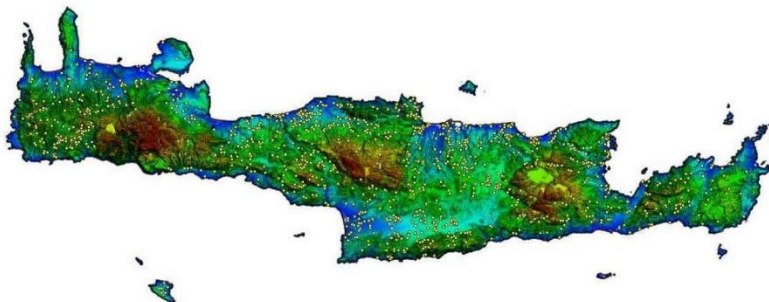




ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΑΠΟΚΕΝΤΡΩΜΕΝΗ ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΚΡΗΤΗΣ
ΓΕΝΙΚΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΧΩΡΟΤΑΞΙΚΗΣ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ & ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ
ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΥΔΑΤΩΝ

ΛΕΠΤΟΜΕΡΗΣ ΟΡΙΟΘΕΤΗΣΗ ΖΩΝΩΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ
ΣΗΜΕΙΩΝ ΥΔΡΟΛΗΨΙΑΣ ΓΙΑ ΑΠΟΛΗΨΕΙΣ ΝΕΡΟΥ ΥΔΡΕΥΣΗΣ



5η ΦΑΣΗ: ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ “ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ” ΓΙΑ ΤΗΝ
ΟΡΙΟΘΕΤΗΣΗ ΤΩΝ ΖΠ ΚΑΙ ΓΙΑ ΤΑ ΑΠΟΔΕΚΤΑ ΟΡΙΑ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

6η ΦΑΣΗ: ΟΡΙΟΘΕΤΗΣΗ ΤΩΝ ΖΠ

7η ΦΑΣΗ: ΣΥΓΓΡΑΦΗ ΠΡΟΣΧΕΔΙΟΥ ΑΠΟΦΑΣΗΣ ΤΗΣ
ΟΡΙΟΘΕΤΗΣΗΣ ΤΩΝ ΖΠ ΥΔΡΟΛΗΨΙΩΝ - ΔΙΑΒΟΥΛΕΥΣΗ

3η ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ - ΤΕΥΧΟΣ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗΣ
ΤΡΩΤΟΤΗΤΑ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΡΟΦΟΡΕΩΝ

ΚΩΔΙΚΟΣ :

ΤΕ.3-3

ΣΥΝΤΑΧΘΗΚΕ :

ΙΟΥΛΙΟΣ
2026

ΑΝΑΔΟΧΟΙ

ΕΝΩΣΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ ΦΟΡΕΩΝ

ΗΛΙΔΑ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ- ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Α.Ε.
ΓΙΑΝΝΑΤΟΣ ΓΕΡΑΣΙΜΟΣ
ΑΛΕΞΙΑΔΟΥ ΜΑΡΙΑ- ΧΑΡΑ

ΣΥΝΤΟΝΙΣΤΗΣ : Γ. ΓΙΑΝΝΑΤΟΣ
ΣΤΡΑΒΩΝΟΣ 3, Τ.Κ. 142 34, Ν. ΙΩΝΙΑ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΤΗΛ.:210 2790882, e-mail: info@ilida-eng.gr
giannatosmakis@gmail.com, halex@geoskopio.gr

ΟΙ ΣΥΝΤΑΞΑΝΤΕΣ

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ

ΜΑΡΙΑ ΧΑΡΑ ΑΛΕΞΙΑΔΟΥ
Γεωλόγος MSc

ΣΕΡΑΦΕΙΜ ΣΚΟΒΟΛΑΣ
Γεωλόγος MSc

ΓΕΡΑΣΙΜΟΣ ΓΙΑΝΝΑΤΟΣ
Δρ. Υδρογεωλόγος

ΠΡΟΪΣΤΑΜΕΝΗ ΑΡΧΗ: ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΤΕΧΝΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ Α.Δ. ΚΡΗΤΗΣ
Δ/ΝΟΥΣΑ ΥΠΗΡΕΣΙΑ: Δ/ΝΣΗ ΥΔΑΤΩΝ Α.Δ. ΚΡΗΤΗΣ

Η ΟΜΑΔΑ ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΩΝ

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ

Η Προϊσταμένη
Δ/Νσης Υδάτων Α.Δ.Κ.
ΑΓΓΕΛΙΚΗ ΜΑΡΤΙΝΟΥ

Η Προϊσταμένη του Τμήματος
Παρακολούθησης και Προστασίας Υδατικών Πόρων της
Δ/Νσης Υδάτων Α.Δ.Κ.
ΙΩΑΝΝΑ ΜΑΡΗ

Ο Προϊστάμενος Γενικής Διεύθυνσης
Βιώσιμης Ανάπτυξης Περιφέρειας Κρήτης
ΜΑΡΙΝΟΣ ΚΡΙΤΣΩΤΑΚΗΣ

ΕΓΚΡΙΘΗΚΕ ΜΕ ΤΗΝ αρ:

ΤΕΥΧΟΣ 3-3: ΤΡΩΤΟΤΗΤΑ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΡΟΦΟΡΕΩΝ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1	Γενικά.....	1
1.2	Σκοπός και Αντικείμενο της Μελέτης	4
1.3	Εκπόνηση – Επίβλεψη της Μελέτης.....	5
1.4	Νομοθετικό Πλαίσιο – Τεχνικές Προδιαγραφές.....	6
1.5	Ομάδα Μελέτης.....	8
2	ΤΡΩΤΟΤΗΤΑ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΡΟΦΟΡΕΩΝ	9
2.1	Γενικά.....	9
2.2	Μεθοδολογίες Εκτίμησης Τρωτότητας.....	11
2.3	Μηχανισμός Αυτοπροστασίας των Υπόγειων Υδροφορέων στην Κρήτη	16
2.3.1	Καρστικές Υδροφορίες	16
2.3.2	Καρστικές Υδροφορίες Υποκείμενες Κοκκωδών Υ.Υ.Σ.....	18
2.3.3	Κοκκώδεις Υδροφορίες	19
2.3.4	Υφαλμύριση και Τρωτότητα.....	19
2.4	Επιλογή Μεθόδου Εκτίμησης Τρωτότητας.....	21
2.5	Εκτίμηση Τρωτότητας με τη Μέθοδο COP.....	22
2.5.1	Μεθοδολογικό Πλαίσιο – Δεδομένα.....	22
2.5.2	Αποτελέσματα.....	30
2.6	Εκτίμηση Τρωτότητας με τη Μέθοδο DRASTIC.....	44
2.6.1	Μεθοδολογικό Πλαίσιο – Δεδομένα.....	44
2.6.2	Αποτελέσματα.....	47
2.7	Χάρτης Τρωτότητας Υπόγειων Υδροφορέων της Κρήτης	57
2.8	Χάρτης Επικινδυνότητας Ρύπανσης των Υπόγειων Υδροφορέων της Κρήτης...	60
2.9	Συμπέρασμα	63

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πιν. 2-1 Μετεωρολογικοί σταθμοί (P Map).....	25
Πιν. 2-2 Δεδομένα Βροχομετρικών Σταθμών	39
Πιν. 2-3 Παράμετροι Μεθόδου DRASTIC (Aller et al., 1987; Λάππας, 2018)	46
Πιν. 2-4 Δεδομένα Βροχομετρικών Σταθμών – Μέση Ετήσια Βροχόπτωση.....	49
Πιν. 2-5 Συντελεστές Κατείσδυσης Υδρολιθολογικών Σχηματισμών	52
Πιν. 2-6 Βαθμονόμηση Κλάσεων Κάλυψης Γης ως προς την Επικινδυνότητα Ρύπανσης των Υπόγειων υδροφορέων της Κρήτης	60

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχ. 2-1 Σχηματική Απεικόνιση Μεθόδου COP.....	29
Σχ. 2-2 Εδαφολογικός Χάρτης.....	31
Σχ. 2-3 Χάρτης Βάθους Εδαφών	32
Σχ. 2-4 Υδρολιθολογικά Χαρακτηριστικά Γεωλογικών Σχηματισμών (ΣΔΛΑΠ - 2 ^η Αναθεώρηση)	33
Σχ. 2-5 Χάρτης Προστασίας Υπόγειων Υδροφόρων από Επιφανειακούς και Υπερκείμενους Γεωλογικούς Σχηματισμούς (Ο Map)	34
Σχ. 2-6 Χάρτης Κλίσεων Γης	36
Σχ. 2-7 Χάρτης Κάλυψης Γης - Φυτοκάλυψης (Corine 2018).....	37
Σχ. 2-8 Χάρτης Μείωσης Προστασίας Υπόγειων Υδροφόρων λόγω Συγκέντρωσης Ροής (C Map).....	38
Σχ. 2-9 Χάρτης Μείωσης Προστασίας Υπόγειων Υδροφόρων λόγω Επίδρασης Βροχόπτωσης (P Map).....	43
Σχ. 2-10 Χάρτης Βάθους Υπόγειων Υδροφόρων (Μετρήσεις ΕΑΓΜΕ 2000-2023)	48
Σχ. 2-11 Χωρική Κατανομή Ετήσιας Βροχόπτωσης	53
Σχ. 2-12 Ενεργή Κατείσδυση	54
Σχ. 2-13 Χάρτης Κλίσεων Γης (κατάταξη με τη μέθοδο DRASTIC)	56
Σχ. 2-14 Χάρτης Τρωτότητας Υπόγειων Υδροφόρων της Κρήτης	59
Σχ. 2-15 Χάρτης Κινδύνου Ρύπανσης Υπόγειων Υδροφόρων της Κρήτης	62

