγμάτων αυτών είναι ο προσδιορισμός των φυσικοχημικών παραμέτρων του νερού, ώστε να ελεγχθεί η ποιότητα του. Τα αποτελέσματα αυτά αφού αναλύονται, έπειτα κατηγοριοποιούνται και αξιολογούνται, ώστε να προκύψει από αυτά η πληροφορία.

Για την μελέτη του φαινομένου της υφαλμύρισης, απαραίτητη προϋπόθεση είναι η εγκατάσταση ενός δικτύου παρακολούθησης υδροσημείων, γεωτρήσεων ή/και φρεατίων, μέσα από το οποίο θα δύνονται πληροφορίες σχετικά με την ποιοτική και ποσοτική κατάσταση και λειτουργία του υδροφορέα. Πιο συγκεκριμένα, απαραίτητα στοιχεία τα οποία θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά τη μελέτη του φαινομένου είναι η θέση της στάθμης του υπόγειου νερού σε σχέση με το επίπεδο της θάλασσας, και η διακύμανσή της μέσα στο υδρολογικό έτος καθώς επίσης και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του υπόγειου νερού και η χωροχρονική τους κατανομή.

Βασική προϋπόθεση που συνεπάγεται την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων είναι η αντιπροσωπευτικότητα του δικτύου παρακολούθησης, καθώς η ποσότητα νερού που θα



χρησιμοποιηθεί κατά τον προσδιορισμό των ποιοτικών χαρακτηριστικών πρέπει να έχει τα αντιπροσωπευτικά χαρακτηριστικά με το σύνολο του υπόγειου νερού από το οποίο προέρχεται. Η μη αντιπροσωπευτικότητα των δειγμάτων συνεπάγεται εσφαλμένα αποτελέσματα. Ο σωστός σχεδιασμός και η οργάνωση ενός δικτύου παρακολούθησης πρέπει να είναι βασική προϋπόθεση για τη σωστή λειτουργία του ελέγχου της ποιότητας του νερού, αλλά και για την αποφυγή του υψηλού κόστους του όλου εγχειρήματος.

Αναλυτικά, ο έλεγχος της ποιότητας του υπόγειου νερού αποτελείται από δύο φάσεις, τη δειγματοληψία και τη χημική ανάλυση (Λατινόπουλος, 2007, Αβραμίδου, 2008). Με τον όρο δειγματοληψία καλείται η διαδικασία κατά την οποία λαμβάνεται ορισμένη ποσότητα όγκου νερού, η οποία καλείται δείγμα και εξετάζεται έπειτα στο εργαστήριο κατά το στάδιο της χημικής ανάλυσης. Η δειγματοληψία του υπόγειου νερού γίνεται με τη χρήση είτε πηγαδιών, είτε γεωτρήσεων, είτε πιεζομέτρων, τα οποία χρησιμοποιούνται επίσης και για τη μέτρηση της στάθμης του νερού και την τιμή του υδραυλικού του φορτίου. Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την απόσπαση των όγκων νερού είναι η άντληση, η εμβύθιση ειδικών δοχείων και άλλες. Κατά το δεύτερο στάδιο, αυτό της χημικής ανάλυσης προσδιορίζονται ποσοτικά οι φυσικοχημικές και βιολογικές ιδιότητες του δείγματος του νερού. Η ανάλυση γίνεται είτε στο εργαστήριο, είτε σε κάποιες περιπτώσεις στην ύπαιθρο με τη χρήση φορητών συσκευών.

Η δειγματοληψία των υπόγειων νερών δεν μπορεί να παρακολουθηθεί σε όλα τα στάδια, αφού πρόκειται για εργασία που αφορά το υπέδαφος. Το γεγονός αυτό έχει οικονομικό αντίκτυπο και σε περίπτωση μη αντιπροσωπευτικής δειγματοληψίας δεν είναι πάντα εφικτό να επαναληφθεί η διαδικασία. Σημαντικό είναι επίσης, οι χημικές αναλύσεις να γίνονται όσο το δυνατόν πιο γρήγορα έπειτα από τη διαδικασία της δειγματοληψίας, καθώς υπάρχει ο κίνδυνος αλλοίωσης του δείγματος κατά τα στάδια της συλλογής, μεταφοράς και αποθήκευσής του. Αλλοιωμένα δείγματα είναι πιθανό να δώσουν εσφαλμένα αποτελέσματα για τις φυσικοχημικές παραμέτρους του υπόγειου νερού.

### **Υδροδυναμική μελέτη του φαινομένου**

Το υδραυλικό ή πιεζομετρικό φορτίο ισούται με το απόλυτο υψόμετρο της στάθμης του νερού μιας γεώτρησης από το μέσο ύψος της στάθμης της θάλασσας. Η στάθμη του νερού σε κάθε γεώτρηση μετράται με ειδικά όργανα, τα σταθμήμετρα. Η μέτρηση της, είναι χρήσιμος δείκτης για τη διακύμανση της μάζας του γλυκού νερού σε εποχιακή βάση καθώς η γνώση της αποφόρτισης και επαναφόρτισης του υδροφόρου είναι σημαντικός παράγοντας για τη κατανόηση της κίνησης της ζώνης διάχυσης αλμυρού-γλυκού νερού. Η στάθμη του υδροφόρου χρησιμοποιείται ακόμη για το σχεδιασμό του πιεζομετρικού χάρτη του παράκτιου υδροφόρου απ' όπου είναι δυνατό να συλλεχθούν σημαντικές πληροφορίες (Αβραμίδου, 2008).

Στόχος αυτής της διαδικασίας είναι να εξαχθούν συμπεράσματα σε σχέση με τη διεύθυνση ροής του γλυκού νερού, την ύπαρξη ή μη πλευρικής τροφοδοσίας του συστήματος του υδροφόρου από υπόγειες ή επιφανειακές πηγές (π.χ. από ποταμό). Επίσης, είναι δυνατό να ανιχνευθεί πιθανή θαλάσσια διείσδυση μελετώντας τη θέση του μέγιστου φορτίου. Αν το μέγιστο φορτίο βρίσκεται στο εσωτερικό του πιεζομετρικού χάρτη, η θαλάσσια διείσδυση βρίσκεται σε αρχικό στάδιο ή εκλείπει (Μυριούνης, 2008, Αβραμίδου, 2008).

Αντιθέτως, αν το μέγιστο φορτίο βρίσκεται στις παρυφές του πιεζομετρικού χάρτη, η θαλάσσια έχει διεισδύσει σε μεγάλο βαθμό στον υδροφόρο. Η μέτρηση της στάθμης γίνεται είτε χειροκίνητα είτε με αυτόματα συστήματα καταγραφής από τα οποία λαμβάνονται πιο λεπτομερείς πληροφορίες και συγκρίνονται τα αποτελέσματα και με άλλες παραμέτρους (π.χ. η μεταβαλλόμενη στάθμη της θάλασσας).

## Υδροχημική μελέτη του φαινομένου

Η αναγνώριση της υφαλμύρινης που προκαλείται από τη θάλασσα δεν είναι πάντα εύκολη. Οι κυριότερες πηγές χλωριόντων στο υπόγειο νερό είναι η διείσδυση του θαλασσινού νερού, ο εγκλωβισμός αλάτων στο σκελετό του υδροφόρου κατά την ιζηματογένεση, όταν αυτή γίνεται σε θαλάσσιο περιβάλλον και τέλος, τα οικιακά και βιομηχανικά απόβλητα, τα οποία σε ορισμένες περιπτώσεις περιέχουν ενώσεις και σύμπλοκα του χλωρίου. Για την αναγνώριση της προέλευσης των χλωριόντων έχουν δημιουργηθεί από διάφορους ερευνητές δείκτες, οι οποίοι προσδιορίζουν τη συνεισφορά της διείσδυσης της θάλασσας στην αύξηση της συγκέντρωσης χλωριόντων στο υπόγειο νερό (Richter B., Kreitler, C., 1993, Myriounis, 2014).

Ο Revelle (1941) πρότεινε σαν κριτήριο της διείσδυσης του θαλασσινού νερού, τη χρησιμοποίηση του λόγου:  $rCl/(rCO_3^{2-} + rHCO_3^-)$  όπου το  $r$  δηλώνει ότι οι συγκεντρώσεις των ιόντων είναι εκφρασμένες σε meq/L. Στον Πίνακα 1 φαίνεται ο χαρακτηρισμός του βαθμού ρύπανσης. Επιπλέον για τον προσδιορισμό της εξάπλωσης της ζώνης υφαλμύρινης χρησιμοποιούνται:

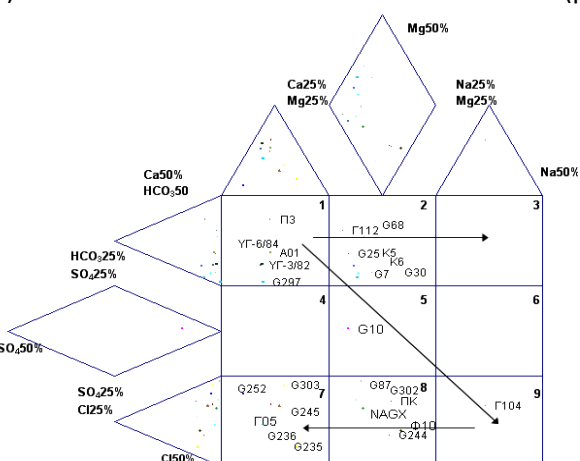
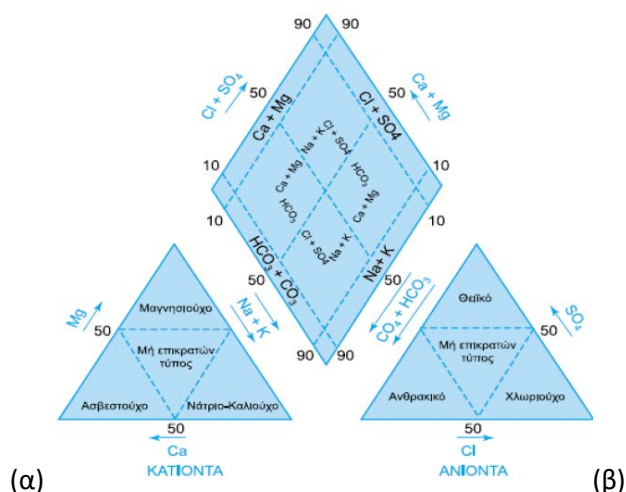
- **Η κατανομή του TDS.** Ένα μέτρο της αλατότητας είναι η συγκέντρωση των συνολικά διαλυμένων στερεών (TDS). Εάν το TDS είναι μικρότερο των 1000 mg/L το νερό θεωρείται γλυκό, ενώ μεταξύ 1000-3000 mg/L είναι ελαφρά υφάλμυρο, μεταξύ 3000-10.000 mg/L μέτρια υφάλμυρο και μεγαλύτερο από 10.000 mg/L είναι πολύ αλμυρό. Η συγκέντρωση ποικίλλει στη μεταβατική ζώνη μεταξύ γλυκού και αλμυρού νερού. Η θέση της καμπύλης των 1000 mg/L καθορίζει την περιοχή επίδρασης της θαλάσσιας διείσδυσης. Αντί του TDS μπορεί να χρησιμοποιηθεί η ηλεκτρική αγωγιμότητα.

**Πίνακας 1** Χαρακτηρισμός βαθμού ρύπανσης νερού από τη διείσδυση της θάλασσας (Καλλέργης, 2000)

Συντελεστής Revelle προτεινόμενο όριο	Όριο Simpson	Χαρακτήρας νερού
<1	0.5	καλό υπόγειο νερό χωρίς ρύπανση
1-2	1.3	Ελαφρά ρυπασμένο
2-6	2.8	Μέτρια ρυπασμένο
6-10	6.6	σοβαρά ρυπασμένο
10-150	15.5	επικίνδυνα ρυπασμένο
>150	200	θαλασσινό νερό

- **Η κατανομή χλωριόντων.** Τα ιόντα χλωρίου αποτελούν ένα συντηρητικό δείκτη ο οποίος και δε μεταβάλλεται χημικά (Μυριούνης, 2008). Η απομάκρυνσή τους μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο με καθίζηση, η οποία και προκαλείται κατά τη διάρκεια της εξάτμισης σε πολύ προχωρημένο στάδιο (Custodio, 1997, Καλλιώρας, 2007). Οι κυριότερες φυσικές πηγές προέλευσης των ιόντων χλωρίου είναι τα προϊόντα της διάλυσης των εβαποριτών (NaCl), η απόπλυση αλμυρών νερών εγκλωβισμένων σε λεπτόκοκκες ιζηματογενείς αποθέσεις και η θαλάσσια διείσδυση. Σύμφωνα με τον Καλλέργη, (2000) σαν κύρια πετρώματα προέλευσης ιόντων  $Cl^-$  αναφέρονται οι εβαπορίτες. Η τυπική συγκέντρωση των ιόντων χλωρίου για τις υγρές περιοχές είναι μικρότερη από 10 mg/l, ενώ στις ξηρές ξεπερνά και τα 1000 mg/l. Αναφορικά με τις ανθρώπινες δραστηριότητες, οι οποίες εντείνουν το φαινόμενο της υφαλμύρινης των υπογείων νερών, αυτές είναι, τα άλατα των δρόμων

για αποπαγοποίηση, τα βιομηχανικά, οικιακά και αγροχημικά απόβλητα, οι αλμύρες πετρελαϊκών πεδίων και η θαλάσσια διείσδυση λόγω αντλήσεων (Μυριούνης, 2008).

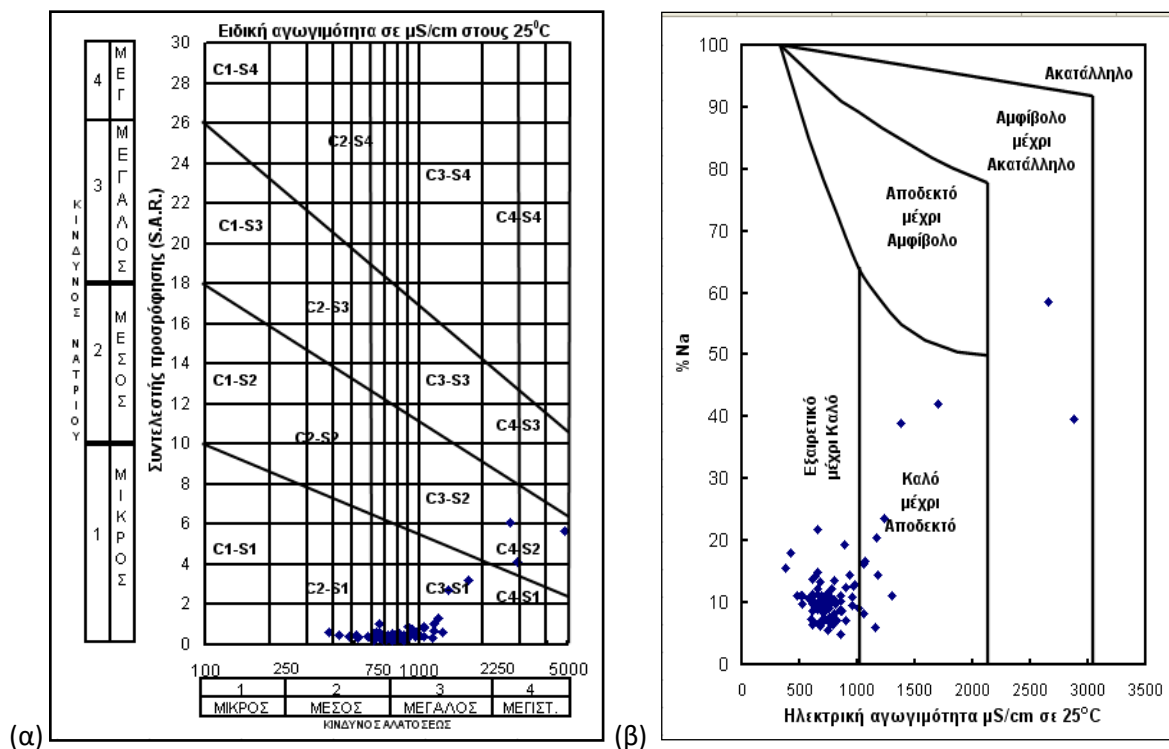


**Σχήμα 6** Υδροχημικό διάγραμμα (α) Piper και (β) Διευρυμένο Duron για την αξιολόγηση της ποιότητας των υπογείων νερών (Piper, 1944, Duron, 1948)

Οι Richter and Kreitler, (1993) αναφέρουν ότι η συγκέντρωση των ιόντων χλωρίου στο βρόχινο νερό συνήθως κυμαίνεται μεταξύ 1-20 mg/l στη στενή ζώνη της ακτογραμμής, ενώ μεταβάλλεται σε λιγότερο από 1 mg/l προς την ενδοχώρα. Θεωρείται ότι υγρά σταγονίδια θαλασσινού νερού τα οποία είτε ψεκάζονται κατευθείαν από τη θάλασσα είτε μεταφέρονται μέσω ανέμων, ενδέχεται να ρυπάνουν επιφανειακά νερά της ενδοχώρας ή να επικαθίσουν στην επιφάνεια προκαλώντας αλμύριση του εδάφους (Καλλιώρας, 2007).

Λόγω της συντηρητικής χημικής συμπεριφοράς των ιόντων χλωρίου καθώς επίσης και λόγω της συμμετοχής τους στις διαδικασίες της υφαλμύρισης των υπογείων νερών, τα ιόντα αυτά χρησιμοποιούνται ως η κύρια παράμετρος προσδιορισμού της υποβάθμισης των υπογείων νερών (Todd, 1980, Custodio and Llamas, 1976, Custodio et al., 1987, Custodio, 1997). Η συγκέντρωση των χλωριόντων τείνει να αυξάνει προς την ακτή. Μια συγκέντρωση περίπου 200 mg/L χρησιμοποιείται ως δείκτης θαλάσσιας εισβολής.

- **Ο λόγος  $rBr/rCl$ .** Το ιόν βρωμίου είναι ένας καλός δείκτης θαλάσσιας διείσδυσης. Η συγκέντρωση του βρωμίου στα γλυκά νερά είναι μικρότερη από 0,01 mg/L και στο θαλασσινό ανέρχεται σε 65 mg/L. Επίσης χρησιμοποιούνται και άλλοι λόγοι όπως:  $Mg/Ca$ ,  $Br/I$ ,  $I/Cl$  κ.ά.



**Σχήμα 7** (α) Διάγραμμα SAR και (β) διάγραμμα Wilcox για την αξιολόγηση της ποιότητας των υπογείων νερών (Ayers and Westcot, 1994, Wilcox, 1955)

- **Η ιοντική ισχύς I (ionic strength).** Η ιοντική ισχύς είναι ένα μέτρο της ολικής συγκέντρωσης των ιόντων και υπολογίζεται

$$\text{από τον τύπο: } I = 0,5 \sum M_i Z_i^2$$

όπου  $M_i$  είναι η μοριακή συγκέντρωση (mol/L) του  $i$ -οστού ιόντος και  $Z_i$  είναι το φορτίο του. Οι Domenico and Schwartz, (1990) αναφέρουν ότι το γλυκό νερό έχει ιοντική ισχύ  $I < 0,005$ .

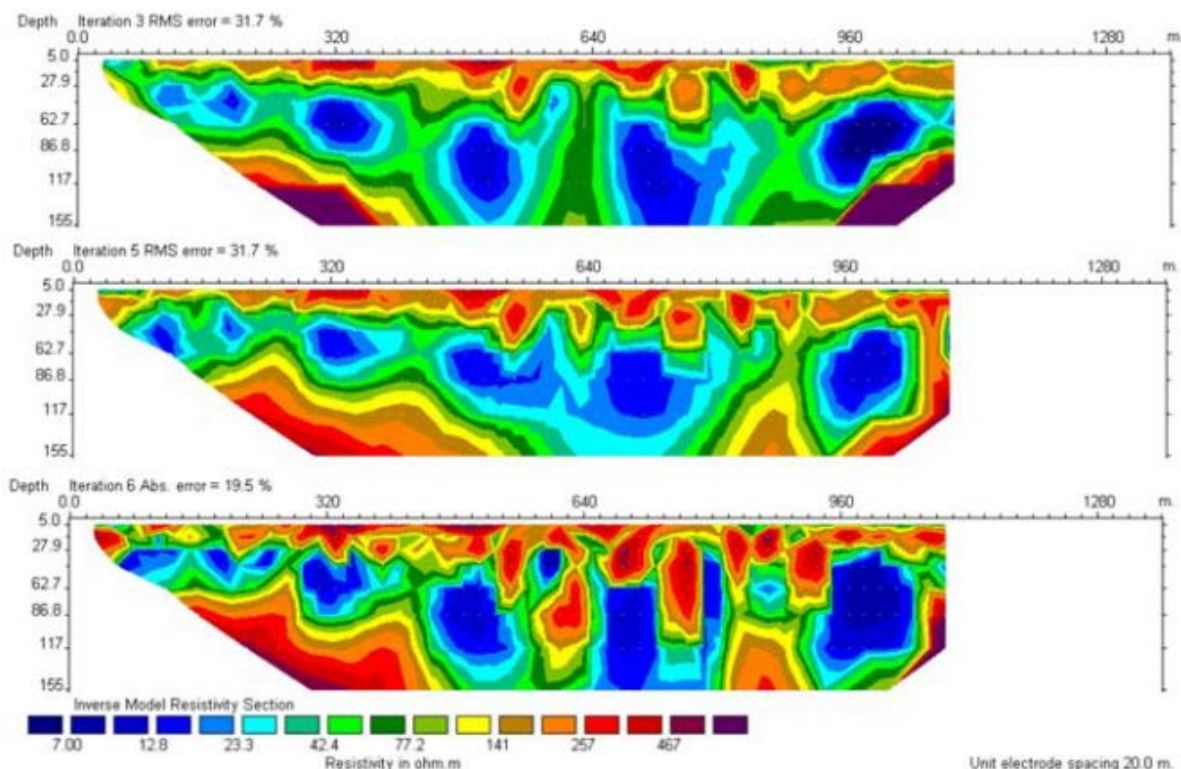
Σύμφωνα με τον Custodio (1987) παλαιά και σύγχρονη θαλάσσια διείσδυση είναι δυνατόν να διαφέρουν στη σύνθεση των περιεχομένων σταθερών ισοτόπων  $^{18}\text{O}$  και δευτέριο, τόσο περισσότερο όσο διαφορετικές κλιματικές συνθήκες επικρατούσαν κατά τη διάρκεια της θαλάσσιας διείσδυσης. Το γλυκό νερό είναι συνήθως ισοτοπικά ελαφρύτερο εξαιτίας των διαδικασιών του κλασματικού διαχωρισμού οι οποίες συμβαίνουν κατά τη εξάτμιση του θαλασσινού νερού και της υγροποίησης που οδηγεί στην κατακρήμνιση. Το νερό που έχει υποστεί τη διαδικασία της εξάτμισης πριν την είσοδό του στο τοπικό υπόγειο νερό, μπορεί να είναι βαρύτερο από το θαλασσινό. Οι διαφορές αυτές είναι δυνατόν να επιτρέπουν τη διάκριση των πηγών αλμύρισης. Η τιμή των ανωτέρω ισοτόπων είναι πλησίον του μηδενός στο θαλασσινό νερό. Τα υπόγεια νερά είναι τυπικά ελαφρύτερα όσον αφορά το περιεχόμενο των ισοτόπων αυτών. Αλληλεπιδράσεις νερού και πετρωμάτων σε υψηλές θερμοκρασίες εμπλουτίζουν το περιεχόμενο  $^{18}\text{O}$  του νερού, συμβάλλοντας έτσι κατά περίπτωση στη διάκριση των διαφόρων πηγών επιβάρυνσης.

Στα παραπάνω Σχήματα 6 και 7 παρουσιάζονται ενδεικτικά υδροχημικά διαγράμματα που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της ποιότητας των υπόγειων νερών σε σχέση με την υφαλμύριση.

## Γεωφυσική έρευνα και μελέτη

Ο όρος γεωφυσική διασκόπηση ή έρευνα αναφέρεται στην έρευνα της δομής των απρόσιτων στην άμεση παρατήρηση γεωλογικών στρωμάτων του φλοιού της γης. Αυτό επιτυγχάνεται πραγματοποιώντας μετρήσεις χαρακτηριστικών φυσικών μεγεθών του υπεδάφους. Τα τελευταία χρόνια οι γεωφυσικές μέθοδοι παρουσίασαν σημαντική τεχνολογική άνθιση, με αποτέλεσμα να εφαρμόζονται στην απεικόνιση της δομής του υπεδάφους (Σχήμα 8). Αξίζει να σημειωθεί ότι οι παραδοσιακές γεωφυσικές τεχνικές που εφαρμόζονταν στην ανίχνευση μεταλλευμάτων και πετρελαίου βρίσκουν πια πρόσφορο έδαφος στον εντοπισμό της ρύπανσης του εδάφους.

Πρόσφατα αναπτύχθηκε ένας καινούριος κλάδος της εφαρμοσμένης γεωφυσικής, ο οποίος πραγματεύεται κατά κύριο λόγο περιβαλλοντικά προβλήματα που αφορούν την ανίχνευση και χαρτογράφηση ρύπανσης σε εδάφη και υπόγεια νερά. Οι γεωφυσικές τεχνικές που εφαρμόζονται στην ανίχνευση της ρύπανσης του εδάφους και στον έλεγχο της ποιότητας των υπογείων υδάτων ποικίλουν. Η επιλογή τους εξαρτάται κάθε φορά από τον επιθυμητό στόχο και τη φύση του προβλήματος που διερευνάται. Ειδικότερα, οι μέθοδοι της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και του γεωραντάρ είναι σε θέση να ανιχνεύσουν άμεσα την παρουσία ρύπανσης στο υπέδαφος, μετρώντας τη μεταβολή στην αγωγιμότητα του, η οποία προκαλείται από τους ρυπογόνους παράγοντες. Αντίθετα, άλλες γεωφυσικές τεχνικές όπως η σεισμική ανάκλαση-διάθλαση και η μαγνητομετρία μπορούν έμμεσα να βοηθήσουν στην ανίχνευση της ρύπανσης του υπεδάφους, δίδοντας πληροφορίες για την αναγνώριση λιθολογικών χαρακτηριστικών και συνθηκών του υπεδάφους, οι οποίες συμβάλλουν στην εξάπλωση της ρύπανσης.



Σχήμα 8 Γεωηλεκτρική απεικόνιση υπεδάφους (Κωσταρέλης, 2008)

Πρέπει να σημειωθεί ότι η ερμηνεία των γεωφυσικών αποτελεσμάτων δεν αποτελεί πάντοτε ένα εύκολο ή απλό εγχείρημα. Για το λόγο αυτό απαιτείται η συμβολή περισσότερων από μίας

γεωφυσικών μεθόδων σε συνδυασμό με άλλες επιστήμες (υδρογεωλογία, γεωλογία, υδροχημεία, γεωχημεία). Οι κυριότερες γεωφυσικές τεχνικές που εφαρμόζονται για την ανίχνευση και οριοθέτηση της ρύπανσης του υπεδάφους (Μιχαλάκης, 2007, Κουκαδάκη και Τζιμούρτος, 2002), εφαρμόζουν τις ακόλουθες μεθόδους:

- Μέθοδος Ηλεκτρομαγνητικών Κυμάτων (Electromagnetometry)
- Σεισμική Ανάκλαση (Seismic Reflection)
- Σεισμική Διάθλαση (Seismic Refraction)
- Μαγνητικές μέθοδοι (Magnetometry)
- Μέθοδος Φυσικού Δυναμικού (Self Potential)
- Μέθοδος Επαγόμενης Πολικότητας (Induced Polarization)
- Βαρυτική μέθοδος (Gravity)
- Γεωραντάρ (Ground Penetrating Radar)
- Μέθοδος Ειδικής Ηλεκτρικής Αντίστασης (Electrical Resistivity)

Κάθε μία από τις γεωφυσικές μεθόδους εφαρμόζεται για συγκεκριμένο σκοπό, ανάλογα με τις εκάστοτε συνθήκες και τον επιθυμητό στόχο της έρευνας. Ιδιαίτερα για τον εντοπισμό ζωνών υφαλμύρινσης χρησιμοποιείται η μέθοδος της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (Myriounis et. al., 2006). Η μέθοδος είναι άμεση και προσφέρει σημαντικές πληροφορίες. Η αποτελεσματικότητα της μεθόδου αυτής οφείλεται στην επίδραση που έχει ο υδροχημικός χαρακτήρας του νερού των σχηματισμών στην γεωηλεκτρική ανταπόκριση του υπεδάφους. Η ανίχνευση-προσδιορισμός του φαινομένου της υφαλμύρινσης βασίζεται στην επίδραση ανίχνευση του υδροχημικού χαρακτήρα των ιόντων του χλωρίου το οποίο είναι ένα από τα πιο ηλεκτρικά ενεργά ιόντα που εμφανίζονται στη φύση, επιτρέποντας έτσι την ανίχνευση του φαινομένου της διείδυσης αλμυρού νερού σε παράκτιους υδροφορείς. Ετερογένεια και ανισοτροπία στις ηλεκτρικές ιδιότητες μπορεί να σχετίζονται με παρόμοιες καταστάσεις στις υδροχημικές ιδιότητες.

Οι γεωφυσικές μέθοδοι της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, κυρίως η ηλεκτρική βυθοσκόπηση και η ηλεκτρική τομογραφία, έχουν χρησιμοποιηθεί από πολλούς ερευνητές για τον εντοπισμό και χαρτογράφηση των ζωνών μίξης του θαλασσινού με το γλυκό νερό, καθώς οι τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης των διαφόρων πετρωμάτων επηρεάζονται από την αλατότητα του νερού. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα με τις μεθόδους αυτές να είναι δυνατόν να γίνει διαχωρισμός πετρωμάτων που περιέχουν υφάλμυρο νερό από αυτά με γλυκό νερό (Myriounis et.al., 2006).

### **Τηλεπισκοπική παρακολούθηση**

Πρόκειται για μία από τις νεότερες τεχνικές παρακολούθησης, κατά την οποία λαμβάνονται πληροφορίες για το προς μελέτη αντικείμενο, χωρίς να υπάρχει επαφή με αυτό. Η τηλεσκοπική παρακολούθηση συλλέγει πληροφορίες, εκμεταλλευόμενη την εκπομπή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας του κάθε αντικειμένου, καταγράφοντας την μέσω αισθητήρων που βρίσκονται σε εναέριες ή διαστημικές πλατφόρμες (Πίνακας 2). Για τη τηλεσκοπική παρακολούθηση χρησιμοποιούνται δορυφορικά δεδομένα (π.χ. πρόγραμμα LANDSAT, SPOT κ.α.).

Σε σύγκριση με την έρευνα πεδίου, τα δεδομένα που λαμβάνονται μέσω της συγκεκριμένης τεχνικής είναι πιο συνοπτικά και μπορούν να συλλεχθούν σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή, με μεγάλη ευκολία (δορυφορικές φωτογραφίες), καθιστώντας την οικονομικότερη και ταχύτερη.

Με τις δορυφορικές λήψεις είναι δυνατό να αναλυθεί μια περιοχή φασματικά, χρονικά και χωρικά. Η ακρίβεια ανάλυσης κάθε εικόνας διαφέρει ανάλογα με τη χρήση για την οποία προσδιορίζεται- η κάθε φωτογραφία μπορεί να αντιστοιχεί σε επιφάνεια εδάφους 1km, ενώ μπορεί να φτάσει και τα 0,5m (δεδομένα υψηλής ανάλυσης). Τα τηλεσκοπικά συστήματα παρακολούθησης έχουν εφαρμογή

και στο πρόβλημα της θαλάσσιας διεύθυνσης. Για την αναγνώριση και τη παρακολούθηση του φαινομένου γίνεται χρήση πολλαπλών διαφορετικών εικόνων από διαφορετικές χρονικές περιόδους, αναλύοντας τη φυτοκάλυψη στις ενότητες κάθε περιοχής. Η ύπαρξη φυτών ανεκτικών στα άλατα αποτελεί δείκτη υφαλμύρισης. Ακόμη, μέσω δορυφορικών λήψεων, είναι δυνατή η σκιαγράφιση των ζωνών εκφόρτισης του παράκτιου υδροφόρου μέσω δορυφορικών θερμικών υπέρυθρων εικόνων.

**Πίνακας 2** Δορυφορικά συστήματα και τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά τους, καθώς και οι εφαρμογές αυτών σε θέματα παράκτιων περιοχών (Πηγή: Donato and Klemas, 2001)

AVHRR NOAA 15/16	580–12500 nm	6	1.1 km	12 h	2400 km	SST, θολότητα, κυκλοφορία
SeaWiFS	400–885 nm	8	1.1 km	24 h	2800 km	Χρώμα ωκεανών, Rel προϊόντα
MODIS Terra / Aqua	620–14385 nm	16 VNIR	Μεταβλητό	24 h	2330 km	SST, θολερότητα, κυκλοφορία Χρώμα ωκεανών
		4 SWIR 16 TIR	250 m 1 km	12 h		
MISR Terra	425–886 nm	4	275 m	16 d	360 km	Χρώμα ωκεανών, κυκλοφορία
ASTER Terra	520–11650 nm	3 VNIR 6 SWIR	15 m 30 m	16 d	60 km	Βαθυμετρία, φυτοκάλυψη, χρήσεις γης, αλλαγή χρήσεων, κυκλοφορία, γεωμορφολογία, ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DEM)
		5 TIR	90 m			
LANDSAT – 7	450–2080 nm	6 VNIR	30 m	16 d	180 km	Βαθυμετρία, Φυτοκάλυψη, χρήσεις γης, αλλαγή χρήσεων, γεωμορφολογία, κυκλοφορία
	10420 nm	1 TIR 1 Pan	60 m 15 m	16 d		
SPOT 1–2–3–4–5	500–890 nm	3 MS	20 m	26 d	60 km	Βαθυμετρία, φυτοκάλυψη, αλλαγή χρήσεων, γεωμορφολογία, κυκλοφορία
		1 Pan	10 m	24 h		
IKONOS	450–750 nm	1 MS	4 m	1 – 3 d	13 km	Βαθυμετρία, φυτοκάλυψη, παράκτιες διεργασίες, DEM
		1 PAN	1 m			
QuikBird 2	450–900 nm	4 MS	4 m	< 3 d	22 km	Βαθυμετρία, φυτοκάλυψη, παράκτιες διεργασίες, DEM
		1 PAN	1 m			
Orbview 3	450–900 nm	4 MS	4 m	< 3 d	8 km	Βαθυμετρία, φυτοκάλυψη, παράκτιες διεργασίες, DEM
		1 Pan	1 m			
Orbview 4	450–2500 nm	200 HS	8 m	< 3 d	5 km	Βαθυμετρία, φυτοκάλυψη, παράκτιες διεργασίες, DEM
	450–900 nm	4 MS 1 Pan	4 m 1 m		8 km	
ALI EO – 1	400–2400 nm	8 MS	30 m	16 d	37 km	Βαθυμετρία, φυτοκάλυψη, χρήσεις γης, αλλαγή χρήσεων, γεωμορφολογία, κυκλοφορία
		1 Pan	10 m			
Hyperion EO–1	400–2400 nm	220	30 m	16 d	8 km	Βαθυμετρία, φυτοκάλυψη, παράκτιες διεργασίες
NEMO / COIS	400–2500 nm	210	30 m			Βαθυμετρία, φυτοκάλυψη, παράκτιες διεργασίες
MERIS ENVISAT–1	290–1040 nm	15	300 m	< 3 d	1150 km	Χρώμα ωκεανών, κυκλοφορία
ASAR ENVISAT–1	C–Band 4 pol	2	30 m	< 3 d	50–100 km	Κυκλοφορία, κύματα
AMI ERS – 2 (SAR)	C–Band V pol	1	25 m	28 d	100 km	Κυκλοφορία, κύματα
RADARSAT–1 (SAR)	C–Band H pol	1	6–100 m	1–4 d	20–500 km	Κυκλοφορία, κύματα
RADARSAT–2 (SAR)	C–Band H/V pol	1	3–100 m	3 d	20–500 km	Κυκλοφορία, κύματα

## Τα αίτια του φαινομένου της υφαλμύρισης

Κύρια αιτία για την υφαλμύριση των υπόγειων νερών, αποτελεί η ύπαρξη χαμηλής πιεζομετρίας δηλαδή η ανάπτυξη μικρού υδραυλικού φορτίου που αποτελεί την κινητήρια δύναμη των υπόγειων νερών προς τη θάλασσα. Με αυτό το δεδομένο η όποια φυσική ή ανθρωπογενής δράση που

συνεπάγεται περαιτέρω μείωση του υδραυλικού φορτίου αποτελεί αφορμή για ανύψωση της διεπιφάνειας γλυκού-αλμυρού νερού.

## **Φυσικά αίτια**

Κύρια φυσικά αίτια που αποτελούν αφορμές ελάττωσης των υδραυλικών φορτίων των υπόγειων νερών είναι:

### **Μείωση των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων – κλιματική αλλαγή**

Είναι σαφές ότι σε συνθήκες κλιματικής αλλαγής, οτιδήποτε σχετίζεται με το νερό θα γνωρίσει στο μέλλον μεγάλες αλλαγές. Σε κάποιες χώρες το μέσο ύψος της βροχής θα αυξηθεί σημαντικά, όπως αναμένεται να συμβεί στην κεντρική και βόρεια Ευρώπη, σε άλλες όπως οι χώρες του τρίτου κόσμου η ανομβρία θα ενταθεί ενώ στη περιοχή της Μεσογείου, θα αλλάξει η κατανομή των βροχοπτώσεων στο χρόνο, καθώς θα έχουμε συχνότερη εμφάνιση ακραίων φαινομένων. Γεγονός που για τη χώρα μας σημαίνει ότι στο εξής, ακόμη κι αν δεχόμαστε συνολικά, σε ετήσια βάση, τα ίδια ύψη βροχής σε σχέση με το παρελθόν, η κατανομή του νερού θα είναι τέτοια, ώστε να μην ευνοεί όπως παλιά τον εμπλουτισμό των φυσικών δεξαμενών του νερού. Το έδαφος, ως γνωστό, δεν προλαβαίνει να διηθήσει το νερό όταν αυτό έρχεται σε μεγάλες ποσότητες και για σύντομα χρονικά διαστήματα, με αποτέλεσμα το μεγαλύτερο μέρος του νερού των βροχοπτώσεων μεγάλης έντασης, να απορρέει αναξιοποίητο (Σταμάτης, 2012).

### **Άνοδος της στάθμης της θάλασσας**

Η άνοδος της στάθμης της θάλασσας μπορεί να προκαλέσει αλλαγή της ροής του αλμυρού νερού εισβάλλοντας στους υπόγειους υδροφορείς. Όπως παρατηρείται από το νόμο Ghyben-Herzberg το βάθος του γλυκού νερού ( $z$ ) εξαρτάται από το  $h$  δηλαδή το ύψος του γλυκού νερού από το μέσο επίπεδο της θάλασσας. Αυτό σημαίνει ότι για κάθε αύξηση του επιπέδου της στάθμης της θάλασσας έχει σαν συνέπεια την μείωση της χωρητικότητας του γλυκού νερού στον υδροφόρο και τη μετατόπιση της διεπιφάνειας γλυκού και αλμυρού νερού προς τα πάνω.

Η στάθμη της θάλασσας λόγω της κλιματικής αλλαγής θα ανέλθει για δύο λόγους. Πρώτον, εξαιτίας των υψηλότερων θερμοκρασιών, το νερό που είναι αποθηκευμένο στους πάγους θα λιώσει, προσθέτοντας επιπλέον νερό στους ωκεανούς. Δεύτερον, η αύξηση της θερμοκρασίας, ως γνωστόν προκαλεί αύξηση του όγκου του νερού, επιβάλλοντας στο νερό των ωκεανών κατά τον ίδιο τρόπο να καταλαμβάνει περισσότερο χώρο, προκαλώντας περαιτέρω ανύψωση της στάθμης της θάλασσας. Αυτό μπορεί να επιφέρει πλημμύρες σε διάφορες παράκτιες περιοχές μέχρι και πλήρη και μόνιμη κάλυψη αυτών. Επίσης αναμένεται ότι η μορφολογία της ξηράς θα μεταβληθεί σε μερικές νησιωτικές χώρες, όπως το Μπαγκλαντές, λόγω της ανύψωσης της στάθμης της θάλασσας. Η μέση παγκόσμια στάθμη της θάλασσας έχει αυξηθεί από 10 ως 25cm τα τελευταία 100 χρόνια. Είναι πιθανόν ότι αυτή η αύξηση σχετίζεται με την αύξηση της μέσης θερμοκρασίας από το 1860.

Από τα κλιματικά μοντέλα έχει υπολογιστεί ότι η μέση στάθμη της θάλασσας μπορεί να αυξηθεί περίπου κατά 15 ως 95cm μέχρι το έτος 2100. Η αύξηση της μέσης στάθμης της θάλασσας αναμένεται 2 ως 5 φορές μεγαλύτερη από την παρατηρούμενη τα τελευταία 100 χρόνια. Το ποσοστό, το εύρος και η κατεύθυνση της αύξησης της μέσης στάθμης της θάλασσας θα διαφέρει από περιοχή σε περιοχή και θα εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά της παράκτιας περιοχής, τις αλλαγές στα ρεύματα των ωκεανών, από τις διαφορές των χαρακτηριστικών των παλιρροιών, της πυκνότητας της θάλασσας και των κατακόρυφων μετακινήσεων της ξηράς. Επίσης αξίζει να



σημειωθεί ότι η στάθμη της θάλασσας αναμένεται να συνεχίζει να αυξάνεται για τους επόμενους αιώνες, ακόμα και όταν οι ατμοσφαιρικές θερμοκρασίες σταθεροποιηθούν.