ΓΕΝΙΚΗ ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΤΕΥΧΩΝ, ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΩΝ ΜΕΛΕΤΗΣ
ΤΕΥΧΟΣ 3-1: ΚΥΡΙΟ ΤΕΥΧΟΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

ΤΕΥΧΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗΣ (ΣΥΝΟΔΑ ΤΕΥΧΗ)

ΤΕΥΧΟΣ 3-A: ΤΕΧΝΙΚΟ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ – ΑΝΑΛΥΣΗ

ΤΕΥΧΟΣ 3-2: ΡΥΠΟΓΟΝΕΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ – ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΟΙ ΡΥΠΟΙ ΣΤΑ
ΥΠΟΓΕΙΑ ΝΕΡΑ

ΤΕΥΧΟΣ 3-3: ΤΡΩΤΟΤΗΤΑ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΡΟΦΟΡΕΩΝ

ΤΕΥΧΟΣ 3-4: ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΖΩΝΩΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΜΕ ΜΟΝΤΕΛΑ ΡΟΗΣ /
ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ

ΤΕΥΧΟΣ 3-5: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΟΡΙΟΘΕΤΗΣΕΩΝ ΖΩΝΩΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΑΝΑ ΠΑΡΟΧΟ

ΤΕΥΧΟΣ 3-6: ΤΕΥΧΟΣ ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΩΝ

- I. Βιβλιογραφία
 - IA Διαθέσιμες Πηγές Δεδομένων (μέχρι 27-02-2026)
 - IB Βάση Δεδομένων Βιβλιογραφικών Αναφορών (Σε ξεχωριστό ψηφιακό μέσο)
- II. Βάση Δεδομένων Σημείων Υδροληψιών για Ύδρευση
- III. Στοιχεία Γεωτρήσεων (Σε ξεχωριστό ψηφιακό μέσο)
 - IIIA Τομές Υδρογεωτρήσεων και Δοκιμαστικές Αντλήσεις Σημείων Ύδρευσης (αρχείο ΑπΔΚ)
 - IIIB Βάση Δεδομένων Τομών Γεωτρήσεων (Υδρογεωτρήσεις και Γεωτεχνικής Έρευνας)
- IV. Βάση Δεδομένων Μετρήσεων Στάθμης Υδροφόρου Ορίζοντα
- V. Βάση Δεδομένων Ποιοτικών Χαρακτηριστικών
 - VA. Χημικές Αναλύσεις Ε.Δ.Π.Υ.
 - VB. Χημικές Αναλύσεις Δήμων και ΔΕΥΑ
- VI. Βάση Δεδομένων Δυνητικά Ρυπογόνων Δραστηριοτήτων
- VII. Μέτρα ΣΔΛΑΠ του ΥΔ Κρήτης (EL13)

VIIA. – 1η Αναθεώρηση (ΦΕΚ 4666 Β'/29-12-2017)

M13B0401, Καθορισμός και οριοθέτηση ζωνών ή/και μέτρων προστασίας σημείων υδροληψίας ύδατος, που προορίζεται για ανθρώπινη κατανάλωση από υπόγεια υδατικά συστήματα

M13B0402, Προστασία Υπόγειων Υδατικών Συστημάτων, που εντάσσονται στο μητρώο προστατευόμενων περιοχών ανθρώπινης κατανάλωσης και καθορισμός θεσμικού πλαισίου προστασίας

VII.B. – 2η Αναθεώρηση (ΦΕΚ 112 Α'/23-07-2024)

M13B0401, Προστασία σημείων/πεδίων υδροληψίας ύδατος που προορίζεται για ανθρώπινη κατανάλωση από Υπόγεια Υδατικά Συστήματα

M13B0402, Προστασία Υπόγειων Υδατικών Συστημάτων, που εντάσσονται στο μητρώο προστατευόμενων περιοχών ανθρώπινης κατανάλωσης και καθορισμός θεσμικού πλαισίου προστασίας

VIII. Γεωλογικές Χαρτογραφήσεις σε κλίμακα 1:5.000 (Σε ξεχωριστό ψηφιακό μέσο)

A/A	ΑΡ. ΣΧΕΔΙΟΥ	ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ	ΚΛΙΜΑΚΑ
1	ΓΟ-1	ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΚΟΛΕΝΙΟΥ (ΠΕΠ 1)	1:5.000
2	ΓΟ-2	ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΣΚΛΩΝ (ΠΕΠ 2)	1:5.000
3	ΓΟ-3	ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΑΡΓΥΡΟΥΠΟΛΗΣ (ΠΕΠ 3)	1:5.000
4	ΓΟ-4	ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΛΕΥΚΟΓΕΙΩΝ (ΠΕΠ 4)	1:5.000
5	ΓΟ-5	ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΘΡΥΠΤΗΣ (ΠΕΠ 8)	1:5.000
6	ΓΤ-1	ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΤΟΜΕΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΚΟΛΕΝΙΟΥ (ΠΕΠ 1)	1:5.000
7	ΓΤ-2	ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΤΟΜΕΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΣΚΛΩΝ (ΠΕΠ 2)	1:5.000
8	ΓΤ-3	ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΤΟΜΕΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΑΡΓΥΡΟΥΠΟΛΗΣ (ΠΕΠ 3)	1:5.000
9	ΓΤ-4	ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΤΟΜΕΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΛΕΥΚΟΓΕΙΩΝ (ΠΕΠ 4)	1:5.000
10	ΓΤ-5	ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΤΟΜΕΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΘΡΥΠΤΗΣ (ΠΕΠ 8)	1:5.000
11	ΓΥ-1	ΥΔΡΟΛΙΘΟΛΟΓΙΚΟΣ - ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΚΟΛΕΝΙΟΥ (ΠΕΠ 1)	1:5.000
12	ΓΥ-2	ΥΔΡΟΛΙΘΟΛΟΓΙΚΟΣ - ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΣΚΛΩΝ (ΠΕΠ 2)	1:5.000
13	ΓΥ-3	ΥΔΡΟΛΙΘΟΛΟΓΙΚΟΣ - ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΑΡΓΥΡΟΥΠΟΛΗΣ (ΠΕΠ 3)	1:5.000
14	ΓΥ-4	ΥΔΡΟΛΙΘΟΛΟΓΙΚΟΣ - ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΛΕΥΚΟΓΕΙΩΝ (ΠΕΠ 4)	1:5.000
15	ΓΥ-5	ΥΔΡΟΛΙΘΟΛΟΓΙΚΟΣ - ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΘΡΥΠΤΗΣ (ΠΕΠ 8)	1:5.000

- ΙΧ. Μέθοδος Υπολογισθείσας Σταθερής Ακτίνας (CFR) – Προτεινόμενες τιμές και υπολογισμοί
- Χ. Υλικό Εκπαίδευσης σε Λογισμικό και Γεωγραφικές Βάσεις Δεδομένων
 - Χ.Α Ατζέντα Εκπαίδευσης
 - Χ.Β Εισαγωγικό Σημείωμα Εκπαίδευσης
- ΧΙ. Προσχέδιο Απόφασης Οριοθέτησης Ζωνών Προστασίας Υδροληψιών για Ύδρευση

ΣΧΕΔΙΑ ΕΚΤΟΣ ΚΕΙΜΕΝΟΥ

A/A	ΑΡ. ΣΧΕΔΙΟΥ	ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ	ΚΛΙΜΑΚΑ
1	Κ.1-0	ΥΔΡΟΛΙΘΟΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ ΜΕ ΣΗΜΕΙΑ ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΔΥΝΗΤΙΚΑ ΡΥΠΟΓΟΝΕΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ	1:150.000
2	Ζ.2-1	ΧΑΡΤΗΣ ΖΩΝΩΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΣΗΜΕΙΩΝ ΥΔΡΟΛΗΨΙΑΣ ΚΡΗΤΗΣ	1:150.000

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενικά

Το παρόν Τεύχος Τεκμηρίωσης (ΤΕ 3-3) συντάχθηκε στο πλαίσιο της μελέτης:

«Λεπτομερής Οριοθέτηση Ζωνών Προστασίας Σημείων Υδροληψίας για Απολήψεις Νερού Ύδρευσης»,

που ανατέθηκε από την ΑΠΟΚΕΝΤΡΩΜΕΝΗ ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΚΡΗΤΗΣ, ΓΕΝΙΚΗ Δ/ΝΣΗ ΧΩΡΟΤΑΞΙΚΗΣ, ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ & ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ, Δ/ΝΣΗ ΥΔΑΤΩΝ στην Ένωση Οικονομικών Φορέων:

- ΗΛΙΔΑ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ ΑΝΩΝΥΜΟΣ ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΜΕΛΕΤΩΝ με δ.τ. ΗΛΙΔΑ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Α.Ε.
- ΓΙΑΝΝΑΤΟΣ ΓΕΡΑΣΙΜΟΣ ΤΟΥ ΣΠΥΡΙΔΩΝΑ
- ΑΛΕΞΙΑΔΟΥ ΜΑΡΙΑ – ΧΑΡΑ

και αποσκοπεί στην εφαρμογή των Μέτρων M13B0401 και M13B0402 του Σχεδίου Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Κρήτης (EL13), για την προστασία των σημείων απόληψης νερού ανθρώπινης κατανάλωσης στην Περιφέρεια Κρήτης.

Η σχετική σύμβαση για την εκπόνηση υπογράφηκε στις 19-05-2023.