### **Γεωλογικά αίτια**

Στους παράκτιους καρστικοποιημένους υδροφορείς οι συνθήκες για την εμφάνιση του φαινομένου της υφαλμύρισης είναι ιδιαίτερα ευνοϊκές λόγω των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών τους. Η δημιουργία καρστικών φαινομένων συνδέεται με την παρουσία πετρωμάτων τα οποία είναι ευδιάλυτα και αφήνουν ελάχιστο υπόλειμμα με αποτέλεσμα να διευρύνονται τα διάκενα με τη διάλυσή τους οπότε είναι δυνατή η κίνηση του νερού μέσω αυτών στο υπέδαφος..

Τα καρστικά πετρώματα που έχουν μεγάλη υδρογεωλογική σημασία για το Μεσογειακό χώρο είναι κυρίως τα ανθρακικά πετρώματα (ασβεστόλιθοι και δολομίτες). Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, καρστικοποιημένος υδροφόρος ονομάζεται ένας όγκος διαλυτού πετρώματος στο οποίο η ροή γίνεται κυρίως μέσα στα κανάλια διάλυσης, των οποίων το μέγεθος και η κατεύθυνση είναι ακανόνιστη. Η ροή μπορεί να είναι γραμμική, τυρβώδης ή/και να έχει τα χαρακτηριστικά ροής σε ανοικτό αγωγό. Η κίνηση του υπόγειου νερού μπορεί να προκαλέσει διάλυση του ασβεστόλιθου γύρω από τα υπάρχοντα κενά, με αποτέλεσμα την αύξηση του ανοίγματός τους και της υδραυλικής αγωγιμότητας του υδροφόρου. Όσον αφορά τα ρήγματα, λόγω της καρστικοποίησης αρκετά από αυτά μεγεθύνονται και μετατρέπονται σε κανάλια. Μέσο της διαδικασίας της διάλυσης, η δομή του καρστικοποιημένου υδροφόρου και τα υδραυλικά χαρακτηριστικά του μεταβάλλονται τόσο χωρικά όσο και χρονικά, με συνέπεια οι υδροφόροι αυτοί να χαρακτηρίζονται από μεγάλη ετερογένεια και ανισοτροπία.

Το κύριο χαρακτηριστικό των παράκτιων καρστικοποιημένων υδροφορέων είναι η στενή υδραυλική τους σχέση με το αλμυρό νερό και η άμεση επαφή του γλυκού με το αλμυρό νερό. Η εμφάνιση του φαινομένου της υφαλμύρισης είναι δυνατόν να προκληθεί από αγωγούς που καταλήγουν στον πυθμένα της θάλασσας ακόμα και σε μεγάλη απόσταση από την ακτή. Η άμεση σύνδεση του καρστικού συστήματος και της θάλασσας, οδηγεί σε μεγάλη διακύμανση της περιεκτικότητας των χλωριόντων στην υφάλμυρη ζώνη (Μυριούνης, 2008).

### **Ανθρωπογενή αίτια**

Κύρια ανθρωπογενή αίτια που αποτελούν αφορμές ελάττωσης των υδραυλικών φορτίων των υπόγειων νερών είναι:

#### **Υπεράντληση**

Σε πολλές περιοχές, η υπεράντληση των υπόγειων υδάτων για την κάλυψη των τοπικών αναγκών σε ύδρευση και άρδευση, έχει ως αποτέλεσμα την πτώση του υδροφόρου ορίζοντα, την αύξηση του κινδύνου υποβάθμισης της ποιότητας του υπόγειου νερού και την παραγωγικότητα του εδάφους με υφαλμύριση. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η Θεσσαλία όπου η αρδευόμενη έκταση αυξήθηκε κατά 46% σε σχέση με το 1980. Σύμφωνα με έρευνα του Γεωπονικού Πανεπιστημίου (Σταμάτης, 2012), όσον αφορά το βαμβάκι στη Θεσσαλία, το νερό που χρησιμοποιείται υπερβαίνει κατά 21-35% τις πραγματικές ανάγκες για άρδευση. Όσον αφορά την καλλιέργεια καλαμποκιού, οι ποσότητες του νερού που χρησιμοποιούνται υπερβαίνουν το 38-48% των αναγκών, ενώ η πατάτα αρδεύεται με 57-67% περισσότερο νερό από ότι χρειάζεται.

### **Παράνομες γεωτρήσεις**

Στο 40% φτάνει το ποσοστό των παράνομων γεωτρήσεων ενώ οι υπάρχουσες γεωτρήσεις είναι 31% περισσότερες από αυτές που το δυναμικό του υπεδαφικού νερού επιτρέπει. Η παρανομία συνδέεται με τους περιορισμούς αλλά και με τις προϋποθέσεις έκδοσης αδειών. Η αδειοδότηση κάθε μορφής παροχής νερού έχει δεσμεύσεις σε ότι αφορά την ποσότητα του νερού που πρέπει να αντλείται, καθώς και το υψόμετρο ασφαλείας κάτω από το οποίο δεν πρέπει να κατέβει η στάθμη του υπόγειου υδροφόρου. Η περίοδος 1980-2000 ήταν και η πλέον επώδυνη, αφού τα έργα υδρομάστευσης υπολείπονται της αύξησης των αναγκών σε νερό άρδευσης. Αναφέρθηκε πιο πάνω ότι οι υπάρχουσες γεωτρήσεις είναι 31% περισσότερες από όσο αντέχει το υπόγειο νερό. Αυτό σημαίνει ότι κάθε τρία χρόνια περίπου αφαιρείται και ένας χρόνος, δηλαδή μετά από 10 χρόνια άντλησης ο υπόγειος υδροφόρος για να επανέλθει θα χρειαστεί 3 τουλάχιστον συνεχή χρόνια χωρίς καμία άντληση. Στο σύνολο αυτών των γεωτρήσεων, θα πρέπει να προστεθεί και ένας μεγάλος αριθμός από 50.000 γεωτρήσεις, οι οποίες έχουν πολύ μικρή παροχή (Μαρκοζάννης, 2013).

### **Οικιστική ανάπτυξη**

Ο υδροφόρος ορίζοντας σε πολλές περιοχές δεν εμπλουτίζεται πλέον. Η τσιμεντοποίηση και η ασφαλτοποίηση των μεγάλων πολεοδομικών συγκροτημάτων, η στεγανοποίηση των ρεμάτων και των κοιτών των χειμάρρων είναι μόνο ορισμένα χαρακτηριστικά παραδείγματα. Υπολογίζεται ότι στα μεγάλα πολεοδομικά συγκροτήματα η τροφοδοσία του υδροφόρου ορίζοντα από επιφανειακά νερά έχει μειωθεί ακόμη και κατά 80%.

### **Εγγειοβελτιωτικά έργα και αποστράγγιση**

Η ταπείνωση της υδροστατικής στάθμης εφαρμόζεται σε περιοχές με λίμνες, λιμνοθάλασσες ή έλη κατά μήκος της ακτής με στόχο τη δημιουργία νέας γης για διάφορους σκοπούς όπως γεωργία, βιομηχανία ή κατασκευή κατοικιών. Τα εγγειοβελτιωτικά έργα και η αποστράγγιση συχνά περιλαμβάνουν την ταπείνωση και τον έλεγχο της υδροστατικής στάθμης του υπόγειου νερού σε μεγάλες περιοχές. Οι δραστηριότητες αυτές προκαλούν μεγάλες αλλαγές στο υπόγειο υδατικό καθεστώς, καθώς το υπόγειο νερό (γλυκό, αλμυρό αλλά και υφάλμυρο) ρέει προς τις δημιουργούμενες ταπεινώσεις της υδροστατικής στάθμης με τους μηχανισμούς διήθησης και με πολύ αργούς ρυθμούς, έτσι ώστε απαιτείται περίοδος πολλών ετών, μέχρι να αρχίσει το πρόβλημα να παίρνει σοβαρές διαστάσεις.

Η διήθηση αυτή μπορεί αργά ή γρήγορα να γίνει αλμυρή διαδικασία που εξαρτάται από το επίπεδο της ελεγχόμενης υδροστατικής στάθμης του υπόγειου νερού, τις υδρολογικές σταθερές, τις οριζόντιες διαστάσεις της περιοχής με την ελεγχόμενη υδροστατική στάθμη και την απόστασή της από την ακτογραμμή. Οι επιπτώσεις από τις αλλαγές αυτές, όσον αφορά στην κατανομή του γλυκού και αλμυρού υπόγειου νερού, μπορεί να είναι λιγότερο ή περισσότερο ισοδύναμες με εκείνες από τις απολήψεις από μεγάλα πεδία γεωτρήσεων (Πεταλάς κ.α., 2002)

### **Μέτρα αντιμετώπισης του φαινομένου**

Ο έλεγχος της θαλάσσιας διείσδυσης απαιτεί ικανοποιητική γνώση των υδραυλικών συνθηκών του υδροφόρου και της πηγής του αλμυρού νερού. Η γνώση της έκτασης ενός προβλήματος υφαλμύρισης και η εκτίμηση της συμπεριφοράς του αλμυρού νερού κάτω από διαφορετικές συνθήκες εμπλουτισμού και εκφόρτισης είναι αναγκαία έτσι ώστε να είναι αποτελεσματική η διαχείριση του προβλήματος.

Η βέλτιστη λύση στο πρόβλημα της θαλάσσιας διείσδυσης είναι η παρεμπόδιση της με τη ρύθμιση του υδροφόρου, ώστε η σφήνα του θαλάσσιου νερού (πόδι της διεπιφάνειας) να ελέγχεται σε έναν αποδεκτό βαθμό. Όμως, σε πολλές περιπτώσεις το πρόβλημα αποτελεί "κληρονόμημα" του παρελθόντος και η προσπάθεια δεν μπορεί παρά να επικεντρωθεί στην ελαχιστοποίηση της περαιτέρω θαλάσσιας διείσδυσης ή/και στη μείωση της έκτασης του υφιστάμενου αλμυρού νερού. Σε ορισμένες περιπτώσεις ο υδροφόρος μπορεί να είναι ρυπασμένος σε τέτοιο βαθμό, ώστε η ανάκτησή του να μην μπορεί να είναι εφικτή κάτω από συνθήκες τεχνητού εμπλουτισμού. Στις περιπτώσεις αυτές η εγκατάλειψη της χρήσης του υδατικού πόρου για ύδρευση είναι η μόνη λύση, παρά το γεγονός ότι το νερό μπορεί να χρησιμοποιείται ακόμη σε ορισμένες βιομηχανικές και γεωργικές εφαρμογές.

Στην περίπτωση που πολλά βαθιά υδροφόρα συστήματα αποτελούνται από επάλληλους υδροφόρους σε εναλλαγές με βραδυυδροφόρα, τότε οι βαθύτεροι αυτοί υπό πίεση υδροφόροι αξιοποιούνται συχνά όταν οι ανώτεροι υδροφόροι έχουν ρυπανθεί από θαλάσσια διείσδυση. Όμως εδώ εγκυμονεί ο κίνδυνος διαρροής από τον υπερκείμενο υδροφόρο, καθώς αυξάνουν οι διαφορές στο υδραυλικό φορτίο. Μια δυναμική απειλή για την ποιότητα του νερού στον υποκείμενο υδροφόρο εμφανίζεται στις περιπτώσεις εκείνες που οι γεωτρήσεις χαρακτηρίζονται από κακοτεχνίες. Οι γεωτρήσεις αυτές μπορεί να παρέχουν μια διαδρομή μεταβίβασης αλμυρού νερού από τον υπερκείμενο προς τον υποκείμενο υδροφόρο (Καλλέργης, 2000).

Οι μέθοδοι ελέγχου της θαλάσσιας διείσδυσης συνήθως έχουν εφαρμοστεί ή μελετηθεί σοβαρά μόνο σε περιοχές όπου οι υπεραντλήσεις του νερού προκάλεσαν την πτώση της στάθμης των υδροφόρων κάτω από το μέσο επίπεδο της θάλασσας. Σε περιοχές με σοβαρές υπεραντλήσεις, οι υδροφόροι δεν έχουν ακόμα απολέσει την ιδιότητά τους ως πηγές νερού και αυτό οφείλεται στην πολύ μικρή ταχύτητα κίνησης του αλμυρού νερού. Οι υπεύθυνοι φορείς των περιοχών αυτών βέβαια πρέπει να λύσουν το πρόβλημα, γιατί αν το αλμυρό νερό εισβάλλει στον υδροφόρο τότε απαιτούνται εκατοντάδες χρόνια για την επαναφορά του υδροφόρου στα επίπεδα εκείνα πριν την εκμετάλλευσή του.

Η ποιοτική υποβάθμιση των υπόγειων νερών στους παράκτιους υδροφόρους αποτελεί τροχοπέδη στην οικονομική ανάπτυξη των περιοχών αυτών. Η μακροχρόνια χρήση υφάλμυρου νερού για άρδευση ευαίσθητων καλλιεργειών έχει αρνητικές επιπτώσεις στο έδαφος και τα φυτά. Λόγω της συσσώρευσης νατρίου προκαλείται αποκροκίδωση του εδάφους με συνέπεια τη μείωση της υδροπερατότητας και της γονιμότητας (Μυριούνης, 2008). Τα φαινόμενα της θαλάσσιας διείσδυσης προκαλούν επίσης σοβαρές αλλοιώσεις στα παράκτια ποτάμια και λιμναία οικοσυστήματα. Η πτώση στάθμης του υπόγειου νερού στους παράκτιους υδροφόρους ορίζοντες προκαλεί αλάτωση των γλυκών νερών και υποβάθμιση των οικοσυστημάτων.

Ο χρόνος απορρύπανσης των υδροφόρων στρωμάτων είναι σχετικά μεγάλος. Ο Καλλέργης, (2000) υπολόγισε ότι ο χρόνος αυτός κυμαίνεται από 180 έως 1100 χρόνια σε παράκτιους υδροφόρους της Νότιας Ελλάδας, με την προϋπόθεση πλήρους διακοπής των αντλήσεων. Ο χρόνος απορρύπανσης μπορεί να συντομευτεί με την εφαρμογή τεχνητού εμπλουτισμού με νερό πλούσιο σε ανταλλάξιμο  $\text{Ca}^{2+}$ .

Τα μέτρα προστασίας και ορθολογικής διαχείρισης συνδέονται με τον τρόπο και την ένταση εκμετάλλευσης των υπόγειων υδροφόρων στρωμάτων. Για τη βελτίωση της ποιότητας του αντλούμενου νερού από τις υφάλμυρες γεωτρήσεις και τον περιορισμό του φαινομένου (συχνά μη αντιστρεπτού) της διείσδυσης της θάλασσας συνοπτικά, απαιτείται (Πεταλάς κ.α., 2002):

- Συνεχής έλεγχος της ποιότητας των υπόγειων νερών ειδικά στις "ευαίσθητες" περιοχές και κατασκευή χαρτών υφαλμύρισης, στάθμης κ.λπ.

- Περιορισμός του συνεχούς χρόνου άντλησης καθώς και της αντλούμενης παροχής.
- Ανύψωση της αντλίας στις γεωτρήσεις που εντοπίζεται πρόβλημα υφαλμύρισης.
- Στις γεωτρήσεις όπου η υδροστατική στάθμη είναι κάτω από το επίπεδο της θάλασσας, απαιτείται επιπλέον ελάττωση της αντλούμενης παροχής.
- Καθορισμός της κρίσιμης παροχής άντλησης, ώστε να αποφευχθεί η υφαλμύριση του αντλούμενου νερού.
- Υπολογισμός για μια επιλεγμένη παροχή άντλησης, της ελάχιστης απόστασης των γεωτρήσεων από την ακτή, αλλά και μεταξύ τους.
- Τεχνητός εμπλουτισμός των υδροφόρων που έχουν τάση υφαλμύρισης με την αξιοποίηση των επιφανειακών χειμερινών απορροών ή επεξεργασμένων λυμάτων.
- Πειραματική μελέτη κατά περίπτωση, ώστε να είναι δυνατή η εκμετάλλευση των παράκτιων καρστικών συστημάτων με τη σωστή επιλογή του συστήματος υδρομάστευσης.
- Η κατασκευή στεγανού διαφράγματος παράλληλα προς την ακτή σε όλο το πάχος του υδροφόρου εμποδίζει τη διείσδυση θαλασσινού νερού. Επίσης η συνεχής άντληση αλμυρού νερού από γεωτρήσεις κοντά στη θάλασσα δημιουργεί φραγμό. Συνήθως συνδυασμός φραγμών από υπεράντληση και από εμπλουτισμό μπορεί να φέρει καλύτερα αποτελέσματα, αλλά απαιτεί μεγάλο αριθμό γεωτρήσεων.

## Συνοπτική περιγραφή των υφάλμυρων περιοχών

Η Ελλάδα όπως έχει ήδη αναφερθεί είναι μία χώρα που περιβάλλεται από θάλασσα στο μεγαλύτερο μέρος της, οπότε είναι αναμενόμενο να εμφανίζει προβλήματα με τη διείσδυση του θαλασσινού νερού στους παράκτιους υδροφορείς. Υφάλμυρες περιοχές συναντώνται στις περισσότερες ακτές και το φαινόμενο τείνει να πάρει ανησυχητικές ως δραματικές διαστάσεις.

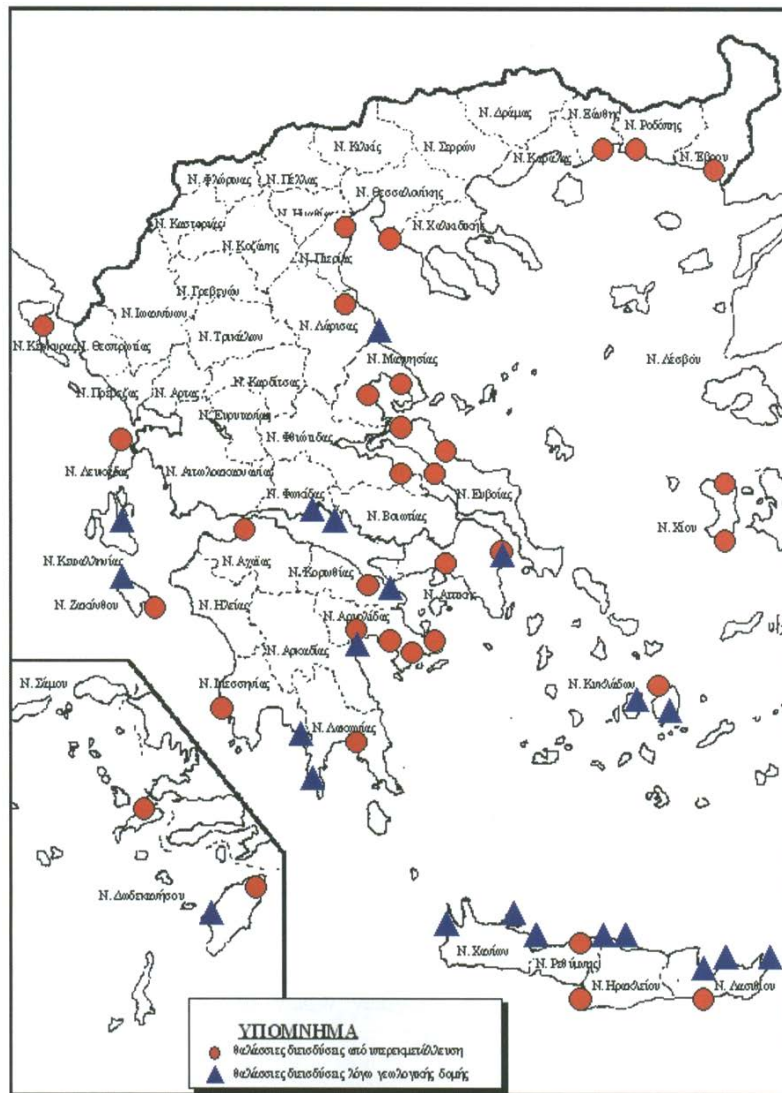
Η ανάμειξη του αλμυρού με το γλυκό νερό οφείλεται και σε γεωλογικούς παράγοντες, όπως για παράδειγμα η διάλυση των πετρωμάτων που φιλοξενούν το υπόγειο νερό. Κύρια όμως αιτία είναι η υπεράντληση των υδάτων στις περισσότερες παράκτιες περιοχές, οι οποίες είναι ιδιαίτερα πυκνοκατοικημένες συγκριτικά με την ενδοχώρα. Στην Ελλάδα η υφαλμύριση οφείλεται και στους δύο παραπάνω παράγοντες, αν και η υπεράντληση εντείνει σε μεγαλύτερο βαθμό το πρόβλημα. Στο Σχήμα 9 φαίνεται ο χάρτης της Ελλάδας, στον οποίο έχουν σημειωθεί με κόκκινο κύκλο οι περιοχές της χώρας που παρουσιάζουν φαινόμενα υφαλμύρισης λόγω της υπεράντλησης σύμφωνα με τους Περγιαλιώτη και Παπαδάκου (1998). Με μπλε τρίγωνο συμβολίζονται οι περιοχές, στις οποίες το φαινόμενο της υφαλμύρισης οφείλεται σε γεωλογικά αίτια.

Όσον αφορά την καταγραφή του φαινομένου στην Ελλάδα, για λόγους εποπτικών αναλύονται οι υφάλμυρες περιοχές της ηπειρωτικής χώρας σε ξεχωριστό κεφάλαιο από τις υφάλμυρες περιοχές στα νησιά. Επίσης ο διαχωρισμός αυτός είναι χρήσιμος, πρώτον, επειδή το υδατικό ισοζύγιο είναι διαφορετικό στις νησιωτικές περιοχές, από ότι στην υπόλοιπη χώρα και δεύτερον επειδή οι λόγοι που προκαλούν το φαινόμενο στα νησιά παρουσιάζουν συχνά κάποιες ιδιαιτερότητες.

## Υφάλμυρες περιοχές της ηπειρωτικής Ελλάδας

Στην ηπειρωτική Ελλάδα η υφαλμύριση των υπόγειων υδάτων διαπιστώθηκε για πρώτη φορά στο Αργολικό πεδίο στα τέλη της δεκαετίας του '50. Από τότε μέχρι και σήμερα η κατάσταση δεν έχει αντιμετωπιστεί ούτε καλύτερεύσει, καθώς το φαινόμενο αυτό συναντάται στις περισσότερες παράκτιες περιοχές της χώρας και απειλεί με ερημοποίηση την καλλιεργούμενη γη. Σε μία συνοπτική καταγραφή των υφάλμυρων περιοχών φαίνεται η πραγματική διάσταση του

φαινομένου, που είναι ιδιαίτερα έντονο στις ανατολικές ακτές της Ελλάδας. Η αναφορά στις υφάλμυρες περιοχές γίνεται ξεχωριστά για κάθε γεωγραφικό διαμέρισμα.



**Σχήμα 9** Υφάλμυρα υπόγεια νερά θαλάσσιας διείσδυσης (πηγή: Περγιαλιώτης και Παπαδάκου, 1998)

Στη Θράκη και τη Μακεδονία, από τα ανατολικά προς τα δυτικά, ως προβληματικές περιοχές χαρακτηρίζονται τα Δέλτα των ποταμών Έβρου, Νέστου και Λίσσου, γενικά η παράκτια περιοχή ανάμεσα στο Νέστο ως τη λίμνη Μητρικού και οι παράκτιες περιοχές της Νέας Καρβάλης, της Ελευθερούπολης και της Νέας Περάμου. Στη συνέχεια, ιδιαίτερα προβλήματα εμφανίζονται σχεδόν σε όλες τις ακτές της Χαλκιδικής, που παρουσιάζουν έντονη τουριστική ανάπτυξη. Όσον αφορά τη λεκάνη του Ανθεμούντα, σύμφωνα με πρόσφατες μελέτες της Αναπτυξιακής Εταιρείας Ανατολικής Θεσσαλονίκης «Ανατολική Α.Ε.» η στάθμη των υπόγειων νερών έχει κατέβει την τελευταία δεκαετία περισσότερο από δέκα μέτρα, ενώ το έλλειμμα νερού που παρουσιάζεται κάθε χρόνο είναι της τάξης των 17.400.000 m<sup>3</sup>. Σύμφωνα με έρευνες του ΙΓΜΕ η υφαλμύριση έχει εισχωρήσει στο υπέδαφος του δρόμου Θεσσαλονίκης-Χαλκιδικής, ενώ ταυτόχρονα οι περιοχές πλησίον του δρόμου αναπτύσσονται ιδιαίτερα στο γεωργικό και τον κτηνοτροφικό τομέα και η οικιστική ανάπτυξη αυξάνεται επίσης ραγδαία. Αποτέλεσμα όλων των παραπάνω είναι η υπεράντληση των υδάτων, με φυσικό επακόλουθο, τα υδατικά προβλήματα, τα οποία αποτελούν τροχοπέδη στην ανάπτυξη αυτή.

Στην Περαία, η υπεράντληση των υδάτων εικάζεται ότι επιδεινώνει τις καθιζήσεις του εδάφους που συμβαίνουν εκεί τα τελευταία χρόνια (Χαλβατζάκης, 1997, Χαλβατζάκης, 1999, Πουλόπουλος, 2000, Δεμερτζής, 2007, Κιούσης, 2007, Τσιγγανός, 2007).

Φαινόμενα υφαλμύρισης των υδροφόρων στρωμάτων παρατηρούνται και στη δυτική πλευρά του Νομού Θεσσαλονίκης, στις βιομηχανικές περιοχές Σίνδου-Καλοχωρίου. Ο ποταμός Αξιός, εκτός από τη ρύπανση εξαιτίας υψηλών συγκεντρώσεων σιδήρου, ψευδαργύρου, μολύβδου, καδμίου, βαρίου, νικελίου, ουρανίου και αρσενικού εμφανίζει και ρύπανση λόγω υψηλών συγκεντρώσεων αλάτων. Τέλος, προβλήματα εμφανίζονται και στην παράκτια ζώνη του Νομού Πιερίας (Μελαδιώτης, 2000, Δεμερτζής, 2007, Τσιγγανός, 2007). Στη Θεσσαλία, τα πλέον σοβαρά προβλήματα εμφανίζονται στο δέλτα του Πηνειού, στην περιοχή Ριζόμυλου Μαγνησίας και επεκτείνονται προς τη Λάρισα, στην πεδιάδα του Αλμυρού και στην περιοχή του Βόλου (Χαλβατζάκης, 1999, Κιούσης, 2007α, Μυριούνης, 2008).

Στη Στερεά Ελλάδα, φαινόμενα υφαλμύρισης παρατηρήθηκαν στη λεκάνη του Σπερχειού και στην περιοχή Πελασγίας στη Φθιώτιδα, ενώ σοβαρότατο πρόβλημα αντιμετωπίζει το λεκανοπέδιο της Αττικής. Στην Αττική προβληματικές περιοχές θεωρούνται οι ακόλουθες: Άγιοι Απόστολοι, Κάλαμος, κάμπος Μαραθώνα, περιοχή Μαρκόπουλου, Σπάτα, Βραυρώνα, Πόρτο Ράφτη, παραλιακή ζώνη από Σούνιο μέχρι Κορωπί, Αγία Μαρίνα, Βάρη, Βάρκιζα, Βουλιαγμένη, Βούλα. Επίσης οι περιοχές Γλυφάδα, Φάληρο, Καλλιθέα, Πειραιάς, Δραπετσώνα, Κερασίνη, Ασπρόπυργος, Ελευσίνα, Θριάσιο, Νέα Πέραμος και Μέγαρο (Χαλβατζάκης, 1997, Χαλβατζάκης, 1999, Παππά-Σουλούνια, 2005, Κιούσης, 2007β, Γεωργιοπούλου, 2007).

Οι περιοχές της Πελοποννήσου που έχουν υποστεί υφαλμύριση εκτός από το Αργολικό πεδίο είναι οι βόρειες παραλιακές ακτές της από την Κορινθία ως την Αχαΐα και ιδίως η βόρεια και βορειοανατολική Κορινθία και η βόρεια και βορειοδυτική Αχαΐα. Επίσης συναντώνται προβλήματα στην περιοχή της Ερμιόνης και το Πόρτο Χέλι. Στην Καλαμάτα το πρόβλημα είναι υπαρκτό αλλά όχι τόσο έντονο, ενώ υφαλμύριση έχει διαπιστωθεί και στην Τριφυλία. Τέλος, ως υφάλμυρες αναφέρονται και οι περιοχές Αστέρος και Λεωνίδιο (Χαλβατζάκης, 1999, Γεωργιοπούλου, 2003, Κιούσης, 2007, Κοντοθανάσης, 2007).

Στη Δυτική Ελλάδα και κυρίως στην Ήπειρο υπαρκτό πρόβλημα υπάρχει στο Νομό Θεσπρωτίας, στις περιοχές Σαγράδα, Πλασταριά και στα Σίβοτα, ενώ στο Νομό Πρέβεζας υφάλμυρες ακτές συναντώνται ανάμεσα στην πόλη της Πρέβεζας και τη Νικόπολη. Αξίζει να σημειωθεί ότι υφάλμυρα υπόγεια και επιφανειακά νερά συναντώνται στις πηγές Σαντινίκου, Περάματος και Χανόπουλο και Περάνθη Άρτας, μόνο που η μεγάλη συγκέντρωση ιόντων χλωρίου και νατρίου οφείλεται στην επαφή των υπόγειων υδροφορέων με δόμους ορυκτού άλατος (Νικολάου, 2005, Δεμερτζής, 2007). Οι λόγοι που οδηγούν στην υφαλμύριση οφείλονται περισσότερο στην εντατική καλλιέργεια των παράκτιων πεδιάδων και στην υπεράντληση των υδάτων εξαιτίας των πυκνοκατοικημένων παράκτιων περιοχών. Το μέσο ετήσιο ύψος βροχής δεν επηρεάζει σε τόσο μεγάλο βαθμό την πτώση του υδροφόρου ορίζοντα.

### **Υφάλμυρες περιοχές της νησιωτικής Ελλάδας**

Στη νησιωτική Ελλάδα η κατάσταση δεν είναι καλύτερη σε σχέση με την ηπειρωτική. Εδώ σε συνδυασμό με όλους τους παράγοντες που επιδεινώνουν την υφαλμύριση, πρέπει να προσθεθεί το έντονο πρόβλημα επάρκειας των υδατικών πόρων που υπάρχει στα περισσότερα νησιά, ιδίως του Αιγαίου σε συνδυασμό με την έντονη τουριστική ανάπτυξη. Οι λιγοστές βροχοπτώσεις συνεπάγονται λιγοστά ανανεώσιμα αποθέματα νερού, οπότε η υπεράντληση των υδάτων αποτελεί μοναδική λύση, ειδικά στις παράκτιες περιοχές. Το αποτέλεσμα της περαιτέρω πτώσης του υδροφορέα είναι η

υφαλμύριση των λιγοστών υπόγειων νερών και το πρόβλημα κάποιες φορές αντιμετωπίζεται με αφαλάτωση του υφάλμυρου νερού. Η παρουσίαση της κατάστασης στην Ελλάδα γίνεται αρχικά για τα νησιά του Αιγαίου, τα οποία εμφανίζουν εντονότερα προβλήματα με το υδατικό ισοζύγιο και στη συνέχεια αναφέρονται οι υφάλμυρες περιοχές στα νησιά του Ιονίου.

Στο Αιγαίο πέλαγος γενικά το φαινόμενο παρατηρείται σχεδόν σε όλους τους κάμπους των νησιών. Από το βόρειο Αιγαίο προς τις Κυκλάδες και τα Δωδεκάνησα, η υπεράντληση των υπόγειων νερών έχει δημιουργήσει τα σοβαρότερα προβλήματα υφαλμύρισης στα νησιά Λέσβος, Χίος, Πάρος, Νάξος, Σάμος, Κως, και Ρόδος. Ακόμη, πρέπει να αναφερθεί πως το φαινόμενο παρατηρείται επίσης στις Βόρειες Σποράδες και στην Εύβοια (Αβραμίδου, 2008).

Σε παράκτιες ζώνες λεκανών νησιών του Νοτίου και ΝΑ Αιγαίου (Καλύμνου, Πάρου κλπ.), αναπτύσσονται υπόγειοι υδροφόροι, τα νερά των οποίων χρησιμοποιούνται συστηματικά εδώ και δεκαετίες (30 περίπου χρόνια) για τη κάλυψη κυρίως υδρευτικών και αρδευτικών αναγκών. Μέσα στις ζώνες αυτές κατοικεί μόνιμα το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού των νησιών αυτών, ενώ παράλληλα αναπτύσσονται οι περισσότερες δραστηριότητες (και τουριστικές) των κατοίκων της. Οι ανθρακικοί σχηματισμοί των λεκανών αυτών, έχουν τύχει εντατικής εκμετάλλευσης, από τη στιγμή που ανορύχθηκαν υδρογεωτρήσεις για την απόληψη των υπόγειων νερών. Η παντελής έλλειψη ορθολογικής εκμετάλλευσης των υπόγειων υδροφόρων των λεκανών, έχει προκαλέσει σε λίγα χρόνια (10 - 15) εκτεταμένη θαλάσσια διείσδυση (εισβολή) στους περισσότερους εκ των παρακτίων αυτών υδροφόρων, με αποτέλεσμα την υποβάθμιση της ποιότητας των νερών τους. Εκτιμάται σήμερα ότι αυτή η διείσδυση καλύπτει, στις περισσότερες των περιπτώσεων, μερικά τετραγωνικά χιλιόμετρα επιφανειών, μέσα στις οποίες τα υπόγεια νερά έχουν περιεκτικότητα σε α μεγαλύτερη και από 1500 mg/l (Καρρά, 2011). Το γεγονός αυτό έχει δημιουργήσει πολλά προβλήματα στα δίκτυα ύδρευσης, σε οικιακές συσκευές, αλλά το κυριότερο είναι ότι η χρήση αυτού του νερού, γίνεται σχεδόν απαγορευτική για τους περισσότερους τομείς, για τους οποίους προορίζεται (Πόθεια, Νάουσα, Ερμής).

Τα νησιά του Νοτίου - ΝΑ Αιγαίου, είναι μια από τις πλέον χαρακτηριστικές περιοχές της Μεσογείου με ελάχιστες βροχοπτώσεις και παρατεταμένη ξηρασία σε μεγάλες περιόδους κατά έτος, όπου τα προβλήματα έλλειψης νερού και υφαλμύρισης είναι εμφανή και έντονα. Η δημιουργούμενη κατάσταση είναι σοβαρή και θα συνεχίσει να είναι σοβαρή και μελλοντικά, δεδομένου ότι προβλέπεται αύξηση της ζήτησης του νερού για τα επόμενα χρόνια (συνεχής τουριστική ανάπτυξη, μεγάλα ξενοδοχειακά συγκροτήματα, μαρίνες κλπ., υδροβόρες δραστηριότητες).

Ανάλογα προβλήματα εμφανίζονται και στο Ιόνιο πέλαγος, όπου τα νησιά με υφάλμυρες περιοχές είναι η Κεφαλλονιά με έμφαση στις περιοχές του Αργοστολίου και της Σάμης, η Ιθάκη, η Ζάκυνθος και η Κέρκυρα (Χαλβατζάκης, 1997).

Τέλος, πρέπει να αναφερθεί και το νησί της Κρήτης, στο οποίο παρουσιάζονται σοβαρά προβλήματα υφαλμύρισης, κυρίως στο βόρειο τμήμα του νησιού. Η Κρήτη αποτελεί στο σύνολό της μια αυτόνομη υδρογεωλογική και υδρολογική ενότητα με πλούσιο υδατικό δυναμικό. Εξετάζοντας τις εν γένει υδρολογικές και υδρογεωλογικές συνθήκες, βλέπει κανείς ότι αποτελούν ένα σύνολο από επί μέρους ενότητες και λεκάνες, όπου κάθε μία απ' αυτές έχει τα δικά της χαρακτηριστικά (λειτουργικά και ποσοτικά). Το υδατικό δυναμικό της Κρήτης οφείλεται κατ' αρχήν στο υψηλό μέσο ετήσιο ύψος βροχής (περίπου 940 mm) και αναφέρεται σε επιφανειακά νερά και σε υπόγεια νερά. Στα επιφανειακά νερά είναι αυτά της επιφανειακής απορροής, η οποία λόγω των κλιματικών συνθηκών περιορίζεται μόνο την χειμερινή περίοδο, δηλαδή εξαρτάται άμεσα από την διάρκεια και το ύψος των βροχοπτώσεων. Οι υπόγειες υδροφορίες στο σύνολό τους είναι πλούσιες, εκ των οποίων οι σημαντικότερες είναι αυτές που αναπτύσσονται στα ανθρακικά πετρώματα, δηλαδή οι καρστικές

υδροφορίες όπως αναφέρονται παρακάτω.

Την δυναμικότητα των καρστικών υδροφοριών της Κρήτης προσδιορίζει καταρχήν το γεγονός ότι ένα ποσοστό 45 - 50 % της επιφάνειας του νησιού καλύπτεται από ανθρακικά εν γένει πετρώματα. Επιπλέον, υπάρχουν και έτερα θετικά στοιχεία, όπως αυτό ότι οι πλείστοι ορεινοί όγκοι οι οποίοι δέχονται αυξημένες βροχοπτώσεις λόγω του υψομέτρου δομούνται από ανθρακικά πετρώματα. Έχουμε, δηλαδή, μεγάλες επιφάνειες όπου κατεισδύουν τα νερά της βροχής και των χιονιών, ως και μεγάλους όγκους από αυτά τα πετρώματα εντός των οποίων αναπτύσσονται οι αντίστοιχες υπόγειες υδροφορίες.

Αρνητικό στοιχείο των καρστικών υδροφοριών της Κρήτης είναι η ανάπτυξη υφάλμυρων μετώπων που έχουν ως άμεσο αποτέλεσμα την υφαλμύριση αντίστοιχα των υπόγειων νερών. Τα αίτια της ανάπτυξης των υφάλμυρων μετώπων οφείλονται στις γεωλογικές συνθήκες της Κρήτης σε τεκτονικούς παράγοντες (σε ρήγματα, κινήσεις της θάλασσας κ.ά.), όπως επίσης και στην μορφολογία γενικά της Κρήτης (μικρό πλάτος, γειτνίαση και επαφή των ανθρακικών πετρωμάτων με την θάλασσα) καθώς και σε ανθρωπογενείς παράγοντες (υπεραντλήσεις υπόγειου υδάτινου δυναμικού).

Στην Κρήτη, όπου οι ανάγκες και οι απαιτήσεις σε νερό αυξάνουν χρόνο με τον χρόνο, το κεφάλαιο αυτό είναι σημαντικό και άκρως ενδιαφέρον, καθότι μειώνει αισθητά τις ποσότητες του άμεσα χρησιμοποιούμενου νερού από την άποψη της καλής ποιότητας (Καρρά, 2011). Σε όλα τα παράλια της Κρήτης αναβλύζουν υφάλμυρες πηγές, η περιεκτικότητα των οποίων σε χλωριόντα διαφέρει από περιοχή σε περιοχή. Πιο αξιόλογες είναι αυτές, ασφαλώς, οι πηγές που συνδέονται υδρογεωλογικά με τους μεγάλους ορεινούς όγκους. Είναι αυτές που παρουσιάζουν και το μεγαλύτερο θεωρητικό και επιστημονικό και πρακτικό ενδιαφέρον. Η περιοχή της Μεσσαράς κρίνεται η πλέον προβληματική από πλευράς ποσότητας αλλά και ποιότητας των υπόγειων νερών, ενώ έχουν σημειωθεί και αρκετές καθιζήσεις.



# Το υδατικό διαμέρισμα της Ηπείρου

## Εισαγωγή

Το Υδατικό Διαμέρισμα Ηπείρου (ή Υδατικό Διαμέρισμα EL05 σύμφωνα με την κωδική του αρίθμηση) αποτελεί ένα από τα 14 Υδατικά Διαμερίσματα της χώρας. Περιλαμβάνει την Περιφέρεια Ηπείρου και πολύ μικρά τμήματα των Περιφερειών Δυτικής Μακεδονίας και Δυτικής Ελλάδας, καθώς και τα νησιά Κέρκυρα, Οθωνοί, Ερεϊκούσα, Παξοί και Αντίπαξοι, που ανήκουν στην Περιφέρεια Ιονίων Νήσων. Τα γεωγραφικά όρια του Υδατικού Διαμερίσματος Ηπείρου ορίζονται νότια από τον Αμβρακικό κόλπο, ανατολικά από τους ορεινούς όγκους Βάλτου, Αθαμανικών, οροσειράς βόρειας Πίνδου, Βόιου και Γράμμου, βόρεια από τα ελληνοαλβανικά σύνορα και δυτικά από το Ιόνιο Πέλαγος. Το Υδατικό Διαμέρισμα Ηπείρου έχει έκταση 9.980 km<sup>2</sup>, από τα οποία τα 631 km<sup>2</sup> ανήκουν στα νησιά Κέρκυρα Οθωνοί, Ερεϊκούσα, Παξοί και Αντίπαξοι.



**Σχήμα 10** Μορφολογικός χάρτης του Υδατικού Διαμερίσματος Ηπείρου

Το Υδατικό Διαμέρισμα Ηπείρου είναι από τα πιο ορεινά διαμερίσματα της χώρας, δεδομένου ότι οι ορεινές περιοχές του είναι το 70% της συνολικής έκτασης, ενώ οι πεδινές μόνο το 15%. Έχει έντονο

ανάγλυφο με μεγάλες κλίσεις πρανών και βαθιές χαράδρες (π.χ. Βίκος, Άραχθος, Αχέροντας). Τα υψηλότερα βουνά του είναι ο Σμόλικας (2.617 m), τα Τζουμέρκα (2.500 m), ο Γράμμος (2.500 m), η Τύμφη (2.540 m), η Νεμέρτσκα (2.200 m), ο Τόμαρος (2.100 m), η Μουργκάνα (1.900 m) κ.ά.

Λόγω της γεωγραφικής θέσης και της πολυμορφίας του ανάγλυφου, το διαμέρισμα παρουσιάζει ποικιλία κλίματος. Στην Κέρκυρα και στις ακτές του διαμερίσματος επικρατεί το θαλάσσιο μεσογειακό κλίμα, ενώ όσο προχωρούμε στο εσωτερικό το κλίμα αλλάζει και γίνεται ηπειρωτικό. Έτσι στο εσωτερικό το κλίμα είναι ενδιάμεσο του μεσογειακού και του μεσευρωπαϊκού. Στα ορεινά επικρατεί το ορεινό κλίμα. Η μέση ετήσια θερμοκρασία κυμαίνεται από 10°C στα ορεινά τμήματα έως 18°C στα παράλια και νησιωτικά τμήματα. Ο πιο θερμός μήνας της περιοχής είναι ο Αύγουστος και οι πιο ψυχροί ο Ιανουάριος και ο Φεβρουάριος.

Το μέσο ετήσιο ύψος βροχής του υδατικού διαμερίσματος κυμαίνεται από 1.000 μέχρι 1.200 mm στα παράλια και φτάνει μέχρι 2.000 mm στα ορεινά τμήματα. Ο αριθμός των ημερών βροχής του έτους κυμαίνεται μεταξύ 70 και 120 και είναι μεγαλύτερος στα παράκτια από ότι στο εσωτερικό του διαμερίσματος.

Για το Υδατικό Διαμέρισμα της Ηπείρου έχουν εγκριθεί με την με αριθμό 106/2013 απόφαση της Ειδικής Γραμματείας Υδάτων (ΦΕΚ 2292/Β/13-9-2013) το Σχέδιο Διαχείρισης Λεκανών Απορροής. Στην συνέχεια με την με αριθμό 907/2017 απόφαση της Ειδικής Γραμματείας Υδάτων (ΦΕΚ 4664/Β/2017) εγκρίθηκε η 1<sup>η</sup> Αναθεώρηση του Σχεδίου Διαχείρισης Λεκανών Απορροής του Υδατικού Διαμερίσματος Ηπείρου. Κατά την 1<sup>η</sup> Αναθεώρηση μεταξύ άλλων μετεβλήθη το πρόθεμα χαρακτηρισμού των υδατικών διαμερισμάτων και συστημάτων από GR σε EL. Παρακάτω δίνονται συνοπτικά στοιχεία για τις λεκάνες απορροής του υδατικού διαμερίσματος.

## Λεκάνες απορροής

Η καταγραφή των λεκανών απορροής ποταμού (ΛΑΠ) στο ΥΔ της Ηπείρου παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.

**Πίνακας 3** Λεκάνες Απορροής Ποταμού στο ΥΔ 05

Υδατικό Διαμέρισμα	Κωδικός Λεκάνης	Ονομασία Λεκάνης Απορροής Ποταμού (ΛΑΠ)	Έκταση (km <sup>2</sup> )
Ήπειρος (EL05)	EL11	ΛΑΠ Αώου	2361
	EL12	ΛΑΠ Καλαμά	2523
	EL13	ΛΑΠ Αχέροντα	1292
	EL14	ΛΑΠ Αράχθου	2209
	EL34	ΛΑΠ Κέρκυρας-Παξών	631
	EL46	Λούρου	964

Οι κύριες υδρολογικές λεκάνες του διαμερίσματος είναι οι λεκάνες του Αώου, του Καλαμά, του Αράχθου, του Λούρου, του Αχέροντα, του Δρίνου, η κλειστή λεκάνη Ιωαννίνων, η κλειστή λεκάνη Μαργαριτίου και η αυτοτελής γεωγραφική ενότητα της Κέρκυρας.

### Λεκάνη απορροής ποταμού Αώου (EL11)

Ο ποταμός Αώος, που πηγάζει από την Πίνδο, εισέρχεται σε αλβανικό έδαφος και εκβάλλει στην Αδριατική Θάλασσα. Το μήκος του στο ελληνικό έδαφος είναι 70 km, ενώ το συνολικό μήκος του είναι 260 km. Οι κυριότεροι παραπόταμοί του είναι ο Δρίνος, ο Σαραντάπορος και ο Βοϊδομάτης. Ο ποταμός Δρίνος συμβάλλει στον Αώο σε αλβανικό έδαφος. Ο Σαραντάπορος πηγάζει από το Γράμμο και από τα βόρεια του όρους Σμόλικας, ενώ ο Βοϊδομάτης από τα νότια του όρους Τύμφη.

### **Γεωλογικές Συνθήκες**

Στη ΛΑΠ του Αώου συναντώνται οι παρακάτω γεωλογικοί σχηματισμοί: Ιόνιος Ζώνη που καλύπτει το μεγαλύτερο της λεκάνης, Ζώνη Πίνδου που αναπτύσσεται σε μικρή έκταση στα ανατολικά της λεκάνης, Πελαγονικό Τεκτονικό Κάλυμμα των Οφιολίθων που βρίσκεται στην περιοχή Μετσόβου – Βάλια Κάλντα – Μαυροβούνι και Σμόλικά, στα βόρεια του υδατικού διαμερίσματος της Ηπείρου και Σχηματισμοί Μεσοελληνικής Αύλακας.

Ασύμφωνα πάνω στους παραπάνω σχηματισμούς έχουν αποτεθεί στα βυθίσματα των λεκανών νεογενείς σχηματισμοί (μάργες, μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι, κροκαλοπαγή κ.λπ.) και τεταρτογενείς αποθέσεις (αλλουβιακές αποθέσεις, υλικά αναβαθμίδων, κώνοι κορημάτων - πλευρικά κορήματα και παράκτιοι σχηματισμοί). Συναντώνται σε πολύ μικρές εμφανίσεις.

### **Υδρογεωλογικές Συνθήκες**

Οι κύριες υδροφορίες της ΛΑΠ Αώου αναπτύσσονται στους ανθρακικούς σχηματισμούς της Ιονίου ζώνης αλλά και στις εμφανίσεις των ανθρακικών της Πίνδου και Γαβρόβου - Τρίπολης. Στους ανθρακικούς σχηματισμούς της ζώνης Πίνδου λόγω των πυριτικών – κερατολιθικών παρεμβολών αναπτύσσονται επιμέρους διαφορετικής κάθε φορά έκτασης, υδρογεωλογικές λεκάνες και κατ' επέκταση και ανάλογης δυναμικότητας υδροφορίες. Η έντονη τεκτονική καταπόνησή τους έχει ως αποτέλεσμα τον κερματισμό των πετρωμάτων και την ενιαιοποίηση κατά θέσεις των επιμέρους λεπιώσεων με αποτέλεσμα τη δημιουργία κατά θέσεις πλέον αξιόλογων υδροφοριών. Σημαντικές υδροφορίες αναπτύσσονται στους κοκκώδεις σχηματισμούς των νεογενών και τεταρτογενών αποθέσεων, το δυναμικό των οποίων εξαρτάται από την κοκκομετρία τους και τις συνθήκες τροφοδοσίας. Στις εμφανίσεις του φλύσχη και των οφιολίθων αναπτύσσονται τοπικής σημασίας υδροφορίες, μικρής δυναμικότητας που καλύπτουν τοπικές υδρευτικές, αρδευτικές και κτηνοτροφικές ανάγκες.

### **Λεκάνη απορροής ποταμού Καλαμά (ΕΙ12)**

Ο ποταμός Καλαμάς πηγάζει από το όρος Δούσκο και εκβάλλει στο Ιόνιο Πέλαγος. Το συνολικό μήκος του είναι 115 km. Η συνολική έκταση της υδρολογικής λεκάνης του Καλαμά είναι περίπου 1900 km<sup>2</sup> και σχεδόν το σύνολό της (>99%) ανήκει σε ελληνικό έδαφος, ενώ το μέγιστο υψόμετρό της είναι 2198 m. Παραπόταμοι του Καλαμά είναι οι Σμόλιτσας, Τύρια, Γορμός, Μέζερος, Βελτσιστικός, Κούτσης, Μπανιά, Λαγκαβίστα και Καλπακιώτικο ρέμα. Επίσης στον ποταμό Καλαμά οδηγούνται, μέσω της σήραγγας Λαψίστας, οι απορροές της κλειστής λεκάνης Ιωαννίνων. Η σήραγγα Λαψίστας εκβάλλει στο ρέμα της Κληματιάς, που συμβάλλει στον Καλαμά κοντά στο Σουλόπουλο. Η κλειστή λεκάνη των Ιωαννίνων συμπεριλαμβάνεται στη ΛΑΠ Καλαμά.

### **Γεωλογικές Συνθήκες**

Στη ΛΑΠ του Καλαμά σημαντικό τμήμα καλύπτεται από τους σχηματισμούς της Ιόνιας Ζώνης. Στους παραπάνω σχηματισμούς έχουν αποτεθεί στα βυθίσματα των λεκανών νεογενείς σχηματισμοί (μάργες, μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι, κροκαλοπαγή κ.λπ.) και τεταρτογενείς αποθέσεις (αλλουβιακές αποθέσεις, υλικά αναβαθμίδων, κώνοι κορημάτων - πλευρικά κορήματα και παράκτιοι σχηματισμοί) με σημαντικότερη εμφάνιση στο λεκανοπέδιο Ιωαννίνων.

### **Υδρογεωλογικές Συνθήκες**

Οι κύριες υδροφορίες της λεκάνης του π. Καλαμά αναπτύσσονται στους ανθρακικούς σχηματισμούς της Ιονίου ζώνης οι οποίες εκφορτίζονται μέσω σημειακών πηγών. Σημαντικό ρόλο στην τροφοδοσία των καρστικών συστημάτων διαδραματίζουν οι καταβόθρες που αποστραγγίζουν τις κλειστές υδρολογικές λεκάνες. Μικρότερης σημασίας υδροφορίες αναπτύσσονται στους κοκκώδεις σχηματισμούς των τεταρτογενών αποθέσεων, το δυναμικό των οποίων εξαρτάται από την

κοκκομετρία τους και τις συνθήκες τροφοδοσίας. Στις εμφανίσεις του φλύσχη αναπτύσσονται τοπικής σημασίας υδροφορίες, μικρής δυναμικότητας που καλύπτουν τοπικές υδρευτικές, αρδευτικές και κτηνοτροφικές ανάγκες.

### **Λεκάνη απορροής ποταμού Αχέροντα (EL13)**

Ο ποταμός Αχέροντας (έκταση υδρολογικής λεκάνης 705 km<sup>2</sup> περίπου) πηγάζει νότια του όρους Τόμαρου και δυτικά του Όρους Σουλίου και εκβάλλει στο Ιόνιο πέλαγος. Το συνολικό μήκος του ποταμού είναι 52 km. Παραπόταμοι του Αχέροντα είναι ο Κωκυτός και το ρέμα Ντάλα που πηγάζουν από το Κεφαλόβρυσο Παραμυθιάς ο πρώτος και μεταξύ ορέων Παραμυθιάς και Σουλίου ο δεύτερος.

#### **Γεωλογικές Συνθήκες**

Στη ΛΑΠ του Αχέροντα σημαντικό τμήμα καλύπτεται από τους σχηματισμούς της Ιόνιας Ζώνης. Ασύμφωνα πάνω στους παραπάνω σχηματισμούς έχουν αποτεθεί στα βυθίσματα των λεκανών νεογενείς σχηματισμοί (μάργες, μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι, κροκαλοπαγή κ.λπ.) με σημαντικότερη εξάπλωση στην περιοχή Πρέβεζα – Λούτσα και τεταρτογενείς αποθέσεις (αλλουβιακές αποθέσεις, υλικά αναβαθμίδων, κώνοι κορημάτων - πλευρικά κορήματα και παράκτιοι σχηματισμοί).

#### **Υδρογεωλογικές Συνθήκες**

Οι κύριες υδροφορίες της λεκάνης του Αχέροντα αναπτύσσονται στους ανθρακικούς σχηματισμούς της Ιονίου ζώνης. Σημαντικές υδροφορίες αναπτύσσονται στους κοκκώδεις σχηματισμούς των τεταρτογενών αποθέσεων το δυναμικό των οποίων εξαρτάται από την κοκκομετρία τους και τις συνθήκες τροφοδοσίας (π.χ. πεδιάδα Παραμυθιάς, περιοχή Αχερουσίας λίμνης, περιοχή Πρέβεζας). Στις εμφανίσεις του φλύσχη αναπτύσσονται τοπικής σημασίας υδροφορίες, μικρής δυναμικότητας που καλύπτουν τοπικές υδρευτικές, αρδευτικές και κτηνοτροφικές ανάγκες.

### **Λεκάνη απορροής ποταμού Αράχθου (EL14)**

Ο ποταμός Άραχθος κινείται μέσω αδιαπέρατων σχηματισμών (φλύσχη), γεγονός που δημιουργεί τελείως διαφορετική δίαιτα, με πολύ μεγάλες διακυμάνσεις της παροχής του. Έτσι, ανάντη της γέφυρας Άρτας, η συνολική έκταση της υδρολογικής λεκάνης Αράχθου είναι περίπου 2000 km<sup>2</sup> και η μέση ετήσια απορροή περίπου 2080 hm<sup>3</sup> (66 m<sup>3</sup>/s). Όμως το φράγμα Πουρναρίου, που βρίσκεται σε λειτουργία από το 1981, με ρύθμιση ανάντη, μεταβάλλει σημαντικά το υδατικό καθεστώς του ποταμού κατάντη.

#### **Γεωλογικές Συνθήκες**

Στη ΛΑΠ του Αράχθου συναντώνται οι παρακάτω γεωλογικοί σχηματισμοί: Ιόνιος Ζώνη (καλύπτει το μεγαλύτερο μέρος της ΛΑΠ) , Ζώνη Γαβρόβου- Τρίπολης (αναπτύσσεται σε μικρή έκταση στο νοτιοανατολικό άκρο του διαμερίσματος), Ζώνη Πίνδου (αναπτύσσεται σε μικρή έκταση στα ανατολικά της ΛΑΠ). Ασύμφωνα πάνω στους παραπάνω σχηματισμούς έχουν αποτεθεί στα βυθίσματα των λεκανών τεταρτογενείς αποθέσεις (αλλουβιακές αποθέσεις, υλικά αναβαθμίδων, κώνοι κορημάτων - πλευρικά κορήματα και παράκτιοι σχηματισμοί) με σημαντικότερη εμφάνιση στη λεκάνη της Άρτας.

#### **Υδρογεωλογικές Συνθήκες**

Οι κύριες υδροφορίες της ΛΑΠ Αράχθου αναπτύσσονται στους ανθρακικούς σχηματισμούς της Ιονίου ζώνης αλλά και στις εμφανίσεις των ανθρακικών της Πίνδου και Γαβρόβου - Τρίπολης. Στους ανθρακικούς σχηματισμούς της ζώνης Πίνδου λόγω των πυριτικών – κερατολιθικών παρεμβολών αναπτύσσονται επιμέρους διαφορετικής κάθε φορά έκτασης, υδρογεωλογικές λεκάνες και κατ'

επέκταση και ανάλογης δυναμικότητας υδροφορίες. Η έντονη τεκτονική καταπόνησή τους έχει ως αποτέλεσμα τον κερματισμό των πετρωμάτων και την ενιαιοποίηση κατά θέσεις των επιμέρους λεπιώσεων με αποτέλεσμα τη δημιουργία κατά θέσεις πλέον αξιόλογων υδροφοριών.

Σημαντικές υδροφορίες αναπτύσσονται στους κοκκώδεις σχηματισμούς των τεταρτογενών αποθέσεων το δυναμικό των οποίων εξαρτάται από την κοκκομετρία τους και τις συνθήκες τροφοδοσίας. Η περιοχή της Άρτας έχει πληρωθεί από προσχώσεις των ποταμών Λούρου και Αράχθου. Το πάχος των αποθέσεων εκτιμάται ότι υπερβαίνει τα 200 m εξαιτίας της διαρκούς βύθισης που παρουσιάζει η περιοχή και αποτελούνται από ορίζοντες ασύνδετων αμμο-κροκαλών σε εναλλαγές με ορίζοντες αργίλων. Στις εμφανίσεις του φλύσχη αναπτύσσονται τοπικής σημασίας υδροφορίες, μικρής δυναμικότητας που καλύπτουν τοπικές υδρευτικές, αρδευτικές και κτηνοτροφικές ανάγκες.

### **Λεκάνη απορροής ποταμού Κέρκυρας – Παξών (EL34)**

Στο ΥΔ της Ηπείρου, στη ΛΑΠ Κέρκυρας-Παξών (GR34) δεν υπάρχουν κύριοι ποταμοί.

#### **Γεωλογικές Συνθήκες**

Στη ΛΑΠ της Κέρκυρας - Παξών συναντώνται οι γεωλογικοί σχηματισμοί της Ιόνιας Ζώνης. Ασύμφωνα πάνω στους παραπάνω σχηματισμούς έχουν αποτεθεί στα βυθίσματα των λεκανών νεογενείς σχηματισμοί (μάργες, μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι, κροκαλοπαγή κ.λπ.) και τεταρτογενείς αποθέσεις (αλλουβιακές αποθέσεις, υλικά αναβαθμίδων, κώνοι κορημάτων - πλευρικά κορήματα και παράκτιοι σχηματισμοί) με σημαντικότερες εμφανίσεις στο ΒΑ και νότιο τμήμα της νήσου Κέρκυρας.

#### **Υδρογεωλογικές Συνθήκες**

Οι κύριες υδροφορίες του υδατικού διαμερίσματος αναπτύσσονται στους ανθρακικούς σχηματισμούς της Ιονίου ζώνης που λόγω παρουσίας των εβαποριτών περιέχουν υψηλές συγκεντρώσειςθειικών. Τοπικής σημασίας υδροφορίες αναπτύσσονται στους κοκκώδεις σχηματισμούς των νεογενών και τεταρτογενών αποθέσεων το δυναμικό των οποίων εξαρτάται από την κοκκομετρία τους και τις συνθήκες τροφοδοσίας.

### **Λεκάνη απορροής ποταμού Λούρου (EL46)**

Ο ποταμός Λούρος (έκταση υδρολογικής λεκάνης 963 km<sup>2</sup> περίπου – περικλείεται και τμήμα μεταβατικής ζώνης εκβολών Λούρου), σε αντίθεση με τον Άραχθο, τροφοδοτείται από τον υπόγειο υδροφόρα, τον οποίο διασχίζει (παρόχθιες πηγές ή αναβλύσεις στην κοίτη του), καθώς και από τις πηγές βάσης του συστήματος Καμπής και Χανόπουλου (4 m<sup>3</sup>/s) στην ανατολική πλευρά και τις πηγές Πριάλας και Σκάλας στη δυτική. Ο ποταμός αυτός παρουσιάζει την πλέον σταθερή δίαιτα, γεγονός που οφείλεται στο ότι το μεγαλύτερο μέρος της διαδρομής του γίνεται μέσα σε καρστικοποιημένους ασβεστόλιθους.

#### **Γεωλογικές Συνθήκες**

Σημαντικό τμήμα της ΛΑΠ του Λούρου καλύπτεται από σχηματισμούς της Ιόνιας Ζώνης. Ασύμφωνα πάνω στους παραπάνω σχηματισμούς έχουν αποτεθεί στα βυθίσματα των λεκανών νεογενείς σχηματισμοί (μάργες, μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι, κροκαλοπαγή κ.λπ.) και τεταρτογενείς αποθέσεις (αλλουβιακές αποθέσεις, υλικά αναβαθμίδων, κώνοι κορημάτων - πλευρικά κορήματα και παράκτιοι σχηματισμοί).

#### **Υδρογεωλογικές Συνθήκες**

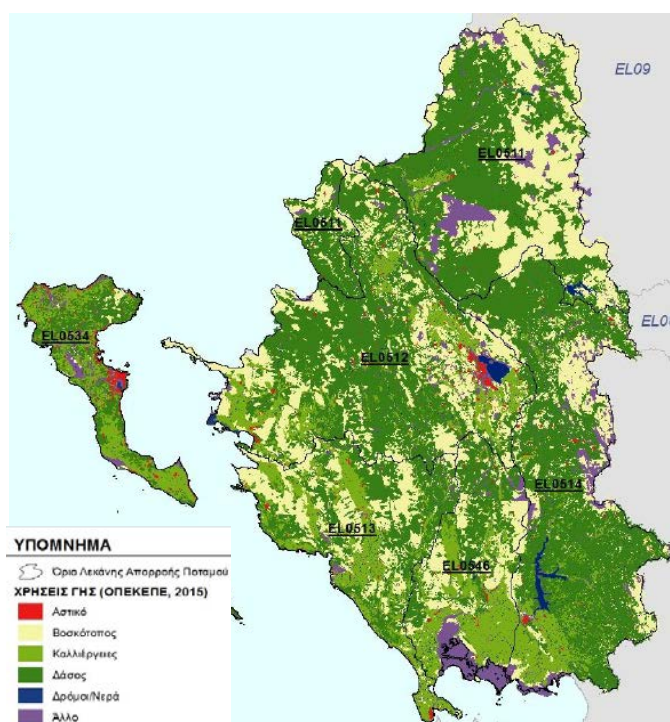
Οι κύριες υδροφορίες της ΛΑΠ Λούρου αναπτύσσονται στους ανθρακικούς σχηματισμούς της Ιονίου ζώνης. Σημαντικές υδροφορίες αναπτύσσονται στους κοκκώδεις σχηματισμούς των τεταρτογενών αποθέσεων το δυναμικό των οποίων εξαρτάται από την κοκκομετρία τους και τις συνθήκες τροφοδοσίας. Η περιοχή της Άρτας έχει πληρωθεί από προσχώσεις των ποταμών Λούρου και Αράχθου. Το πάχος των αποθέσεων εκτιμάται ότι υπερβαίνει τα 200 m εξαιτίας της διαρκούς βύθισης που παρουσιάζει η περιοχή και αποτελούνται από ορίζοντες ασύνδετων αμμο-κροκαλών σε εναλλαγές με ορίζοντες αργίλων. Στις εμφανίσεις του φλύσχη αναπτύσσονται τοπικής σημασίας υδροφορίες, μικρής δυναμικότητας που καλύπτουν τοπικές υδρευτικές, αρδευτικές και κτηνοτροφικές ανάγκες.

## Χρήσεις στο Υδατικό διαμέρισμα

Στον Πίνακα 4 και στο Σχήμα 11 που ακολουθούν παρουσιάζονται οι χρήσεις γης για το ΥΔ Ηπείρου (EL05) σύμφωνα με στοιχεία του ΟΠΕΚΕΠΕ του έτους 2015. Τα στοιχεία προέρχονται από την 1<sup>η</sup> Αναθεώρηση του Σχεδίου Διαχείρισης Λεκανών απορροής του ΥΔ Ηπείρου.

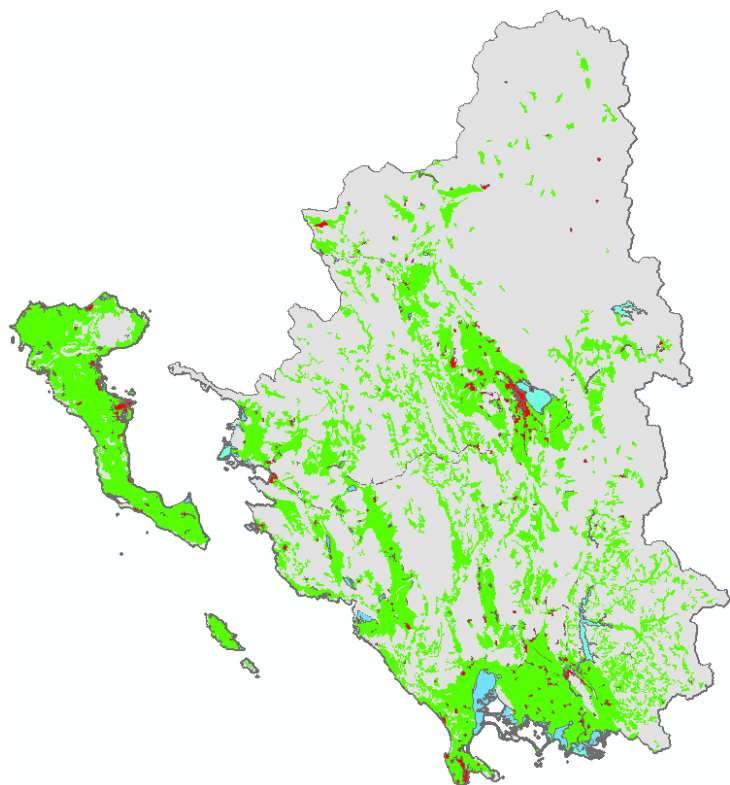
**Πίνακας 4** Ποσοστιαία κάλυψη χρήσεων γης στο ΥΔ Ηπείρου (EL05) (πηγή: ΟΠΕΚΕΠΕ 2015)

Κατηγορίες χρήσεων γης	ΛΑΠ Αώου (EL0511)	ΛΑΠ Καλαμά (EL0512)	ΛΑΠ Αχέροντος (EL0513)	ΛΑΠ Αράχθου (EL0514)	ΛΑΠ Κέρκυρας-Παξών (EL0534)	ΛΑΠ Λούρου (EL0546)
Αστικές	1%	1%	1%	1%	2%	1%
Βοσκότοποι	35%	27%	30%	18%	1%	30%
Καλλιέργειες	2%	14%	24%	9%	50%	26%
Δάσος	55%	53%	3%	65%	41%	37%
Δρόμοι/Υδατα	8%	5%	43%	7%	6%	6%

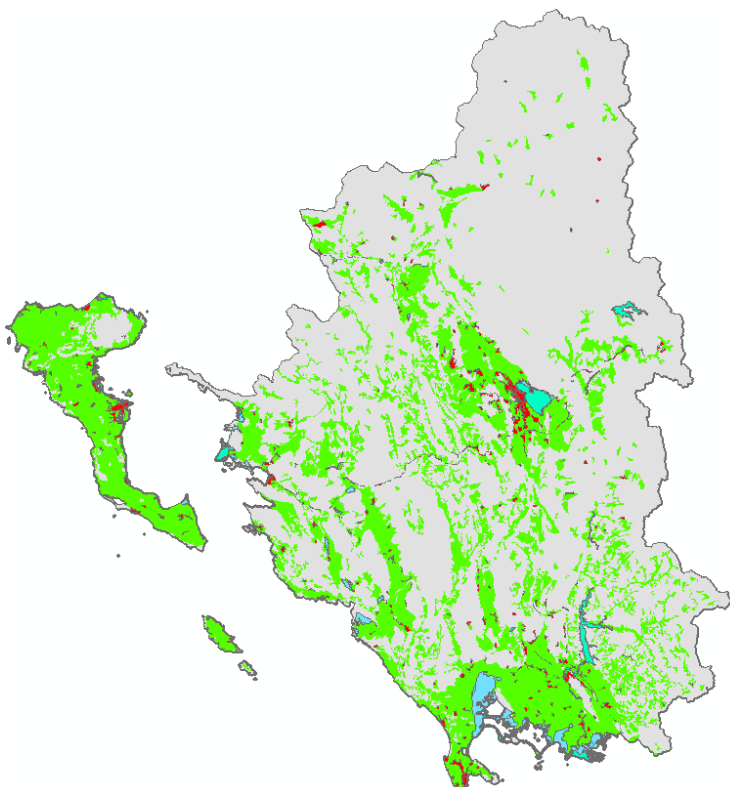


**Σχήμα 11** Κατηγοριοποίηση των χρήσεων γης στο ΥΔ Ηπείρου (πηγή: ΟΠΕΚΕΠΕ 2015)

Συγχρόνως στα πλαίσια του προγράμματος CORINE δίνονται η κατανομή των χρήσεων χρήσης για τις κυριότερες χρήσεις του ΥΔ για τις περιόδους 2006 και 2006. Στους κάτωθι χάρτες (Σχήμα 12 και 13) με πράσινο χρώμα δίνεται η κατανομή των αγροτικών εκτάσεων της περιοχής της Ηπείρου (κωδικοί 2.1 έως 2.4 του συστήματος Corine).



**Σχήμα 12** Ταξινόμηση των χρήσεων γης στο ΥΔ Ηπείρου περίοδος 2006 (πηγή: πρόγραμμα CORINE)



**Σχήμα 13** Ταξινόμηση των χρήσεων γης στο ΥΔ Ηπείρου περίοδος 2016 (πηγή: πρόγραμμα CORINE)

## Συλλογικά δίκτυα άρδευσης στην περιοχή της Ηπείρου

Οι αγροτικές εκτάσεις οι οποίες δίνονται στα ανωτέρω Σχήματα 12 και 13 αρδεύονται κύρια με τη χρήση συλλογικών δικτύων άρδευσης. Πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα με στοιχεία του Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης τα πλαίσια των αρμοδιοτήτων εποπτείας (άρθρο 46 – Νόμος 4456/2017) των Οργανισμών Εγγείων Βελτιώσεων από τις υπηρεσίες (ΔΑΟΚ) της Περιφέρειας Ηπείρου, καλύπτουν 32 Τ.Ο.Ε.Β. στις ΠΕ Άρτας, Θεσπρωτίας, Ιωαννίνων & Πρέβεζας (Κατάλογος Γενικών Οργανισμών Εγγείων Βελτιώσεων, 2018 και Κατάλογος Τοπικών Οργανισμών Εγγείων Βελτιώσεων, 2018).

Από την έρευνα που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του παρόντος έργου προέκυψε ο Πίνακας 5 που αναφέρει τα στοιχεία των Τ.Ο.Ε.Β. και Γ.Ο.Ε.Β. της Περιφέρειας Ηπείρου. Ειδικότερα, στην Περιφέρεια της Ηπείρου υπάρχουν 2 Γ.Ο.Ε.Β. και 48 Τ.Ο.Ε.Β.. Οι 8 από τους 48 Τ.Ο.Ε.Β. είναι ανενεργοί, οι 25 ενεργοί και για τους υπόλοιπους δεν βρέθηκαν στοιχεία. Αναφέρονται όμως στον κατάλογο των κοινωνικών φορέων του Υδατικού Διαμερίσματος Ηπείρου (ΕΛ 05), στην 1<sup>η</sup> Αναθεώρηση του Σχεδίου Διαχείρισης των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Ηπείρου (Ιούνιος 2017) και στο Σχέδιο Διαχείρισης των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Ηπείρου (Σεπτέμβριος 2013).

Πιο συγκεκριμένα οι 8 Τ.Ο.Ε.Β. που πλέον δεν λειτουργούν για την Περιφερειακή Ενότητα Άρτας είναι ο Τ.Ο.Ε.Β. Βουργαρελίου, για την Περιφερειακή Ενότητα Θεσπρωτίας οι Τ.Ο.Ε.Β. Παραποτάμου, Χαμηλής Ζώνης Σκάλας Φιλιατών, Υψηλής Ζώνης Σκάλας Φιλιατών, Ρίζιανης – Κορύτιανης και για την Περιφερειακή Ενότητα Ιωαννίνων οι Τ.Ο.Ε.Β. Βασιλικού και Γκριμπόβου. Όσον αφορά το Τ.Ο.Ε.Β. Κλειδωνιάς υπάλληλοι άλλων Τ.Ο.Ε.Β. ανέφεραν πως λειτουργεί. Στοιχεία όμως δεν μπόρεσαν να βρεθούν. Επομένως, στοιχεία βρέθηκαν για 24 ενεργούς Τ.Ο.Ε.Β. και 2 Γ.Ο.Ε.Β. στην Περιφέρεια Ηπείρου.

**Πίνακας 5** Οι ενεργοί και ανενεργοί Γ.Ο.Ε.Β. και Τ.Ο.Ε.Β. της Ηπείρου

α/α	Περιφερειακή Ενότητα	Εποπτεύων Δήμος	Επωνυμία Τ.Ο.Ε.Β.	ΕΝΕΡΓΟ / ΑΝΕΝΕΡΓΟ
1	ΑΡΤΑΣ		Γ.Ο.Ε.Β. Πεδιάδας Άρτας	ΕΝΕΡΓΟ
2	ΑΡΤΑΣ	Αρταίων	Ζώνης Αράχθου	ΕΝΕΡΓΟ
3	ΑΡΤΑΣ	Αρταίων	Ζώνης Λούρου	ΕΝΕΡΓΟ
4	ΑΡΤΑΣ	Αρταίων	Γραμμενίτσας - Βλαχέρνας	ΕΝΕΡΓΟ
5	ΑΡΤΑΣ	Αρταίων	Συλλογικό Αρδευτικό Δίκτυο Δήμου Αρταίων	ΕΝΕΡΓΟ
6	ΑΡΤΑΣ	Αρταίων	Γλυκορρίζου	ΕΝΕΡΓΟ
7	ΑΡΤΑΣ	Αρταίων	Βουργαρελίου	ΑΝΕΝΕΡΓΟ
8*	ΑΡΤΑΣ		Κομποτίου	
9*	ΑΡΤΑΣ		Πεδιάδας Άρτας (ΑΡΔ Λούρου)	
10*	ΑΡΤΑΣ		Πεδιάδας Άρτας (ΑΡΔ Βίγλας)	
11*	ΑΡΤΑΣ		Πεδιάδας Άρτας (ΑΡΔ Αράχθου)	
12	ΘΕΣΠΡΩΤΙΑΣ	Ηγουμενίτσας	Ραγίου - Κεστρίνης	ΕΝΕΡΓΟ
13	ΘΕΣΠΡΩΤΙΑΣ	Φιλιατών	Σαγιάδας - Ασπροκκλησίου	ΕΝΕΡΓΟ
14	ΘΕΣΠΡΩΤΙΑΣ	Ηγουμενίτσας	Παραποτάμου	ΑΝΕΝΕΡΓΟ
15	ΘΕΣΠΡΩΤΙΑΣ	Φιλιατών	Βρυσέλλας	ΕΝΕΡΓΟ
16	ΘΕΣΠΡΩΤΙΑΣ	Φιλιατών	Χαμηλής Ζώνης Σκάλας Φιλιατών	ΑΝΕΝΕΡΓΟ
17	ΘΕΣΠΡΩΤΙΑΣ	Φιλιατών	Υψηλής Ζώνης Σκάλας Φιλιατών	ΑΝΕΝΕΡΓΟ
18	ΘΕΣΠΡΩΤΙΑΣ	Παραμυθιάς	Πεδιάδας Παραμυθιάς	ΕΝΕΡΓΟ
19	ΘΕΣΠΡΩΤΙΑΣ	Σουλίου	Αχέροντα Γλυκής	ΕΝΕΡΓΟ
20	ΘΕΣΠΡΩΤΙΑΣ	Ηγουμενίτσας	Ρίζιανης - Κορύτιανης	ΑΝΕΝΕΡΓΟ
21	ΘΕΣΠΡΩΤΙΑΣ	Φιλιατών	Ελαίας Φιλιατών	ΕΝΕΡΓΟ
22*	ΘΕΣΠΡΩΤΙΑΣ		Γλυκής	



α/α	Περιφερειακή Ενότητα	Εποπτεύων Δήμος	Επωνυμία Τ.Ο.Ε.Β.	ΕΝΕΡΓΟ / ΑΝΕΝΕΡΓΟ
23*	ΘΕΣΠΡΩΤΙΑΣ		Γραικοχωρίου	
24*	ΘΕΣΠΡΩΤΙΑΣ		Φανερωμένης	
25*	ΘΕΣΠΡΩΤΙΑΣ		Φοινικίου	
26*	ΘΕΣΠΡΩΤΙΑΣ		Νεράϊδας	
27*	ΘΕΣΠΡΩΤΙΑΣ		Κρυσταλλοπηγής	
28*	ΘΕΣΠΡΩΤΙΑΣ		Ελευθερίου	
29	ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ		Γ.Ο.Ε.Β. Λεκάνης Ιωαννίνων	ΕΝΕΡΓΟ
30	ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ	Ζίτσας	Κρύας Λαψίστας	ΕΝΕΡΓΟ
31	ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ	Ιωαννιτών	Ανατολής	ΕΝΕΡΓΟ
32	ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ	Ιωαννιτών	Πόρου	ΕΝΕΡΓΟ
33	ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ	Κόνιτσας	Κόνιτσας	ΕΝΕΡΓΟ
34	ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ	Κόνιτσας	Καλλιθέας	ΕΝΕΡΓΟ
35	ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ	Ζαγορίου	Κλειδωνιάς	ΕΝΕΡΓΟ
36	ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ	Πωγωνίου	Βασιλικού	ΑΝΕΝΕΡΓΟ
37	ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ	Πωγωνίου	Άνω Καλαμά	ΕΝΕΡΓΟ
38	ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ	Πωγωνίου	Κουκλίων - Μαζαρακίου	ΕΝΕΡΓΟ
39	ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ	Ζίτσας	Γκριμπόβου	ΑΝΕΝΕΡΓΟ
40	ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ	Ζίτσας	Λίθινου	ΕΝΕΡΓΟ
41	ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ	Δωδώνης	Άνω Ρου Αχέροντα	ΕΝΕΡΓΟ
42	ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ	Κόνιτσας	Μελισσόπετρας - Καλόβρυσης	ΕΝΕΡΓΟ
43*	ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ		Προσωρινή Διοικούσα Επιτροπή έργου Αηδονοχωρίου	
44*	ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ		ΠΔΕ Πολιτών Χρυσοβίτσας	
45*	ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ		Χρυσοβίτσας	
46*	ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ		Ρογόζι Πωγωνίου	
47	ΠΡΕΒΕΖΑΣ	Πρεβέζης	Λάμαρης	ΕΝΕΡΓΟ
48	ΠΡΕΒΕΖΑΣ	Πάργας	Αχέροντα	ΕΝΕΡΓΟ
49	ΠΡΕΒΕΖΑΣ	Ζηρού	Μπόϊδα - Μαυρή	ΕΝΕΡΓΟ
50	ΠΡΕΒΕΖΑΣ	Ζηρού	Κεράσωνα - Παναγιάς	ΕΝΕΡΓΟ

\*Δεν γνωρίζουμε αν υφίστανται και δεν βρέθηκαν στοιχεία

Στον παρακάτω Πίνακα 6 δίνονται η συνολική αρδευόμενη έκταση των 25 ενεργών ΤΟΕΒ της περιοχής της Ηπείρου και μια σύντομη περιγραφή του αρδευτικού και στραγγιστικού δικτύου για κάθε ΤΟΕΒ σύμφωνα στοιχεία που προέκυψαν στα πλαίσια του παραδοτέου «Deliverable 4.1.2, Participatory systems current state report Participatory irrigation and drainage systems (Land Reclamation Organisations) of the Region of Epirus».

**Πίνακας 6** Τα αρδευτικά συστήματα που χρησιμοποιούνται στην περιοχή ευθύνης του κάθε Τ.Ο.Ε.Β.

Επωνυμία Τ.Ο.Ε.Β.	Συνολική αρδεύσιμη έκταση (στρ.)	Αρδευόμενη έκταση (στρ.)	Σύντομη περιγραφή του αρδευτικού και στραγγιστικού δικτύου
Ζώνης Αράχθου	54000	24000	Άντληση νερού από το φράγμα Πουρναρίου. Μεταφορά νερού με βαρύτητα και αρδευτικές τάφρους. Άρδευση με κατάκλιση.
Ζώνης Λούρου	85000	22000	Χωμάτινο ανοιχτό δίκτυο. Υπάρχουν αποστραγγιστικές τάφροι. Πηγές νερού: ποταμός Λούρος και παραπόταμος Βούσης. Άρδευση με κατάκλιση.
Γραμμενίστας - Βλαχέρνας	5500	5500	Άντληση από κανάλι και μεταφορά σε δεξαμενές μετάγγισης. Άρδευση με βαρύτητα (φυσική ροή) σε ελάχιστα στρέμματα όπως έρχεται από το αντλιοστάσιο και με μικροεκτοξευτήρες – μπεκάκια.
Συλλογικό Αρδευτικό Δίκτυο Δήμου Αρταίων	12000	12000	Άντληση νερού από το φράγμα Πουρναρίου. Κλειστό δίκτυο Βλαχέρνας και Βίγλας.