Το παρόν συντάχθηκε στο πλαίσιο της 3^{ης} Τεχνικής Έκθεσης της μελέτης και αναφέρεται στην παρουσίαση των εργασιών, που εκπονήθηκαν για την ολοκλήρωση της 3^{ης} Φάσης της μελέτης:

- **3^η Φάση: Τρωτότητα υδροφορέων**

Το παρόν αποτελεί μέρος της 2^{ης} Τεχνικής Έκθεσης της μελέτης το οποίο συντάχθηκε και περιλήφθηκε στα τεύχη τεκμηρίωσης για την πληρέστερη δυνατή παρουσίαση των δεδομένων που θα αναρτηθούν προς διαβούλευση της μελέτης.

Αποτελεί το Τεύχος Τεκμηρίωσης 3-3, “**Τρωτότητα Υπόγειων Υδροφορέων της Κρήτης**”. Το Τεύχος 3-3 περιλαμβάνει την ανάλυση τρωτότητας που

πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο της μελέτης στους υπόγειους υδροφορείς της Κρήτης. Η ανάλυση εκτελέστηκε με δύο διαφορετικές μεθοδολογίες: τη Μέθοδο COP που αναπτύχθηκε στο πλαίσιο του Ευρωπαϊκού Προγράμματος COST ACTION 620 για την προστασία των καρστικών υδροφόρων και την παλαιότερη Μέθοδο DRASTIC που είναι ευρείας εφαρμογής. Τελικό αποτέλεσμα είναι ο χάρτης τρωτότητας (vulnerability map) των υπόγειων υδροφορέων της Κρήτης που είναι σύνθεση των δύο παραπάνω μεθοδολογιών. Η τρωτότητα των περιοχών που δομούνται από καρστικά πετρώματα είναι αποτέλεσμα εφαρμογής της μεθόδου COP, ενώ σε όλες τις υπόλοιπες περιοχές του νησιού η τρωτότητα είναι αποτέλεσμα εφαρμογής της μεθόδου DRASTIC. Στο Τεύχος 3-3 περιλαμβάνεται επίσης και ο Χάρτης Επικινδυνότητας Ρύπανσης των Υπόγειων Υδροφορέων της Κρήτης, που συντάχθηκε στο πλαίσιο της εκτίμησης της τρωτότητας.

Συνολικά η υποβολή της 3^{ης} Τεχνικής Έκθεσης της Μελέτης περιλαμβάνει τα παρακάτω Τεύχη που αναφέρονται για λόγους πληρότητας:

ΤΕΥΧΟΣ 3-A: “Τεχνικό Αντικείμενο - Ανάλυση”. Το Τεύχος 3-A συντάχθηκε με βάση τις υποβολές που έγιναν στο πλαίσιο των 1^{ης} και 2^{ης} Τεχνικών Εκθέσεων της μελέτης και εκτός από τα γενικά εισαγωγικά στοιχεία περιλαμβάνει τη συγκέντρωση, επικαιροποίηση και διαχείριση των δεδομένων του τεχνικού αντικείμενου της μελέτης, μέσω ανάπτυξης Βάσης Δεδομένων και την ανάλυση επί των υδρογεωλογικών χαρακτηριστικών των υδροφορέων ανά Πάροχο νερού ανθρώπινης κατανάλωσης.

ΤΕΥΧΟΣ 3-1: “Κύριο Τεύχος Μελέτης”. Το Τεύχος 3-1, εκτός από τα γενικά εισαγωγικά στοιχεία περιλαμβάνει τη διαδικασία εκπόνησης της μελέτης, τις μεθοδολογίες που χρησιμοποιήθηκαν για την οριοθέτηση των ζωνών και τα συνοπτικά αποτελέσματα της οριοθέτησης με τις Ζώνες Προστασίας II που προτείνονται ανά Πάροχο νερού ανθρώπινης κατανάλωσης.

ΤΕΥΧΟΣ 3-2: “Ρυπογόνες Δραστηριότητες – Παραγόμενοι Ρύποι στα Υπόγεια Νερά”. Το Τεύχος 3-2 περιλαμβάνει την καταγραφή των δραστηριοτήτων και των εστιών ρύπανσης των υπόγειων νερών στην Κρήτη και των πιέσεων που επάγονται για τα υπόγεια νερά (σημειακών και διάχυτων). Στο Τεύχος παρουσιάζεται η ομαδοποίηση των ανθρώπινων δραστηριοτήτων που έγινε, η αξιολόγηση των δυνητικά ρυπογόνων και οι παραγόμενοι από αυτές ρύποι. Μεταξύ των ασκούμενων πιέσεων περιλαμβάνεται και η θαλάσσια διείσδυση στους παράκτιους υδροφορείς που έχει τόσο φυσικά αίτια (παράκτιες εμφανίσεις ανθρακικών πετρωμάτων), όσο και αίτια ανθρωπογενή (υπεραντλήσεις υπόγειου νερού). Για την καταγραφή δραστηριοτήτων και ρύπων αναπτύχθηκε και παραδόθηκε στον Εργοδότη σχετική Βάση Δεδομένων.

ΤΕΥΧΟΣ 3-3: “Τρωτότητα Υπόγειων Υδροφορέων της Κρήτης”, (παρόν τεύχος).

ΤΕΥΧΟΣ 3-4: “Καθορισμός Ζωνών Προστασίας με Μοντέλα Ροής / Μεταφοράς”. Το Τεύχος 3-4 περιλαμβάνει την αναλυτική παρουσίαση της μαθηματικής προσομοίωσης που συντάχθηκε σε οκτώ καρστικές περιοχές της Κρήτης, σύμφωνα με τις προδιαγραφές και τις υποδείξεις του Εργοδότη. Στις περιοχές αυτές συντάχθηκαν μαθηματικά ομοιώματα Σταθερής Ροής (Steady State), με χρήση του λογισμικού FeFlow 11.0 της WASY/Danish Hydraulic Institute (DHI). Η σύνταξη των ομοιωμάτων έγινε επί τη βάση εννοιολογικών μοντέλων που συντάχθηκαν από την ομάδα μελέτης, παρουσιάστηκαν και έγιναν αποδεκτά από τον Εργοδότη. Για κάθε ένα ομοίωμα παρουσιάζονται στο τεύχος τα δεδομένα, οι παραδοχές και οι αβεβαιότητες της προσομοίωσης, όπως επίσης τα αποτελέσματα που προέκυψαν και οι προτάσεις για την οριοθέτηση των ζωνών.

ΤΕΥΧΟΣ 3-5: “Εφαρμογή Οριοθετήσεων Ζωνών Προστασίας ανά Πάροχο”. Το Τεύχος 3-5 περιλαμβάνει την αναλυτική τεκμηρίωση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από την εφαρμογή των υπολοίπων μεθοδολογιών που χρησιμοποιήθηκαν για την πρόταση των ορίων των Ζωνών Προστασίας II, πλην της εφαρμογής της μεθοδολογίας των μαθηματικών προσομοιώσεων που περιέχονται στο τεύχος 3-4. Η ανάλυση είναι ανά υδροσημείο, ή /και ομάδα υδροσημείων, όπου περιγράφεται η γεωλογική δομή και οι υδρογεωλογικές συνθήκες και γενικά όλα τα στοιχεία που αξιολογήθηκαν για τον καθορισμό των ζωνών.

ΤΕΥΧΟΣ 3-6: “Τεύχος Παραρτημάτων”. Το τεύχος 3-6 περιλαμβάνει τα Παραρτήματα της μελέτης που είναι η Βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε, οι Βάσεις Δεδομένων Υδροληψιών, Ρυπογόνων Δραστηριοτήτων, Μετρήσεων Στάθμης και Ποιοτικών χαρακτηριστικών των νερών που συντάχθηκαν, τα αποτελέσματα των Γεωλογικών Χαρτογραφήσεων που έγιναν σε 5 επιλεγμένες περιοχές για τις ανάγκες των μαθηματικών προσομοιώσεων, το Πρόγραμμα με το υλικό που παραδόθηκε για την εκπαίδευση που πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο της μελέτης καθώς επίσης και το Προσχέδιο της Απόφασης Οριοθέτησης Ζωνών Προστασίας Υδροληψιών για Ύδρευση.

1.2 Σκοπός και Αντικείμενο της Μελέτης

Σκοπός της παρούσας μελέτης είναι ο προσδιορισμός των ορίων των Ζωνών Προστασίας των έργων υδροληψίας υπογείων υδάτων που προορίζονται για ύδρευση. Ουσιαστικά σκοπός της μελέτης είναι η ακριβέστερη δυνατή προσέγγιση της απόστασης των Ζωνών Προστασίας από τις υδροληψίες υπόγειου νερού ανθρώπινης κατανάλωσης που, με το ισχύον ΣΔΛΑΠ του ΥΔ Κρήτης (ΕΛ13), έχουν προσωρινά οριστεί περιμετρικά των έργων υδροληψίας σε 10m για τη Ζώνη Προστασίας Ι και 1000m για τη Ζώνη Προστασίας ΙΙ. Για τη Ζώνη Προστασίας ΙΙΙ δεν υπάρχει προσωρινός καθορισμός.

Εντός της περιοχής των Ζωνών Προστασίας έχουν θεσμοθετηθεί ρυθμίσεις περιοριστικών μέτρων ως προς τις δραστηριότητες, που επιτρέπεται να αναπτυχθούν, ώστε να αποτραπεί το ενδεχόμενο, ρύποι σε συγκεντρώσεις, που υπερβαίνουν τα προβλεπόμενα από το θεσμικό πλαίσιο όρια, να φτάσουν στα έργα υδροληψίας.

Αντικείμενο της μελέτης είναι το σύνολο των 1.051 υδροσημείων απόληψης νερού ανθρώπινης κατανάλωσης στην Περιφέρεια Κρήτης, η γεωλογική δομή και ο μηχανισμός λειτουργίας των επιμέρους υδροφορέων τους.

Η παρούσα μελέτη λαμβάνει υπόψη και εξειδικεύει τα αναφερόμενα στο ΣΔΛΑΠ του Υδατικού Διαμερίσματος Κρήτης (ΕΛ13), όπως ορίζεται στο Τεύχος Περιγραφής Φυσικού και Οικονομικού Αντικειμένου της Σύμβασης. Διευκρινίζεται δε ότι το τεύχος αυτό έχει συνταχθεί με βάση την **1^η Αναθεώρηση** του ΣΔΛΑΠ του ΥΔ Κρήτης (ΦΕΚ 4666 Β' / 29-12-2017), όπου τα υλοποιούμενα με την παρούσα Μέτρα ορίζονται ως:

- **M13B0401:** Καθορισμός και οριοθέτηση ζωνών ή/και μέτρων προστασίας σημείων υδροληψίας ύδατος, που προορίζεται για ανθρώπινη κατανάλωση από υπόγεια υδατικά συστήματα και,
- **M13B0402:** Προστασία Υπόγειων Υδατικών Συστημάτων, που εντάσσονται στο μητρώο προστατευόμενων περιοχών ανθρώπινης κατανάλωσης και καθορισμός θεσμικού πλαισίου προστασίας.

Όμως κατά τη διάρκεια εκπόνησης της Μελέτης και συγκεκριμένα κατά τη διάρκεια σύνταξης της 2^{ης} Τεχνικής Έκθεσης, ολοκληρώθηκε και δημοσιεύθηκε η **2^η Αναθεώρηση** του ΣΔΛΑΠ του ΥΔ Κρήτης (ΦΕΚ 112 Α'/23-07-2024) κατά την οποία τροποποιήθηκε η περιγραφή του μέτρου M13B0401, σε προσαρμογή με την Οδηγία 2020/2184/ΕΕ, που εισάγει τον παράγοντα της εκτίμησης κινδύνου των λεκανών απορροής. Ουσιαστικά πλέον ορίζεται ο καθορισμός Ζωνών Ασφαλείας των υδροληψιών.

Ο τίτλος του Μέτρου M13B0401 έχει πλέον διαμορφωθεί σε:

- **M13B0401:** Προστασία σημείων/πεδίων υδροληψίας ύδατος που προορίζεται για ανθρώπινη κατανάλωση από Υπόγεια Υδατικά Συστήματα

και στην παράγραφο iii) της περιγραφής του αναφέρεται ότι:

iii) Μέχρι τον καθορισμό των ζωνών ασφαλείας, ισχύουν ζώνες προστασίας για τα σημεία υδροληψίας

Παράλληλα, σύμφωνα με τη διευκρίνιση 3 του Μέτρου M13B0401 της 2^{ης} Αναθεώρησης:

«Οι υπό εκπόνηση ή υπό διακήρυξη μελέτες ζωνών προστασίας θα ολοκληρωθούν με βάση τις υφιστάμενες προδιαγραφές εκπόνησής τους. Στη συνέχεια με ευθύνη της αναθέτουσας αρχής, θα εναρμονισθούν με βάση τις απαιτήσεις και τα όσα ορίζονται στην Οδηγία (ΕΕ) 2020/2184 και την εναρμόνισής της στην ελληνική νομοθεσία με την ΚΥΑ Δ1(δ)/ΓΠ οικ. 27829/2023 (ΦΕΚ Β 3525). - (Άρθρο 8:Εκτίμηση κινδύνου και διαχείριση κινδύνου των λεκανών απορροής για σημεία υδροληψίας νερού ανθρώπινης κατανάλωσης).»

Το αναλυτικό περιεχόμενο των Μέτρων περιλαμβάνεται στα Παραρτήματα VIIA και VIIB για την 1^η και 2^η Αναθεώρηση αντίστοιχα, που αποτελούν μέρος των τευχών τεκμηρίωσης της Μελέτης,

1.3 Εκπόνηση – Επίβλεψη της Μελέτης

Η παρούσα Μελέτη εκπονήθηκε με βάση τα Μέτρα της 1^{ης} αναθεώρησης σύμφωνα με το Τεύχος Φυσικού Αντικειμένου της Σύμβασης που προαναφέρθηκε.

Η οριοθέτηση Ζωνών Προστασίας υδροληψιών (ΖΠ), βασίζεται στο τρίπτυχο: α) ανάλυση των «κριτηρίων», β) «όρια ρύπανσης» και γ) μέθοδοι οριοθέτησης. Τα δυο πρώτα καθορίζονται από υδρογεωλογικά κριτήρια και από το υφιστάμενο κανονιστικό πλαίσιο. Για την οριοθέτηση των ΖΠ χρησιμοποιήθηκαν όλα τα κατάλληλα δεδομένα, στοιχεία και μεθοδολογία, ώστε τελικά να υπολογιστούν και να απεικονιστούν σε χάρτη κατάλληλης κλίμακας τα όρια αυτών των ζωνών.

Καθοριστικός παράγοντας για την οριοθέτηση των ΖΠ των υδροληπτικών έργων είναι η ιδιαίτερα σύνθετη γεωλογική δομή της Κρήτης και επομένως οι διαμορφούμενες υδρογεωλογικές συνθήκες και κίνηση του υπόγειου νερού.

Η εκπόνηση της μελέτης έγινε από ομάδα εργασίας της Αναδόχου Ένωσης σε στενή συνεργασία με την ομάδα επίβλεψης του Εργοδότη που αποτελείτο από:

- την κα. **Αγγελική Μαρτίνου**, Χημικό Μηχανικό ΕΜΠ, MSc, PhD της Σχολής Θετικών Επιστημών Πανεπιστημίου Κρήτης, Αναπληρώτρια Προϊσταμένη της Διεύθυνσης Υδάτων της Αποκεντρωμένης Διοίκησης Κρήτης,
- την κα. **Ιωάννα Μάρη**, Δρ. Γεωπόνο, Προϊσταμένη του Τμήματος Παρακολούθησης και Προστασίας Υδατικών Πόρων της Διεύθυνσης Υδάτων της Αποκεντρωμένης Διοίκησης Κρήτης και,

- τον κ. **Μαρίνο Κριτωτάκη**, Δρ. Γεωλόγο, Προϊστάμενο της Γενικής Δ/νσης Βιώσιμης Ανάπτυξης της Περιφέρειας Κρήτης

Στην επίβλεψη της μελέτης συμμετείχε και η κα. **Κατερίνα Σπανουδάκη**, Διδάκτωρ Μηχανικός ΕΜΠ, Σύμβουλος του Τμήματος Παρακολούθησης και Προστασίας Υδατικών Πόρων της Διεύθυνσης Υδάτων της Αποκεντρωμένης Διοίκησης Κρήτης.

Θα ήταν τέλος παράλειψη αν δεν αναφέρονταν η πολύτιμη συμβολή στην περαίωση των σύνθετων διαδικασιών της μελέτης της κας **Άννας-Μαρίας Τσίκη**, Πολιτικού Μηχανικού, Αναπληρώτριας Προϊσταμένης του Τμήματος Παρακολούθησης και Προστασίας Υδατικών Πόρων της Διεύθυνσης Υδάτων της Αποκεντρωμένης Διοίκησης Κρήτης.

Η συνεργασία των μελετητών με την ομάδα επίβλεψης του Εργοδότη ήταν συνεχής και επικοινωνιακή σε όλη τη διάρκεια της εκπόνησης. Αποτέλεσε μια χρονική περίοδο γεμάτη συσκέψεις και συναντήσεις τόσο διαδικτυακά όσο και διά ζώσης, με ανταλλαγή απόψεων και εμπειρίας που συνέβαλαν καθοριστικά στο τελικό αποτέλεσμα που παρουσιάζεται.

1.4 Νομοθετικό Πλαίσιο – Τεχνικές Προδιαγραφές

Το Νομοθετικό πλαίσιο καθώς επίσης, οι Τεχνικές Προδιαγραφές, με βάση τις οποίες υλοποιήθηκε η παρούσα μελέτη έχουν ως εξής:

1. Το ΠΔ 51/2007, «Καθορισμός μέτρων και διαδικασιών για την ολοκληρωμένη προστασία και διαχείριση των υδάτων σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ «για τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων» του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23^{ης} Οκτωβρίου 2000.
2. Το αρχικό Σχέδιο Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Κρήτης (ΦΕΚ 570/Β/2015) και τα κείμενα τεκμηρίωσης που το συνοδεύουν.
3. Η 1^η Αναθεώρηση του Σχεδίου Διαχείρισης των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Κρήτης (ΦΕΚ 4666 Β'/29-12-2017).
4. Η 2^η Αναθεώρηση του Σχεδίου Διαχείρισης των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Κρήτης (ΦΕΚ 112 Α'/23-07-2024).
5. Οι Τεχνικές Προδιαγραφές Κατάρτισης του Σχεδίου Οριοθέτησης των Ζωνών Προστασίας Υδροληψιών, οι οποίες περιλαμβάνονται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι, "Αναλυτική Περιγραφή Φυσικού και Οικονομικού Αντικειμένου της Σύμβασης" της Διακήρυξης και αποτελούν Συμβατικό Τεύχος της παρούσας Σύμβασης, Σύνταξη 07-09-2021.