Γλυκορρίζου	1000	470	Άντληση νερού από τον ποταμό Άραχθο. Άρδευση με κατάκλιση.
Ραγίου - Κεστρίνης	20000	20000	Πηγές νερού: κυρίως από τον ποταμό Καλαμά και μια πολύ μικρή ποσότητα από την πηγή Ανακόλη. Άρδευση με μικροεκτοξευτήρες – μπεκάκια.
Βρυσέλλας	1100	1100	Άντληση νερού από τον ποταμό Καλαμά. Άρδευση με κατάκλιση.
Πεδιάδας Παραμυθιάς	28500	620	Άντληση νερού από τον ποταμό Αχέροντα. Το νερό μεταφέρεται με ανοιχτούς τσιμενταύλακες και η άρδευση πραγματοποιείται με τεχνητή βροχή και στα κηπευτικά με κατάκλιση.
Αχέροντα Γλυκής	10500	10500	Πηγή νερού: ποταμός Αχέροντας. Άρδευση με τεχνητή βροχή και μικροεκτοξευτήρες – μπεκάκια.
Ελαίας Φυλιατών	4000	4000	Πηγή νερού: ποταμός Καλαμάς και μεταφορά σε δεξαμενή απ' όπου με φυσική ροή και μέσω κλειστών αγωγών μεταφέρεται στους τελικούς χρήστες. Άρδευση με τεχνητή βροχή, μικροεκτοξευτήρες – μπεκάκια και σταγόνες.
Κρύας Λαψίστας	5500	5500	Πηγή νερού: η λίμνη. Υπάρχουν παλιά καναλέτα (τσιμενταύλακες). Άρδευση με κατάκλιση και τεχνητή βροχή.
Ανατολής	12000	6000	Πηγή νερού: η λίμνη. Υπάρχουν καναλέτα (τσιμενταύλακες). Δεν είναι σε λειτουργία η άρδευση από το 2006. Παλαιότερα πραγματοποιούνταν με κατάκλιση.
Πόρου	17500	17500	Πηγή νερού: η λίμνη. Υπόγειο δίκτυο υπό πίεση. Άρδευση με τεχνητή βροχή και μικροεκτοξευτήρες, ενώ για τα κηπευτικά με κατάκλιση.
Κόνιτσας	12000	12000	Πηγή νερού: ποταμός Αώος. Άρδευση με τεχνητή βροχή (από το 2015 έως σήμερα). Άρδευση με κατάκλιση (από το 1950 έως το 2015).
Καλλιθέας	1600	1600	Πηγή νερού: ποταμός Αώος. Άρδευση με κατάκλιση.
Άνω Καλαμά	13000	13000	Άντληση νερού από ποταμό Καλαμά και ποταμό Γόρμο. Άλλες πηγές: Βελάς, Άγιος Γεώργιος, Μαυρονέρι, Μύλος Ντέλα. Τσιμεντένια αυλάκια με φυσική ροή.
Κουκλίων - Μαζαρακίου	5500	5500	Πηγές νερού: Χάνια Σκαριάς, Γέφυρα Βροντισμένος και Γέφυρα Αρετής (ποταμός Καλαμάς). Άρδευση με κατάκλιση.
Λίθινου	1000	1000	Άντληση νερού από τις πηγές Ιερομνήμης. Άρδευση με αυλάκια.
Άνω Ρου Αχέροντα	1000	1000	Άντληση νερού από τον ποταμό (θέση Παναγιά) και στη συνέχεια με φυσική ροή μέσω κλειστού αγωγού μεταφέρεται στους τελικούς χρήστες.
Μελισσόπετρας - Καλόβρυσης	1800	1800	Άντληση νερού από τον ποταμό. Άρδευση με κατάκλιση.
Λάμαρης	25000	25000	Άντληση νερού από τον ποταμό Λούρο. Πηγή νερού με βαρύτητα: Σκάλα Λούρου (Πέτρα). Άρδευση με τεχνητή βροχή, μικροεκτοξευτήρες – μπεκάκια και σταγόνες.
Αχέροντα	35000	35000	Άντληση νερού από τους ποταμούς.
Μποΐδας - Μαυρής	21000	4500	Μια μακρινή πηγή νερού είναι από Αϊ Γιώργη. Υπόγειο δίκτυο τεχνητής βροχής. Άρδευση με μικροεκτοξευτήρες – μπεκάκια και σταγόνες.
Κερασώνας - Παναγιάς	3500	3500	Άντληση νερού από τον ποταμό Λούρο. Μεταφορά νερού με αγωγό. Άρδευση με τεχνητή βροχή.
Σαγιάδας Ασπροκκλησίου	4700	4700	Άντληση νερού από τον ποταμό Καλαμά Μεταφορά νερού με ελεύθερη ροή Άρδευση με τεχνητή βροχή

Σημαντικό είναι να αναφερθεί πως με βάση τα Καταστατικά των Οργανισμών η μέθοδος της κατάκλισης απαγορεύεται αλλά όπως είναι εμφανές από τα στοιχεία που μας δόθηκαν αυτό δεν τηρείται. Η αρδευόμενη έκταση των εικοσιπέντε (25) Τ.Ο.Ε.Β. είναι περί τα 237.790 στρέμματα. Η δυναμικότητα τους ωστόσο ανέρχεται σε 381.700 στρέμματα.

## Υδάτινοι πόροι στην περιοχή της Ηπείρου

Στα πλαίσια εφαρμογής της Οδηγίας 2000/60 για την περιοχή της Ηπείρου έχουν προσδιορισθεί και ταξινομηθεί οι υδάτινοι πόροι της περιοχής στις παρακάτω κατηγορίες – υδάτινα συστήματα:

- Ποταμοί: Συστήματα εσωτερικών υδάτων τα οποία ρέουν, κατά το πλείστον στην επιφάνεια του εδάφους αλλά το οποίο μπορεί για ένα μέρος της διαδρομής του να ρέει υπογείως.
- Λίμνες: Συστήματα στάσιμων εσωτερικών υδάτων
- Μεταβατικά ύδατα: Συστήματα επιφανειακών υδάτων πλησίον του στομίου ποταμών τα οποία είναι εν μέρει αλμυρά λόγω της γειτνιάσής τους με παράκτια ύδατα αλλά τα οποία μπορεί να επηρεάζονται ουσιαστικά από ρεύματα γλυκού ύδατος.
- Παράκτια: τα επιφανειακά ύδατα που βρίσκονται στην πλευρά της ξηράς μίας γραμμής της οποίας βρίσκεται σε απόσταση ενός ναυτικού μιλίου προς τη θάλασσα από το πλησιέστερο σημείο της γραμμής βάσης από την οποία μετράται το εύρος των χωρικών υδάτων και τα οποία κατά περίπτωση εκτείνονται μέχρι του απώτερου ορίου των μεταβατικών υδάτων.

Συγχρόνως το Σύστημα Επιφανειακών Υδάτων, σύμφωνα με την Οδηγία 2000/60/ΕΚ (Άρθρο 2, παρ. 1 Οδηγίας), ορίζεται ως: «διακεκριμένο και σημαντικό στοιχείο επιφανειακών υδάτων, όπως π.χ. μια λίμνη, ένας ταμιευτήρας, ένα ρεύμα, ένας ποταμός ή μια διώρυγα, ένα τμήμα ρεύματος, ποταμού ή διώρυγας, μεταβατικά ύδατα ή ένα τμήμα παράκτιων υδάτων». Εκτός των παραπάνω κατηγοριών, τα Συστήματα Επιφανειακών Υδάτων διακρίνονται ως προς το βαθμό επέμβασης των ανθρώπων σε αυτά, σε:

1. Φυσικά υδατικά συστήματα
1. Τεχνητά υδατικά συστήματα (ΤΥΣ): «ένα σύστημα επιφανειακών υδάτων που δημιουργείται με δραστηριότητα του ανθρώπου» (Ορισμός σύμφωνα με Άρθρο 2, παρ. 8 Οδηγίας)
2. Ιδιαίτεως τροποποιημένα υδατικά συστήματα (ΙΤΥΣ): «ένα σύστημα επιφανειακών υδάτων του οποίου ο χαρακτήρας έχει μεταβληθεί ουσιαστικά λόγω φυσικών αλλοιώσεων από τις δραστηριότητες του ανθρώπου και το οποίο ορίζεται από το κράτος μέλος» (Ορισμός σύμφωνα με Άρθρο 2, παρ. 9 Οδηγίας)

## Ποτάμια υδατικά συστήματα

Στο ΥΔ Ηπείρου (ΕΛ05) εντοπίζονται 82 ποτάμια ΥΣ, όπως προέκυψαν έπειτα από τις απαραίτητες διορθώσεις στο πλαίσιο της 1ης Αναθεώρησης, τα οποία χαρακτηρίστηκαν βάσει της νέας Τυπολογίας. Τα ποτάμια υδατικά συστήματα του ΥΔ Ηπείρου (ΕΛ05), καθώς και η νέα τυπολογία τους παρουσιάζονται ανά Λεκάνη Απορροής Ποταμού (ΛΑΠ) στον Πίνακα 7 και το Σχήμα 14.

**Πίνακας 7** Ποτάμια υδατικά συστήματα και νέα τυπολογία, σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Απόφαση 2013/480/ΕΚ και την MED GIG, ανά ΛΑΠ του ΥΔ Ηπείρου (ΕΛ05)

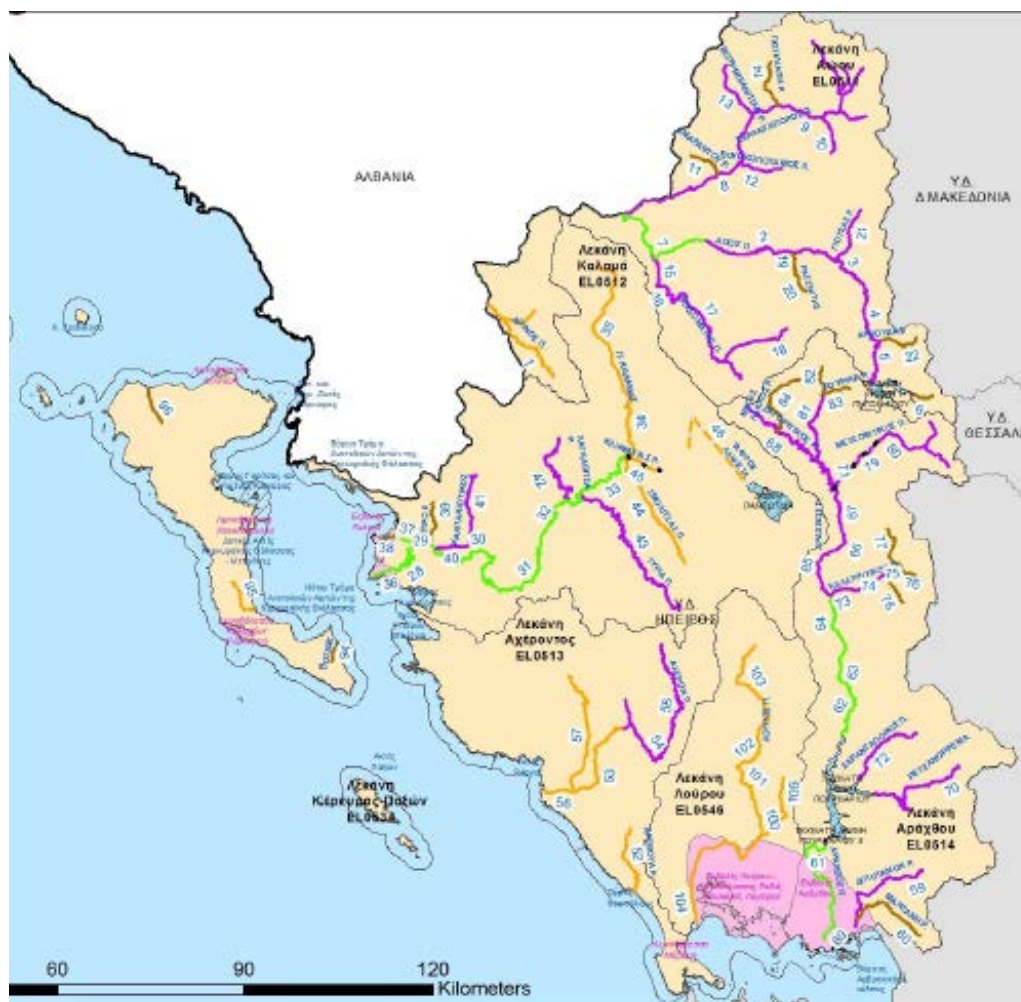
A/A	Όνομα ΥΣ	Κωδικός ΥΣ	Κατηγορία *	Μη- κος (km)	Άμεση Λεκάνη Απορ- ροής (km <sup>2</sup> )	Αθροιστι- κή Λεκάνη Απορ- ροής (km <sup>2</sup> )	Μέση Ετήσια Απορ- ροή (hm <sup>3</sup> )
<b>ΛΑΠ ΑΩΟΥ (ΕΛ0511)</b>							
1	ΔΡΙΝΟΣ Π.	ΕΛ0511R0A0101022N	ΦΥΣ	28	236,98	236,99	275,38
2	ΑΩΟΣ Π. 2	ΕΛ0511R0A0200013N	ΦΥΣ	23,1	178,46	670,10	649,04
3	ΑΩΟΣ Π. 3	ΕΛ0511R0A0200016N	ΦΥΣ	13	62,25	408,87	403,89
4	ΑΩΟΣ Π. 4	ΕΛ0511R0A0200018N	ΦΥΣ	11,8	80,55	236,09	241,74
5	ΑΩΟΣ Π. 5	ΕΛ0511R0A0200020N	ΦΥΣ	10,1	27,78	113,30	126,51
6	ΑΩΟΣ Π. 6	ΕΛ0511R0A0200021N	ΦΥΣ	4	30,05	30,05	35,50

Α/Α	Όνομα ΥΣ	Κωδικός ΥΣ	Κατηγορία *	Μη- κος (km)	Άμεση Λεκάνη Απορ- ροής (km <sup>2</sup> )	Αθροιστι- κή Λεκάνη Απορ- ροής (km <sup>2</sup> )	Μέση Ετήσια Απορ- ροή (hm <sup>3</sup> )
7	ΑΩΟΣ Π. 1	EL0511R0A0201001N	ΦΥΣ	22,4	156,55	1.217,77	1150,28
8	ΣΑΡΑΝΤΑΠΟΡΟΣ Π. 1	EL0511R0A0202002N	ΦΥΣ	42,8	275,66	886,62	701,31
9	ΣΑΡΑΝΤΑΠΟΡΟΣ Π. 2	EL0511R0A0202007N	ΦΥΣ	3,4	29,87	346,23	273,87
10	ΣΑΡΑΝΤΑΠΟΡΟΣ Π. 3	EL0511R0A0202008N	ΦΥΣ	46,2	316,35	316,35	250,23
11	ΣΑΡΑΝΤΑΠΟΡΟΣ Π. - ΠΑΡΑΠΟΤΑΜΟΣ ΑΜΑΡΑΝΤΟΥ Ρ.	EL0511R0A0202103N	ΦΥΣ	7,1	39,28	39,23	31,03
12	ΒΟΥΡΚΟΠΟΤΑΜΟΣ Π.	EL0511R0A0202204N	ΦΥΣ	7,7	102,13	102,13	80,78
13	ΒΟΥΡΜΠΙΑΝΙΤΙΚΟ Ρ.	EL0511R0A0202305N	ΦΥΣ	10,5	103,98	103,89	82,18
14	ΠΙΣΤΙΛΙΑΠΗ Ρ.	EL0511R0A0202406N	ΦΥΣ	9,1	54,68	54,68	43,25
15	ΒΟΪΔΟΜΑΤΗΣ Π. 1	EL0511R0A0204009N	ΦΥΣ	7,1	24,82	391,11	409,80
16	ΒΟΪΔΟΜΑΤΗΣ Π. 2	EL0511R0A0204010N	ΦΥΣ	8,1	67,84	366,28	383,78
17	ΒΟΪΔΟΜΑΤΗΣ Π. 3	EL0511R0A0204011N	ΦΥΣ	11,5	79,46	298,44	312,69
18	ΒΟΪΔΟΜΑΤΗΣ Π. 4	EL0511R0A0204012N	ΦΥΣ	21,9	218,96	218,97	229,43
19	ΑΩΟΣ Π. - ΠΑΡΑΠΟΤΑΜΟΣ ΡΑΣΕΝΙΤΗΣ 1	EL0511R0A0206014N	ΦΥΣ	3,5	13,81	82,76	77,67
20	ΑΩΟΣ Π. - ΠΑΡΑΠΟΤΑΜΟΣ ΡΑΣΕΝΙΤΗΣ 2	EL0511R0A0206015N	ΦΥΣ	4,4	68,94	68,94	64,70
21	ΠΙΟΤΣΑΣ Ρ.	EL0511R0A0208017N	ΦΥΣ	11,2	110,53	110,53	103,73
22	ΑΩΟΣ Π. - ΠΑΡΑΠΟΤΑΜΟΣ ΑΡΚΟΥΔΑΣ	EL0511R0A0210019N	ΦΥΣ	7,7	43,18	42,24	39,64
<b>ΛΑΠ ΚΑΛΑΜΑ (EL0512)</b>							
23	ΘΥΑΜΙΣ Π. ΚΑΛΑΜΑΣ 2	EL0512R000200024N	ΦΥΣ	12,8	28,04	4.438,22	14,45
24	ΘΥΑΜΙΣ Π. ΚΑΛΑΜΑΣ 3	EL0512R000200027N	ΦΥΣ	3,6	3,45	2192,14	1432,15
25	ΘΥΑΜΙΣ Π. ΚΑΛΑΜΑΣ 4	EL0512R000200029N	ΦΥΣ	25,9	116,83	2.141,61	1397,28
26	ΘΥΑΜΙΣ Π. ΚΑΛΑΜΑΣ 5	EL0512R000200032N	ΦΥΣ	15,8	99,27	1.860,99	1250,01
27	ΘΥΑΜΙΣ Π. ΚΑΛΑΜΑΣ 6	EL0512R000200033N	ΦΥΣ	9,1	32,76	1.761,71	1185,07
28	ΘΥΑΜΙΣ Π. ΚΑΛΑΜΑΣ 7	EL0512R000200034N	ΦΥΣ	21,9	192,6	1.728,95	1163,64
29	ΘΥΑΜΙΣ Π. ΚΑΛΑΜΑΣ 8	EL0512R000200040N	ΦΥΣ	17	86,51	455,99	307,00
30	ΘΥΑΜΙΣ Π. ΚΑΛΑΜΑΣ 9	EL0512R000200041N	ΦΥΣ	28,2	369,47	369,47	251,49
31	ΘΥΑΜΙΣ Π. ΚΑΛΑΜΑΣ 1	EL0512R000201023N	ΦΥΣ	5	0,66	4.438,91	14,81
32	ΤΕΧΝΗΤΟ ΤΜΗΜΑ ΕΚΒΟΛΗΣ ΚΑΛΑΜΑ 2	EL0512R000202025A	ΤΥΣ	3,1	25,64	2.218,03	1445,36
33	ΤΕΧΝΗΤΟ ΤΜΗΜΑ ΕΚΒΟΛΗΣ ΚΑΛΑΜΑ 1	EL0512R000202026A	ΤΥΣ	2,9	0,25	0,25	1445,50
34	ΘΥΑΜΙΣ Π. ΚΑΛΑΜΑΣ - ΠΑΡΑΠΟΤΑΜΟΣ ΑΣΠΡΟ Ρ.	EL0512R000204028N	ΦΥΣ	7,7	49,78	47,08	33,09

Α/Α	Όνομα ΥΣ	Κωδικός ΥΣ	Κατηγορία *	Μη- κος (km)	Άμεση Λεκάνη Απορ- ροής (km <sup>2</sup> )	Αθροιστι- κή Λεκάνη Απορ- ροής (km <sup>2</sup> )	Μέση Ετήσια Απορ- ροή (hm <sup>3</sup> )
35	ΘΥΑΜΙΣ Π. ΚΑΛΑΜΑΣ - ΠΑΡΑΠΟΤΑΜΟΣ ΚΑΛΠΑΚΙΩΤΙΚΟΣ 1	EL0512R000206030N	ΦΥΣ	8	21,97	163,79	122,81
36	ΘΥΑΜΙΣ Π. ΚΑΛΑΜΑΣ - ΠΑΡΑΠΟΤΑΜΟΣ ΚΑΛΠΑΚΙΩΤΙΚΟΣ 2	EL0512R000206031N	ΦΥΣ	12,9	141,81	141,81	106,33
37	ΘΥΑΜΙΣ Π. ΚΑΛΑΜΑΣ - ΠΑΡΑΠΟΤΑΜΟΣ ΛΑΓΚΑΒΙΤΣΑ Ρ.	EL0512R000208035N	ΦΥΣ	20,4	155	155,02	101,41
38	ΤΥΡΙΑ Π.	EL0512R000210036N	ΦΥΣ	38,8	263,55	263,56	172,40
39	ΣΜΟΛΙΤΣΑΣ Π.	EL0512R000212037N	ΦΥΣ	27	171,37	661,78	112,10
40	ΚΛΗΜΑΤΙΑΣ Ρ.	EL0512R000212138H	ΙΤΥΣ	6,2	34,41	34,41	344,73
41	ΤΑΦΡΟΣ ΛΑΨΙΣΤΑ	EL0512R000212139A	ΤΥΣ	19,3	202,82	202,82	322,21
<b>ΛΑΠ ΑΧΕΡΟΝΤΟΣ (EL0513)</b>							
42	ΑΡΕΘΟΥΑ Ρ.	EL0513R000101042N	ΦΥΣ	14,9	119,48	119,49	53,39
43	ΑΧΕΡΩΝ Π. (ΜΑΥΡΟΠΟΤΑΜΟΣ) 2	EL0513R000200045N	ΦΥΣ	18,1	61,6	652,53	362,11
44	ΑΧΕΡΩΝ Π. (ΜΑΥΡΟΠΟΤΑΜΟΣ) 3	EL0513R000200046N	ΦΥΣ	12,8	111,23	332,15	316,02
45	ΑΧΕΡΩΝ Π. (ΜΑΥΡΟΠΟΤΑΜΟΣ) 4	EL0513R000200047N	ΦΥΣ	29,9	221,35	221,35	210,08
46	ΑΧΕΡΩΝ Π. (ΜΑΥΡΟΠΟΤΑΜΟΣ) 1	EL0513R000201043N	ΦΥΣ	6	52,07	704,61	636,00
47	ΑΧΕΡΩΝ Π. (ΜΑΥΡΟΠΟΤΑΜΟΣ) - ΠΑΡΑΠΟΤΑΜΟΣ ΚΩΚΤΟΣ (ΒΟΥΒΟΣ)	EL0513R000202044N	ΦΥΣ	24,2	258,77	258,78	234,93
<b>ΛΑΠ ΑΡΑΧΘΟΥ (EL0514)</b>							
48	ΔΙΠΟΤΑΜΟΝ Ρ.	EL0514R000100048N	ΦΥΣ	20,3	124,97	194,81	149,92
49	ΜΑΝΤΑΝΗ Ρ.	EL0514R000102049N	ΦΥΣ	15,3	69,84	69,85	53,75
50	ΑΡΑΧΘΟΣ Π. 2	EL0514R000200051N	ΦΥΣ	6	41,56	2.077,56	1509,51
51	ΑΡΑΧΘΟΣ Π. 3	EL0514R000200054N	ΦΥΣ	10,7	91,82	1.411,29	1064,56
52	ΑΡΑΧΘΟΣ Π. 4	EL0514R000200055N	ΦΥΣ	9,2	141,59	1.319,46	968,85
53	ΑΡΑΧΘΟΣ Π. 5	EL0514R000200056N	ΦΥΣ	9,6	62,23	1.177,87	833,12
54	ΑΡΑΧΘΟΣ Π. 6	EL0514R000200063N	ΦΥΣ	11,6	53,43	893,89	507,01
55	ΑΡΑΧΘΟΣ Π. 7	EL0514R000200064N	ΦΥΣ	2,8	34,98	618,71	457,25
56	ΑΡΑΧΘΟΣ Π. 8	EL0514R000200065N	ΦΥΣ	8,3	39,91	583,72	430,37
57	ΖΑΓΟΡΙΤΙΚΟΣ Π.	EL0514R000200072N	ΦΥΣ	23,6	87,56	132,50	101,83
58	ΑΡΑΧΘΟΣ Π. 1	EL0514R000201050N	ΦΥΣ	17,8	45,13	2.122,70	1536,49
59	ΡΕΤΣΑΝΟΡΡΕΜΑ	EL0514R000202052N	ΦΥΣ	24,3	316,76	316,77	209,13
60	ΑΡΑΧΘΟΣ Π. 9	EL0514R000203068N	ΦΥΣ	12,4	54,82	329,28	253,06
61	ΣΑΡΑΝΤΑΠΟΡΟΣ Π.	EL0514R000204053N	ΦΥΣ	15,1	124,05	124,06	81,90
62	ΚΑΛΑΡΡΙΤΙΚΟΣ Π. 1	EL0514R000206057N	ΦΥΣ	5,1	19,55	221,74	259,15
63	ΚΑΛΑΡΡΙΤΙΚΟΣ Π. 2	EL0514R000206058N	ΦΥΣ	5,3	40,95	202,19	236,30
64	ΚΑΛΑΡΡΙΤΙΚΟΣ Π. 3	EL0514R000206060N	ΦΥΣ	2,6	4,14	161,24	121,18
65	ΚΑΛΑΡΡΙΤΙΚΟΣ Π. 4	EL0514R000206061N	ΦΥΣ	3	27,73	99,54	116,33
66	ΚΑΛΑΡΡΙΤΙΚΟΣ Π. 5	EL0514R000206062N	ΦΥΣ	8,8	71,81	71,81	83,92
67	ΚΑΛΑΡΡΙΤΙΚΟΣ Π. - ΠΑΡΑΠΟΤΑΜΟΣ ΜΕΛΙΣΣΟΥΡΓΙΩΤΙΚΟΣ	EL0514R000206159N	ΦΥΣ	5,7	57,55	57,55	67,26
68	ΜΕΤΣΟΒΙΤΙΚΟΣ Π. 1	EL0514R000208066H	ΙΤΥΣ	13,4	93,48	214,53	146,63



Α/Α	Όνομα ΥΣ	Κωδικός ΥΣ	Κατηγορία *	Μη- κος (km)	Άμεση Λεκάνη Απορ- ροής (km <sup>2</sup> )	Αθροιστι- κή Λεκάνη Απορ- ροής (km <sup>2</sup> )	Μέση Ετήσια Απορ- ροή (hm <sup>3</sup> )
69	ΜΕΤΣΟΒΙΤΙΚΟΣ Π. 2	EL0514R000208067N	ΦΥΣ	20,3	121,04	121,05	82,74
70	ΑΡΑΧΘΟΣ Π. 10	EL0514R000210069N	ΦΥΣ	15	62,56	141,94	109,09
71	ΑΡΑΧΘΟΣ Π. 11	EL0514R000210071N	ΦΥΣ	6	59,73	59,73	45,91
72	ΣΟΥΡΙΚΑ Ρ.	EL0514R000210170N	ΦΥΣ	5,1	19,64	19,64	15,10
73	ΜΕΓΑΣ ΛΑΚΚΟΣ Ρ.	EL0514R000212073N	ΦΥΣ	16,3	44,94	44,94	34,54
<b>ΛΑΠ ΚΕΡΚΥΡΑΣ – ΠΑΞΩΝ (EL0534)</b>							
74	ΠΟΤΑΜΙ	EL0534R000101074N	ΦΥΣ	2,2	15,62	15,62	8,47
75	ΜΕΣΑΓΓΗΣ Ρ.	EL0534R000301075N	ΦΥΣ	7,5	39,83	39,84	21,77
76	ΦΟΝΙΣΑΣ Π.	EL0534R000501076N	ΦΥΣ	6,9	65,93	65,94	71,61
<b>ΛΑΠ ΛΟΥΡΟΥ (EL0546)</b>							
77	ΛΟΥΡΟΣ Π. 2	EL0546R000200078N	ΦΥΣ	17,4	40,5	470,57	487,32
78	ΛΟΥΡΟΣ Π. 3	EL0546R000200080N	ΦΥΣ	1,7	5,36	350,79	376,69
79	ΛΟΥΡΟΣ Π. 4	EL0546R000200081N	ΦΥΣ	17,4	123,13	345,42	370,92
80	ΛΟΥΡΟΣ Π. 5	EL0546R000200082N	ΦΥΣ	15,1	222,27	222,28	238,69
81	ΛΟΥΡΟΣ Π. 1	EL0546R000201077N	ΦΥΣ	18,7	331,61	802,69	771,27
82	ΛΟΥΡΟΣ Π. - ΠΑΡΑΠΟΤΑΜΟΣ	EL0546R000202079N	ΦΥΣ	13,3	79,28	79,28	73,96



Σχήμα 14 Το ποτάμια συστήματα της Ηπείρου

## Λιμναία υδατικά συστήματα

Στο ΥΔ Ηπείρου (EL05) εντοπίζεται μόνο 1 λιμναίο ΥΣ. Στον Πίνακα 8 παρουσιάζεται το λιμναίο ΙΤΥΣ του ΥΔ Ηπείρου (EL05) με την νέα τυπολογία, ανά ΛΑΠ.

**Πίνακας 8** Λιμναία ΥΣ με νέα τυπολογία ανά ΛΑΠ του ΥΔ Ηπείρου (EL05)

A/A	Όνομα ΥΣ	Κωδικός ΥΣ	Κατηγορία*	Έκταση (km <sup>2</sup> )	Περίμετρος (km)
<b>ΛΑΠ ΚΑΛΑΜΑ (EL0512)</b>					
1	ΛΙΜΝΗ ΠΑΜΒΩΤΙΔΑ	EL0512L000000004H	ΙΤΥΣ	19,24	25,65

Στο ΥΔ Ηπείρου (EL05) εντοπίζονται 3 ποτάμια ΙΤΥΣ λιμναίου τύπου. Στον Πίνακα 9 παρουσιάζονται οι ταμειυήρες (δηλ. ποτάμια ΙΤΥΣ λιμναίου τύπου) του ΥΔ Ηπείρου (EL05) με την νέα τυπολογία, ανά ΛΑΠ.

**Πίνακας 9** Ποτάμια ΙΤΥΣ λιμναίου τύπου (ταμειυήρες) με νέα τυπολογία ανά ΛΑΠ του ΥΔ Ηπείρου (EL05)

A/A	Όνομα ΥΣ	Κωδικός ΥΣ	Κατηγορία*	Έκτασ η (km <sup>2</sup> )	Περίμετρος (km)	Άμεση Λεκάνη Απορ- ροής (km <sup>2</sup> )	Αθροιστι- κή Λεκάνη Απορροής (km <sup>2</sup> )	Μέση Ετήσια Απορροή (hm <sup>3</sup> )
<b>ΛΑΠ ΑΩΟΥ (EL0511)</b>								
1	ΤΕΧΝΗΤΗ ΛΙΜΝΗ ΠΗΓΩΝ ΑΩΟΥ	EL0511RLA0200001H	ΙΤΥΣ	8,21	39,85	55,46	85,51	100,43
<b>ΛΑΠ ΑΡΑΧΘΟΥ (EL0514)</b>								
2	ΤΕΧΝΗΤΗ ΛΙΜΝΗ ΠΟΥΡΝΑΡΙΟΥ	EL0514RL00200003H	ΙΤΥΣ	22,02	72,09	178,45	1.814,00	1.479,51
3	ΤΕΧΝΗΤΗ ΛΙΜΝΗ ΠΟΥΡΝΑΡΙΟΥ II	EL0514RL00200002H	ΙΤΥΣ	0,69	6,9	5,45	1.718,00	1.482,77

## Μεταβατικά υδατικά συστήματα

Τα μεταβατικά ύδατα χαρακτηρίζονται από ευρείες διακυμάνσεις των φυσικών και χημικών παραμέτρων που καθορίζουν την κατανομή και τη δομή των βιοκοινωνιών. Ο χαρακτηρισμός των τύπων στα μεταβατικά ύδατα αποτελεί πρόκληση για την επιστημονική κοινότητα, εξαιτίας του μωσαϊκού τύπου των ενδιαιτημάτων τους και της ιδιαίτερα υψηλής στο χώρο και στο χρόνο φυσικής τους μεταβλητότητας. Τα συστήματα τυπολογίας βασίζονται στη γεωλογία, ενώ από ένα μεγάλο μέρος εξετάζει την αλατότητα σαν θεμελιώδη παράμετρο κατάταξης. Από γεωλογική άποψη έχουν προταθεί οι παρακάτω φυσιογραφικοί τύποι: στόμια ποταμών (π.χ. δέλτα, εκβολές), λιμνοθάλασσες, αλμυρά έλη, παράκτιοι νερόλακκοι.

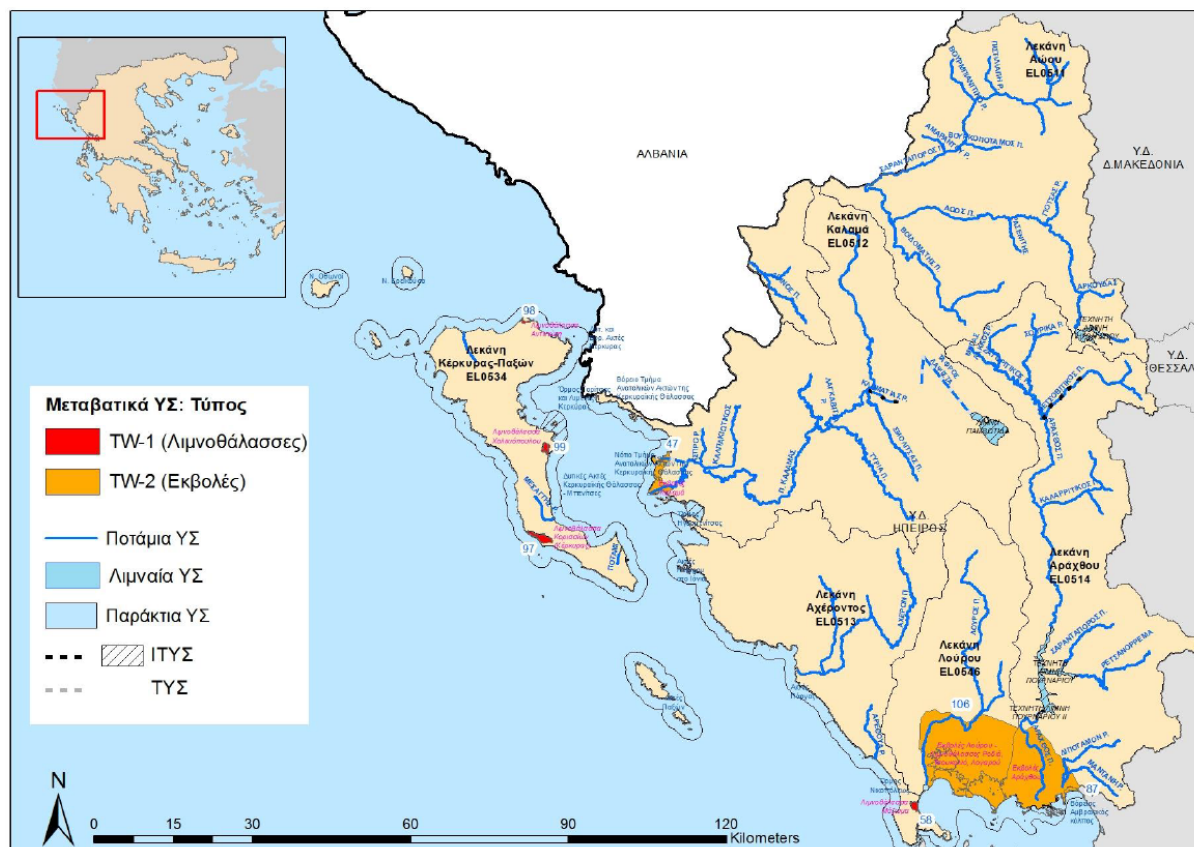
Με βάση όλα τα παραπάνω αποφασίστηκε η διάκριση των μεταβατικών υδάτων της Ελλάδας σε δύο τύπους:

- Λιμνοθάλασσες.
- Εκβολές ποταμών ή Δέλτα

Στο ΥΔ Ηπείρου (EL05) έχουν προσδιοριστεί 7 μεταβατικά υδατικά συστήματα, τα οποία παρουσιάζονται στον Πίνακα 10 ανά ΛΑΠ και στο Σχήμα 15.

**Πίνακας 10** Μεταβατικά υδατικά συστήματα ανά ΛΑΠ του ΥΔ Ηπείρου (ΕΛ05)

Α/Α	Όνομα ΥΣ	Κωδικός ΥΣ	Κατηγορία*	Έκταση (km <sup>2</sup> )	Περίμετρος (km)
<b>ΛΑΠ ΚΑΛΑΜΑ (ΕΛ0512)</b>					
1	ΕΚΒΟΛΕΣ ΚΑΛΑΜΑ	ΕΛ0512Τ0001Ν	ΦΥΣ	17,17	35,89
<b>ΛΑΠ ΑΧΕΡΟΝΤΟΣ (ΕΛ0513)</b>					
2	ΛΙΜΝΟΘΑΛΑΣΣΑ ΜΑΖΩΜΑ	ΕΛ0513Τ0004Ν	ΦΥΣ	1,7	6,24
<b>ΛΑΠ ΑΡΑΧΘΟΥ (ΕΛ0514)</b>					
3	ΕΚΒΟΛΕΣ ΑΡΑΧΘΟΥ	ΕΛ0514Τ0002Ν	ΦΥΣ	143,27	106,8
<b>ΛΑΠ ΚΕΡΚΥΡΑΣ – ΠΑΞΩΝ (ΕΛ0534)</b>					
4	ΛΙΜΝΟΘΑΛΑΣΣΑ ΚΟΡΙΣΣΙΩΝ (ΚΕΡΚΥΡΑΣ)	ΕΛ0534Τ0005Ν	ΦΥΣ	4,16	13,35
5	ΛΙΜΝΟΘΑΛΑΣΣΑ ΑΝΤΙΝΙΩΤΗ	ΕΛ0534Τ0006Ν	ΦΥΣ	0,61	6,89
6	ΛΙΜΝΟΘΑΛΑΣΣΑ ΧΑΛΙΚΙΟΠΟΥΛΟΥ	ΕΛ0534Τ0007Ν	ΦΥΣ	2,23	11,42
<b>ΛΑΠ ΛΟΥΡΟΥ (ΕΛ0546)</b>					
7	ΕΚΒΟΛΕΣ ΛΟΥΡΟΥ - ΛΙΜΝΟΘΑΛΑΣΣΕΣ ΡΟΔΙΑ, ΤΣΟΥΚΑΛΙΟ, ΛΟΓΑΡΟΥ	ΕΛ0546Τ0003Ν	ΦΥΣ	241,59	97,1



**Σχήμα 15** Τυπολογία μεταβατικών υδάτινων συστημάτων της Ηπείρου



## Παράκτια υδατικά συστήματα

Ο χαρακτηρισμός των παράκτιων τύπων προτάθηκε να γίνει με βάση κυρίως: το υπόστρωμα των ακτών (δύο κατηγορίες υποστρώματος), το βάθος (δύο κατηγορίες βάθους) και τον βαθμό έκθεσης στον κυματισμό (τρεις κατηγορίες: μετρίως εκτεθειμένες ακτές, προστατευμένες και πολύ προστατευμένοι κόλποι). Στα πλαίσια της άσκησης διαβαθμονόμησης στη Μεσόγειο το βάθος διακρίθηκε σε δύο κατηγορίες, στα ρηχά και βαθέα ύδατα. Ως ανώτερο όριο των βαθιών υδάτων ορίστηκαν τα 40 m, που αποτελούν το σύνηθες κατώτερο όριο εξάπλωσης της *Posidonia oceanica*. Στα πλαίσια της εφαρμογής της διαβαθμονόμησης στη Μεσόγειο το υπόστρωμα χωρίστηκε σε δύο βασικούς τύπους, το βραχώδες και το ιζηματικό. Στο βραχώδες ταξινομήθηκε το σκληρό υπόστρωμα και στο ιζηματικό όλα τα χαλαρά ιζήματα προϊόντα διάβρωσης, αποσάθρωσης ή μεταφοράς που διαφοροποιούνται σε διάφορους τύπους (άμμος-χαλίκι-κροκάλες-βότσαλο, ιλύς, μεικτά ιζήματα) ανάλογα με την κοκκομετρική τους σύσταση. Σε πολλές περιπτώσεις σε έναν τύπο υδατικού συστήματος συναντώνται διαφορετικά υποστρώματα στο θαλάσσιο πυθμένα. Επιλέγονται τα κυρίαρχα υποστρώματα. Στο ΥΔ Ηπείρου (EL05) προσδιορίστηκαν 13 παράκτια ΥΣ που παρουσιάζονται στον Πίνακα 11.