6. Οι Τεχνικές Προδιαγραφές Υδρογεωλογικών Μελετών με βάση τις Απαιτήσεις των Σχεδίων Διαχείρισης της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ", (πρώην) Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2016.
7. Οι Τεχνικές Προδιαγραφές Μελετών Ζωνών Προστασίας Υδροληπτικών Έργων Ύδρευσης & Πηγών, σύμφωνα με τις απαιτήσεις των Σχεδίων Διαχείρισης των Λεκανών Απορροής Ποταμών της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ, Γενική Διεύθυνση Υδάτων, 2021.
8. Οι Τεχνικές Προδιαγραφές Μελετών Τρωτότητας – Ρυπαντικής Επιδεκτικότητας Υπόγειων Υδροφορέων, σύμφωνα με τις απαιτήσεις των Σχεδίων Διαχείρισης των Λεκανών Απορροής Ποταμών της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ, Γενική Διεύθυνση Υδάτων, 2021.
9. Οι Τεχνικές Προδιαγραφές Μελετών Ζωνών Υφαλμύρισης Υπόγειων Υδροφορέων, σύμφωνα με τις απαιτήσεις των Σχεδίων Διαχείρισης των Λεκανών Απορροής Ποταμών της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ, Γενική Διεύθυνση Υδάτων, 2021.

Σχετικά με τα Πρότυπα Ποιότητας των Υπογείων Υδάτων και τον καθορισμό των Ανώτερων Αποδεκτών Τιμών (ΑΑΤ), λήφθηκαν υπόψη τα παρακάτω:

1. Η Οδηγία 2006/118/ΕΚ/12-12-2006, σχετικά με την προστασία των υπόγειων υδάτων από τη ρύπανση και την υποβάθμιση.
2. Η ΚΥΑ 39626/2208/Ε130 ΦΕΚ 2075Β/25-09-2009, «Καθορισμός μέτρων για την προστασία των υπόγειων νερών από την ρύπανση και την υποβάθμιση, σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της οδηγίας 2006/118/ΕΚ «σχετικά με την προστασία των υπόγειων υδάτων από την ρύπανση και την υποβάθμιση», του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 12^{ης} Δεκεμβρίου 2006».
3. Η ΥΑ1811/ΦΕΚ 3322Β/30-12-2011, «Ορισμός ανώτερων αποδεκτών τιμών για τη συγκέντρωση συγκεκριμένων ρύπων, ομάδων ρύπων ή δεικτών ρύπανσης σε υπόγεια ύδατα, σε εφαρμογή της παραγράφου 2 του Άρθρου 3 της υπ' αριθμ. 39626/2208/Ε130/2009 κοινής υπουργικής απόφασης (Β'2075)».
4. Η ΚΥΑ 182314/1241/ΦΕΚ 2888Β/12-09-2016, «Τροποποίηση του Παραρτήματος ΙΙ του άρθρου 8 της υπ' αριθ. 39626/2208/2009 κοινής υπουργικής απόφασης (Β'2075), σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της οδηγίας 2014/80/ΕΕ «για την τροποποίηση του παραρτήματος ΙΙ της οδηγίας 2006/118/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου σχετικά με την προστασία των υπόγειων υδάτων από τη ρύπανση και την υποβάθμιση» της Ευρωπαϊκής Επιτροπής της 20ης Ιουνίου 2014».

5. Η Οδηγία (ΕΕ) 2020/2184/ΕΚ/26-12-2020, σχετικά με την ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης (αναδιατύπωση).
6. Η ΚΥΑ 27829/ΦΕΚ 3525Β/25-05-2023, «Ποιότητα νερού ανθρώπινης κατανάλωσης σε συμμόρφωση προς τις διατάξεις της Οδηγίας (ΕΕ) 2020/2184 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 16ης Δεκεμβρίου 2020 (L435/1, 23.12.2020)»

1.5 Ομάδα Μελέτης

Το σύνολο των γεωλογικών – υδρογεωλογικών εργασιών εκπονήθηκε από ομάδα μελέτης της Αναδόχου Ένωσης στην οποία συμμετείχαν οι:

ΓΙΑΝΝΑΤΟΣ Γεράσιμος, Δρ. Υδρογεωλόγος,
ΑΛΕΞΙΑΔΟΥ Μαρία Χαρά, Γεωλόγος MSc,
ΣΚΟΒΟΛΑΣ Σεραφείμ, Γεωλόγος MSc,
ΠΑΠΑΝΙΚΟΣ Ιωάννης, Γεωλόγος MSc,
ΔΑΦΝΗΣ Πάυλος, Γεωλόγος MSc,
ΣΩΤΗΡΙΑΔΗΣ Ιωάννης-Ραφαήλ, Γεωλόγος MSc,
ΒΑΖΟΥΚΗΣ Αιμίλιος, Γεωλόγος MSc,
ΚΟΡΑΣΙΔΗ Αλεξάνδρα, Γεωλόγος,
ΚΩΝΣΤΑΝΤΟΠΟΥΛΟΣ Γιώργος, Γεωλόγος,
ΠΙΤΣΟΥ Μαρία, Γεωλόγος,
ΑΙΒΑΤΖΙΔΗΣ Επαμεινώντας, Γεωλόγος,
ΡΥΜΕΝΙΔΗΣ Δημοσθένης, Γεωλόγος,
ΠΕΝΤΑΡΗ Μαριάννα, Γεωλόγος
ΚΩΝΣΤΑΝΤΕΛΛΟΥ Παρασκευή, Γεωλόγος και
ΣΑΡΡΗ ΕΙΡΗΝΗ, Γεωλόγος.

2 ΤΡΩΤΟΤΗΤΑ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΡΟΦΟΡΕΩΝ

2.1 Γενικά

Οι σύγχρονες επιστημονικές, διαχειριστικές αλλά και νομοθετικές πρακτικές επιβάλλουν την εκτίμηση τρωτότητας, ως μια σημαντική προσέγγιση για την αποτελεσματικότερη διαχείριση και προστασία του φυσικού περιβάλλοντος. Η έννοια της «τρωτότητας» ή «ρυπαντικής επιδεκτικότητας» αποδίδεται στους υπόγειους υδροφορείς για να περιγράψει την ευαισθησία τους έναντι της προσβολής από ρύπους. Η τρωτότητα χαρακτηρίζει το σύνολο του υδροφόρου συστήματος (υπερκείμενα στρώματα, ακόρεστη ζώνη, υδροφόρος ορίζοντας) και είναι ανεξάρτητη των χημικών χαρακτηριστικών του ρύπου και της πηγής του. Στη βιβλιογραφία χρησιμοποιούνται και οι όροι «ευαλωσιμότητα (vulnerability)» και «ευαισθησία του υδροφόρου ή επιδεκτικότητα (aquifer sensitivity ή intrinsic susceptibility)». Συνολικά ως τρωτότητα εκφράζεται η ευκολία με την οποία ένας ρύπος που εισάγεται στην επιφάνεια του εδάφους μπορεί να φθάσει στον υδροφόρο ορίζοντα.

Η τρωτότητα διακρίνεται σε: α) ειδική (specific) που αναφέρεται σε συγκεκριμένο ρυπαντή ή ομάδα ρυπαντών και, β) γενική ή ιδιοτρωτότητα (intrinsic) που σχετίζεται αποκλειστικά με τα υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά του υδροφορέα και του υπερκείμενου εδάφους, χωρίς εξειδίκευση σε κάποιο ρυπαντή.

Η έννοια της τρωτότητας βασίζεται στο γεγονός ότι οι φυσικές συνθήκες παρέχουν τη δυνατότητα, προστασίας των υπόγειων νερών σε βαθμό που κυμαίνεται ανάλογα με το είδος της υδροφορίας και τις τοπικές συνθήκες. Σε μεγάλο βαθμό στη φυσική προστασία συμβάλλει η ακόρεστη ζώνη των υδροφορέων με μείωση της ρύπανσης που επιτυγχάνεται εκεί λόγω της βραδείας κίνησης του νερού και των διαφόρων διεργασιών που λαμβάνουν χώρα, όπως: προσρόφηση και ανταλλαγή ιόντων, διάχυση, χημικές αντιδράσεις, μείωση παθογόνων μικροοργανισμών κ.α. Ο βαθμός εξασθένησης των ρύπων στην ακόρεστη ζώνη εξαρτάται από τη λιθολογία της, την κοκκομετρία, το πάχος, τα χαρακτηριστικά του ρύπου, τη συγκέντρωσή του κ.α. Στην εδαφική ζώνη και ιδιαίτερα στη ζώνη των ριζών μεγάλες ποσότητες χημικών στοιχείων εξασθενούν και αποδομούνται από μικροοργανισμούς.

Η έννοια της τρωτότητας συνδέεται επίσης και με την ποσοτική κατάσταση των υπόγειων υδροφορέων, που μπορεί να είναι ευάλωτη στην επίδραση ακραίων καιρικών φαινομένων π.χ. ξηρασιών.

Η τρωτότητα είναι επομένως διαφορετική από περιοχή σε περιοχή. Κάποιες περιοχές παρουσιάζουν μεγαλύτερη τρωτότητα, είναι δηλαδή πιο ευάλωτες στη ρύπανση και κάποιες άλλες μικρότερη. Αυτό σχετίζεται κυρίως με τη διαφοροποίηση των φυσικών συνθηκών και βασικά με τις διαφορετικού τύπου υδροφορίες που αναπτύσσονται κατά περιοχές.

Στους **πορώδεις υδροφορείς** η τρωτότητα είναι γενικά μειωμένη λόγω της φύσης του υδροφόρου μέσου και του είδους της υπόγειας ροής (ροή διήθησης). Παράλληλα, η ακόρεστη ζώνη των πορώδων υδροφορέων έχει συνήθως αυξημένο πάχος και εξασφαλίζει μεγαλύτερη ικανότητα αυτοκαθαρισμού τους, συγκριτικά με τους άλλους τύπους υδροφορέων.

Στους **καρστικούς υδροφορείς** η τρωτότητα είναι πολύ αυξημένη, ενώ η ικανότητα αυτοκαθαρισμού είναι συγκριτικά μικρή ως μηδαμινή. Η υπόγεια ροή συντελείται στα καρστικά συστήματα με μεγάλες ταχύτητες, ουσιαστικά χωρίς αντίσταση τριβής από τον υδροφόρο σχηματισμό. Είναι υπόγεια ροή που προσομοιάζει με τη ροή σε κλειστούς αγωγούς. Πολύ μικρή είναι όμως και η επίδραση της ακόρεστης ζώνης στις διαδικασίες κάποιας μείωσης της τρωτότητας των καρστικών υδροφορέων.

Στους **ρωγμώδεις υδροφορείς** η τρωτότητα βρίσκεται συνήθως κάπου ενδιάμεσα αυτής των πορώδων και αυτής των καρστικών υδροφορέων. Η υπόγεια ροή συντελείται με ενδιάμεσες ταχύτητες ενώ υπάρχει κάποια ικανότητα αυτοκαθαρισμού λόγω μικρού εύρους των αγωγών κίνησης του νερού και επίδρασης των διαδικασιών της τριβής σε αυτήν.

Σύμφωνα με τις ισχύουσες Τεχνικές Προδιαγραφές της Γενικής Διεύθυνσης Υδάτων του ΥΠΕΝ για την εκπόνηση μελετών τρωτότητας – ρυπαντικής επιδεκτικότητας των υπόγειων υδροφορέων, η τρωτότητα πρέπει να αντιμετωπίζεται σε τρία στάδια ως εξής:

1. Το στάδιο της δυνητικής εισόδου του ρύπου στο υδατικό σύστημα, που συνδέεται με τις υδρογεωλογικές συνθήκες και τη συμπεριφορά του ρύπου.
2. Το στάδιο της παραμονής του ρύπου στο υδατικό σύστημα που συνδέεται με τις φυσικοχημικές ιδιότητες του ρύπου και τις υδρογεωλογικές και υδραυλικές συνθήκες του υδροφορέα.
3. Το στάδιο της άφιξης του ρύπου στο υδροληπτικό έργο, αν γίνεται εκμετάλλευση του υδροφόρου ορίζοντα.

Η προσέγγιση της τρωτότητας γίνεται είτε με διάφορα πρότυπα που βασίζονται σε υδρογεωλογικά κριτήρια όπως: είδος υδροφορέων, πάχος ακόρεστης ζώνης, ταχύτητα ροής του υπόγειου νερού, κοκκομετρία, συντελεστής υδροπερατότητας κ.α., ή με διάφορες μεθόδους βαθμονόμησης, με τις οποίες κατατάσσεται η χωρική

μεταβολή διαφόρων παραμέτρων (εδαφικών, μορφολογικών, υδρογεωλογικών, κλιματολογικών κ.ά.), που θεωρητικά επηρεάζουν την πιθανότητα ρύπανσης του υδροφορέα και καταλήγουν σε μία αθροιστική τιμή η οποία χαρακτηρίζει την τρωτότητα του υδροφορέα.

Στην πρώτη περίπτωση η προσέγγιση είναι κατά βάση ποιοτική (ευνοϊκές, μέτριες, δυσμενείς συνθήκες προστασίας του υδροφορέα), αν και κατά περίπτωση χρησιμοποιείται βαθμολογία για την εκτίμηση της δυνατότητας ρύπανσης, ενώ στη δεύτερη τα αποτελέσματα ποσοτικοποιούνται σε μεγαλύτερο βαθμό με βαθμονόμηση παραμέτρων και εξαγωγή τελικού αποτελέσματος σε 4 ή 5 κατηγορίες τρωτότητας από Πολύ Χαμηλή έως Πολύ Υψηλή Τρωτότητα, οι οποίες παρίστανται σε χάρτη με διαφορετικό χρωματισμό.

Στην παρούσα αναφερόμαστε στη συνέχεια στη γενική (intrinsic) τρωτότητα που εξαρτάται τόσο από τα χαρακτηριστικά του υπόγειου υδατικού συστήματος όσο και από τα χαρακτηριστικά του ευρύτερου γεωλογικού και υδρογεωλογικού περιβάλλοντος (ακόρεστη ζώνη, εδαφικός ορίζοντας, ανάγλυφο, τοπογραφία, τροφοδοσία κ.ά.).

2.2 Μεθοδολογίες Εκτίμησης Τρωτότητας

Η εκτίμηση της τρωτότητας έχει αποτελέσει τα τελευταία χρόνια διεθνώς αντικείμενο εντατικής ενασχόλησης των μελετητών, τόσο σε επίπεδο ποιοτικής προσέγγισης όσο και με τη διατύπωση και εφαρμογή διάφορων μεθοδολογιών βαθμονόμησης φυσικών παραμέτρων. Η εκτίμηση της τρωτότητας εντοπίζει περιοχές ευαίσθητες στις οποίες απαιτείται να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή για την προστασία των υπόγειων υδροφορέων από την εξωτερική ρύπανση. Είναι δηλαδή ένα σημαντικό εργαλείο στα χέρια των αρμόδιων υπηρεσιών για την άσκηση πολιτικής αειφορίας των υδατικών συστημάτων και εξασφάλισης μακροχρόνιας επάρκειας κάλυψης των ανθρώπινων αναγκών σε νερό. Ειδικά δε στην Κρήτη η εξασφάλιση της αειφορικής λειτουργίας των νερών της είναι καίρια, λόγω της γεωγραφικής θέσης του νησιού και των κλιματολογικών συνθηκών, αλλά και λόγω των εντατικών πιέσεων που υφίστανται τις τελευταίες δεκαετίες.

Όπως προαναφέρθηκε, οι μεθοδολογίες που έχουν προταθεί για την εκτίμηση της τρωτότητας είναι ουσιαστικά δύο ειδών: **i)** εκτίμηση τρωτότητας με υδρογεωλογικά κριτήρια με βάση διάφορα πρότυπα (ποιοτική κατά βάση προσέγγιση) και, **ii)** κατηγοριοποίηση της εκτίμησης με βάση Μεθόδους βαθμονόμησης ή Δείκτες υπέρθεσης (Rating methods).

i) Με Υδρογεωλογικά Κριτήρια

Η εκτίμηση της τρωτότητας με την μέθοδο αυτή βασίζεται σε υδρογεωλογικά κριτήρια όπως: το είδος των υδροφορέων, το πάχος της ακόρεστης ζώνης, η ταχύτητα ροής του υπόγειου νερού, η κοκκομετρία, ο συντελεστής υδροπερατότητας κ.ά.

Για την προσέγγιση των κριτηρίων χρησιμοποιούνται διάφορα πρότυπα υδρογεωλογικών συνθηκών τα κυριότερα των οποίων είναι των: Dienemann, LeGrand και Evans. Συνοπτικά η περιγραφή των προτύπων αυτών δίδεται στη συνέχεια, αναλυτικά δε στοιχεία μπορούν να αναζητηθούν στις πρωτότυπες εργασίες τους: Dienemann (1956), LeGrand (1964, 1983) και Evans (1987).

Σύμφωνα με το **πρότυπο Dienemann (1956)** η τρωτότητα των υδροφόρων στη ρύπανση από επιφανειακές πηγές ρύπανσης είναι μικρή, όταν το πάχος της ακόρεστης ζώνης είναι μεγάλο και η ταχύτητα ροής του νερού μικρότερη από 3m/24ωρο. Η ικανότητα αυτοκαθαρισμού των υλικών είναι μεγαλύτερη όσο μικρότερη είναι η κοκκομετρία και μεγαλύτερο το πάχος του υλικού. Έτσι, μεγαλύτερη ικανότητα αυτοκαθαρισμού έχουν τα υλικά με κοκκομετρικό μέγεθος <2mm και μέσο πάχος >1,5m, ή μέσο κοκκομετρικό μέγεθος μεταξύ 2mm και 0,4mm και μέσο πάχος >6m. Συνεπώς ο υδροφόρος προστατεύεται πολύ καλά έναντι των εξωτερικών επιφανειακών πηγών ρύπανσης, όταν η ακόρεστη ζώνη αποτελείται από τα ακόλουθα υλικά:

- i) Λεπτόκοκκα υλικά, όπως άργιλοι, πηλοί χωρίς ρωγμές κλπ, ελάχιστου πάχους 1,5m.
- ii) Πηλούχοι λεπτόκοκκοι άμμοι ελάχιστου πάχους 3,5m.
- iii) Υλικά αδρομερή (χοντρόκοκκοι χαλικομιγείς άμμοι διαμέτρου κόκκων <0,4mm), ελάχιστου πάχους 6m.
- iv) Χονδρόκοκκα υλικά (άμμοι – χάλικες) ελάχιστου πάχους 3m, όταν κάτω από το στρώμα αυτό ακολουθεί αργιλικό ελάχιστου πάχους 1m.
- v) Χονδρόκοκκα υλικά (άμμοι – χάλικες) ελάχιστου πάχους 2m, όταν κάτω από το στρώμα αυτό ακολουθεί αργιλικό ελάχιστου πάχους 2,5m.

Το ελάχιστο πάχος αναφέρεται πάντα στην κατακόρυφη απόσταση της επιφάνειας του εδάφους έως την οροφή της κορεσμένης ζώνης.

Μέτριες συνθήκες προστασίας υπάρχουν όταν το ενεργό μέγεθος των κόκκων της ακόρεστης ζώνης είναι μικρότερο από 0,4mm και η ταχύτητα ροής του νερού μικρότερη από 3m/ημέρα, ή ο χρόνος παραμονής του νερού στον υδροφόρο ξεπερνά τις 30 ημέρες. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι προηγούμενες περιπτώσεις (i, ii, iii, iv & v), με μικρότερα όμως πάχη από τα αναφερόμενα καθώς και οι περιπτώσεις στις οποίες του υδροφόρου υπέρκεινται:

- i) στρώμα πηλούχου ή αργιλούχου λεπτόκοκκης άμμου ελάχιστου πάχους 1,5m,

- ii) στρώμα χοντρών χαλικιών χωρίς ικανότητα αυτοκαθαρισμού και,
- iii) στρώμα χονδρόκοκκης άμμου ελαχίστου πάχους 3m, που πλευρικά μεταβαίνει σε πηλούχο λεπτόκοκκη άμμο.