**Πίνακας 11** Παράκτια υδατικά συστήματα του ΥΔ Ηπείρου (EL05)

A/A	Όνομα ΥΣ	Κωδικός ΥΣ	Κατηγορία *	Έκταση (km <sup>2</sup> )	Περίμετρος (km)
<b>ΛΑΠ ΚΑΛΑΜΑ (EL0512)</b>					
1	ΟΡΜΟΣ ΗΓΟΥΜΕΝΙΤΣΑΣ	EL0512C0003H	ΙΤΥΣ	8,75	14,24
2	ΒΟΡΕΙΟ ΤΜΗΜΑ ΑΝΑΤΟΛΙΚΩΝ ΑΚΤΩΝ ΤΗΣ ΚΕΡΚΥΡΑΪΚΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ	EL0512C0A01N	ΦΥΣ	37,84	59,79
3	ΝΟΤΙΟ ΤΜΗΜΑ ΑΝΑΤΟΛΙΚΩΝ ΑΚΤΩΝ ΤΗΣ ΚΕΡΚΥΡΑΪΚΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ	EL0512C0A02N	ΦΥΣ	50,23	94,07
<b>ΛΑΠ ΑΧΕΡΟΝΤΟΣ (EL0513)</b>					
4	ΑΚΤΕΣ ΗΠΕΙΡΟΥ ΣΤΟ ΙΟΝΙΟ	EL0513C0004N	ΦΥΣ	89,12	134,79
5	ΑΚΤΕΣ ΠΑΡΓΑΣ	EL0513C0005N	ΦΥΣ	50,19	83,91
6	ΟΡΜΟΣ ΝΙΚΟΠΟΛΕΩΣ	EL0513C0006N	ΦΥΣ	65,23	85,03
7	ΒΟΡΕΙΟΣ ΑΜΒΡΑΚΙΚΟΣ ΚΟΛΠΟΣ	EL0513C0007N	ΦΥΣ	153,54	193,5
<b>ΛΑΠ ΚΕΡΚΥΡΑΣ – ΠΑΞΩΝ (EL0534)</b>					
8	ΑΚΤΕΣ ΠΑΞΩΝ	EL0534C0008N	ΦΥΣ	88,83	124,22
9	ΔΥΤ. ΚΑΙ ΒΟΡ. ΑΚΤΕΣ ΚΕΡΚΥΡΑΣ	EL0534C0009N	ΦΥΣ	406,9	512,76
10	ΔΥΤΙΚΕΣ ΑΚΤΕΣ ΚΕΡΚΥΡΑΪΚΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ - ΜΠΕΝΙΤΣΕΣ	EL0534C0010N	ΦΥΣ	24,26	34,42
11	ΟΡΜΟΣ ΓΑΡΙΤΣΑΣ ΚΑΙ ΛΙΜΕΝΑΣ ΚΕΡΚΥΡΑΣ	EL0534C0011H	ΙΤΥΣ	20,2	31,64
12	Ν. ΟΘΩΝΟΙ	EL0534C0012N	ΦΥΣ	42,01	52,28
13	Ν. ΕΡΕΙΚΟΥΣΑ	EL0534C0013N	ΦΥΣ	25,83	30,04

## Υδατικά συστήματα υπογείων υδάτων

Στο πλαίσιο της 1ης Αναθεώρησης του ΣΔΛΑΠ του Υδατικού Διαμερίσματος Ηπείρου (EL05) επανεξετάστηκαν τα αρχικά οριοθετημένα υπόγεια υδάτινα συστήματα. Ο αρχικός προσδιορισμός και οριοθέτηση των υπόγειων υδάτινων συστημάτων είχε πραγματοποιηθεί με βάση τα ακόλουθα κριτήρια:

- Τον υδρογεωλογικό χαρακτήρα των γεωλογικών σχηματισμών που συνθέτουν το υπόγειο υδατικό σύστημα και την ανάπτυξη υπόγειας υδροφορίας. Έγινε διάκριση σε καρστικά,

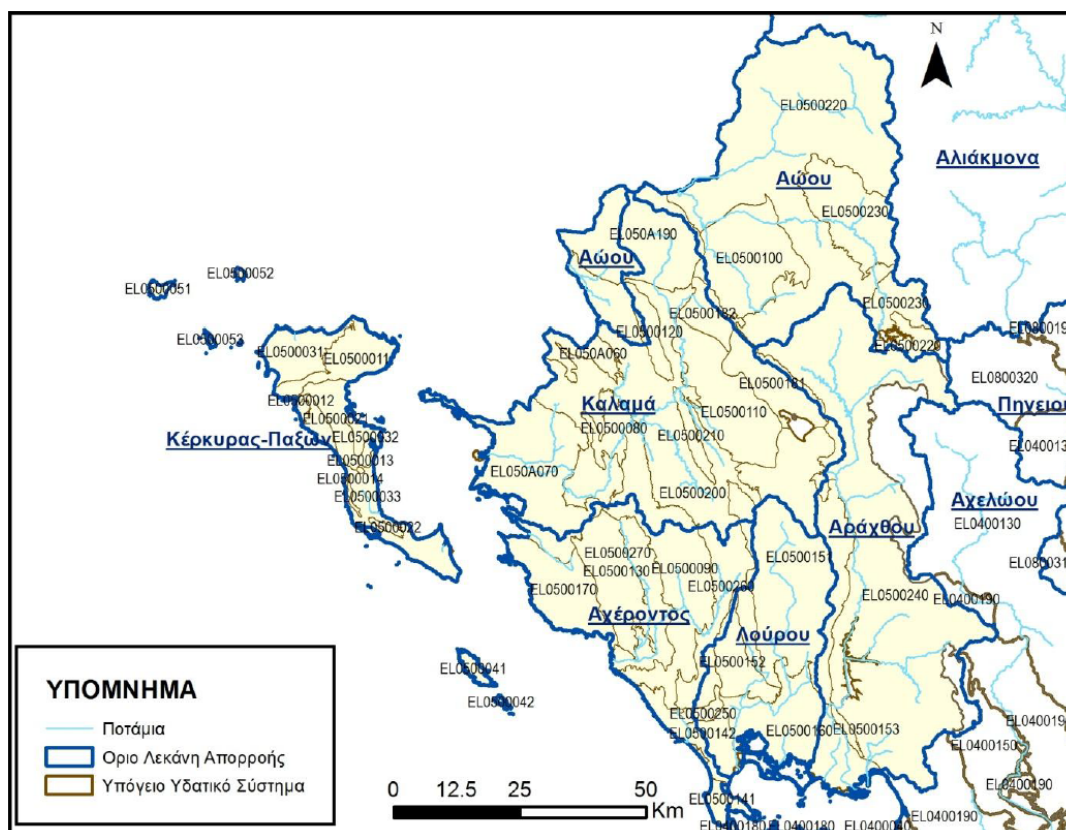
κοκκώδη, ρωγματώδη και μεικτά υπόγεια υδατικά συστήματα και ενιαιοποιήθηκαν μικρές επιμέρους υδροφορίες .

- Τη δυναμικότητα των υπογείων υδροφορέων η οποία προκύπτει από τα υφιστάμενα στοιχεία τροφοδοσίας, υδροληψίας και εκμετάλλευσης του υπόγειου δυναμικού.
- Τις χρήσεις του υπόγειου υδατικού συστήματος.
- Την αλληλεξάρτηση του υπόγειου υδατικού συστήματος με επιφανειακά ύδατα και χερσαία οικοσυστήματα.
- Την ύπαρξη περιοχών που βρίσκονται σε κίνδυνο λόγω πιέσεων (π.χ. υπεραντλήσεις, υπαλμύριση) κακή ποιοτική κατάσταση, ύπαρξη αυξημένου φυσικού υποβάθρου

Στον Πίνακα 12 και στο Σχήμα 16 παρουσιάζονται τα ΥΥΣ του Υδατικού Διαμερίσματος Ηπείρου (ΕΛ05) όπως προέκυψαν κατά την 1η Αναθεώρηση του ΣΔΛΑΠ.

**Πίνακας 12** Πίνακας υπόγειων υδατικών συστημάτων ΥΔ Ηπείρου (ΕΛ05)

α/α	Όνομα ΥΥΣ	Κωδικός ΥΥΣ	Έκταση (km <sup>2</sup> )
<b>ΛΑΠ ΑΛΟΥ (ΕΛ0511)</b>			
1	ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΥΜΦΗΣ	ΕΛ0500100	324.49
2	ΣΥΣΤΗΜΑ ΥΔΡΟΦΟΡΙΩΝ ΣΑΡΑΝΤΑΠΟΡΟΥ-ΑΛΟΥ	ΕΛ0500220	1368.91
3	ΣΥΣΤΗΜΑ ΥΔΡΟΦΟΡΙΩΝ ΣΜΟΛΙΚΑ-ΜΑΥΡΟΒΟΥΝΙΟΥ	ΕΛ0500230	350.91
<b>ΛΑΠ ΚΑΛΑΜΑ (ΕΛ0512)</b>			
4	ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕΣΟΥ ΡΟΥ ΚΑΛΑΜΑ	ΕΛ0500080	76.80
α/α	Όνομα ΥΥΣ	Κωδικός ΥΥΣ	Έκταση (km <sup>2</sup> )
5	ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΛΗΜΑΤΙΑΣ	ΕΛ0500110	302.27
6	ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΑΣΙΔΙΑΡΗ	ΕΛ0500120	62.94
7	ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΙΤΣΙΚΕΛΙΟΥ-ΒΕΛΛΑ	ΕΛ0500180	242.24
8	ΣΥΣΤΗΜΑ ΥΔΡΟΦΟΡΙΩΝ Π.ΚΑΛΑΜΑ	ΕΛ0500200	873.38
9	ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΟΥΡΕΝΤΩΝ	ΕΛ0500210	40.32
10	ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΟΥΡΓΚΑΝΑΣ	ΕΛ050Α060	70.10
11	ΣΥΣΤΗΜΑ ΦΙΛΙΑΤΩΝ-ΗΓΟΥΜΕΝΙΤΣΑΣ	ΕΛ050Α070	450.85
12	ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΩΓΩΝΙΑΝΗΣ	ΕΛ050Α190	387.19
<b>ΛΑΠ ΑΧΕΡΟΝΤΟΣ (ΕΛ0513)</b>			
13	ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΟΥΛΙΟΥ-ΠΑΡΑΜΥΘΙΑΣ	ΕΛ0500090	436.59
14	ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΟΡΩΝΗΣ	ΕΛ0500130	214.96
15	ΣΥΣΤΗΜΑ ΧΕΡΣΟΝΗΣΟΥ ΠΡΕΒΕΖΑΣ	ΕΛ0500140	359.93
16	ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΑΡΓΑΣ	ΕΛ0500170	218.47
17	ΣΥΣΤΗΜΑ ΥΔΡΟΦΟΡΙΩΝ ΑΝΩ ΡΟΥ ΑΧΕΡΟΝΤΟΣ-ΡΕΜΑΤΟΣ ΑΡΕΘΟΥΑ	ΕΛ0500260	247.39
18	ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΚΒΟΛΩΝ ΑΧΕΡΟΝΤΑ - Π. ΚΩΚΥΤΟΥ	ΕΛ0500270	166.11
<b>ΛΑΠ ΑΡΑΧΘΟΥ (ΕΛ0514)</b>			
19	ΣΥΣΤΗΜΑ ΥΔΡΟΦΟΡΙΩΝ Π.ΑΡΑΧΘΟΥ	ΕΛ0500240	1622.20
<b>ΛΑΠ ΚΕΡΚΥΡΑΣ – ΠΑΞΩΝ (ΕΛ0534)</b>			
20	ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΩΝ Ν.ΚΕΡΚΥΡΑΣ	ΕΛ0500010	152.50
21	ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΡΙΑΔΙΚΩΝ ΛΑΤΥΠΟΠΑΓΩΝ Ν. ΚΕΡΚΥΡΑΣ	ΕΛ0500020	104.75
22	ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΟΚΚΩΔΩΝ ΥΔΡΟΦΟΡΙΩΝ Ν. ΚΕΡΚΥΡΑΣ	ΕΛ0500030	330.355
23	ΣΥΣΤΗΜΑ Ν.ΠΑΞΩΝ - ΑΝΤΙΠΑΞΩΝ	ΕΛ0500040	23.975
24	ΣΥΣΤΗΜΑ Ν.ΟΘΩΝΩΝ - ΕΡΕΙΚΟΥΣΑΣ - ΜΑΘΡΑΚΙΟΥ	ΕΛ0500050	17.00
<b>ΛΑΠ ΛΟΥΡΟΥ (ΕΛ0546)</b>			
25	ΣΥΣΤΗΜΑ ΛΟΥΡΟΥ	ΕΛ0500150	2884.35
26	ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΡΤΑΣ	ΕΛ0500160	355.13
27	ΣΥΣΤΗΜΑ ΖΑΛΟΓΓΟΥ	ΕΛ0500250	24.61



Σχήμα 16 Θέση και όρια υπόγειων υδατικών συστημάτων Ηπείρου (EL05)

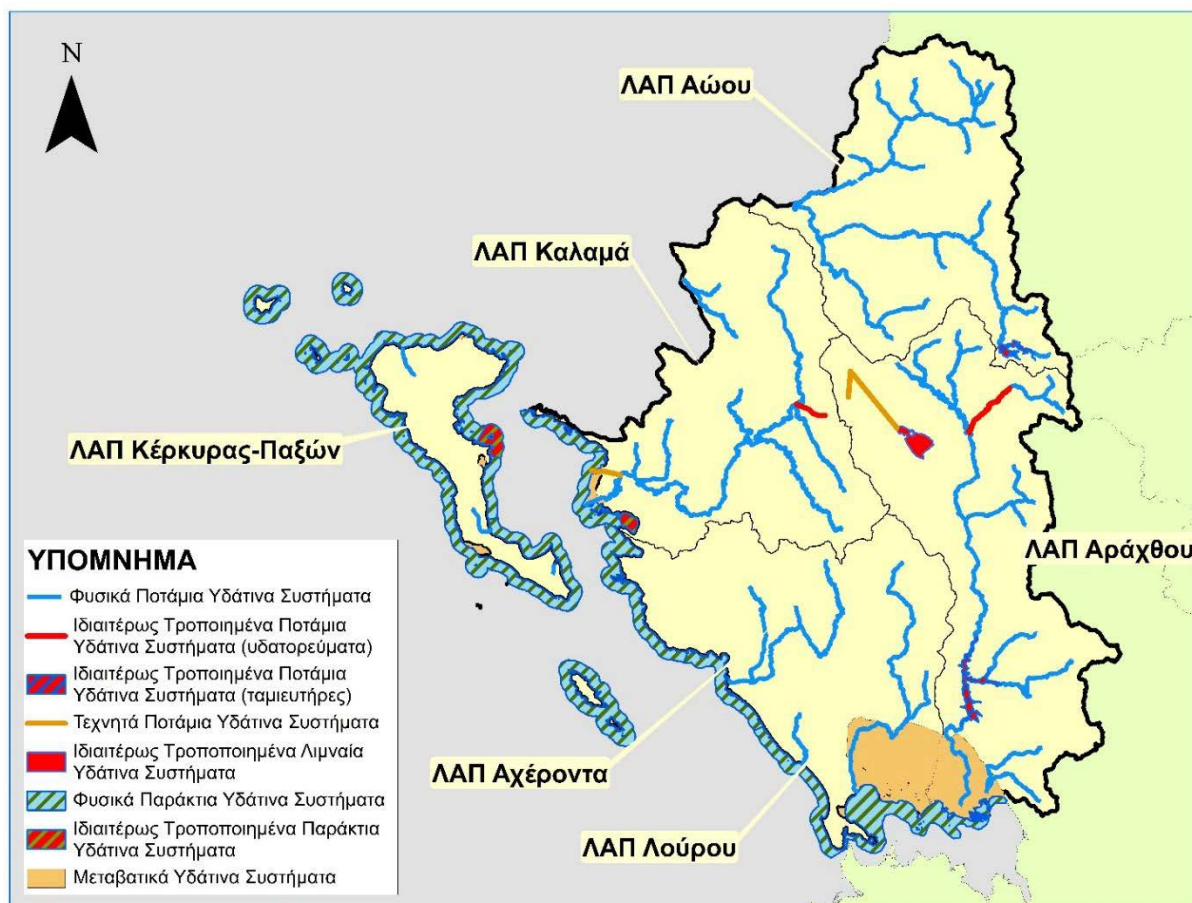
## Υδατικά συστήματα ιδιαιτέρως τροποποιημένων συστημάτων και τεχνητά υδατικά συστήματα

Στο Υδατικό Διαμέρισμα Ηπείρου (EL05) προέκυψαν 8 ιδιαιτέρως τροποποιημένα και 3 τεχνητά υδατικά συστήματα σε σύνολο 106 υδατικών συστημάτων. Στον Πίνακα 13 και στο Σχήμα 17 που ακολουθούν, δίνεται μία εποπτική εικόνα του αριθμού και της κάλυψης των ιδιαιτέρως τροποποιημένων υδατικών συστημάτων.

**Πίνακας 13** Οριστικώς προσδιορισμένα ιδιαιτέρως τροποποιημένα υδατικά συστήματα στο Υδατικό Διαμέρισμα Ηπείρου (EL05)

ΟΝΟΜΑΣΙΑ	ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ	ΕΙΔΟΣ ΥΣ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ – ΜΗΚΟΣ	ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	ΧΗΜΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	«ΚΑΘΟΡΙΣΜΕΝΗ ΧΡΗΣΗ ΥΔΑΤΟΣ» ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟ ΑΡΘΡΟ 4(3)(α) της ΟΠΥ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ
<b>ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΑΩΟΥ (EL0511)</b>							
ΤΕΧΝΗΤΗ ΛΙΜΝΗ ΠΗΓΩΝ ΑΩΟΥ	EL0511RLA0200080H	RL	8,21 km <sup>2</sup>	Καλή	Καλή	Αποθήκευση ύδατος: Παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας, άρδευση	ΙΤΥΣ
<b>ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΚΑΛΑΜΑ (EL0512)</b>							
ΜΕΤΣΟΒΙΤΙΚΟΣ Π. 1	EL0514R000208066H	R	13,37 km	Άγνωστη	Καλή	Αποθήκευση ύδατος: Παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας	ΙΤΥΣ
ΛΙΜΝΗ ΠΑΜΒΟΤΙΔΑ	EL0512L0000000004H	L	19,24 km <sup>2</sup>	Κακή	Καλή	Προστασία από πλημμύρες	ΙΤΥΣ
ΚΛΗΜΑΤΙΑΣ Ρ.	EL0512R000212138H	R	6,20 km	Μέτρια	Άγνωστη	Προστασία από πλημμύρες	ΙΤΥΣ
ΟΡΜΟΣ ΗΓΟΥΜΕΝΙΤΣΑΣ	EL0512C0003H	C	9,15 km <sup>2</sup>	Χωρίς σταθμό	Καλή	Ναυσιπλοία συμπεριλαμβανομένων των λιμενικών εγκαταστάσεων	ΙΤΥΣ
<b>ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΑΡΑΧΘΟΥ (EL0514)</b>							
ΤΕΧΝΗΤΗ ΛΙΜΝΗ ΠΟΥΡΝΑΡΙΟΥ	EL0514RL00200003H	RL	22,02 km <sup>2</sup>	Καλή	Καλή	Αποθήκευση ύδατος: Παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας, άρδευση	ΙΤΥΣ
ΤΕΧΝΗΤΗ ΛΙΜΝΗ ΠΟΥΡΝΑΡΙΟΥ II	EL0514RL00200002H	RL	0,70 km <sup>2</sup>	Καλή	Καλή		ΙΤΥΣ
<b>ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΚΕΡΚΥΡΑΣ - ΠΑΖΩΝ (EL0534)</b>							
ΟΡΜΟΣ ΓΑΡΙΤΣΑΣ ΚΑΙ ΛΙΜΕΝΑΣ ΚΕΡΚΥΡΑΣ	EL0534C0011H	C	20,48 km <sup>2</sup>	Χωρίς σταθμό	Άγνωστη	Ναυσιπλοία συμπεριλαμβανομένων των λιμενικών εγκαταστάσεων	ΙΤΥΣ
<b>ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΚΑΛΑΜΑ (EL0512)</b>							
ΤΕΧΝΗΤΟ ΤΜΗΜΑ ΕΚΒΟΛΗΣ ΚΑΛΑΜΑ 2	EL0512R000202025A	R	3,07 km	Καλή	Άγνωστη	Προστασία από πλημμύρες	ΤΥΣ
ΤΕΧΝΗΤΟ ΤΜΗΜΑ ΕΚΒΟΛΗΣ ΚΑΛΑΜΑ 1	EL0512R000202026A	R	2,63 km	Άγνωστη	Άγνωστη	Προστασία από πλημμύρες	ΤΥΣ
ΤΑΦΡΟΣ ΛΑΨΙΣΤΑΣ	EL0512R000212139A	R	19,26 km	Μέτρια	Άγνωστη	Προστασία από πλημμύρες	ΤΥΣ

\*ΙΤΥΣ: Ιδιαιτέρα τροποποιημένο ΥΣ, ΤΥΣ: Τεχνητό ΥΣ



**Σχήμα 17** Εποπτική εικόνα των ιδιαίτερος τροποποιημένων και των τεχνητών υδατικών συστημάτων στο Υδατικό Διαμέρισμα Ηπείρου (EL05)

## Πιέσεις στο υδάτινο διαμέρισμα

Κατά την εκπόνησης του σχεδίου διαχείρισης των λεκανών απορροής του υδατικού διαμερίσματος αρχικά προσδιορίστηκαν οι ανθρωπογενείς πιέσεις στους υδάτινους πόρους τους διαμερίσματος. Συγχρόνως στα πλαίσια της 1<sup>ης</sup> αναθεώρησης του σχεδίου διαχείρισης πραγματοποιήθηκε επικαιροποίηση της κατάστασης των πιέσεων.

Ως ανθρωπογενείς πιέσεις στα υδατικά συστήματα, ορίζονται το σύνολο των ανθρώπινων δραστηριοτήτων που επηρεάζουν ή μπορούν να επηρεάσουν τα υδατικά συστήματα της περιοχής, στην οποία αναπτύσσονται. Οι πιέσεις διακρίνονται σε:

- Σημειακές πηγές ρύπανσης
- Διάχυτες πηγές ρύπανσης
- Έργα ρύθμισης της ροής ύδατος και υδρομορφολογικές αλλοιώσεις
- Απολήψεις ύδατος
- Τεχνητός εμπλουτισμός των υπογείων υδάτων
- Μεταβολή στάθμης υπόγειου ύδατος ή του όγκου
- Άλλα είδη ανθρωπογενών πιέσεων
- Επιβάρυνση των υδάτων από άλλες πηγές



Στα πλαίσια αξιολόγησης του φαινομένου της υφαλμύρισης στο υδατικό διαμέρισμα της Ηπείρου οι πιέσεις οι οποίες αξιολογούνται και παρουσιάζονται αφορούν κύρια, τυχόν έργα ρύθμισης της ροής των υδάτων, απολήψεις ύδατος, προγράμματα τεχνητού εμπλουτισμού και καταγεγραμμένες μεταβολές της στάθμης του υπόγειου ύδατος ή του όγκου.

### Υδρομορφολογικές πιέσεις

Οι υδρομορφολογικές αλλοιώσεις προκαλούνται από τεχνικά έργα τα οποία είναι δυνατό να μεταβάλουν τις συνθήκες των υπογείων και των επιφανειακών υδάτων του υδατικού διαμερίσματος. Στον παρακάτω Πίνακα 14 δίνονται στατιστικά στοιχεία των υδρομορφολογικών αλλοιώσεων στο Υδατικό Διαμέρισμα Ηπείρου.

**Πίνακας 14** Στατιστικά στοιχεία υδρομορφολογικών αλλοιώσεων στο Υδατικό Διαμέρισμα Ηπείρου

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΥΔΡΟΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΗΣ ΑΛΛΟΙΩΣΗΣ	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΥΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ
Επεμβάσεις σε υδατορεύματα	6	8
Υδροηλεκτρικά Φράγματα	2	3
Έργα διαχείρισης ποταμών (διευθετήσεις, αναχώματα)	2	3
Έργα ρύθμισης ροής	2	2
Επεμβάσεις σε φυσικές λίμνες	1	1
Έργα απόληψης υδάτων	1	1
Επεμβάσεις σε ακτές και παράκτια Ύδατα	2	2
Τροποποιήσεις της ακτογραμμής	2	2
ΣΥΝΟΛΟ ΥΔ05	9	11

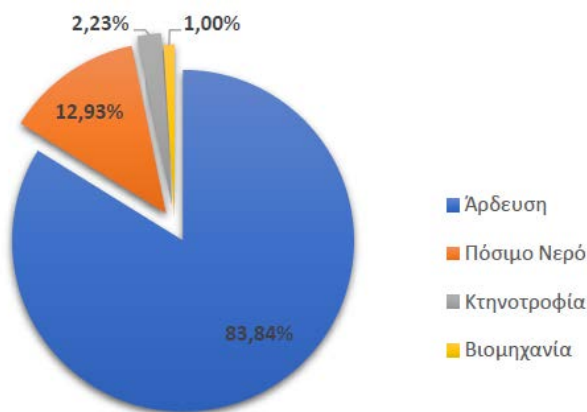
### Απολήψεις ύδατος

#### Εισαγωγή

Οι απολήψεις υδάτων τόσο από τους επιφανειακούς όσο και από τους υπόγειου υδάτινους πόρους επηρεάζουν του ισοζύγιο ύδατος στο υδατικό διαμέρισμα. Παρακάτω δίνονται στοιχεία των απολήψεων ύδατος όπως αυτά παρουσιάζονται στην 1<sup>η</sup> αναθεώρηση του Σχεδίου Διαχείρισης Λεκανών Απορροής του Υδατικού Διαμερίσματος Ηπείρου. Οι κατηγορίες των δραστηριοτήτων και χρήσεων που εξετάστηκαν περιλαμβάνουν:

- Πόσιμο νερό (Υδρευση και Τουρισμός)
- Άρδευση
- Νερό κτηνοτροφίας
- Νερό βιομηχανίας

Από τις ανωτέρω επιμέρους κατηγορίες προκύπτουν οι συγκεντρωτικές εκτιμώμενες απολήψεις ύδατος που πραγματοποιούνται στο Υδατικό Διαμέρισμα Ηπείρου, οι οποίες ανέρχονται σε περίπου 449 hm<sup>3</sup> ανά έτος. Από αυτές, το μεγαλύτερο μέρος τους προορίζεται για άρδευση (376 hm<sup>3</sup>), ένα σημαντικό μέρος για πόσιμο νερό (58 hm<sup>3</sup>), ενώ σαφώς μικρότερες είναι οι εκτιμώμενες απολήψεις για κτηνοτροφία (10 hm<sup>3</sup>) βιομηχανία αντίστοιχα (4,5 hm<sup>3</sup>). Η κατανομή των διαφόρων χρήσεων στις απολήψεις που πραγματοποιούνται στο ΕΛ05, φαίνεται στο παρακάτω γράφημα.



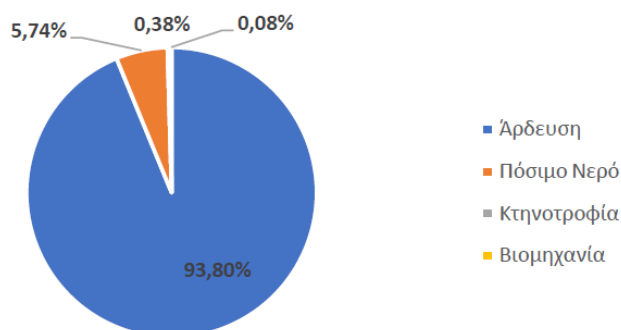
**Σχήμα 18** Κατανομή ετήσιων απολήψεων ύδατος στο Υδατικό Διαμέρισμα Ηλείου (EL05)

Από αυτές εκτιμάται ότι περίπου 287 hm<sup>3</sup> (64%) αφορούν απολήψεις από επιφανειακά υδατικά συστήματα και περίπου 162 hm<sup>3</sup> (36%) από υπόγεια. Στις απολήψεις από υπόγεια ύδατα συμπεριλαμβάνεται και το μεγαλύτερο τμήμα των υδρευτικών απολήψεων της Λευκάδας (≈ 3,5 hm<sup>3</sup>) που πραγματοποιείται από τις πηγές Αγ. Γεωργίου κοντά στον π. Λούρο.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι συνολικές εκτιμώμενες απολήψεις ανά Λεκάνη Απορροής και ανά χρήση στο Υδατικό Διαμέρισμα Ηλείου. Διευκρινίζεται επειδή ότι αρκετά υπόγεια υδατικά συστήματα στο ΥΔ05, εκτείνονται σε περισσότερες από μία ΛΑΠ, τα στοιχεία που παρουσιάζονται έχουν προκύψει κατά κύριο με βάση την εκτιμώμενη ζήτηση ανά ΛΑΠ και δευτερευόντως με βάση γνωστά σημεία υδροληψίας επιφανειακών και υπόγειων ΥΣ.

#### **Λεκάνη Απορροής Αώου (EL0511)**

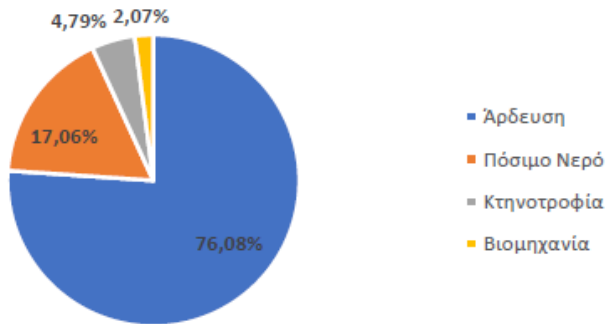
Στη Λεκάνη Απορροής του Αώου οι συνολικές εκτιμώμενες απολήψεις ανέρχονται σε 26,1 hm<sup>3</sup>. Από αυτές, το μεγαλύτερο μέρος τους προορίζεται για άρδευση (24,5 hm<sup>3</sup>), και ένα μέρος για πόσιμο νερό (1,5 hm<sup>3</sup>), ενώ οι εκτιμώμενες απολήψεις για κτηνοτροφία και βιομηχανία είναι σχεδόν μηδενικές. Η κατανομή των διαφόρων χρήσεων στις απολήψεις που πραγματοποιούνται στη ΛΑΠ Αώου, φαίνεται στο παρακάτω γράφημα (Σχήμα 19).



**Σχήμα 19** Κατανομή ετήσιων απολήψεων ύδατος στη ΛΑΠ Αώου (EL0511)

#### **Λεκάνη Απορροής Καλαμά (EL0512)**

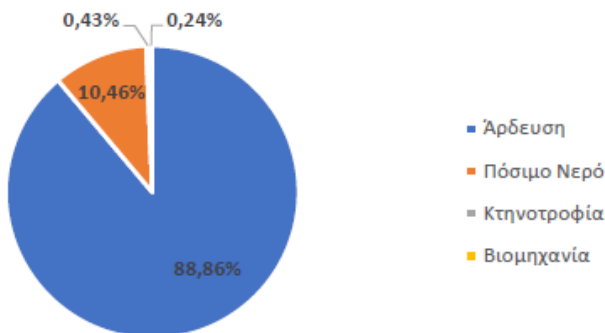
Στη Λεκάνη Απορροής του Καλαμά οι συνολικές εκτιμώμενες απολήψεις ανέρχονται σε 127,2 hm<sup>3</sup>. Από αυτές, το μεγαλύτερο μέρος τους προορίζεται για άρδευση (96,8 hm<sup>3</sup>), ένα σημαντικό μέρος για πόσιμο νερό (21,7 hm<sup>3</sup>), ενώ σαφώς μικρότερες είναι οι εκτιμώμενες απολήψεις για κτηνοτροφία (6,1 hm<sup>3</sup>) βιομηχανία αντίστοιχα (2,6 hm<sup>3</sup>). Η κατανομή των διαφόρων χρήσεων στις απολήψεις που πραγματοποιούνται στη ΛΑΠ Καλαμά, φαίνεται στο παρακάτω γράφημα (Σχήμα 20).



**Σχήμα 20** Κατανομή ετήσιων απολήψεων ύδατος στη ΛΑΠ Καλαμά (EL0512)

#### **Λεκάνη Απορροής Αχέροντος (EL0513)**

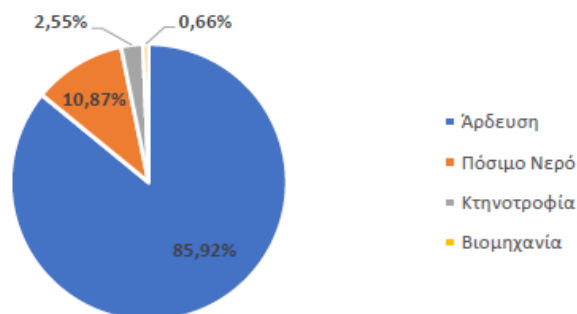
Στη Λεκάνη Απορροής του Αχέροντος οι συνολικές εκτιμώμενες απολήψεις ανέρχονται σε 69,8 hm<sup>3</sup>. Από αυτές, το μεγαλύτερο μέρος τους προορίζεται για άρδευση (62,0 hm<sup>3</sup>), ένα σημαντικό μέρος για πόσιμο νερό (7,3 hm<sup>3</sup>), ενώ σαφώς μικρότερες είναι και στη ΛΑΠ Αχέροντος, οι εκτιμώμενες απολήψεις για κτηνοτροφία (0,3 hm<sup>3</sup>) και βιομηχανία (0,2 hm<sup>3</sup>). Η κατανομή των διαφόρων χρήσεων στις απολήψεις που πραγματοποιούνται στη ΛΑΠ Αχέροντος, φαίνεται στο παρακάτω γράφημα (Σχήμα 21).



**Σχήμα 21** Κατανομή ετήσιων απολήψεων ύδατος στη ΛΑΠ Αχέροντος (EL0513)

#### **Λεκάνη Απορροής Αράχθου (EL0514)**

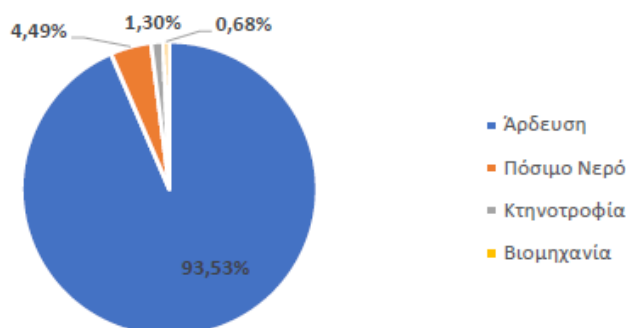
Στη Λεκάνη Απορροής του Αράχθου οι συνολικές εκτιμώμενες απολήψεις ανέρχονται σε 74,5 hm<sup>3</sup>. Από αυτές, το μεγαλύτερο μέρος τους προορίζεται για άρδευση (64 hm<sup>3</sup>), ένα μέρος για πόσιμο νερό (8,1 hm<sup>3</sup>), ενώ σαφώς μικρότερες είναι οι εκτιμώμενες απολήψεις για κτηνοτροφία (1,9 hm<sup>3</sup>) βιομηχανία αντίστοιχα (0,5 hm<sup>3</sup>). Η κατανομή των διαφόρων χρήσεων στις απολήψεις που πραγματοποιούνται στη ΛΑΠ Αράχθου, φαίνεται στο παρακάτω γράφημα (Σχήμα 22).



**Σχήμα 22** Κατανομή ετήσιων απολήψεων ύδατος στη ΛΑΠ Αράχθου (EL0514)

### Λεκάνη Απορροής Λούρου (EL0546)

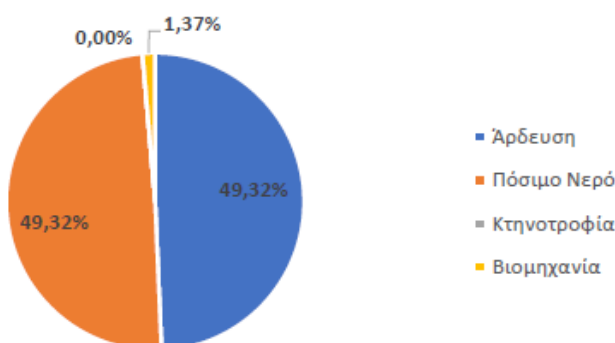
Στη Λεκάνη Απορροής του Λούρου οι συνολικές εκτιμώμενες απολήψεις ανέρχονται σε 122,6 hm<sup>3</sup>. Από αυτές, το μεγαλύτερο μέρος τους προορίζεται για άρδευση (114,7 hm<sup>3</sup>), ένα μέρος για πόσιμο νερό (5,5hm<sup>3</sup>), ενώ σαφώς μικρότερες είναι οι εκτιμώμενες απολήψεις για κτηνοτροφία (1,6 hm<sup>3</sup>) βιομηχανία αντίστοιχα (0,8 hm<sup>3</sup>). Η κατανομή των διαφόρων χρήσεων στις απολήψεις που πραγματοποιούνται στη ΛΑΠ Λούρου, φαίνεται στο παρακάτω γράφημα (Σχήμα 23).



Σχήμα 23 Κατανομή ετήσιων απολήψεων ύδατος στη ΛΑΠ Λούρου (EL0546)

### Λεκάνη Απορροής Κέρκυρας – Παξών (EL0534)

Στη Λεκάνη Απορροής Κέρκυρας - Παξών οι συνολικές εκτιμώμενες απολήψεις ανέρχονται σε 27,8 hm<sup>3</sup>. Από αυτές, και σε αντίθεση με τις υπόλοιπες ΛΑΠ, οι ανάγκες για ύδρευση και για άρδευση έχουν την ίδια τιμή (13,7 hm<sup>3</sup>), ενώ σαφώς μικρότερες είναι οι εκτιμώμενες απολήψεις για βιομηχανία (0,4 hm<sup>3</sup>) και μηδενικές για κτηνοτροφία. Η κατανομή των διαφόρων χρήσεων στις απολήψεις που πραγματοποιούνται στη ΛΑΠ Κέρκυρας - Παξών, φαίνεται στο παρακάτω γράφημα (Σχήμα 24).



Σχήμα 24 Κατανομή ετήσιων απολήψεων ύδατος στη ΛΑΠ Κέρκυρας - Παξών (EL0534)

### Απολήψεις από επιφανειακά υδατικά συστήματα

Στους Πίνακες που ακολουθούν δίδονται ανά λεκάνη απορροής τα αναλυτικά στοιχεία απολήψεων ανά επιφανειακό υδατικό σύστημα σύμφωνα με στοιχεία της 1<sup>ης</sup> Αναθεώρησης του Σχεδίου Διαχείρισης Λεκανών Απορροής της Ηπείρου. Στις περισσότερες περιπτώσεις ΥΣ, όπου τα δεδομένα είναι ανεπαρκή, η εκτίμηση του μεγέθους της απόληψης γίνεται θεωρητικά. Επίσης στα πλαίσια της ανωτέρω μελέτης, συνεκτιμήθηκαν δεδομένα που αντλήθηκαν από προηγούμενες μελέτες και στοιχεία από διάφορες υπηρεσίες (Περιφερειακές Διευθύνσεις Υδάτων, Δήμοι, ΔΕΥΑ, ΤΟΕΒ/ΓΟΕΒ, ΔΕΗ). Εξάλλου, η πλήρης καταγραφή των απολήψεων είναι σε εξέλιξη μέσω της κατάρτισης του Εθνικού Μητρώου Σημείων Υδροληψίας (ΕΜΣΥ).



Για λόγους πληρότητας, απεικονίζονται τόσο ετήσιος όσο και ο θερινός (δηλαδή για το διάστημα Ιουλίου – Σεπτεμβρίου) όγκος απόληψης ως ποσοστό (%) του μέσου ετήσιου και θερινού αντίστοιχα φυσικού όγκου απορροής.

#### Λεκάνη Απορροής Αώου (EL0511)

Ετήσιες απολήψεις ύδατος από τα επιφανειακά ΥΣ της ΛΑΠ Αώου (EL0511)

ΚΩΔΙΚΟΣ ΥΣ	ΥΔΑΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ	ΕΙΔΟΣ ΥΣ	ΕΤΗΣΙΑ ΑΠΟΛΗΨΙΜΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ (εκ.μ3/έτος)	ΣΚΟΠΟΣ ΑΠΟΛΗΨΗΣ	ΕΤΗΣΙΟΣ ΟΓΚΟΣ ΑΠΟΛΗΨΗΣ (%ΜΕΣΗΣ ΕΤΗΣΙΑΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ)	ΘΕΡΙΝΟΣ ΟΓΚΟΣ ΑΠΟΛΗΨΗΣ (% ΜΕΣΗΣ ΘΕΡΙΝΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ)
EL0511RLA0200080H	ΤΕΧΝΗΤΗ ΛΙΜΝΗ	RL	0,91	ΑΡΔΕΥΣΗ	0,91 %	-
EL0511R0A0201001N	ΑΩΟΣ Π. 1	R	16,38	ΑΡΔΕΥΣΗ	1,42	9,07
EL0511R0A0204009N	ΒΟΪΔΟΜΑΤΗΣ	R	3,79	ΑΡΔΕΥΣΗ	0,92	8,56
EL0511R0A0204010N	ΒΟΪΔΟΜΑΤΗΣ	R	3,79	ΑΡΔΕΥΣΗ	0,99	9,14

#### Λεκάνη Απορροής Καλαμά (EL0512)

Ετήσιες απολήψεις ύδατος από τα επιφανειακά ΥΣ της ΛΑΠ Καλαμά (EL0512)

ΚΩΔΙΚΟΣ ΥΣ	ΥΔΑΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ	ΕΙΔΟΣ ΥΣ	ΕΤΗΣΙΑ ΑΠΟΛΗΨΙΜΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ (εκ.μ3/έτος)	ΣΚΟΠΟΣ ΑΠΟΛΗΨΗΣ	ΕΤΗΣΙΟΣ ΟΓΚΟΣ ΑΠΟΛΗΨΗΣ (% ΜΕΣΗΣ ΕΤΗΣΙΑΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ)	ΘΕΡΙΝΟΣ ΟΓΚΟΣ ΑΠΟΛΗΨΗΣ (% ΜΕΣΗΣ ΘΕΡΙΝΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ)
EL0512R000200027N	ΘΥΑΜΙΣ Π. ΚΑΛΑΜΑΣ 3	R	45,06	ΑΡΔΕΥΣΗ	3,15%	24,68%
EL0512R000200029N	ΘΥΑΜΙΣ Π. ΚΑΛΑΜΑΣ 4	R	28,08	ΑΡΔΕΥΣΗ	2,01%	16,04%
EL0512R000200032N	ΘΥΑΜΙΣ Π. ΚΑΛΑΜΑΣ 5	R	15,30	ΑΡΔΕΥΣΗ	1,22%	9,51%
EL0512R000200033N	ΘΥΑΜΙΣ Π. ΚΑΛΑΜΑΣ 6	R	15,30	ΑΡΔΕΥΣΗ	1,29%	10,04%
EL0512R000200034N	ΘΥΑΜΙΣ Π. ΚΑΛΑΜΑΣ 7	R	13,65	ΑΡΔΕΥΣΗ	1,17%	9,07%
EL0512R000200040N	ΘΥΑΜΙΣ Π. ΚΑΛΑΜΑΣ 8	R	12,74	ΑΡΔΕΥΣΗ	4,15%	32,23%
EL0512L000000004H	ΛΙΜΝΗ ΠΑΜΒΩΤΙΔΑ	L	28,49	ΑΡΔΕΥΣΗ	35,03%	-

Το ποτάμιο υδατικό σύστημα «Θύαμις Π. Καλαμάς 3» υπόκειται σε απολήψεις για την κάλυψη των αρδευτικών αναγκών των ΤΟΕΒ Ράγιου και Σαγιάδας από το αρδευτικό φράγμα Γιτάνης και όλων των εκτάσεων για καλλιέργεια μανταρινιών που έχουν λάβει άδεια χρήσης ύδατος. Στην περίπτωση της Λίμνης Παμβώτιδας στο κλειστό λεκανοπέδιο Ιωαννίνων, οι υπόγειες διαφυγές της προς τις γειτονικές λεκάνες Καλαμά, Λούρου και Αράχθου εκτιμώνται ίσες συνολικά με το 55% της ετήσιας αναπλήρωσης. Επίσης, για τον υπολογισμό του ποσοστιαίου ετήσιου όγκου απόληψης δεν

περιλαμβάνονται οι ποσότητες που διαφεύγουν από τη λίμνη λόγω υπερχειλίσσεων (περίπου 34 εκατ.μ<sup>3</sup>).