Ανύπαρκτη, είναι η προστασία έναντι εξωτερικών πηγών ρύπανσης όταν τα υλικά έχουν ελάχιστη ή καθόλου ικανότητα αυτοκαθαρισμού, δηλαδή το ενεργό μέγεθος των κόκκων της ακόρεστης ζώνης είναι μεγαλύτερο από 0,4mm και η ταχύτητα ροής του νερού μεγαλύτερη από 3m/ημέρα, ή ο χρόνος παραμονής του υπόγειου νερού στην πιο πάνω περιοχή είναι μικρότερο από 30 ημέρες. Στην περίπτωση αυτή ανήκουν οι υδροφόροι με δευτερογενές πορώδες (καρστικοί και μη) και οι υδροφόροι στους οποίους το υλικό που φτάνει μέχρι την επιφάνεια του εδάφους αποτελείται από χαλικομιγή χονδρόκοκκη ή μόνο χονδρόκοκκη άμμο, έστω κι αν περιέχει φακούς πηλού ή αργίλου.

Το **Πρότυπο LeGrand (1964)** εισάγει την έννοια του δυναμικού ρύπανσης των υδροφόρων με βάση τα ακόλουθα κριτήρια:

- i) βάθος της κορεσμένης ζώνης,
- ii) προσρόφηση και απορρόφηση στην ακόρεστη ζώνη,
- iii) υδροπερατότητα του υδροφόρου,
- iv) υδραυλική κλίση της πιεζομετρικής επιφάνειας και,
- v) οριζόντια απόσταση από την πηγή ρύπανσης.

Το πρότυπο κατατάσσει τα κριτήρια σε βαθμονομημένο διάγραμμα με κλίμακα από 0 ως 35 και χαρακτηρίζει την υδροφορία ως: i) πολύ καλά προστατευόμενη, δηλαδή πολύ χαμηλής τρωτότητας (>12 βαθμοί), ii) μέτριας τρωτότητας (8-12 βαθμοί), iii) μεγάλης τρωτότητας (4-8 βαθμοί) και, iv) πολύ μεγάλης τρωτότητας (<4 βαθμοί). Παράλληλα δε αναφορικά με την πιθανότητα μόλυνσης του υδροφόρου από εξωτερική πηγή ρύπανσης, σύμφωνα με το ίδιο διάγραμμα, αυτή πρέπει να θεωρείται iv) επικείμενη (<4 βαθμοί), iii) πιθανή – δυνατή (4-8 βαθμοί), ii) δυνατή αλλά όχι πιθανή (8-12 βαθμοί) και i) αδύνατη (>12 βαθμοί).

Τέλος, το **Πρότυπο Evans (1987)** εισήγαγε τη χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (Geographical Information System, GIS) στην αξιολόγηση της τρωτότητας. Σύμφωνα με το πρότυπο η γεωγραφική βάση δεδομένων πρέπει να περιλαμβάνει πληροφορίες για:

- i) υδροπερατότητα του εδάφους,
- ii) βάθος της κορεσμένης ζώνης,
- iii) χρήση γης,
- iv) φυτοκάλυψη της γης,
- v) πυκνότητα του συστήματος αποχέτευσης,

vi) μεταβιβαστικότητα του υδροφόρου κλπ.

Κάθε παράγοντας που επιδρά στην πιθανή ρύπανση (χαρακτηριστικά ακόρεστης και κορεσμένης ζώνης, λιθοφασικά χαρακτηριστικά των υλικών της ακόρεστης και κορεσμένης ζώνης, υδραυλική αγωγιμότητα, φυτοκάλυψη, τοπογραφία κ.ά.) πολλαπλασιάζεται με ένα συντελεστή βαρύτητας και προκύπτει ένας τελικός δείκτης δραστηριότητας (drastic index), η τιμή του οποίου καθορίζει το δυναμικό ρύπανσης για τον εξεταζόμενο υδροφόρο ορίζοντα. Όσο μεγαλύτερες τιμές έχει ο δείκτης δραστηριότητας, τόσο υψηλότερο είναι το δυναμικό ρύπανσης του υδροφόρου ορίζοντα και αντίστροφα.

Οι σχηματισμοί της ακόρεστης ζώνης που καλύπτουν τον υδροφόρο ορίζοντα, συμβάλλουν σημαντικά στην προστασία του. Οι κατεισδύουσες ρυπογόνες ουσίες φιλτράρονται και αποικοδομούνται εντός αυτών. Ανάλογα με τη λιθολογική και στρωματογραφική σύνθεση, καθώς και την υδροπερατότητα των πετρωμάτων πάνω από τον υδροφόρο ορίζοντα ενδιαφέροντος διακρίνονται οι παρακάτω περιπτώσεις ως προς την προστασία του:

Ευνοϊκές συνθήκες προστασίας: Το υδροφόρο στρώμα προστατεύεται από τη ρύπανση λόγω της παρουσίας υλικών στη βάση της ακόρεστης ζώνης που παρουσιάζουν μεγάλη ικανότητα αυτοκαθαρισμού και πολύ χαμηλή υδροπερατότητα. Ως τέτοια διαλαμβάνονται οι άργιλοι, οι ιλυόλιθοι, οι πηλοί, οι λεπτόκοκκοι άμμοι και τα διάφορα μίγματα τους.

Μέτριες συνθήκες προστασίας: Το υδροφόρο στρώμα έχει καλές ιδιότητες αυτοκαθαρισμού όταν και εφόσον η ακόρεστη ζώνη και το υδροφόρο στρώμα έχουν καλές ιδιότητες αυτοκαθαρισμού. Τέτοια υλικά είναι η πηλούχος, λεπτόκοκκη άμμος με περιορισμένο κλάσμα από άργιλο και ιλύ.

Δυσμενείς συνθήκες προστασίας: Το υδροφόρο στρώμα έχει ελάχιστη ή καθόλου ικανότητα αυτοκαθαρισμού. Επομένως, οι αποθέσεις και τα πετρώματα με μεγάλο ενεργό πορώδες, μεγάλη υδροπερατότητα και με δυνατότητα ανάπτυξης ταχείας υπόγειας ροής εντός αυτών, παρουσιάζονται με δυσμενείς συνθήκες προστασίας. Τέτοια είναι τα αμμοχάλικα, οι αδρόκοκκες άμμοι και γενικά όλα τα αποκαρστωμένα και διαρρηγμένα πετρώματα.

Η μεθοδολογία με το πρότυπο Evans (1987) χρησιμοποιήθηκε από τη Γενική Διεύθυνση Υδάτων του ΥΠΕΝ, στη 2^η Αναθεώρηση των Σχεδίων Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών των Υδατικών Διαμερισμάτων της χώρας που δημοσιεύθηκε πρόσφατα (2024).

ii) Με Μεθόδους Βαθμονόμησης

Η εκτίμηση της τρωτότητας με τις Μεθόδους βαθμονόμησης ή Δεικτών υπέρθεσης (Rating methods), περιλαμβάνει μεγάλο αριθμό μεθοδολογιών που αποτελούν πολυπαραμετρικές προσεγγίσεις βαθμολόγησης και αξιολόγησης επιμέρους παραμέτρων.

Στις περισσότερες η βαθμονόμηση των παραμέτρων περιλαμβάνει όλες τις δυνατές περιπτώσεις και όλους τους τύπους υδροφόρων μέσων. Λαμβάνοντας υπόψη τις εφαρμογές που έχουν γίνει μπορούμε να διακρίνουμε μεθοδολογίες εκτίμησης τρωτότητας που έχουν εφαρμογές σε: α) κοκκώδεις υδροφορείς, β) καρστικούς υδροφορείς και γ) ρωγματικούς υδροφορείς.

Πιο συγκεκριμένα, για τους **κοκκώδεις υδροφορείς** έχουν χρησιμοποιηθεί κατά βάση οι μέθοδοι: α1) DRASTIC, α2) NRA, α3) BREEUSMA, α4) GOD, α5) AVI και α6) GALDIT.

Για τους **καρστικούς υδροφορείς** έχουν χρησιμοποιηθεί κυρίως οι μέθοδοι: β1) EPIK, β2) COP, β3) PI, β4) SINTACS, β5) VULK, β6) LEA, β7) RISKE, β8) PaPRIKa και β9) PRESK.

Για τους **ρωγμώδεις υδροφορείς** έχουν χρησιμοποιηθεί οι μέθοδοι: γ1) SCALDI και γ2) DRASTIC-F_m.

Λεπτομερής κατάλογος με περιγραφικά στοιχεία των μεθοδολογιών αυτών παρέχεται στις ισχύουσες Τεχνικές Προδιαγραφές της Γενικής Διεύθυνσης Υδάτων του ΥΠΕΝ για την εκπόνηση μελετών τρωτότητας – ρυπαντικής επιδεκτικότητας των υπόγειων υδροφορέων και ως εκ τούτου δεν έχει έννοια η μεταφορά του στην παρούσα. Στη συνέχεια, δίδονται λεπτομερέστερα στοιχεία των μεθοδολογιών, που επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση τρωτότητας στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης.