#### Λεκάνη Απορροής Αχέροντος (ΕΛ0513)

Ετήσιες απολήψεις ύδατος από τα επιφανειακά ΥΣ της ΛΑΠ Αχέροντος (ΕΛ0513)

ΚΩΔΙΚΟΣ ΥΣ	ΥΔΑΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ	ΕΙΔΟΣ ΥΣ	ΕΤΗΣΙΑ ΑΠΟΛΗΨΙΜΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ (εκ.μ <sup>3</sup> /έτος)	ΣΚΟΠΟΣ ΑΠΟΛΗΨΗΣ	ΕΤΗΣΙΟΣ ΟΓΚΟΣ ΑΠΟΛΗΨΗΣ (% ΜΕΣΗΣ ΕΤΗΣΙΑΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ)	ΘΕΡΙΝΟΣ ΟΓΚΟΣ ΑΠΟΛΗΨΗΣ (% ΜΕΣΗΣ ΘΕΡΙΝΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ)
ΕΛ0513R000200045N	ΑΧΕΡΩΝ Π.	R	37,33	ΑΡΔΕΥΣΗ	10,31%	76,17%
ΕΛ0513R000200046N	ΑΧΕΡΩΝ Π.	R	2,02	ΑΡΔΕΥΣΗ	0,64%	11,54%
ΕΛ0513R000200047N	ΑΧΕΡΩΝ Π.	R	2,02	ΑΡΔΕΥΣΗ	0,96%	17,34%
ΕΛ0513R000201043N	ΑΧΕΡΩΝ Π.	R	63,44	ΑΡΔΕΥΣΗ	9,98%	89,19%
ΕΛ0513R000202044N	ΑΧΕΡΩΝ Π. (ΜΑΥΡΟΠΟΤΑΜ)	R	21,48	ΑΡΔΕΥΣΗ	9,14%	88,51%

#### Λεκάνη Απορροής Λούρου (ΕΛ0546)

Ετήσιες απολήψεις ύδατος από τα επιφανειακά ΥΣ της ΛΑΠ Λούρου (ΕΛ0546)

ΚΩΔΙΚΟΣ ΥΣ	ΥΔΑΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ	ΕΙΔΟΣ ΥΣ	ΕΤΗΣΙΑ ΑΠΟΛΗΨΙΜΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ (εκ.μ <sup>3</sup> /έτος)	ΣΚΟΠΟΣ ΑΠΟΛΗΨΗΣ	ΕΤΗΣΙΟΣ ΟΓΚΟΣ ΑΠΟΛΗΨΗΣ (% ΜΕΣΗΣ ΕΤΗΣΙΑΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ)	ΘΕΡΙΝΟΣ ΟΓΚΟΣ ΑΠΟΛΗΨΗΣ (% ΜΕΣΗΣ ΘΕΡΙΝΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ)
ΕΛ0546R000200078N	ΛΟΥΡΟΣ Π. 2	R	84,17	ΥΔΡΕΥΣΗ-ΑΡΔΕΥΣΗ	17,27%	65,62%
ΕΛ0546R000200080N	ΛΟΥΡΟΣ Π. 3	R	10,18	ΥΔΡΕΥΣΗ-ΑΡΔΕΥΣΗ	2,70%	7,54%
ΕΛ0546R000200081N	ΛΟΥΡΟΣ Π. 4	R	10,18	ΥΔΡΕΥΣΗ-ΑΡΔΕΥΣΗ	2,75%	7,65%
ΕΛ0546R000201077N	ΛΟΥΡΟΣ Π. 1	R	84,17	ΥΔΡΕΥΣΗ-ΑΡΔΕΥΣΗ	10,91%	41,45%

Για τα ποτάμια ΥΣ του ποταμού Λούρου, η απόληψη λόγω ύδρευσης καλύπτει της υδρευτικές ανάγκες της πόλης της Άρτας ενώ οι απολήψεις λόγω άρδευσης εξυπηρετούν το σύστημα αρδεύσεων της Πεδιάδας Άρτας που αποτελεί τον μεγαλύτερο καταναλωτή αρδευτικού ύδατος. Το σύστημα αυτό με πηγές υδροδότησης τους ποταμούς Λούρο και Άραχθο περιλαμβάνει τους ΤΟΕΒ Λούρου, Β' ζώνης Λούρου (Βίγλας) και Αράχθου.

#### Λεκάνη Απορροής Αράχθου (ΕΛ0514)

Ετήσιες απολήψεις ύδατος από τα επιφανειακά ΥΣ της ΛΑΠ Αράχθου (ΕΛ0514)

ΚΩΔΙΚΟΣ ΥΣ	ΥΔΑΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ	ΕΙΔΟΣ ΥΣ	ΕΤΗΣΙΑ ΑΠΟΛΗΨΙΜΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ (εκ.μ <sup>3</sup> /έτος)	ΣΚΟΠΟΣ ΑΠΟΛΗΨΗΣ	ΕΤΗΣΙΟΣ ΟΓΚΟΣ ΑΠΟΛΗΨΗΣ (% ΜΕΣΗΣ ΕΤΗΣΙΑΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ)	ΘΕΡΙΝΟΣ ΟΓΚΟΣ ΑΠΟΛΗΨΗΣ (% ΜΕΣΗΣ ΘΕΡΙΝΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ)
ΕΛ0514R000200051N	ΑΡΑΧΘΟΣ Π. 2	R	41,96	ΑΡΔΕΥΣΗ	2,78%	27,08%

EL0514RL00200082H	ΤΕΧΝΗΤΗ ΛΙΜΝΗ	RL	43,21	ΑΡΔΕΥΣΗ	2,91%	-
EL0514R000201050N	ΑΡΑΧΘΟΣ Π. 1	R	41,96	ΑΡΔΕΥΣΗ	2,73%	26,64%
EL0514R000204053N	ΣΑΡΑΝΤΑΠΟΡΟ	R	1,25	ΑΡΔΕΥΣΗ	1,53%	22,78%

Η απόληψη που πραγματοποιείται στην Τεχνητή Λίμνη Πουρναρίου II, τροφοδοτεί το σύστημα αρδεύσεων της Πεδιάδας Άρτας. Σύμφωνα με στοιχεία της ΔΕΗ (2000-2016) η απόληψη που πραγματοποιείται είναι αρκετά μεγαλύτερη του ετήσιου όγκου απολήψεων λόγω άρδευσης που λαμβάνεται για τον υπολογισμό της έντασης απόληψης ( $221,7 \text{ hm}^3$  έναντι  $43,2 \text{ hm}^3$ ). Αυτό αιτιολογείται από το γεγονός ότι από το Πουρνάρι II αρδεύουν πολλά παλαιά δίκτυα που έχουν έντονη ανάγκη εκσυγχρονισμού και επισκευών, με αποτέλεσμα τα δίκτυα να λειτουργούν συχνά σε οριακή κατάσταση με μεγάλες απώλειες ύδατος, ενώ γενικώς η χρήση του ύδατος δεν γίνεται σύμφωνα με τις ορθές γεωργικές πρακτικές. Επομένως, ένα σημαντικό κομμάτι του ύδατος που λαμβάνεται για άρδευση χρησιμοποιείται για να αντισταθμίσει τις απώλειες αυτές και για να διατηρήσει ένα ορισμένο επίπεδο στάθμης ώστε να είναι δυνατή η επαρκής άρδευση των εκτάσεων. Το νερό αυτό θεωρείται ότι επιστρέφει σε ένα σημαντικό βαθμό στα υδατικά συστήματα κατάντη του Αράχθου. Έτσι, η υπόθεση ότι η απόληψη ισούται περίπου με τις πραγματικές ανάγκες των αρδευόμενων εκτάσεων σε νερό θεωρείται επαρκής.

#### Λεκάνη Απορροής Κέρκυρας – Παξών (EL0534)

Ετήσιες απολήψεις ύδατος από τα επιφανειακά ΥΣ της ΛΑΠ Κέρκυρας - Παξών (EL0534)

ΚΩΔΙΚΟΣ ΥΣ	ΥΔΑΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ	ΕΙΔΟΣ ΥΣ	ΕΤΗΣΙΑ ΑΠΟΛΗΨΙΜΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ (εκ.μ <sup>3</sup> /έτος)	ΣΚΟΠΟΣ ΑΠΟΛΗΨΗΣ	ΕΤΗΣΙΟΣ ΟΓΚΟΣ ΑΠΟΛΗΨΗΣ (% ΜΕΣΗΣ ΕΤΗΣΙΑΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ)	ΘΕΡΙΝΟΣ ΟΓΚΟΣ ΑΠΟΛΗΨΗΣ (% ΜΕΣΗΣ ΘΕΡΙΝΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ)
EL0534R000501082N	ΦΟΝΙΣΑΣ Π.	R	0,21	ΑΡΔΕΥΣΗ	0,29%	5,98%

#### Απολήψεις από υπόγεια υδατικά συστήματα

Από τα υπόγεια υδατικά συστήματα του ΥΔ Ηπείρου σημειώνονται φαινόμενα υπερεκμετάλλευσης (τοπικά) στα ΥΥΣ : Χερσονήσου Πρέβεζας (EL0500140), Ασβεστολίθων Κέρκυρας (EL0500010) και κοκκωδών υδροφοριών Κέρκυρας (EL0500030), που έχουν ως αποτέλεσμα την εντονότερη ή τοπική υφαλμύριση. Στους πίνακες που ακολουθούν δίδονται τα αναλυτικά στοιχεία των αντλήσεων ανά υπόγειο υδατικό σύστημα για κάθε μια λεκάνη απορροής (ΛΑΠ).

#### Λεκάνη απορροής Αώου (EL0511)

Ετήσια τροφοδοσία και απολήψεις από τα υπόγεια υδατικά συστήματα της ΛΑΠ Αώου (EL0511)

Κωδικός	Ονομασία	Μέση Ετήσια Τροφοδοσία ( $10^6 \text{ m}^3$ )	Μέσες Ετήσιες Απολήψεις ( $10^6 \text{ m}^3$ )	Άρδευση ( $10^6 \text{ m}^3$ )	Υδρευση ( $10^6 \text{ m}^3$ )
EL0500100	Σύστημα Τύμφης	160	0,2	0,2	
EL0500220	Σύστημα υδροφοριών Σαραντάπορου-Αώου	50	1,6	1,3	0,3

EL0500230	Σύστημα υδροφοριών Σμόλικα-Μαυροβουνίου	25	0,9	0,2	0,7
-----------	--	----	-----	-----	-----

### Λεκάνη απορροής Καλαμά (EL0512)

Ετήσια τροφοδοσία και απολήψεις από τα υπόγεια υδατικά συστήματα της ΛΑΠ Καλαμά (EL0512)

Κωδικός	Ονομασία	Μέση Ετήσια Τροφοδοσία (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Μέσες Ετήσιες Απολήψεις (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Άρδευση (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Υδρευση (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )
EL050A060	Σύστημα Μουργκάνας	40	0,9		0,9
EL050A070	Σύστημα Φιλιατών- Ηγουμενίτσας	180	5,9	3,1	2,8
EL0500080	Σύστημα Μέσου Ρου Καλαμά	40	0,7	0,7	
EL0500110	Σύστημα Κληματιάς	154	12,9	2,2	10,7
EL0500120	Σύστημα Κασιδιάρη	35	1,2	1,2	
EL0500180	Σύστημα Μιτισκελίου- Βελλά	110	21,1	1,4	19,7
EL050A190	Σύστημα Πωγώνιανης	200	0,6	0,6	
EL 0500200	Σύστημα υδροφοριών π. Καλαμά	35	1,9	1,6	0,3
EL0500210	Σύστημα Κουρέντων	20	0,3	0.1	0.2

### Λεκάνη απορροής Αχέροντος (EL0513)

Ετήσια τροφοδοσία και απολήψεις από τα υπόγεια υδατικά συστήματα της ΛΑΠ Αχέροντος (EL0513)

Κωδικός	Ονομασία	Μέση Ετήσια Τροφοδοσία (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Μέσες Ετήσιες Απολήψεις (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Άρδευση (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Υδρευση (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )
EL0500090	Σύστημα Σουλίου- Παραμυθιάς	220	2,9	1,9	1,0
EL0500130	Σύστημα Κορώνης	105	2,1	1,5	0,6
EL0500140	Σύστημα Χερσονήσου Πρέβεζας	40	5,8	5,3	0,5
EL0500170	Σύστημα Πάργας	100	2,2	0,6	1,6
EL0500260	Σύστημα υδροφοριών άνω ρου Αχέροντος- ρέματος Αρέθουα	9	0,8	0,8	
EL0500270	Σύστημα Εκβολών Αχέροντος - π. Κωκυτού	27	0,3	0,3	

### Λεκάνη απορροής Αράχθου (EL0514)

Ετήσια τροφοδοσία και απολήψεις από τα υπόγεια υδατικά συστήματα της ΛΑΠ Αράχθου (EL0514)

Κωδικός	Ονομασία	Μέση Ετήσια Τροφοδοσία (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Μέσες Ετήσιες Απολήψεις (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Άρδευση (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Υδρευση (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )
EL0500240	Σύστημα υδροφοριών π. Αραχθού	63,5	19,5	17,2	2,3

### Λεκάνη απορροής Λούρου (EL0546)

Ετήσια τροφοδοσία και απολήψεις από τα υπόγεια υδατικά συστήματα της ΛΑΠ Λούρου (EL0546)

Κωδικός	Ονομασία	Μέση Ετήσια Τροφοδοσία (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Μέσες Ετήσιες Απολήψεις (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Άρδευση (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Υδρευση (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )
EL0500150	Σύστημα Λούρου	506	15	7,2	7,8
EL0500160	Σύστημα Άρτας	140	35,4	35,0	0,4
EL0500250	Σύστημα Ζαλόγγου	10	0,8	0,3	0,5

### Λεκάνη απορροής Κέρκυρας - Παξών (EL0534)

Ετήσια τροφοδοσία και απολήψεις από τα υπόγεια υδατικά συστήματα της ΛΑΠ Κέρκυρας – Παξών (EL0534)

Κωδικός	Ονομασία	Μέση Ετήσια Τροφοδοσία (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Μέσες Ετήσιες Απολήψεις (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Άρδευση (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Υδρευση (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )
EL0500010	Σύστημα Ασβεστολίθων Ν.Κέρκυρας	75	7,6		7,6
EL0500020	Σύστημα Τριαδικών Λατυποπαγών Ν.Κέρκυρας	40	8,0	3,0	5,0
EL0500030	Σύστημα κοκκωδών υδροφοριών Ν.Κέρκυρας	64	13,1	9,8	3,3
EL0500040	Σύστημα Ν.Παξών- Αντίπαξων	10	0,3	0,3	0,003
EL0500050	Σύστημα Ν. Οθωνών- Ερεϊκούσας - Μαθρακίου	3	0,2		0,2

### Λοιπές πιέσεις

#### Τεχνητός εμπλουτισμός των υπογείων υδάτων

Στην περιοχή της Ηπείρου (του υδατικού διαμερίσματος) δεν έχει γίνει κάποια μελέτη για εφαρμογή προγράμματος τεχνητού εμπλουτισμού. Θα μπορούσε να εξετασθεί η δυνατότητα εφαρμογής προγράμματος τεχνητού εμπλουτισμού στο υπόγειο υδατικό σύστημα Χερσονήσου Πρέβεζας (EL0500140) στο οποίο παρατηρείται λόγω τοπικών υπεραντλήσεων υφαλμύριση του κοκκώδους παράκτιου προσχωματικού υδροφορέα. Θα μπορούσε να εξετασθεί η χρήση των επιφανειακών απορροών του ρέματος Αρέθουα ή και των πηγών του κάτω Λούρου.

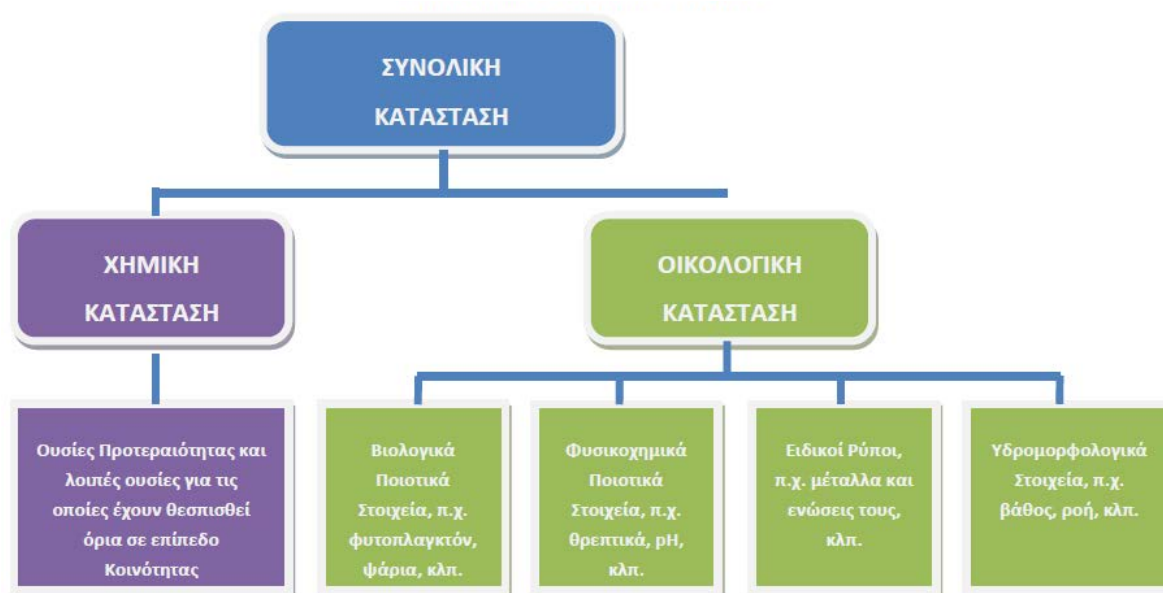
#### Μεταβολή υπόγειας στάθμης και ποσότητας υπογείων υδάτων εξαιτίας υπογείων εκμεταλλεύσεων ή κατασκευής μεγάλων υπογείων έργων

Στο Υδατικό Διαμέρισμα δεν σημειώνονται μεταβολές της υπόγειας στάθμης και της ποσότητας υδάτων εξαιτίας υπογείων εκμεταλλεύσεων ή κατασκευής μεγάλων υπογείων έργων.

### Ταξινόμηση των υδάτινων πόρων της Ηπείρου

Η ταξινόμηση της κατάστασης των επιφανειακών υδατικών συστημάτων πραγματοποιήθηκε με βάση τα ποιοτικά στοιχεία, τα οποία καθορίζονται στο Παράρτημα V της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ (Σχήμα 25) στα πλαίσια εκπόνησης του ΣΔΛΑΠ. Τα ποιοτικά στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν διαφέρουν ανάλογα με την κατηγορία του υδατικού συστήματος, δηλαδή αν πρόκειται για ποτάμιο,

λιμναίο, μεταβατικό ή παράκτιο σύστημα. Για τα ιδιαιτέρως τροποποιημένα και τεχνητά υδατικά συστήματα (ΙΤΥΣ/ΤΥΣ) χρησιμοποιήθηκε η έννοια του καλού οικολογικού δυναμικού, αντί της καλής οικολογικής κατάστασης. Η ταξινόμηση πραγματοποιήθηκε λαμβάνοντας υπόψη της οικολογική και την χημική κατάσταση κάθε υδάτινου συστήματος. Για την αξιολόγηση της οικολογικής κατάστασης των επιφανειακών υδατικών συστημάτων και την ταξινόμησή τους σε μία από τις 5 κλάσεις ποιότητας (Υψηλή, Καλή, Μέτρια, Ελλιπής, Κακή) χρησιμοποιούνται βιολογικά, υδρομορφολογικά και φυσικοχημικά ποιοτικά στοιχεία που προβλέπονται στο Παράρτημα V της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ. Επίσης η ταξινόμηση σε κλάσεις ποιότητας της χημικής κατάστασης των επιφανειακών υδατικών συστημάτων πραγματοποιείται μετά από έλεγχο της τήρησης των οριακών τιμών ποιότητας ορισμένων επικίνδυνων ουσιών που καταλήγουν στο υδάτινο περιβάλλον. Οι ουσίες αυτές καθορίζονται στο Παράρτημα Χ της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ, όπως αυτό εξειδικεύτηκε στην ΚΥΑ Η.Π. 51354/2641/Ε103/2010 (ΦΕΚ Β' 1909) «Καθορισμός Προτύπων Ποιότητας Περιβάλλοντος (ΠΠΠ) για τις συγκεντρώσεις ορισμένων ρύπων και ουσιών προτεραιότητας στα επιφανειακά ύδατα, σε συμμόρφωση προς τις διατάξεις της Οδηγίας 2008/105/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 16ης Δεκεμβρίου 2008».



**Σχήμα 25** Κατηγορίες ποιοτικών στοιχείων που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της κατάστασης των επιφανειακών υδατικών συστημάτων

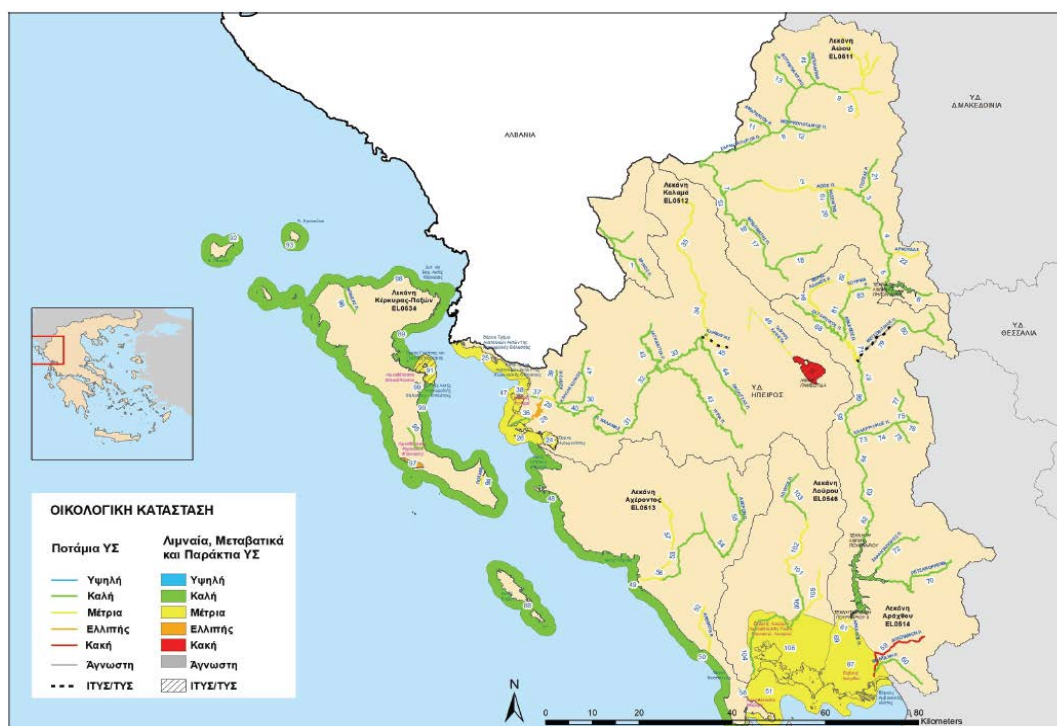
Για τα υπόγεια ύδατα ο τελικός χαρακτηρισμός της κατάστασης ενός υδάτινου συστήματος εξαρτάται τόσο από την αξιολόγηση της χημικής όσο και της ποσοτικής του κατάστασης. Η καλή χημική κατάσταση των υδάτων έχει ως σκοπό την προστασία των υπόγειων υδάτων, από την υποβάθμιση και τη ρύπανση, ενώ η καλή ποσοτική κατάσταση εξασφαλίζει τους διαθέσιμους υδατικούς πόρους και τη μη εξάντληση του υδροφορέα.

Για την αξιολόγηση της χημικής κατάστασης ενός συστήματος υπόγειων υδάτων ή μιας ομάδας συστημάτων υπόγειων υδάτων, χρησιμοποιήθηκαν οι Ανώτερες Αποδεκτές Τιμές (ΑΑΤ) για τη συγκέντρωση συγκεκριμένων ρύπων, ομάδων ρύπων ή δεικτών ρύπανσης, όπως αυτές ορίζονται σύμφωνα με την Υ.Α.1811/ΦΕΚ 3322/30-12-2011.

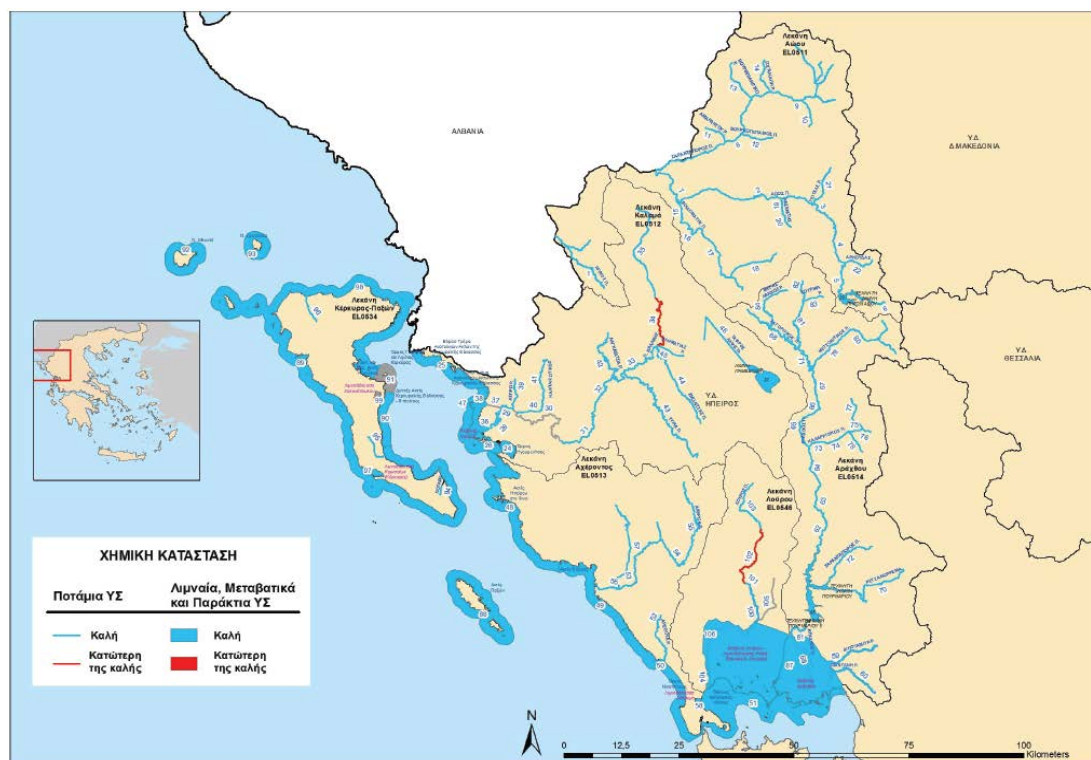
Κατά την αξιολόγηση της κατάστασης των ΥΥΣ εκτός των σημείων του Δικτύου Παρακολούθησης συναξιολογήθηκαν: α) οι παλαιότερες μετρήσεις στις οποίες βασίστηκε το 1ο Σχέδιο Διαχείρισης, β)



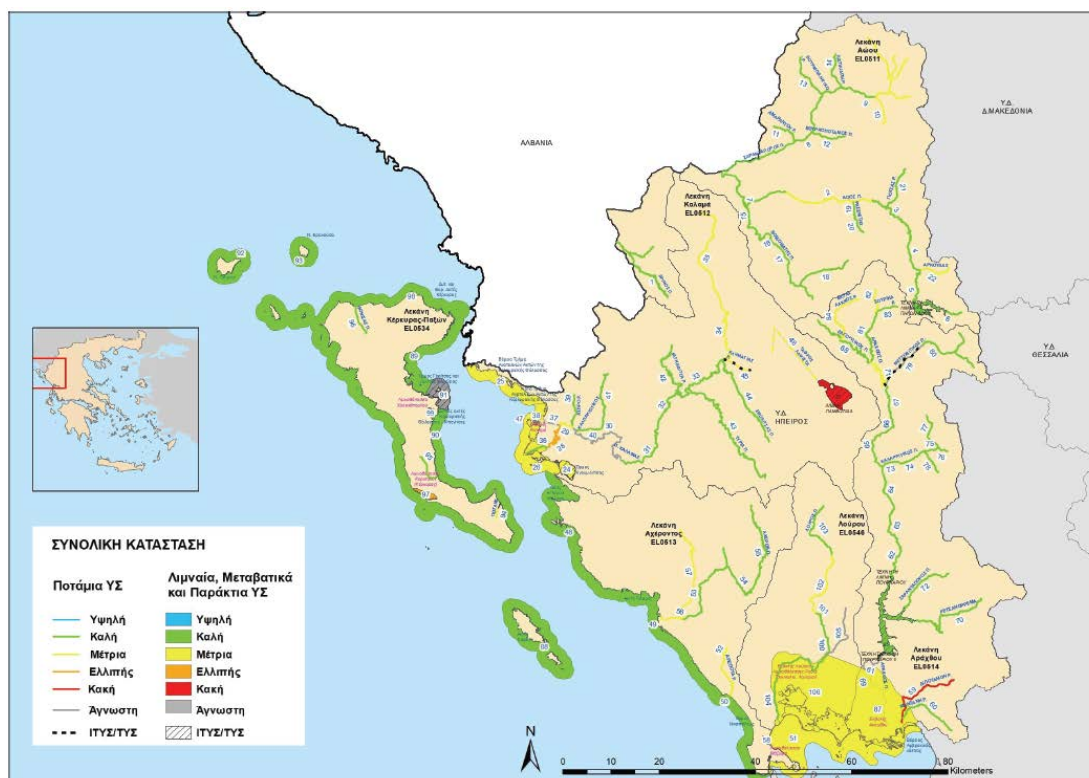
οι πιέσεις, σημειακές και διάχυτες, που εκτιμήθηκαν στην έκταση του ΥΥΣ και, γ) όλα τα διαθέσιμα στοιχεία και δεδομένα όπως, στοιχεία του ΕΜΣΥ, αντλήσεις για κάλυψη αναγκών, ισοζύγιο, παροχές πηγών, διακύμανση αντλήσεων, μετρήσεις στάθμης, επάρκεια ύδατος κ.α.



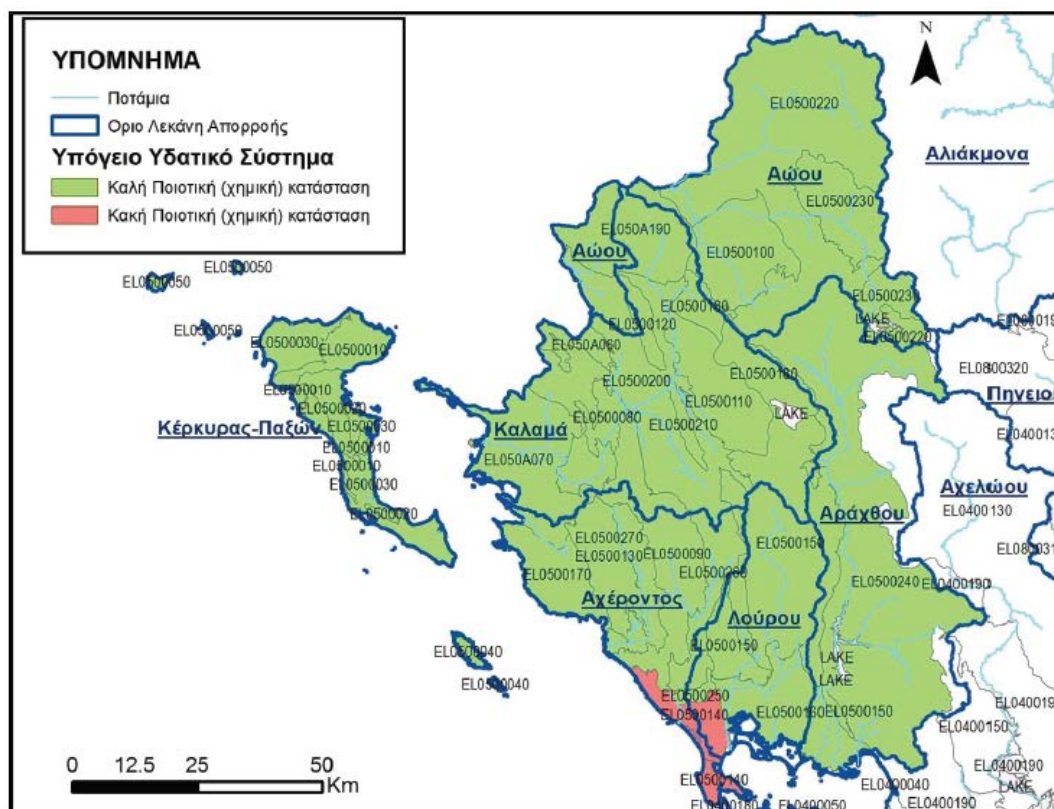
**Σχήμα 26** Οικολογική κατάσταση επιφανειακών υδατικών συστημάτων του ΥΔ 05



**Σχήμα 27** Χημική κατάσταση επιφανειακών υδατικών συστημάτων του ΥΔ 05

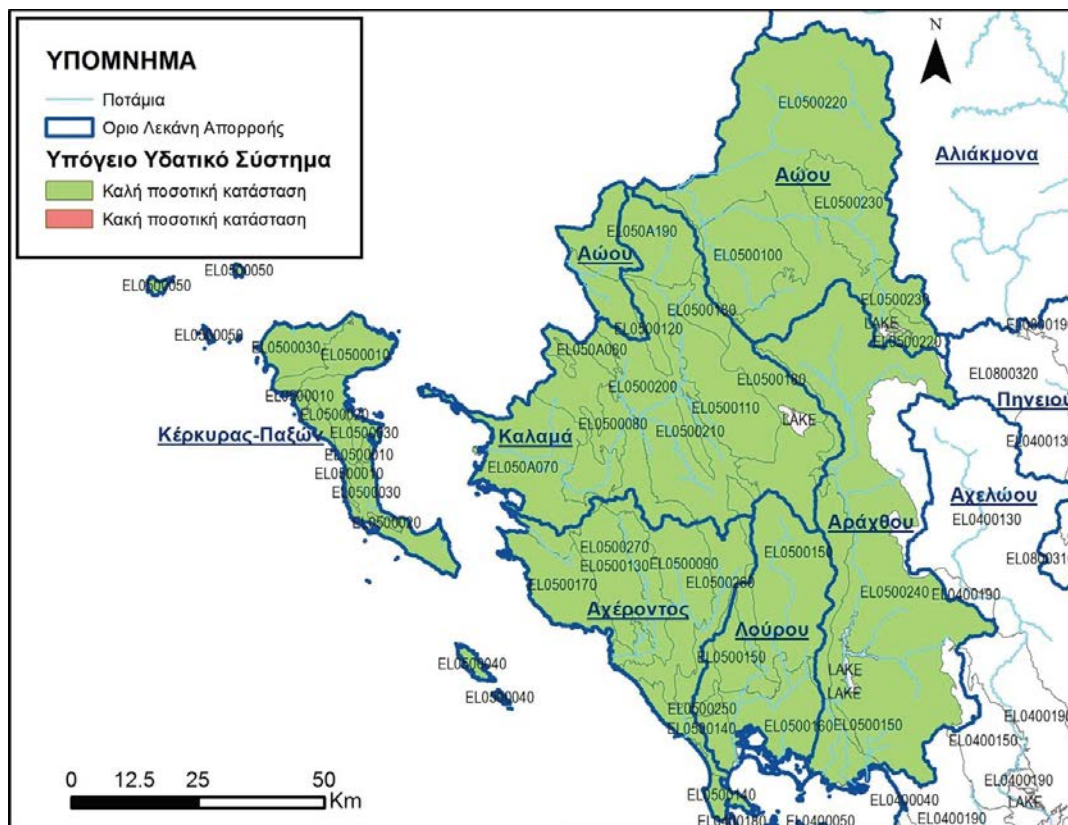


Σχήμα 28 Συνολική κατάσταση επιφανειακών υδατικών συστημάτων του ΥΔ 05



Σχήμα 29 Χημική κατάσταση ΥΥΣ του υδατικού Διαμερίσματος Ηπείρου





**Σχήμα 30** Ποσοτική κατάσταση ΥΥΣ του υδατικού Διαμερίσματος Ηπείρου

Στα Σχήματα 26, 27 και 28 δίνεται η χημική ή οικολογική και η συνολική κατάσταση των επιφανειακών υδάτινων συστημάτων της Ηπείρου. Από τα σχήματα διαπιστώνεται πως τα παράκτια και τα μεταβατικά ύδατα του βόρειου τμήματος της Λωρίδας Σαγιάδας και του Αμβρακικού Κόλπου χαρακτηρίζονται ως Μέτριας Κατάστασης. Επίσης οι πλειονότητα των ποτάμιων συστημάτων χαρακτηρίζεται ως καλή κατάσταση.

Για τα λιμναία υδάτινα συστήματα οι Λίμνη των Ιωαννίνων χαρακτηρίζεται με Κακή κατάσταση ενώ οι Τεχνητές Λίμνες των Πηγών Αώου, Πουρναρίου και Πουρναρίου II χαρακτηρίζονται με Καλή συνολική Κατάσταση.

Συγχρόνως αναφορικά με τα υπόγεια υδάτινα συστήματα διαπιστώνεται πως το υδάτινο σύστημα της χερσονήσου της Πρέβεζας παρουσιάζεται με Κακή χημική κατάσταση, λόγω των φαινομένων υπαλμύρισης στην περιοχή. Τα υπόλοιπα υπόγεια υδάτινα συστήματα του διαμερίσματος χαρακτηρίζονται με Καλή χημική και ποσοτική κατάσταση (Σχήμα 29 και 30).

## Περιοχές με φαινόμενα υφαλμύρισης

### Εισαγωγή

Κατά την αξιολόγηση των συνθηκών του υδατικού διαμερίσματος Ηπείρου διαπιστώνεται πως στις παράκτιες περιοχές εμφανίζονται φαινόμενα αλατότητας και υφαλμύρισης των υδάτινων πόρων.

Τα αίτια του φαινομένου είναι:

- Λόγω υπεραντλήσεων στην παράκτια ζώνη
- Λόγω φυσικής προέλευσης στην παράκτια ζώνη

Στο πλαίσιο εκπόνησης του Σχεδίου Διαχείρισης Λεκανών Απορροής κατά το έτος 2013, για την περιοχή της Ηπείρου, αρχικά διαπιστώνεται πως το φαινόμενο της υφαλμύρισης (Σχήμα 31) είναι έντονο ιδιαίτερα στην Κέρκυρα, στο βόρειο και νότιο τμήμα της με τα αίτια να προέρχονται λόγω φαινομένων υπερεκμετάλλευσης των υδάτινων πόρων.

Στον ηπειρωτικό χώρο επιβαρυμένες παρουσιάζονται οι περιοχές του Αμβρακικού κόλπου, και της χερσονήσου της Πρέβεζας, καθώς επίσης και η παράκτια περιοχή της περιοχής της Πάργας. Για τις δύο πρώτες περιοχές τα αίτια σύμφωνα με το Σχέδιο Διαχείρισης είναι κύρια η υπερεκμετάλλευση των υπόγειων υδάτινων πόρων, ενώ για την περιοχή της Πάργας σχετίζονται με φυσικά αίτια που αναφέρονται στον γεωλογικό χαρακτήρα των υδροφόρων στρωμάτων της περιοχής.



Σχήμα 31 Υφαλμύριση Υπόγειων Υδατικών Συστημάτων (εγκεκριμένο ΣΔΛΑΠ Ηπείρου)

Συγχρόνως κατά την 1<sup>η</sup> αναθεώρηση του Σχεδίου Διαχείρισης των ΛΑΠ διαπιστώνεται πως οι πιο επιβαρυνμένες περιοχές στην εμφάνιση του φαινομένου είναι η χερσόνησος της Πρέβεζας και η περιοχή του Αμβρακικού κόλπου (Πίνακας 15).

**Πίνακας 15** Υπόγεια υδάτινα συστήματα και ποιητική και ποσοτική κατάσταση σύμφωνα με τη 1η αναθεώρηση του ΣΔΛΑΠ Ηπείρου

A/A	Κωδικός ΥΥΣ	Ονομασία ΥΥΣ	Χημική κατάσταση	Ποσοτική κατάσταση	Αυξημένες τιμές στοιχείων λόγω φυσικού υποβάθρου	Αυξημένες τιμές στοιχείων Ανθρωπογενούς	Κύριες Πιέσεις	Θαλάσσια διείσδυση
1	EL050A070	Σύστημα Φιλιατών-Ηγουμενίτσας	Καλή	Καλή	Cl, SO <sub>4</sub> , Fe, Mn	-	Γεωργία Αστικοποίηση	Στη παράκτια ζώνη
2	EL0500140	Σύστημα Χερσονήσου Πρέβεζας	Κακή	Καλή	Fe, Mn	Cl, NO <sub>3</sub> , NH <sub>4</sub>	Υπεράντληση Γεωργία Αστικοποίηση Βιομηχανία	NAI
3	EL0500170	Σύστημα Πάργας	Καλή	Καλή	Fe, Mn, Cl, SO <sub>4</sub>	-	Γεωργία Αστικοποίηση	Στη παράκτια ζώνη
4	EL0500270	Σύστημα Εκβολών Αχέροντος - π. Κωκυτού	Καλή	Καλή	-	-	Γεωργία	Στη παράκτια ζώνη
5	EL0500160	Σύστημα Άρτας	Καλή	Καλή	SO <sub>4</sub> , Cl	-	Γεωργία Αστικοποίηση Βιομηχανία	NAI
ΛΑΠ ΚΕΡΚΥΡΑΣ - ΠΑΞΩΝ								
6	EL0500010	Σύστημα Ασβεστολίθων Ν. Κέρκυρας	Καλή	Καλή	SO <sub>4</sub> , Cl, Fe, Mn	-	Αστικοποίηση	NAI
7	EL0500020	Σύστημα Τριαδικών λατοποπαγών Ν. Κέρκυρας	Καλή	Καλή	SO <sub>4</sub>	-	Γεωργία Αστικοποίηση	NAI
8	EL0500030	Σύστημα κοκκωδών υδροφοριών Ν. Κέρκυρας	Καλή	Καλή	SO <sub>4</sub> , Cl	NO <sub>3</sub> , NH <sub>4</sub>	Γεωργία Αστικοποίηση	NAI
9	EL0500040	Σύστημα Ν.Παξών-Αντίταξων	Καλή	Καλή	Cl	-	Γεωργία Αστικοποίηση	NAI
10	EL0500050	Σύστημα Ν. Οθωνών-Ερεϊκούσας-Μαθακίου	Καλή	Καλή	SO <sub>4</sub> , Cl	-	-	NAI

Από τον Πίνακα 13 διαπιστώνεται πως οι ανθρακικοί αλλά και οι κοκκώδεις σχηματισμοί της Ν. Κέρκυρας παρουσιάζουν φαινόμενα υφαλμύρινσης με τα αίτια να είναι κύρια λόγω των υπεραντλήσεων (γεωργία και αστικοποίηση). Στη συνέχεια περιγράφονται τα υδάτινα συστήματα (περιοχές) του ηπειρωτικού χώρου στις οποίες παρατηρούνται φαινόμενα υφαλμύρινσης.

## Σύστημα Φιλιατών-Ηγουμενίσσας EL050A070

Το υπόγειο υδατικό σύστημα EL050A070 αναπτύσσεται σε ανθρακικούς σχηματισμούς και τους κοκκώδεις της Ιονίου ζώνης και εκφορτίζεται μέσω των πηγών Ανάκολη (KP37), Κοτσέκι, (KP38) Φοινίκι (0507), Μύλος (KP35), Σκέφαρη (KP56), Νεράιδα (KP32), Μπουρμπούτσι (KP33), Λαδοχωρίου (KP50) και Αγίας Μαρίνας (AHP202). Στα όρια του υπόγειου υδατικού συστήματος EL050A070 έχουν πραγματοποιηθεί σποραδικές χημικές αναλύσεις από το ΙΓΜΕ την περίοδο 2004-2008 σε 6 σημεία. Τα σημεία παρακολούθησης της ποιοτικής κατάστασης παρουσιάζονται στον παρακάτω υδρολιθολογικό χάρτη (Σχήμα 32).



**Σχήμα 32** Χάρτης απεικόνισης σημείων παρακολούθησης ποιοτικής κατάστασης υπόγειου υδατικού συστήματος EL050A070 (για την περίοδο 2013 αναφέρεται μόνο στους καρστικούς σχηματισμούς)

Στον παρακάτω Πίνακα 14 δίνονται η μέση τιμή συγκέντρωσης των παραμέτρων του PH, της αγωγιμότητας, των χλωριόντων, των θεικών, των νιτρικών, και των αμμωνιακών ανά σημείο δειγματοληψίας του υπόγειου υδάτινου συστήματος.

**Πίνακας 14** Πίνακας μέσης τιμής συγκέντρωσης ανά παράμετρο ανά θέση δειγματοληψίας για το υπόγειο υδατικό σύστημα EL050A070

Κωδικός σημείου	PH	Αγωγιμότητα (μS/cm)	Cl (mg/l)	SO4 (mg/l)	NO3 (mg/l)	NH4 (mg/l)
0522.1PI	7,450	879,333	19,6	11,317	0,937	0,329
0523.1FD	7,438	713,750	74,3	19,250	6,750	0,030

0528.1SB	7,438	3918	983,0	155,250	3,634	0,164
0537.1FD	7,796	605,571	52,9	38,033	2,920	0,121
0538.1SI	7,487	679,625	25,0	17,999	12,865	0,047
0539.1FD	7,680	444,571	7,8	8,971	11,136	0,048
507	7,846	397,571	7,7	20,550	5	0,26
536	7,9	521,286	48,2	13,143	5	0,26
AHP202	7,894	671,2	9,6	129,5	5,875	0,26
KG19	7,820	579,4	11,6	58,840	5,7	0,26
KG24	7,917	426,5	9,1	50,867	5,333	0,26
KG25	7,914	343,286	6,1	10	5,714	0,26
KG321	7,613	684,375	17,1	24,250	22,250	0,26
KG322	7,975	224,625	6,6	10	5	0,26
KG52	7,825	587	11,4	53,763	5,625	0,26
KG56	7,890	475	19,6	13	12,4	0,26
KG8/97	7,538	573,250	13,4	14,5	15,625	0,26
KP253	7,6	497	19,5	12	11	0,26
KP319	7,3	1658	252,6	202,5	25	0,26
KP32	7,575	324	10,2	10,667	5	0,26
KP33	7,920	365				
KP35	8,1	385				
KP37	7,890	1105,4	17,5	416,8	5	0,26
KP38	7,9	1143	29,6	418,333	5	0,26
KP50	7,435	1018,077	63,1		9,3	
KP56	7,980	407,167	8,7	10	5,4	0,26
KP60	8	357,667	9,5	10,667	5	0,26
<b>ΑΝΩΤΕΡΗ ΑΠΟΔΕΚΤΗ ΤΙΜΗ</b>	<b>6,5 έως 9,5</b>	<b>2500,0</b>	<b>250,0</b>	<b>250,0</b>	<b>50,0</b>	<b>0,5</b>
<b>75% ΑΝΩΤΕΡΗΣ ΑΠΟΔΕΚΤΗΣ ΤΙΜΗΣ</b>		<b>1875</b>	<b>187,5</b>	<b>187,5</b>	<b>37,5</b>	<b>0,375</b>
Min	7,3	224,625	6,1	8,971	0,937	0,03
Max	8,1	3918	983	418,333	25	0,329

Οι μέσες τιμές συγκεντρώσεων που παρατηρούνται δεν υπερβαίνουν ούτε προσεγγίζουν το 75% των ανώτερων αποδεκτών τιμών που έχουν προσδιορισθεί στην πλειοψηφία των σημείων δειγματοληψίας πέραν των σημείων 0528.1SB, KP37 και KP38. Παράλληλα στις πηγές Ανακόλη (540 mg/l) και της πηγής Κοτσέκι παρατηρείται αυξημένη περιεκτικότητα σε θειικά λόγω παρουσίας γύψου στα τριαδικά λατυποπαγή της Ιονίου ζώνης που αναπτύσσονται δυτικότερα προς τη θάλασσα. Παρατηρούνται επομένως αυξημένες τιμές φυσικού υποβάθρου.

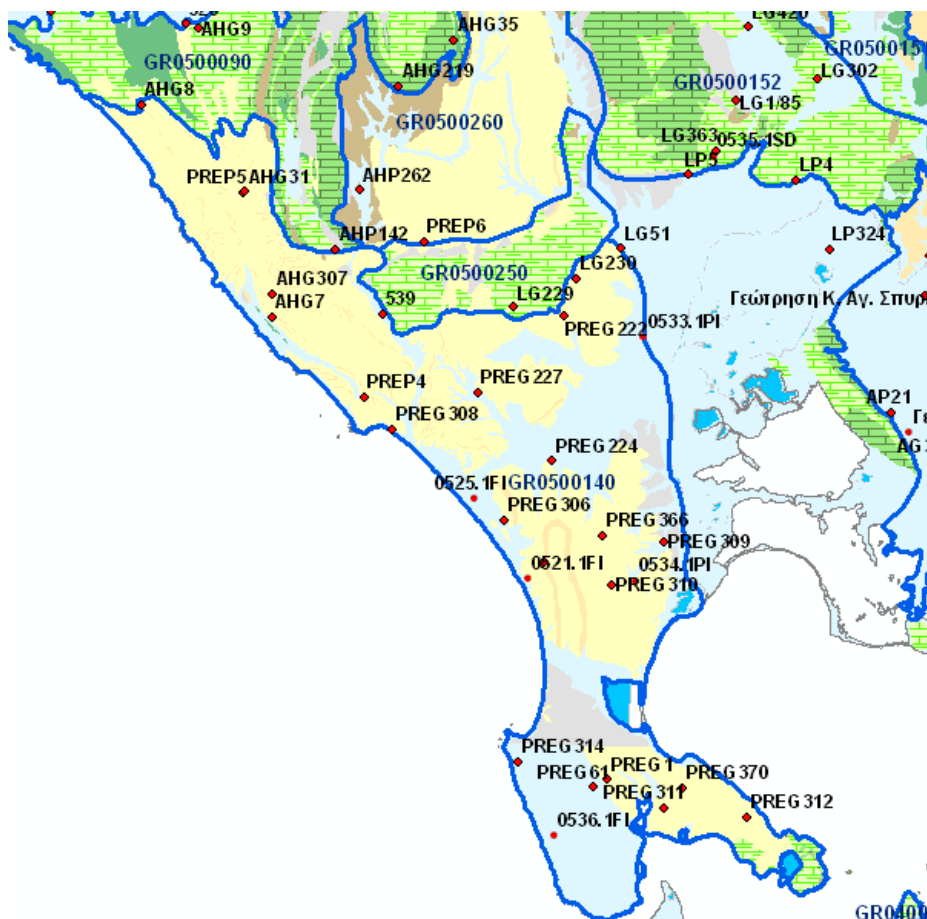
Η αυξημένη παρουσία θεικών συνδέεται με την αυξημένη τιμή φυσικού υποβάθρου που περιορίζεται στο ΝΑ τμήμα του ΥΥΣ. Η νέα ανώτερη αποδεκτή τιμή για το Δ τμήμα του ΥΥΣ για τα θειικά μπορεί να δοθεί στα 420mg/l λαμβάνοντας υπόψη τη μέγιστη τιμή των υφιστάμενων δεδομένων. Στις γεωτρήσεις 0528.1SB, KP319 παρατηρείται αύξηση της περιεκτικότητας σε χλωριόντα και αγωγιμότητας λόγω διεύδυσης της θάλασσας σε περιορισμένη όμως έκταση και μόνο κοντά στη θάλασσα. Η νέα ανώτερη αποδεκτή τιμή για το παράκτιο τμήμα του ΥΥΣ για τα χλωριόντα μπορεί να δοθεί στα 1000mg/l και για την αγωγιμότητα στα 3920  $\mu\text{S}/\text{cm}$  λαμβάνοντας υπόψη τη μέγιστη τιμή των υφιστάμενων δεδομένων. Στις υπόλοιπες τιμές μετρήσεων των χημικών αναλύσεων δεν παρατηρούνται υπερβάσεις του επιτρεπτού ορίου ή του 75% του επιτρεπτού ορίου-ανώτερης αποδεκτής τιμής.

Τμήμα του υδατικού σώματος αποτελεί καλλιεργήσιμη γη, ενώ το υπόλοιπο είναι δασική έκταση-βλάστηση και αστικοποίηση. Το υδατικό σώμα χρησιμοποιείται για άντληση ύδατος για ανθρώπινη κατανάλωση.

Σε γενικές γραμμές παρόλο που το υδροσύστημα προς νότο και βορρά είναι ανοικτό στην θάλασσα, δεν έχει παρατηρηθεί μέχρι στιγμής γενική υφαλμύριση της υπόγειας υδροφορίας του. Αυτό οφείλεται στη παρουσία των πιο αδιαπέρατων τριαδικών λατυποπαγών σχηματισμών στην παράκτια ζώνη οι οποίοι δρουν ως φράγμα στην υδραυλική επικοινωνία του συστήματος με την θάλασσα. Τοπικά και μόνο κατά μήκος της θαλάσσιας ζώνης, όμως μπορεί να παρατηρούνται υψηλές τιμές χλωριόντων και αγωγιμότητας λόγω υφαλμύρισης και διείσδυσης της θάλασσας στον υδροφόρο ορίζοντα όπου δεν υπάρχει το φυσικό αυτό φράγμα.

## Σύστημα Χερσονήσου Πρέβεζας EL0500140

Το κοκκώδες υπόγειο υδατικό σύστημα EL500140 αναπτύσσεται στις αλλουβιακές και νεογενείς αποθέσεις της χερσονήσου Πρέβεζας. Στα όρια του υπόγειου υδατικού συστήματος EL0500140 έχουν πραγματοποιηθεί χημικές αναλύσεις από το ΙΓΜΕ την περίοδο 2004-2008 σε 30 σημεία. Τα σημεία παρακολούθησης της ποιοτικής κατάστασης παρουσιάζονται στον παρακάτω υδρολιθολογικό χάρτη. Το πλήθος των υφιστάμενων στοιχείων από τα σημεία παρακολούθησης του ΥΥΣ είναι ικανοποιητικό για τον προσδιορισμό της χημικής κατάστασης του με βάση τις υδρογεωλογικές συνθήκες ανάπτυξης του.



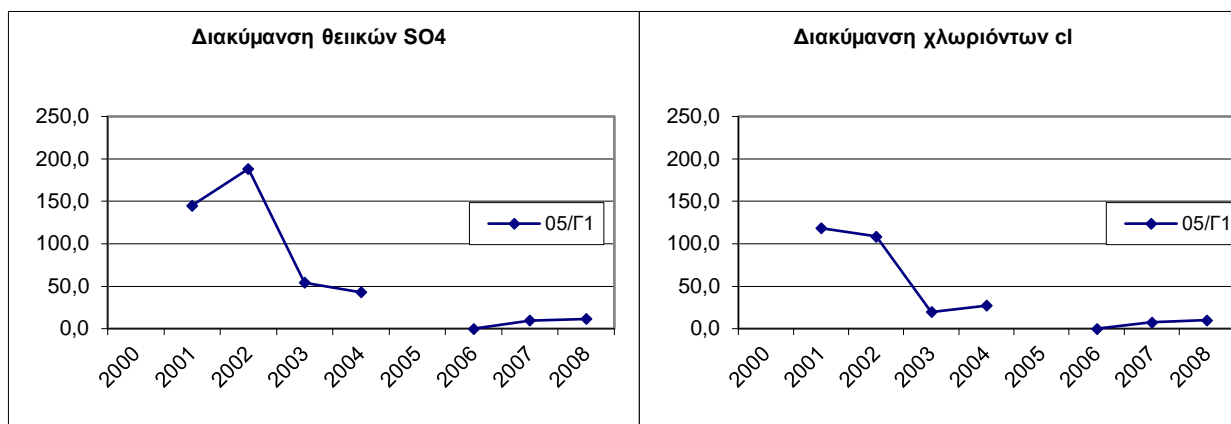
**Σχήμα 33** Χάρτης απεικόνισης σημείων παρακολούθησης ποιοτικής κατάστασης υπόγειου υδατικού συστήματος EL0500140

Κατά την αξιολόγηση του υδατικού συστήματος χρησιμοποιήθηκαν υφιστάμενες χημικές αναλύσεις και υπολογίσθηκε η μέση τιμή συγκέντρωσης των παραμέτρων του PH, της αγωγιμότητας, των χλωριόντων, των θειικών, των νιτρικών, και των αμμωνιακών ανά θέση. Στο ανωτέρω Σχήμα 33 δίνεται η κατανομή των υδροσημείων για τα οποία υπήρχαν διαθέσιμες χημικές αναλύσεις. Από τις ανωτέρω αναλύσεις διαπιστώνονται αυξημένες συγκεντρώσεις χλωριόντων στο νότιο τμήμα του συστήματος.

Η αυξημένη παρουσία χλωριόντων στο νότιο τμήμα του συστήματος και στην παράκτια ζώνη συνδέεται με υπεραντλήσεις και υφαλμύριση. Παρατηρείται υπέρβαση της ανώτερης αποδεκτής τιμής για τα NO<sub>3</sub> σε 6 σημεία από τα οποία σε 2 και NH<sub>4</sub> και σε 1 CL, της NH<sub>4</sub> σε 3 σημεία που οφείλεται σε ανθρώπινες δραστηριότητες. Σημαντικό τμήμα του υδατικού σώματος αποτελεί καλλιεργήσιμη γη. Το υδατικό σώμα δέχεται διάχυτες και σημειακές πιέσεις, που περιλαμβάνουν εκτός από τις αγροτικές καλλιέργειες και ελαιουργεία, κ.α. Το υδατικό σώμα χρησιμοποιείται για άντληση ύδατος για ανθρώπινη κατανάλωση. Σε σύνολο 30 σημείων τα 9 (ποσοστό 30%) παρατηρείται υπέρβαση των ανώτερων αποδεκτών τιμών. Στον παρακάτω Πίνακα 4.3 δίνονται μέσες ετήσιες τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας, χλωριόντων, θειικών ιόντων, νιτρικών και αμμωνιακών για το υδροσημείο με κωδικό 05/Γ1.

**Πίνακας 15** Μέσες ετήσιες τιμές των ποιοτικών παραμέτρων

05/Γ1	Conductivity	Cl	SO4	NO3	NO2
2001	964.0	118.4	145.0	5.0	
2002	1095.3	108.6	188.3	8.3	0.05
2003	560.3	19.9	54.3	5.0	0.05
2004	600.0	27.3	43.0	5.0	0.05
2005					
2006	237.0	0.0	0.0	8.0	0.05
2007	304.5	7.4	9.5	5.0	0.05
2008	292.3	9.9	11.7	5.0	0.05



**Σχήμα 34** Διακύμανση των θειικών ιόντων και των ιόντων χλωρίου (Γεώτρηση 05/Γ1)

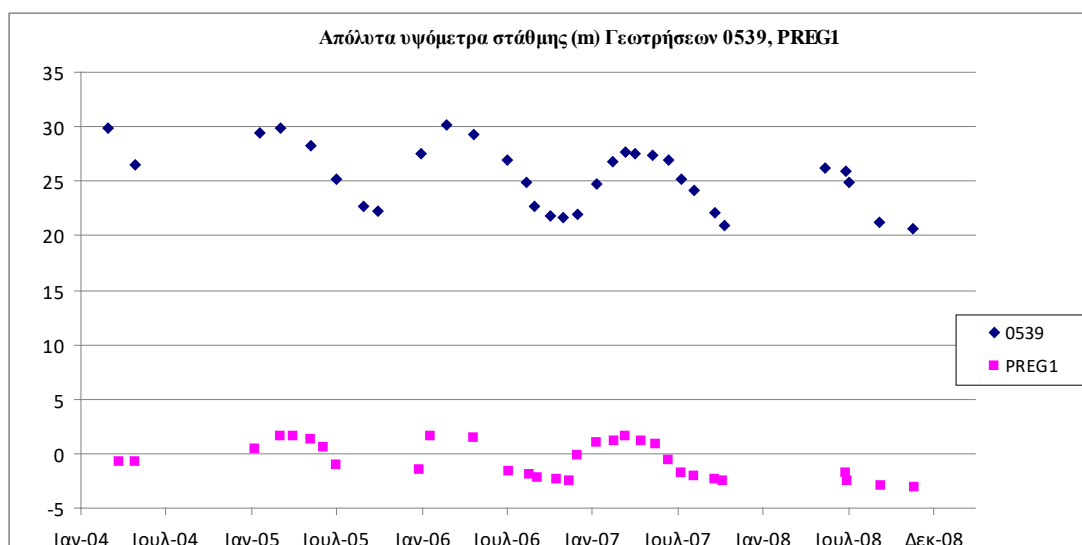
Συγκρίνοντας τη διακύμανση των μέσων ετήσιων τιμών των ποιοτικών παραμέτρων διαπιστώνεται μετά τη διετία 2001-2002 μια απότομη πτώση τιμών στα χλωριόντα, στα θειικά και στην αγωγιμότητα και στη συνέχεια η διατήρησή τους σε χαμηλά επίπεδα (Σχήμα 34). Είναι πιθανό οι



αρχικά αυξημένες τιμές να οφείλονται σε αύξηση των αντλήσεων και στη συνέχεια η επαναφορά τους σε φυσιολογικά επίπεδα ή πιθανόν και το σταμάτημα των αντλήσεων.

Σύμφωνα με το σχέδιο διαχείρισης των ΛΑΠ του ΥΔ Ηπείρου (λαμβάνοντας υπόψη υφιστάμενες μελέτες και στοιχεία του ΥΠΑΝ, 2008 – ΙΓΜΕ, 2010) το σύστημα δέχεται μέση ετήσια φυσική τροφοδοσία της τάξης των  $40 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{y}$ . Επίσης οι απολήψεις από το σύστημα κατά την περίοδο εκπόνησης του Σχεδίου Διαχείρισης ΛΑΠ μέσω γεωτρήσεων εκτιμώνται σε  $10 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{y}$ .

Στο υπόγειο υδατικό σύστημα Πρέβεζας το ΙΓΜΕ παρακολουθεί την υπόγεια στάθμη σε 22 γεωτρήσεις και την παροχή σε 4 πηγές. Στο παρακάτω Σχήμα 35 δίδονται χαρακτηριστικά διαγράμματα σε γεωτρήσεις που είναι αντιπροσωπευτικές του υπόγειου υδατικού συστήματος. Η ποσότητα των αντλήσεων από το υδατικό σύστημα είναι μικρότερη μεν αλλά σε υψηλό ποσοστό των ετησίως ανανεώσιμων υδατικών αποθεμάτων και τοπικά επηρεάζουν δυσμενώς το ισοζύγιο.



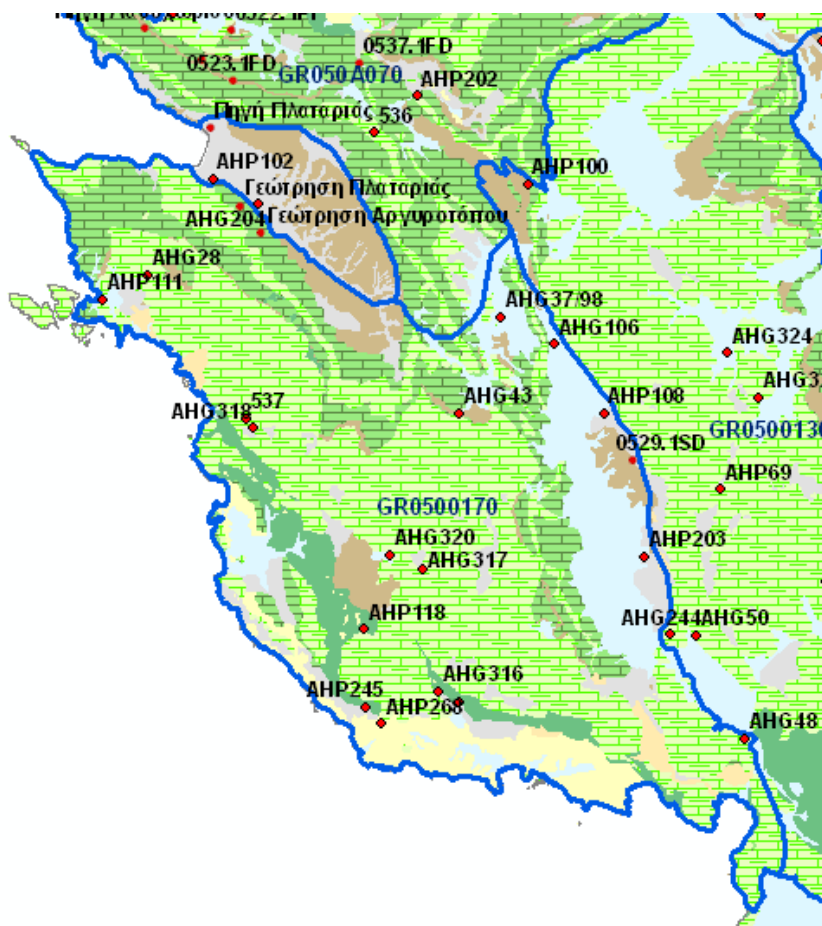
**Σχήμα 35** Διάγραμμα διακύμανσης απόλυτου υψομέτρου στάθμης Γεωτρήσεων

Από την επεξεργασία των μετρήσεων στάθμης προκύπτουν ενδείξεις τοπικής υπεράντλησης της περιοχής. Οι διακυμάνσεις της στάθμης ακολουθούν γενικώς τους ρυθμούς φυσικής εκφόρτισης και τροφοδοσίας του Υ.Υ.Σ. Παρουσιάζεται σε κάποιες γεωτρήσεις υπερετήσια πτώση της στάθμης που έχει ως αποτέλεσμα την υφαλμύριση των παράκτιων υδροφοριών. Τα αποτελέσματα αυτά σε συνδυασμό αφενός με τις ποσότητες αντλήσεων σε σχέση με αυτές της επαναπλήρωσης του ΥΥΣ, την κακή χημική κατάσταση του συστήματος, και την υφαλμύριση τεκμηριώνουν την κακή ποσοτική κατάσταση του ΥΥΣ.

## Σύστημα Πάργας EL0500170

Το καρστικό υπόγειο υδατικό σύστημα EL0500170 αναπτύσσεται στα ασβεστολιθικά πετρώματα της Ιονίου ζώνης και εκφορτίζεται κυρίως μέσω των πηγών Πλαταριάς, Ανθούσας και Αγ. Ιωάννη. Στα όρια του υπόγειου υδατικού συστήματος EL0500170 έχουν πραγματοποιηθεί χημικές αναλύσεις από το ΙΓΜΕ την περίοδο 2004-2008 σε 3 σημεία, και από το Υπ. Γεωργίας σε 3 σημεία. Τα σημεία παρακολούθησης της ποιοτικής κατάστασης παρουσιάζονται στον παρακάτω υδρολιθολογικό χάρτη (Σχήμα 36).





**Σχήμα 36** Χάρτης απεικόνισης σημείων παρακολούθησης ποιοτικής κατάστασης υπόγειου υδατικού συστήματος GR0500170

Κατά την αξιολόγηση του υδατικού συστήματος χρησιμοποιήθηκαν υφιστάμενες χημικές αναλύσεις και υπολογίσθηκε η μέση τιμή συγκέντρωσης των παραμέτρων του ΡΗ, της αγωγιμότητας, των χλωριόντων, των θεικών, των νιτρικών, και των αμμωνιακών ανά θέση. (Πίνακας 16).

**Πίνακας 16** Πίνακας μέσης τιμής συγκέντρωσης ανά παράμετρο ανά θέση δειγματοληψίας για το υπόγειο υδατικό σύστημα EL0500170

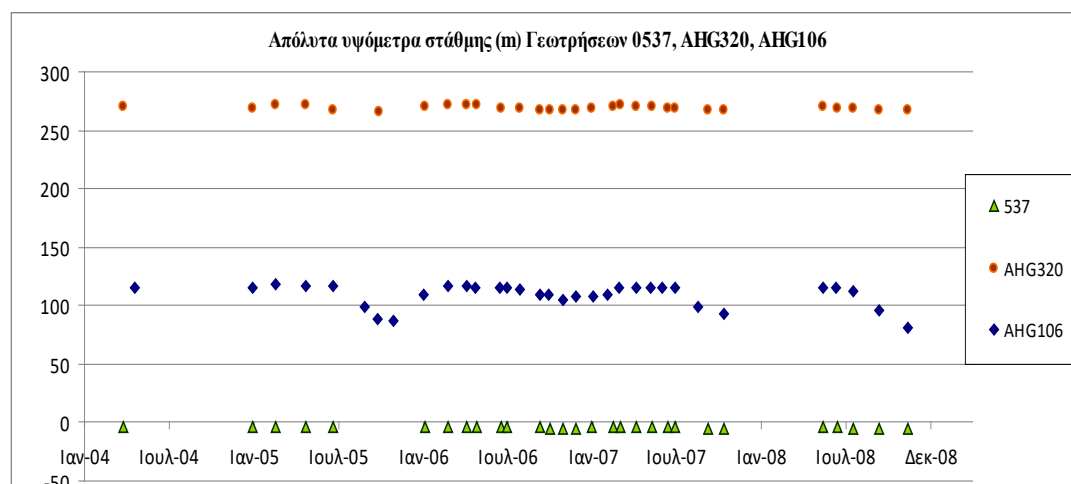
Κωδικός σημείου	ΡΗ	Αγωγιμότητα (μS/cm)	Cl (mg/l)	SO4 (mg/l)	NO3 (mg/l)	NH4 (mg/l)
AHP102	8,120	4333,333	900,0	-	-	-
AHP118	7,9	560	-	-	-	-
AHP119	7,8	950	-	-	-	-
G05THE10 Γεώτρηση Αργυροτόπου	7,445	644,759	51,3	-	-	-
G05THE11 Πηγή Πλαταριάς	7,442	3524,615	897,6	-	13,250	-
G05THE12 Γεώτρηση Πλαταριάς	7,318	1202,778	196,4	-	-	-
<b>ΑΝΩΤΕΡΗ ΑΠΟΔΕΚΤΗ ΤΙΜΗ</b>	<b>6,5 έως 9,5</b>	<b>2500,0</b>	<b>250,0</b>	<b>250,0</b>	<b>50,0</b>	<b>0,5</b>
<b>75% ΑΝΩΤΕΡΗΣ ΑΠΟΔΕΚΤΗΣ ΤΙΜΗΣ</b>		<b>1875</b>	<b>187,5</b>	<b>187,5</b>	<b>37,5</b>	<b>0,375</b>

<b>Min</b>	7,318	560				
<b>Max</b>	8,12	4333,33				

Οι μεγάλες συγκεντρώσεις ιόντων Cl και αγωγιμότητας οφείλονται σε υφαλμύριση του υδροφορέα από τη βορειοδυτική πλευρά από Πλαταριά έως Πέρδικα. Η υφαλμύριση αυτή δεν είναι μόνο ανθρωπογενούς προέλευσης. Παρατηρούνται επομένως αυξημένες τιμές φυσικού υποβάθρου. Η αυξημένη παρουσία χλωριόντων του συστήματος συνδέεται με την αυξημένη τιμή φυσικού υποβάθρου. Η αυξημένη παρουσία αγωγιμότητας συνδέεται με την αυξημένη τιμή φυσικού υποβάθρου. Η νέα ανώτερη αποδεκτή τιμή για την αγωγιμότητα στο βόρειο τμήμα του υδατικού συστήματος μπορεί να δοθεί στα 4350  $\mu\text{S}/\text{cm}$  λαμβάνοντας υπόψη τη μέγιστη τιμή των υφιστάμενων δεδομένων. Επίσης, οι πηγές Ανθούσας (ΑΗΡ119) πιθανώς επηρεάζονται από τα τριαδικά λατυποπαγή και τους γύψους με αποτέλεσμα να εμφανίζονται υψηλές τιμές θεικών χωρίς να υπάρχουν επαρκή δεδομένα.

Σύμφωνα με το σχέδιο διαχείρισης των ΛΑΠ του ΥΔ Ηπείρου (λαμβάνοντας υπόψη υφιστάμενες μελέτες και στοιχεία του ΥΠΑΝ, 2008 – ΙΓΜΕ, 2010) το σύστημα δέχεται μέση ετήσια φυσική τροφοδοσία της τάξης των  $100 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{y}$ . Οι απολήψεις από το σύστημα μέσω γεωτρήσεων και απόληψης από τις πηγές Πλαταριάς, Ανθούσας και Αγ. Ιωάννη εκτιμώνται σε  $3,6 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{y}$ .

Στο υπόγειο υδατικό σύστημα Πάργας το ΙΓΜΕ παρακολουθεί την υπόγεια στάθμη σε 11 γεωτρήσεις και την παροχή από 8 πηγές. Δίνεται στη συνέχεια χαρακτηριστικό διάγραμμα (Σχήμα 37) σε γεωτρήσεις που είναι αντιπροσωπευτικές του υπόγειου υδατικού συστήματος. Η ποσότητα των αντλήσεων από το υδατικό σύστημα είναι πολύ μικρότερη από τα ετησίως ανανεώσιμα υδατικά αποθέματα.



**Σχήμα 37** Διάγραμμα διακύμανσης απόλυτου υψομέτρου στάθμης Γεωτρήσεων

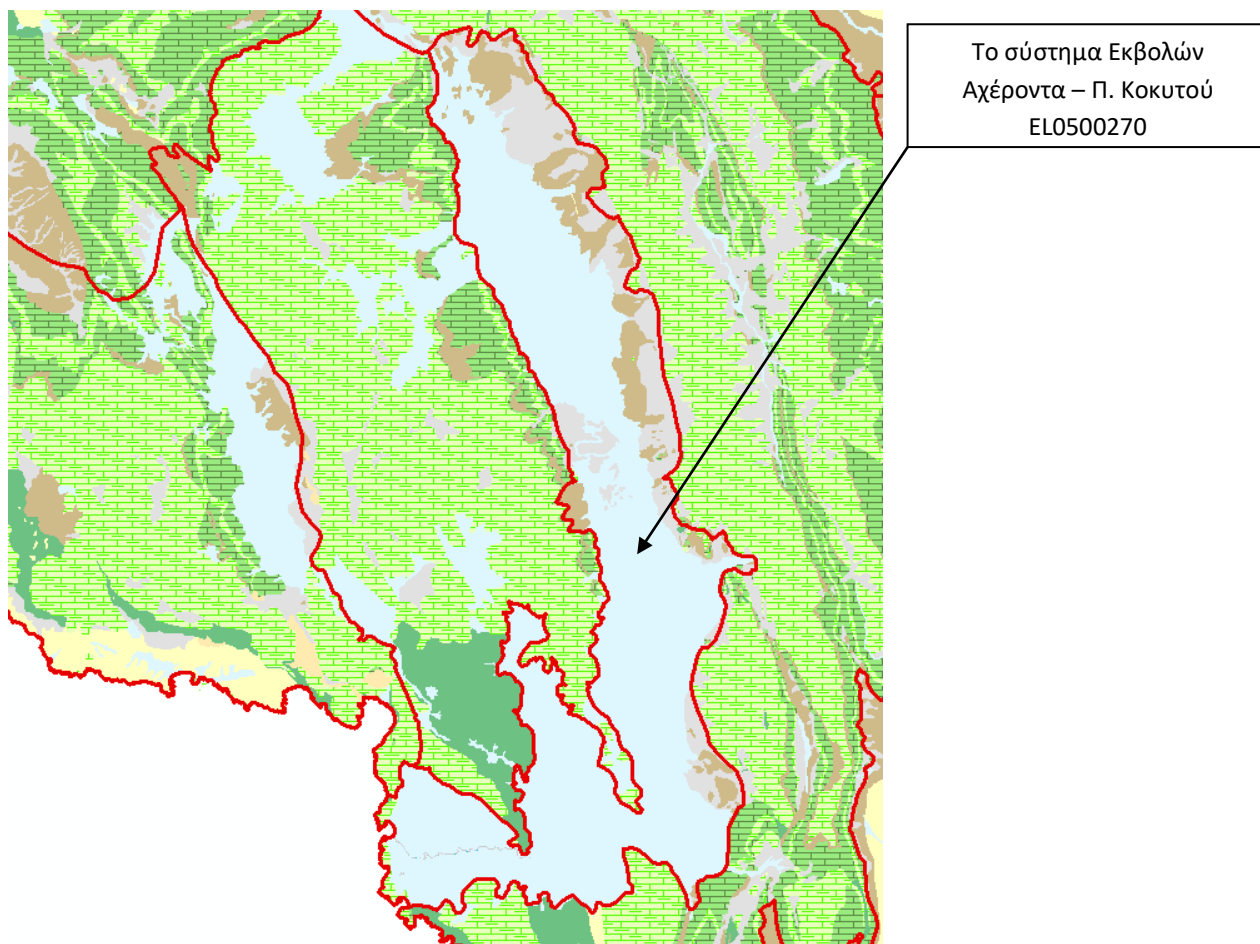
Από την επεξεργασία των μετρήσεων στάθμης δεν προκύπτουν ενδείξεις υπεράντλησης του ΥΥΣ. Οι διακυμάνσεις τόσο της στάθμης όσο και της παροχής των πηγών ακολουθεί γενικώς τους ρυθμούς φυσικής εκφόρτισης και τροφοδοσίας του Υ.Υ.Σ.

Τα αποτελέσματα αυτά σε συνδυασμό αφενός με τις ποσότητες αντλήσεων σε σχέση με αυτές της επαναπλήρωσης του ΥΥΣ, την καλή χημική κατάσταση του συστήματος, και την μη εκτεταμένη της φυσικής υφαλμύρισης στο βόρειο τμήμα τεκμηριώνουν την καλή ποσοτική κατάσταση του ΥΥΣ.

## Σύστημα Εκβολών Αχέροντα – Π. Κωκυτού EL 500270

Το σύστημα Εκβολών Αχέροντα – Π. Κωκυτού EL0500270, είναι έκτασης 166,11km<sup>2</sup> και προέκυψε κατά τη 1<sup>η</sup> αναθεώρηση του Σχεδίου Διαχείρισης Λεκανών Απορροής του ΥΔ Ηπείρου. Γεωλογικά δομείται από αλλουβιακούς σχηματισμούς οι οποίοι έχουν αποτεθεί στην λεκάνη μεταξύ των οικισμών Κορώνη, Καστρί και Μεσοπόταμος. Από την περιοχή διέρχεται ο παραπόταμος του π. Αχέροντα Κωκυτός ο οποίος αποστραγγίζει τους βόρειους ανθρακικούς σχηματισμούς της περιοχής. Η περιοχή εμφανίζει έντονο αγροτικό χαρακτήρα.

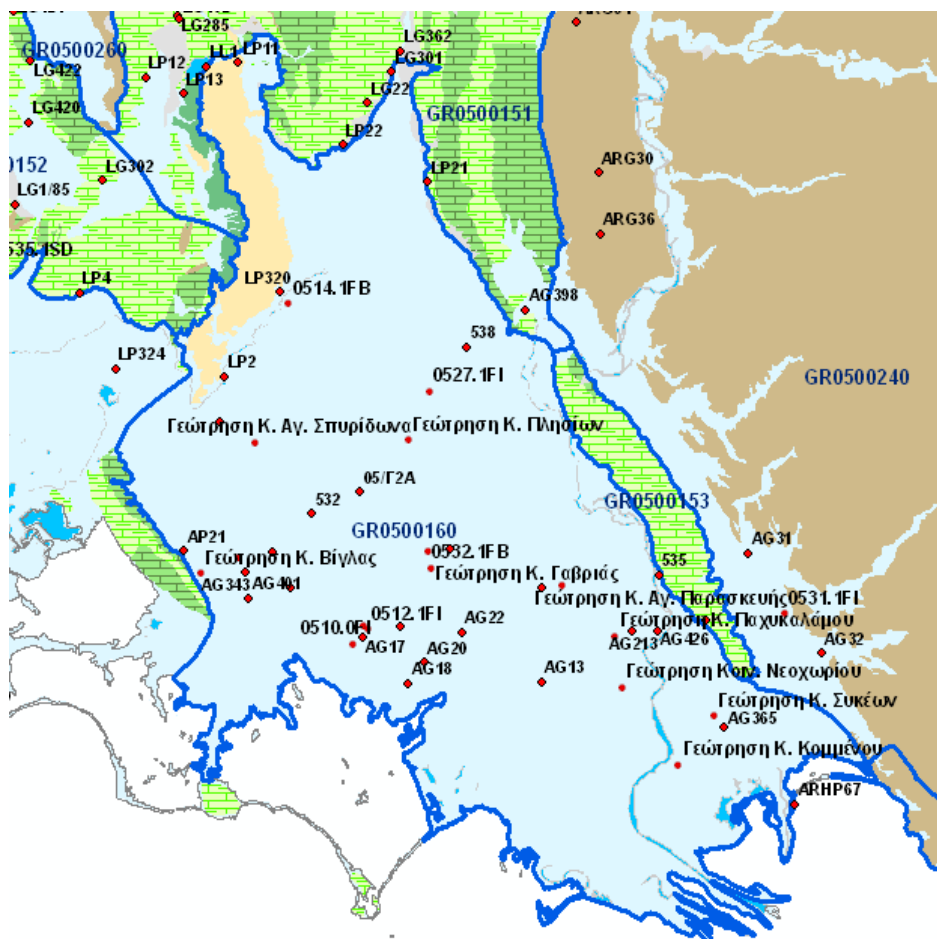
Κατάντη της Εθνική Οδού Ηγουμενίτσας Πρέβεζας διαπιστώνονται έντονες γεωργικές δραστηριότητες με το υψόμετρο της περιοχής να είναι κοντά σε αυτό της θάλασσας. Στο παράκτιο τμήμα του υδατικού συστήματος έχουν διαπιστωθεί φαινόμενα υφαλμύρισης σύμφωνα με την αναθεώρηση του ΣΧΔΛΑΠ του ΥΔ Ηπείρου.



Σχήμα 38 Θέση του ΥΥΣ Εκβολές Αχέροντα – Π. Κωκυτού

## Σύστημα Άρτας EL0500160

Το κοκκώδες υπόγειο υδατικό σύστημα EL0500160 αναπτύσσεται στις αλλουβιακές αποθέσεις της Άρτας. Στα όρια του υπόγειου υδατικού συστήματος EL0500160 έχουν πραγματοποιηθεί χημικές αναλύσεις από το ΙΓΜΕ την περίοδο 2004-2008 σε 25 σημεία, από το ΥΠΥΜΕΔΙ σε 6 σημεία και από το Υπ. Γεωργίας σε 11 σημεία. Τα σημεία παρακολούθησης της ποιοτικής κατάστασης παρουσιάζονται στον παρακάτω υδρολιθολογικό χάρτη (Σχήμα 39).



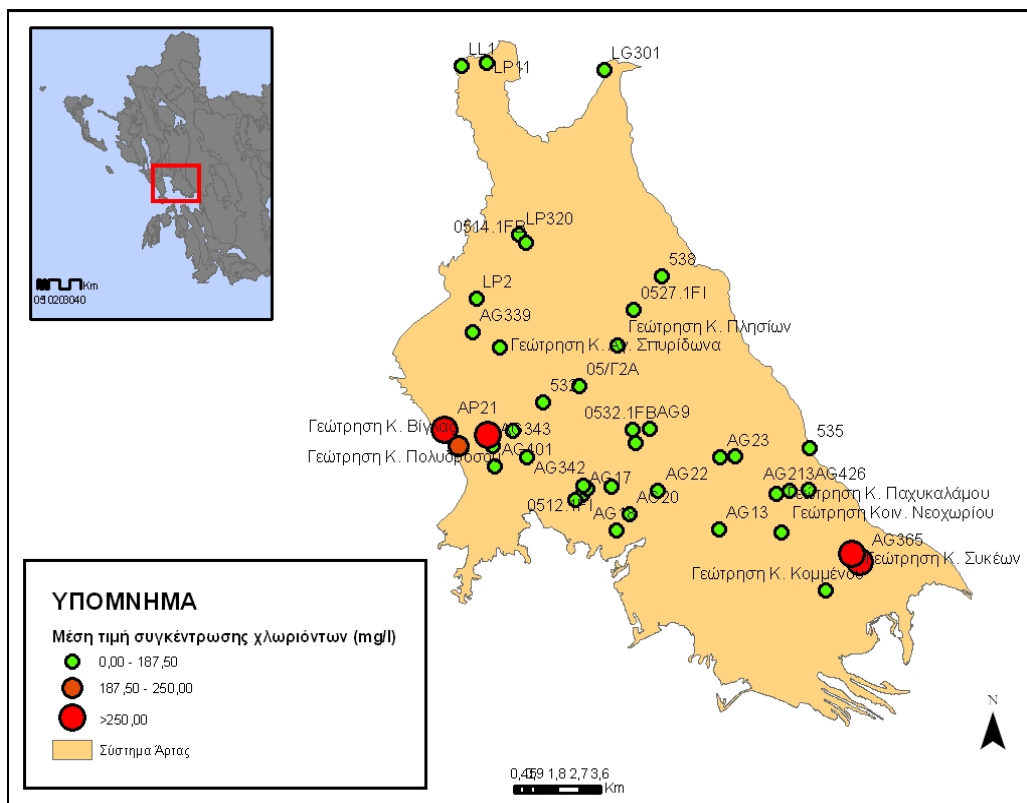
**Σχήμα 39** Χάρτης απεικόνισης σημείων παρακολούθησης ποιοτικής κατάστασης υπόγειου υδατικού συστήματος EL0500160

Κατά την αξιολόγηση του υδατικού συστήματος χρησιμοποιήθηκαν υφιστάμενες χημικές αναλύσεις και υπολογίσθηκε η μέση τιμή συγκέντρωσης των παραμέτρων του PH, της αγωγιμότητας, των χλωριόντων, των θεικών, των νιτρικών, και των αμμωνιακών ανά θέση. Σημειικά για το υδροσύστημα προκύπτουν μεγάλες συγκεντρώσεις ιόντων Cl, και αγωγιμότητας οι οποίες οφείλονται σε υφαλμύριση του υδροφορέα από την υπεράντλησή του. Επίσης, σημειικά απαντώνται και υψηλές τιμές θεικών λόγω τοπικών ανθρώπινων δραστηριοτήτων ή και αυξημένων τιμών φυσικού υποβάθρου.

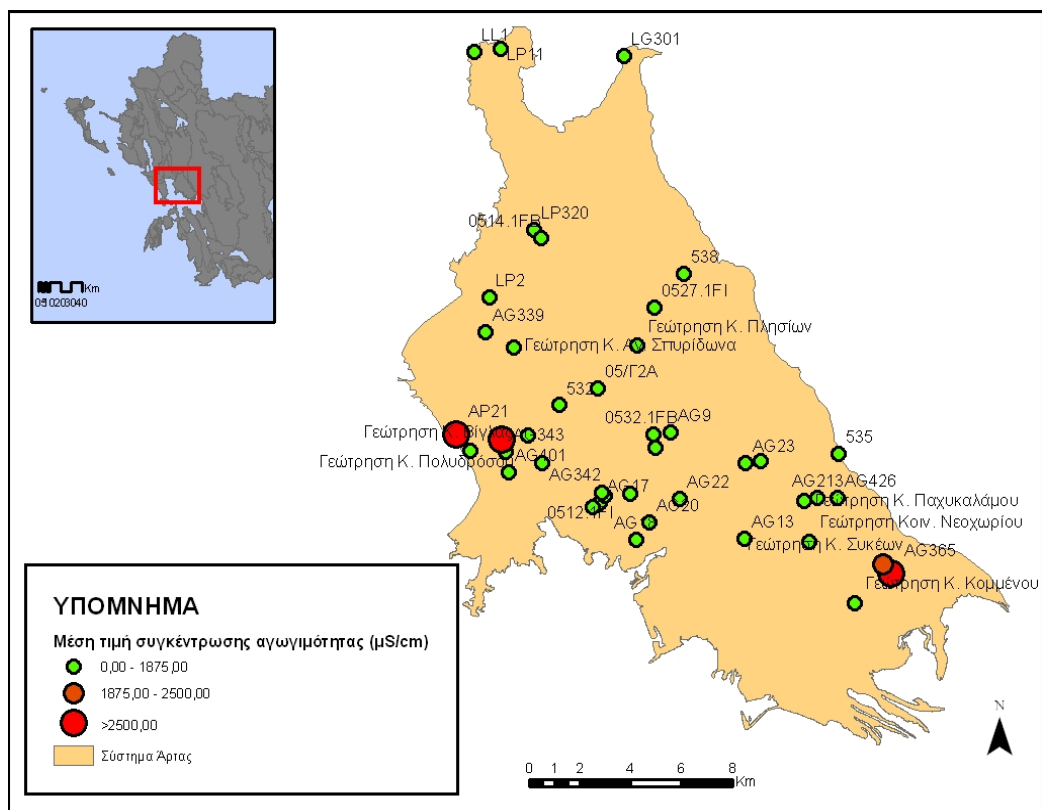
Στις υπόλοιπες τιμές μετρήσεων των χημικών αναλύσεων δεν παρατηρούνται υπερβάσεις του επιτρεπτού ορίου ή του 75% του επιτρεπτού ορίου-ανώτερης αποδεκτής τιμής. Εξάιρεση αποτελούν ορισμένα πηγάδια στον φρεάτιο υδροφόρος όπου τοπικά παρατηρούμε μια σχετικά αυξημένη περιεκτικότητα σε NO<sub>3</sub> (όχι όμως μεγαλύτερη των 50 mg/l) λόγω καλλιεργειών.

Μεγάλο τμήμα του υδατικού συστήματος αποτελεί καλλιεργήσιμη γη, στην έκταση του οποίου αναπτύσσονται πόλεις και χωριά, ενώ το υπόλοιπο είναι δασική έκταση. Το υδατικό σώμα χρησιμοποιείται για άντληση ύδατος για ανθρώπινη κατανάλωση.

Στο υπόγειο υδατικό σύστημα συναντώνται 2 σημεία με κωδικούς AP20 και AG13 στα οποία υπάρχει διαθέσιμη χρονοσειρά χλωριόντων, θεικών ιόντων, νιτρικών και αμμωνιακών ιόντων (Πίνακας 17). Συγκρίνοντας τη διακύμανση των μέσων ετήσιων τιμών των ποιοτικών παραμέτρων διαπιστώνονται αυξομειώσεις στις τιμές των θεικών και της αγωγιμότητας (Σχήμα 42).



Σχήμα 40 Θεματικός χάρτης συγκέντρωσης χλωριόντων του συστήματος GR0500160

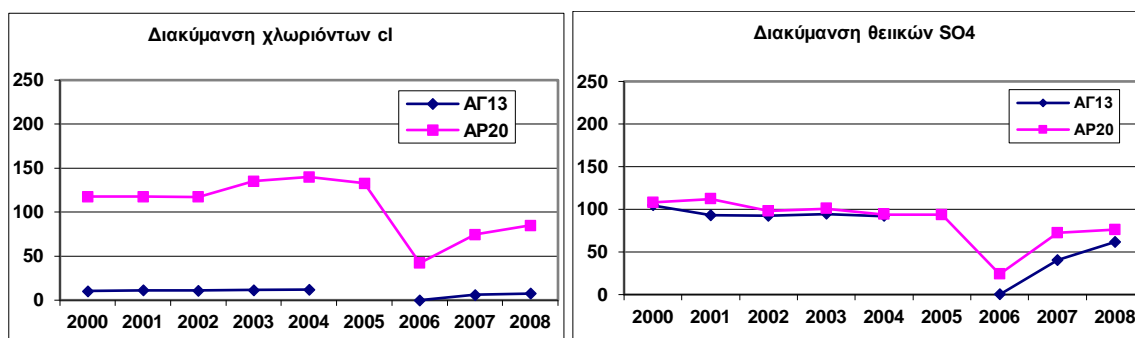


Σχήμα 41 Θεματικός χάρτης συγκέντρωσης αγωγιμότητας του συστήματος GR0500160

**Πίνακας 17** Μέσες ετήσιες τιμές των ποιοτικών παραμέτρων

<b>AG13</b>	<b>Conductivity</b>	<b>Cl</b>	<b>SO4</b>	<b>NO3</b>	<b>NO2</b>
2000	550.3	7.8	10.4	104.5	5.0
2001	540.5	7.9	11.2	93.0	5.0
2002	534.3	7.9	11.1	92.5	5.7
2003	526.3	7.5	11.6	94.5	5.0
2004	528.0	7.7	12.1	92.0	5.0
2005					
2006	392.3	5.8	0.0	0.0	5.0
2007	522.3	7.9	6.2	40.5	5.0
2008	508.7	8.0	7.6	61.8	5.0
<b>AP20</b>	<b>Conductivity</b>	<b>Cl</b>	<b>SO4</b>	<b>NO3</b>	<b>NO2</b>
2000	910.0	7.7	117.7	108.0	5.0
2001	910.8	7.8	117.5	112.0	6.7
2002	939.0	7.8	117.2	98.0	6.7
2003	952.7	7.7	135.2	100.7	5.0
2004	1005.0	7.7	140.0	94.0	6.5
2005	955.0	7.9	132.7	93.7	6.5
2006	846.4	6.2	42.2	24.0	5.8
2007	921.2	8.0	74.5	72.2	5.0
2008	853.8	8.0	84.9	76.1	5.0

Ως περίοδος αναφοράς για τον εντοπισμό των τάσεων, χρησιμοποιούνται, για λόγους σύγκρισης, οι μέσες συγκεντρώσεις του πρώτου έτους της χρονοσειράς των χημικών αναλύσεων δηλαδή του 2000 ελλείψει παλαιότερων μετρήσεων.



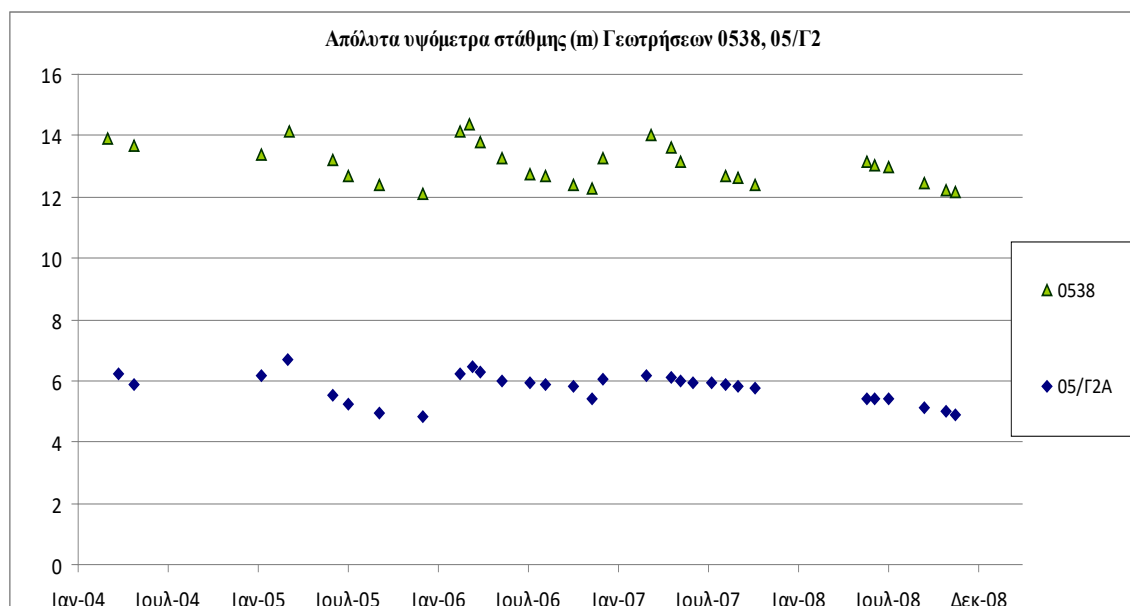
**Σχήμα 42** Διακύμανση των θειικών ιόντων και των ιόντων χλωρίου (Γεώτρηση AG13 και AP20)

Στο υπόγειο υδατικό σύστημα EL0500160 έχουν παρατηρηθεί τοπικά αυξημένες τιμές ρυπαντών. Παρόλο τις εκτεταμένες αγροτικές εκτάσεις και την σημαντική αστική ανάπτυξη σε συνδυασμό με σημειακές πηγές ρύπανσης δεν έχει διαγνωσθεί σημαντική χημική επιβάρυνση. Το γεγονός ότι αυτό οφείλεται τόσο στο καθεστώς επαναπλήρωσης των υπόγειων αποθεμάτων όσο και στην ανάπτυξη επάλληλων υπό πίεση υδροφοριών που δυσκολεύουν την διακίνηση των ρυπαντών.

Σύμφωνα με το σχέδιο διαχείρισης των ΛΑΠ του ΥΔ Ηπείρου (λαμβάνοντας υπόψη υφιστάμενες μελέτες και στοιχεία του ΥΠΑΝ, 2008 – ΙΓΜΕ, 2010) το σύστημα δέχεται μέση ετήσια φυσική τροφοδοσία της τάξης των  $120 \times 10^6 \text{ m}^3/\gamma$ . Οι απολήψεις από το σύστημα μέσω γεωτρήσεων

εκτιμώνται σε  $17,1 \times 10^6 \text{ m}^3/\gamma$ . Η ποσότητα των αντλήσεων από το υδατικό σύστημα είναι πολύ μικρότερη από τα ετησίως ανανεώσιμα υδατικά αποθέματα.

Στο υπόγειο υδατικό σύστημα Άρτας το ΙΓΜΕ παρακολουθεί την υπόγεια στάθμη σε 22 γεωτρήσεις και την παροχή από 7 πηγές. Δίνεται στη συνέχεια χαρακτηριστικό διάγραμμα (Σχήμα 43) σε γεωτρήσεις που είναι αντιπροσωπευτικές του υπόγειου υδατικού συστήματος.



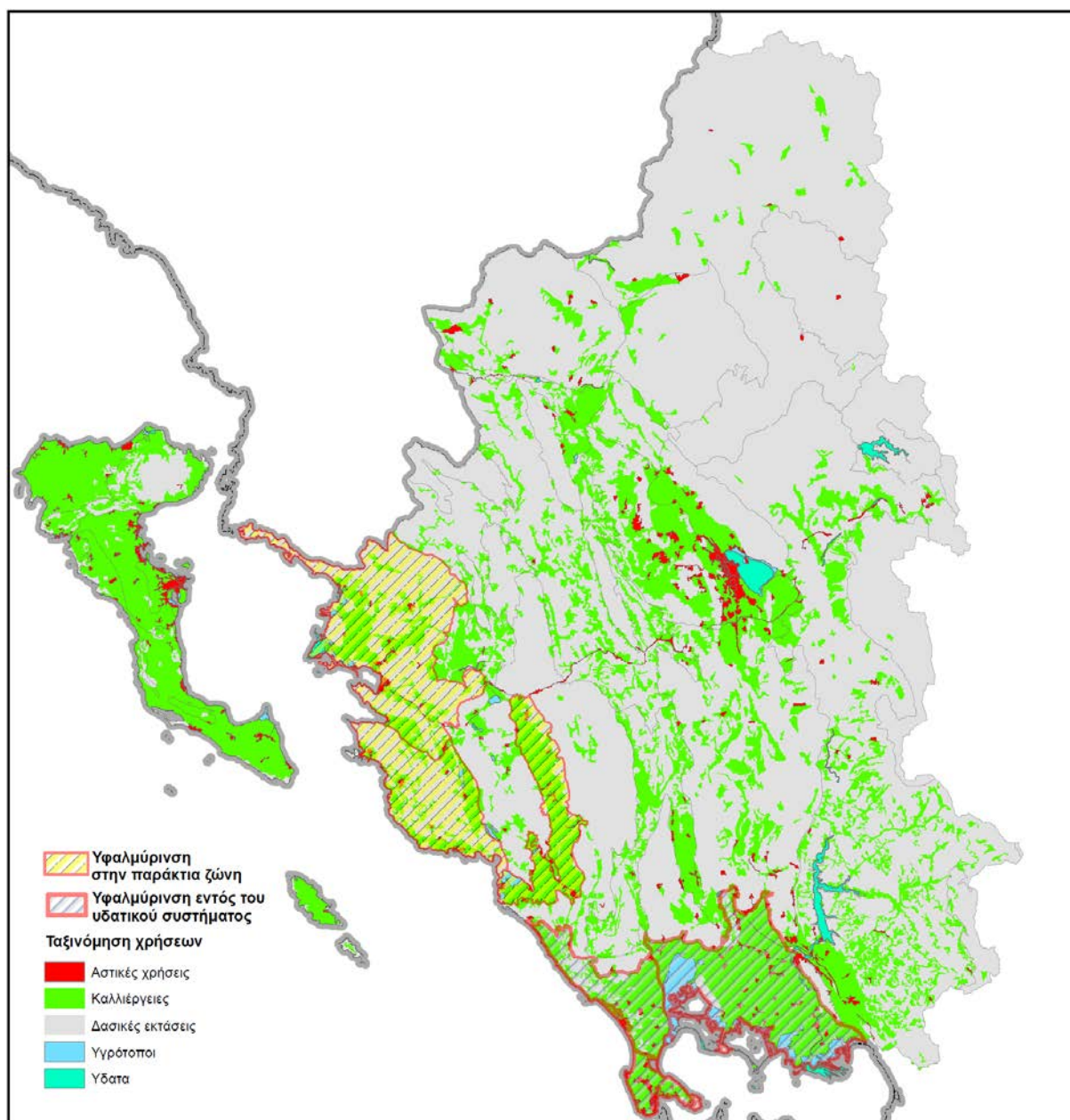
**Σχήμα 43** Διάγραμμα διακύμανσης απόλυτου υψομέτρου στάθμης Γεωτρήσεων

Από την επεξεργασία των μετρήσεων στάθμης δεν προκύπτουν ενδείξεις υπεράντλησης του ΥΥΣ. Οι διακυμάνσεις της στάθμης ακολουθούν γενικώς τους ρυθμούς φυσικής εκφόρτισης και τροφοδοσίας του Υ.Υ.Σ. Τα αποτελέσματα αυτά σε συνδυασμό αφενός με τις ποσότητες αντλήσεων σε σχέση με αυτές της επαναπλήρωσης του ΥΥΣ, την καλή χημική κατάσταση του συστήματος, και την μη διαπιστωμένη υφαλμύριση, τεκμηριώνουν την καλή ποσοτική κατάσταση του ΥΥΣ.

## Χαρτογράφηση του φαινομένου της υφαλμύρισης στην περιοχή της Ηπείρου

Σύμφωνα με τα ανωτέρω στοιχεία του Εγκεκριμένου Σχεδίου Διαχείρισης των Λεκανών Απορροής του Υδατικού Διαμερίσματος Ηπείρου, τις Διαχειριστικές μελέτες του Υπουργείου Ανάπτυξης του έτους 2008 και μελέτες του Ινστιτούτου Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Μελετών διαπιστώνεται πως στο παράκτιο τμήμα της Ηπείρου εμφανίζονται φαινόμενα υφαλμύρισης και αυξημένης αλατότητας των υδάτων. Στο παρακάτω Σχήμα 44 δίνεται χάρτης κατανομής του φαινομένου σε σχέση με τις καλλιεργήσιμες εκτάσεις της περιοχής σύμφωνα με το σύστημα Corine.





**Σχήμα 44** Χάρτης κατανομής του φαινομένου της υφαλμύρισης για την περιοχή της Ηπείρου



## Synopsis in English language

Salinization (or seawater intrusion) is the enrichment of groundwater with dissolved salts specifically with chlorine and sodium ions. Salinization can be thought of as a type of environmental pollution caused by human activities and / or natural geological factors.

The effects of the phenomenon are particularly significant in the areas where it occurs. Saltwater affected water is unsuitable for all human usage, and the existing water reserves cannot be used, as their quality is degraded. This practically means that new water resources must be found to meet the needs in these areas or if this is not possible, water must be transferred from other areas.

In the framework of the project "IR2MA - Large Scale Irrigation Management Tools for Sustainable Water Management in Rural Areas and Protection of Receiving Aquatic Ecosystem" an attempt is presented to evaluate and map the phenomenon of salinization in the region of Epirus. In the first phase, the mechanism of salinization and the causes of the phenomenon are described and the methodologies for study the phenomenon are given.

A description of Epirus Water District is given and detailed data are presented on the prevailing uses, the status of agriculture and irrigation systems, surface and ground water systems, the main pressures on water resources (in quantitative prospective) taking into account the Approved Management Plan of the River Basins of Epirus River Basin District and its revisions, and studies by Research Institutes.

From the evaluation of the above data, is ascertained that in the coastal zones of Epirus, salinization phenomena are occur, with the phenomena being in local in north of the region (Igoumenitsa and Parga area). The phenomena in the northwestern part are also related to natural - geological causes due to the development of carbonate rocks.

In the area of the peninsula of Preveza and in the area of the Plain of Arta the phenomena are more intense and are mainly attributed to the over-exploitation of groundwater due to agricultural activities and geological factors.

## Σύνοψη στην ελληνική γλώσσα

Υφαλμύριση (ή υφαλμύρωση) είναι ο εμπλουτισμός του υπόγειου νερού με διαλυμένα άλατα και συγκεκριμένα με ιόντα χλωρίου και νατρίου. Η υφαλμύριση μπορεί να θεωρηθεί σαν ένας τύπος περιβαλλοντικής ρύπανσης, που οφείλεται σε ανθρώπινες δραστηριότητες ή/και σε φυσικούς γεωλογικούς παράγοντες.

Οι συνέπειες του φαινομένου είναι ιδιαίτερα σημαντικές στις περιοχές όπου αυτό εμφανίζεται. Το υφάλμυρο νερό είναι ακατάλληλο για κάθε χρήση από τον άνθρωπο με αποτέλεσμα να μην μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα υπάρχοντα υδατικά αποθέματα, καθώς η ποιότητά τους είναι υποβαθμισμένη. Αυτό πρακτικά σημαίνει πως πρέπει να βρεθούν νέοι υδατικοί πόροι για να καλύψουν τις ανάγκες αυτών των περιοχών ή εάν αυτό δεν είναι εφικτό πρέπει να μεταφερθεί νερό από άλλες περιοχές.

Στα πλαίσια του έργου «IR2MA - Large Scale Irrigation Management Tools for Sustainable Water Management in Rural Areas and Protection of Receiving Aquatic Ecosystem» επιχειρείται η αξιολόγηση και η χαρτογράφηση του φαινομένου της υφαλμύρισης στην περιοχή της Ηπείρου. Σε πρώτη φάση περιγράφονται ο μηχανισμός εμφάνισης και τα αίτια εμφάνισης του φαινομένου ενώ στη συνέχεια δίνονται και οι διάφορες μέθοδοι μελέτης του.

Στη συνέχεια περιγράφεται το υδατικό διαμέρισμα της Ηπείρου και δίνονται αναλυτικά στοιχεία για τις επικρατούσες χρήσεις, το καθεστώς της γεωργίας και των αρδευτικών συστημάτων, τα υδατικά συστήματα, τις κυριότερες πιέσεις στους υδατικούς πόρους (στα ποσοτικά χαρακτηριστικά) λαμβάνοντας υπόψη το Εγκεκριμένο Σχέδιο Διαχείρισης των Λεκανών Απορροής του Υδατικού Διαμερίσματος Ηπείρου, τυχόν αναθεωρήσεις αυτού, και μελέτες Ερευνητικών Ινστιτούτων.

Από την αξιολόγηση των ανωτέρω στοιχείων διαπιστώνεται πως στις παράκτιες ζώνες της Ηπείρου εμφανίζονται φαινόμενα υφαλμύρισης, με τα φαινόμενα να είναι τοπικής σημασίας στα βόρεια της περιοχής (περιοχή Ηγουμενίτσα και Πάργας). Τα φαινόμενα στο βορειοδυτικό τμήμα σχετίζονται και με φυσικά – γεωλογικά αίτια λόγω της ανάπτυξης των ανθρακικών πετρωμάτων.

Στην περιοχή της χερσονήσου της Πρέβεζας και στην περιοχή της Πεδιάδας της Άρτας τα φαινόμενα είναι πιο έντονα και αποδίδονται κύρια στην υπερεκμετάλλευση των υπογείων υδάτων λόγω των γεωργικών δραστηριοτήτων και σε γεωλογικούς παράγοντες.

## Riassunto in italiano

La salinizzazione e' l'arricchimento dell'acqua sotterranea con dei sali solubili ed in preciso, con ioni di cloruro e sodio. La salinizzazione puo' essere considerata come un tipo di inquinamento ambientale dovuto ad attivita' umane, oppure, o/ e a fattori naturali geologici.

Le conseguenze di questo fenomeno sono estremamente importanti alle regioni in cui si manifesta. L'acqua salmastra e' inadatta per qualsiasi uso umano. Quindi, non e' possibile usufruire delle esistenti risorse idriche, a causa della scarsa qualita'. Questo praticamente significa che si devono trovare nuove risorse idriche, per coprire le esigenze di queste regioni, oppure, se questo non e' possibile, si dovrebbe trasportare acqua da altre regioni.

Nel ambito del progetto "IR2MA-Large Scale Irrigation Management Tools for Sustainable Water Management in Rural Areas and Protection of Receiving Aquatic Ecosystem" si studia la valutazione e la mappatura del fenomeno della salinizzazione nella regione di Epiro. Nella prima parte si descrive il meccanismo e le cause del fenomeno, mentre in un secondo tempo si nominano i diversi metodi di studio.

Succeivamente si descrive il distretto idrografico della regione di Epiro. Si studiano, in modo analitico, gli usi prevalenti, il settore di agricoltura, i sistemi di irrigazione idrica ed i sistemi idrici (nelle caratteristiche quantitative), tenendo conto del Piano di Gestione Approvato dei Bacini di Drenaggio del Distretto idrografico della regione di Epiro, eventuali revisioni e studi di Istituti di Ricerca.

Dalla valutazione dei dati predetti e' stata trovata che nelle zone costiere della regione di Epiro, si presentano fenomeni di salinizzazione di importanza locale, nella parte nord (Igoumenitsa-Parga). I fenomeni nel nordovest sono relativi a cause fisico-geologiche, dovute allo sviluppo delle rocce carbonatiche.

Nella penisola di Preveza e nella pianura di Arta i fenomeni sono piu' intensi, a causa del sfruttamento eccessivo delle acque sotteranee dal settore agricolo e a fattori geologici.

## Βιβλιογραφικές Αναφορές

- Appelo, C., Postma, D., 2007, *Geochemistry, Groundwater and Pollution*, 2nd edition, A.A. Balkema Publishers, Rotterdam, pp. 650.
- Appelo, C.A., Willemssen, A., 1987. Geochemical calculations and observations on salt water intrusions, I. A combined geochemical mixing cell model, *Journal of Hydrology*, 94, pp. 313-330.
- Appelo, C.A., Willemssen, A., Beekman, H.E., Griffioen, J., 1990. Calculations and observations on salt water intrusion, II. Validation of geochemical model with laboratory experiments, *Journal of Hydrology*, 120, pp. 225-250.
- Ayers RS, Westcot DW, 1994, *Water quality for agriculture: FAO Irrigation and Drainage Paper 29*. Revision. 1. pp. 130.
- Bear J., Cheng A., Sorek S., Ouazar D., Herrera I. (1999). *Seawater intrusion in coastal aquifers- Concepts, Methods and Practices*, Springer Science+Business Media Dordrecht, Israel, pp.625.
- Beer J.H., Joubert S.J., Van Zijl J.S., 1981, "Resistivity studies of an Alluvial aquifer in the Omaruru Delta, southwest Africa/Namibia", *Transaction of the Geological Society of South Africa*, Volume 84. pp 115- 122, 1981.
- Custodio, E., 1997, Studying, monitoring and controlling seawater intrusion in coastal aquifers, In *Guidelines for Study, Monitoring and Control*, FAO Water Reports, No. 11, pp. 7-23.
- Custodio, E., Bruggenman, G.A., Cotecchia, V., 1987, *Groundwater problems in coastal areas*, Studies and Reports in Hydrology, 35, UNESCO, Paris.
- Custodio, E., Llamas, M.R., 1976, *Hidrologia Subterranea*, 2 vols, Ed. Omega, Barcelona.
- Donato T, Klemas V (2001) Remote sensing and modeling applications for coastal resource management. *Geocarto Int* 16:23–29
- Durov, S.A., 1948, Natural waters and graphic representation of their composition, *Doklady Akademii Nauk SSSR* 59, 87–90.
- Essink, O., 2001. *Density Dependent Groundwater Flow*, Utrecht University, Interfaculty Centre of Hydrology Utrecht, Institute of Earth Sciences, Department of Geophysics, pp. 151.
- Food and Agricultural Organization of the United Nations (1997). *Seawater Intrusion in Coastal Aquifers-Guidelines for Study, Monitoring and Control*. FAO, Italy, pp.12-24
- Glover, R. E, 1964, 'The pattern of freshwater flowing in a coastal aquifer, in seawater in coastal aquifers' *US Geological Survey Water Supply Paper* 1613-C, p32-35
- Guo, Weixing, and Langevin, C.D., 2002, *User's Guide to SEAWAT: A Computer Program for Simulation of Three-Dimensional Variable-Density Ground-Water Flow: Techniques of Water-Resources Investigations Book 6*, Chapter A7, 77 p.
- Hertzberg, A., 1901, The water supply of parts of the North Sea coast in Germany, *Z. Gasbeleucht. Wasserversorg*, 44, pp. 815-819.
- Kallergis, G., Lambrakis, N.J., Nokas-Zografos, H., 1997. Estimating of the refreshing time of the aquifers in the coastal and island regions (in Greek), In *Proceeding of the Third National Congress of the Greek Committee for Water Resources Management*, Greece, pp. 225-228.
- Langevin, C.D., Thorne, D.T., Jr., Dausman, A.M., Sukop, M.C., and Guo, Weixing, 2007, *SEAWAT Version 4: A Computer Program for Simulation of Multi-Species Solute and Heat Transport: U.S. Geological Survey Techniques and Methods Book 6*, Chapter A22, 39 p.
- Martinez, D.E., Bocanegra, E.M., 2002. Hydrochemistry and cation-exchange process in the coastal aquifer of Mar Del Plata, Argentina, *Hydrogeology Journal*, 10, pp. 393-408.

- McDonald, M.G. and Harbaugh, A.W., 1988, A modular three – dimensional finite – difference ground – water flow model, US.G.S., Techn., Water Resour. Invest., Book 6, Washington.
- Myriounis, Ch., 2014, Hydrochemical factors for the investigation of seawater intrusion in the hydrological basin of Almyros, prefecture magnesia, Greece, 10th Hydrogeological conference, Thessalonica, Greece, pp.1-10.
- Myriounis, Ch., Voudouris, K., Tsourlos, P., Soulios, G., Dimopoulos, G., 2006, Hydrochemical and geophysical survey of the Almiros aquifer system, East Central Greece, 1st SWIM - SWICA, 19th Salt Water Intrusion Meeting, 3rd Salt Water Intrusion in Coastal Aquifers, Cagliari, Italy, pp. 221 - 227.
- Panagopoulos, G., Lambrakis, N., Tsois-Katagas, P., Papoulis, D., 2004, Cation exchange process and human activities in unconfined aquifers, *Environmental Geology*, 46, pp. 542-552.
- Petalas, Ch., Lambrakis, N., 2006. Simulation of intense salinization phenomena in coastal aquifers- the case of the coastal aquifers of Thrace, *Journal of Hydrology*, 324, pp. 51-64.
- Philipson, A., 1898, La tectonique de l' Egeide, *Ann. De Geogr.* 7, pp. 112 – 141.
- Piper A.M., 1944, A graphic procedure in geochemical interpretation of water analyses. *Trans Am Geophys Union* 1944; 25 pp. 914– 923
- Revelle R, 1941, Criteria of recognition of seawater in groundwater, *Trans. Amer. Geophysical Union* Vol. 22 pp. 593-597.
- Richter B., Kreitler, C., 1993, Geochemical techniques for identifying sources of ground-water salinization, Library of Congress, Cataloging in Publication data, CRC Press, pp. 257.
- Todd, D. K., 1980, *Ground-water Hydrology*, New York, John Wiley and Sons, pp. 535.
- Van Dam J. C., 1992, *Geohydrology, Lecture Notes*, Delf University of Technology, Faculty of Civil Engineering, Section Hydrology, the Netherlands.
- Voss, C.I., 1984, A finite – element model for saturated – unsaturated, fluid – density – dependent ground – water flow with energy transport or chemically – reactive single – species solute transport, U.S. Geological Survey, Water Resources Investigations Report 84 – 4369, 409 pp.
- Wilcox, L.V., 1955. Classification and use of irrigation waters, U.S. Depart. Agric. Circ. 969, Washington, pp. 19.
- Zheng, C. and P.P. Wang, 1998, MT3DMS: A modular three-dimensional multispecies model for simulation of advection, dispersion and chemical reactions of contaminants in groundwater systems; Documentation and User's Guide, Contract Report SERDP-99-1, U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS.
- Zheng, C., 2010, MT3DMS v5.3 Supplemental User's Guide, Technical Report to the U.S. Army Engineer Research and Development Center, Department of Geological Sciences, University of Alabama, 51 p.
- Αβραμίδου, Ε., 2007, Το φαινόμενο της υφαλμύρισης στον Ελλαδικό χώρο, Διατριβή Ειδίκευσης, ΠΜΣ Προστασία Περιβάλλοντος και Βιώσιμη Ανάπτυξη, Τμήμα Πολιτικών μηχανικών, Α.Π.Θ., σελ. 95
- Γεωργιοπούλου, Τ., 2007, Υφάλμυρος και γεμάτος νιτρικά ο Μαραθώνας, Εφημερίδα Καθημερινή της Κυριακής, 30 Σεπτεμβρίου.
- Δεμερτζής, Α., 2007, Εξαντλείται ο υδροφόρος ορίζοντας στην Αν. Ελλάδα, Ηλεκτρονική εφημερίδα e.tipos, 3 Ιουλίου.
- ΕΓΥ, 2014, Σχέδιο Διαχείρισης των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Ηπείρου (GR05).
- ΕΓΥ, 2017, 1<sup>η</sup> Αναθεώρηση Σχεδίου Διαχείρισης των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Ηπείρου (GR05).

Θεοδοσίου, Ν., 1994, Μαθηματικά μοντέλα προσομοίωσης και διαχείρισης υπόγειων υδροφορέων, Διδ. Διατριβή. Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Α.Π.Θ.

Καλλέργης, Γ., 2000. Εφαρμοσμένη - Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία, 2η έκδοση, τόμος Α, Β, Γ, Τ.Ε.Ε., Αθήνα

Καλλιώρας, Α., 2007, Διαχείριση υπόγειων υδατικών πόρων σε υδροφόρους που υπόκεινται σε καθεστώς θαλάσσιας διείσδυσης. Η περίπτωση του Δυτικού παράκτιου τμήματος του Νομού Ροδόπης, Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Δ.Π.Θ., Ξάνθη, σελ. 280.

Καρρά, Θ., 2011, Προσομοίωση παράκτιου υδροφορέα Σαντορίνης με το SEAWAT, Διπλωματική εργασία, Σχολή αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών, ΕΜΠ, σελ. 166.

Κιούσης, Γ., 2007α, Ακατάλληλα για χρήση τα υπόγεια νερά λόγω της θάλασσας, Εφημερίδα Ελευθεροτυπία, 1 Αυγούστου.

Κιούσης, Γ., 2007β, Αττική: ως και 80% έπεσε η τροφοδοσία του υδροφόρου ορίζοντα, Εφημερίδα Ελευθεροτυπία, 10 Αυγούστου.

Κουκαδάκη Μ., Τζιμούρτος Μ., (2002), “Συμβολή του υπεδάφειου ραντάρ στη μελέτη της ρύπανσης των εδαφών και υπογείων νερών”, Διπλωματική εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά, σελ. 1-11.

Κωσταρέλης, Κ., 2008, Γεωηλεκτρική διασκόπηση στην περιοχή Στύλου Αποκορώνου Χανίων, Διπλωματική εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά, σελ. 91.

Λατινόπουλος, Π., 2007, Προστασία και εξυγίανση των υπόγειων νερών, Σημειώσεις, Π.Μ.Σ. Προστασία Περιβάλλοντος και Βιώσιμη Ανάπτυξη. Θεσσαλονίκη.

Μαντόγλου, Α., και Γ. Κουράκος, 2005, Θεωρητική τεκμηρίωση μοντέλου ανάλυσης παράκτιων υδροφορέων (ΑΛΣ), Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Συστημάτων σε Σύζευξη με Εξελιγμένο Υπολογιστικό Σύστημα (ΟΔΥΣΣΕΥΣ), Ανάδοχος: ΝΑΜΑ Σύμβουλοι Μηχανικοί και Μελετητές Α.Ε., Τεύχος 4b, , Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, σελ. 38.

Μαρκοζάννης, Σ., 2013, Συστήματα Αφαλάτωσης στη Σαντορίνη, Πτυχιακή εργασία, Τμήμα Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος, ΤΕΙ Κρήτης, σελ. 118.

Μελαδιώτης, Ι., 2000, Φαινόμενα υφαλμύρωσης των υδροφόρων στρωμάτων της περιοχής Σίνδου - Καλοχωρίου του Νομού Θεσσαλονίκης. Μεταλλειολογικά- Μεταλλουργικά Χρονικά, Τόμος 10, Τεύχος 2, Ιούλιος-Δεκέμβριος 2000.

Μιχαλάκης, Ι., 2007, Συμβολή της ηλεκτρικής τομογραφίας στην παρακολούθηση της υφαλμύρισης πριν, κατά την διάρκεια και μετά την δοκιμή άντλησης στον οικισμό Φαράγγι Αποκορώνου, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Τμήμα Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης, σελ. 75.

Μυριούνης, Χ., (2004): Μαθηματικά μοντέλα προσομοίωσης των υδατικών πόρων, Σεμινάριο, Π.Μ.Σ. Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωλογία, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη, σελ. 130.

Μυριούνης, Χ., (2008): Υδρογεωλογική και υδροχημική διερεύνηση των υπογείων νερών της παράκτιας ζώνης της υδρολογικής λεκάνης Αλμυρού Μαγνησίας, Διδακτορική διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη, σελ. 379.

Νικολάου, Ε., 2005, Ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά του υπόγειου υδατικού δυναμικού της Ηπείρου-διαχειριστικές προτάσεις, Εισήγηση, Πρέβεζα.

Παππά-Σουλούνια, Ρ., 2005, Με ερημοποίηση απειλείται η αττική γη, Εφημερίδα Κυριακάτικη Ελευθεροτυπία, 16 Οκτωβρίου.

Περγαλιώτης, Π., Παπαδάκου, Σ., 1998, Τα υφάλμυρα νερά και οι γενεσιουργές αιτίες τους, Πρακτικά ημερίδας με θέμα Υφαλμύρωση Υπόγειων Υδάτων. ΤΕΕ, Αθήνα.

Πεταλάς, Χ., Πλιάκας, Φ., Καλλιώρας, Α., Διαμαντής, Ι., 2002, Τεχνικά, διαχειριστικά και οικονομοτεχνικά στοιχεία σύγχρονων τάσεων αντιμετώπισης της διείσδυσης αλμυρού νερού σε παράκτιες περιοχές στο διεθνή χώρο. Πρακτικά 6ου Υδρογεωλογικού Συνεδρίου. Ξάνθη, σελ. 23-34.

Σταμάτης, Γ., 2012, Υφαλμύρωση των παράκτιων υδροφορέων και κλιματική αλλαγή. Ειδικές και γενικές επιπτώσεις <http://www.blod.gr/lectures/Pages/viewlecture.aspx?LectureID=416>

Τσιγγανός, Θ., 2007, Χάνονται τα ύδατα στη Β. Ελλάδα, Εφημερίδα Η Καθημερινή, 7 Οκτωβρίου.

Χαλβατζάκης, Κ., 1997 Θα πίνουμε θαλασσινό νερό, Εφημερίδα Το Βήμα, 16 Νοεμβρίου.

Χαλβατζάκης, Κ., 1999, Ποιες περιοχές θα γίνουν... Βενετία, Εφημερίδα Το Βήμα, 28 Νοεμβρίου.

**Interreg V- A Greece-Italy Programme 2014 2020**

[www.greece-italy.eu](http://www.greece-italy.eu)

**IR2MA**

**Large Scale Irrigation Management Tools for Sustainable Water Management  
in Rural Areas and Protection of Receiving Aquatic Ecosystems**

Subsidy Contract No: I1/2.3/27

Project co-funded by European Union, European Regional Development Funds (E.R.D.F.) and by National Funds of Greece and Italy