Όσον αφορά, τέλος, στην εμπειρία που έχει αποκτηθεί στη χώρα μας για την εκτίμηση τρωτότητας των υπόγειων υδροφορέων, η ενασχόληση με το συγκεκριμένο ζήτημα στην Ελλάδα έχει εντατικοποιηθεί την τελευταία εικοσαετία. Η δραστηριότητα καθοδηγείται κατά κύριο λόγο από τα Πανεπιστήμια και πρόσφατα και από φορείς της Κεντρικής Διοίκησης (Υπουργείο Γεωργίας και ΕΛΓΟ). Εντελώς επιγραμματικά παρατίθενται αμέσως παρακάτω σχετικές εργασίες από τον ελληνικό χώρο, ως μέρος της βιβλιογραφίας που διερευνήθηκε για την αντίστοιχη εφαρμογή της παρούσας μελέτης.

Οι περισσότερες εργασίες αναφέρονται σε **πορώδεις υδροφορείς** και ενδεικτικά αναφέρονται: ο αλλουβιακός υδροφορέας της λεκάνης του ποταμού Γλαύκου (Αχαΐα) (Βουδούρης Κ., Μανδηλαράς Δ., 2004), ο υδροφορέας της λεκάνης της Φλώρινας (Καζάκης Α., 2008) και (Μανδράλη Π., 2017), ο προσχωματικός υδροφορέας του Γαλλικού ποταμού (Κατηκαρίδης Γ., 2010), οι υδροφορείς στην πεδινή ζώνη του νομού Ημαθίας (Παπαθεοδώρου Κ., Βεράνης Ν., Πατσιαρός Π., 2010), ο προσχωματικός υδροφορέας της Μυγδονίας λεκάνης Θεσσαλονίκης (Χρυσάφη Α., 2012), οι προσχωματικές υδροφορείς της λεκάνης του Ανθεμούντα στη Θεσσαλονίκη (Καζάκης Ν., 2013), οι υδροφορείς του Αργολικού Πεδίου (Ρίζος Σ., 2013), οι κοκκώδεις υδροφορείς της Νήσου Λέσβου (Παναγόπουλος Γ., Γιαννουλόπουλος Π., Κουκούλας Σ., 2014), το υπόγειο υδροφόρο σύστημα του πεδινού τμήματος Ξυλαγανής – Ιμέρου του νομού Ροδόπης (Γιουτζέλ Εμίνογλου, 2015), ο κοκκώδης υδροφόρος στο κεντρικό τμήμα του οροπεδίου της Τρίπολης (Λιώλια Δ., Μποζίκια Α.,

2017), ο υδροφορέας της λεκάνης Μοιρών Ηρακλείου Κρήτης (Καλαϊτζάκη Ε., 2018), οι πορώδεις υδροφορείς της λεκάνης των Μεσογείων στην Αττική (Χειλάς-Διαμαντόπουλος Ν., 2019), οι προσχωματικοί υδροφορείς της Δυτικής Θεσσαλίας (Γκαβαλέκα Ε., 2019), ο παράκτιος υδροφορέας του Δέλτα του ποταμού Λίσσου στη Ροδόπη (Λάππα Μ., 2022) και ο πορώδης υδροφορέας Νέας Τρίγλιας Χαλκιδικής (Δεβετζή Στ., 2022). Σχεδόν σε όλες τις εργασίες έχει εφαρμοστεί η μέθοδος DRASTIC, σε κάποιες με επιμέρους τροποποιήσεις (DRASTIC-LU). Στους υδροφορείς της λεκάνης του Ανθεμούντα, στην πεδινή ζώνη Ξυλαγανής Ροδόπης και στο παράκτιο υδροφορέα του ποταμού Λίσσου εφαρμόστηκε και η μέθοδος GALDIT.

Στους **καρστικούς υδροφορείς** είναι λίγες οι σχετικές εργασίες που ανευρέθηκαν: μία μελέτη αναφέρεται στα τριαδικά λατυπτοπαγή του οροπεδίου Παλαιομανίνας – Πενταλόφου ΝΔ Αιτωλοακαρνανίας στην οποία εφαρμόστηκε η μέθοδος COP (Κακαβά Μ., 2015) και μία στον καρστικό υδροφορέα Μιτσικελίου Ιωαννίνων, όπου εφαρμόστηκε η μέθοδος PaPRIKa (Βουδούρης Κ., Καζάκης Ν., 2020). Επίσης εφαρμογή μεθοδολογιών εκτίμησης τρωτότητας σε καρστικούς υδροφορείς έγινε και από τον Ε. Ζερβό (2020) σε υδρευτικές γεωτρήσεις της Δημοτικής Ενότητας Ρεθύμνου. Στη συγκεκριμένη περίπτωση εφαρμόστηκε για τα καρστικά η μέθοδος EPIK, ενώ για τα πορώδη εφαρμόστηκε η μέθοδος DRASTIC.

Λόγω των περιορισμένων εργασιών που ανευρέθηκαν για τους καρστικούς υδροφορείς, που είναι υδροφορείς ιδιαίτερης σημασίας για την περιοχή της μελέτης, αναζητήθηκαν δεδομένα από πρωτογενείς πηγές των μεθοδολογιών και συγκεκριμένα: το Document Public του BRGM για τη μέθοδο PaPRIKa, με κωδικό BRGM/RP-57527-FG και τίτλο “*Cartographie de la vulnérabilité intrinsèque des aquifères karstiques. Guide Méthodologique de la méthode PaPRIKa*” και το Final Report της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Directorate General for Research – Cost Action 620) για τη μέθοδο COP, με τίτλο “*Vulnerability and Risk mapping for the protection of carbonate (karst) aquifers*” (2003).

2.3 Μηχανισμός Αυτοπροστασίας των Υπόγειων Υδροφορέων στην Κρήτη

2.3.1 Καρστικές Υδροφορίες

Οι υδροφορίες νερού ανθρώπινης κατανάλωσης στην Κρήτη είναι στη συντριπτική τους πλειοψηφία καρστικές. Είναι υπόγειο νερό που διακινείται και αποθηκεύεται στις εκτεταμένες ανθρακικές μάζες των Λευκών Ορέων, της Κουρούπας, του Κέδρου, του Ασιδέρωτα, του Ψηλορείτη και των Ορέων του Λασιθίου. Πρόκειται για ανθρακικές μάζες με εκτεταμένο καρστ και πολύ μεγάλη υδατοχωρητικότητα, που τροφοδοτούνται από σημαντικούς όγκους μετεωρικού νερού και εκφορτίζονται

περιμετρικά από πηγές. Οι καρστικοί υδροφορείς είναι στην Κρήτη εκτεταμένοι και αντιπροσωπεύουν τον κύριο υδάτινο πλούτο της και πολύ σημαντικό φυσικό πόρο που πρέπει οπωσδήποτε να προστατευθεί. Τα βασικά χαρακτηριστικά του καρστ της Κρήτης που συνιστούν την μεγάλη αξία του αποτελούν παράλληλα και τους κύριους παράγοντες που το καθιστούν ευάλωτο σε ρύπανση και μόλυνση. Είναι η εκτεταμένη ανάπτυξη και η πολύπλοκη και δαιδαλώδης διασύνδεση των υπόγειων αγωγών, που διευκολύνουν τη διακίνηση και συγκέντρωση πολύ μεγάλων όγκων νερού, αλλά δυνητικά και ρύπων.

Η εκτεταμένη καρστική ανάπτυξη των ανθρακικών πετρωμάτων της Κρήτης πιστοποιείται από το ανάγλυφο με τις χαράδρες και τα φαράγγια του, αλλά και από το μεγάλο αριθμό σπηλαίων της νήσου, για τα οποία έγινε προσπάθεια να επισημανθούν στους χάρτες της μελέτης μέσω Σπηλαιολογικών Φορέων, που όμως δεν έχει ακόμα καρποφορήσει. Οι θέσεις των σπηλαίων θα μπορούσαν να αποτελέσουν θέσεις επισήμανσης και παρακολούθησης της κίνησης του υπόγειου νερού, αλλά και της δυνητικής ρύπανσης σε σχέση με τις θέσεις εκφόρτισης ή/και απόληψης του καρστικού νερού ως νερού ανθρώπινης κατανάλωσης.

Η εκτεταμένη καρστική ανάπτυξη των ανθρακικών πετρωμάτων της Κρήτης πιστοποιείται ακόμα από τις εκτεταμένες ζώνες υφαλμύρισης που καταγράφονται σχεδόν σε όλη τη βόρεια ακτογραμμή του νησιού. Ο Αλμυρός ποταμός κοντά στη Γεωργιούπολη Χανίων, η Βλυχάδα και η Αλμυρίδα στο Ρέθυμνο, η πηγή Αλμυρός (Αλμυροπόταμος) κοντά στα Λινοπεράματα Ηρακλείου και ο Αλμυρός του Αγίου Νικολάου, είναι περιοχές επικοινωνίας των καρστικών συστημάτων με τη θάλασσα και άμεσης ανάμιξης του νερού τους με το θαλασσινό νερό. Οι υδρογεωλογικές συνθήκες στις περιοχές αυτές πιστοποιούν εκτεταμένη ανάπτυξη του καρστικού δικτύου ακόμα και 50 μέτρα υπό το επίπεδο της θάλασσας, όπως έχει προκύψει από σειρά μελετών στον Αλμυρό Ηρακλείου.

Από παρατηρήσεις στον Αλμυρό Ηρακλείου έχει προκύψει μία ακόμα ισχυρή ένδειξη για την εκτεταμένη ανάπτυξη του καρστ. Αναφέρεται σε αναταραχή, που παρατηρείται στον υγρότοπο της πηγής λόγω της άφιξης σημαντικών όγκων υπόγειων νερών, λίγες μόνον ώρες μετά από έντονη καταιγίδα που εκδηλώνεται στον Ψηλορείτη, όπου και η λεκάνη τροφοδοσία της πηγής.

Ο Κ. Μπεζές στην εργασία του «*Η καρστική πηγή του Αλμυρού Ηρακλείου. Έρευνα του μηχανισμού ανάμιξης γλυκού και θαλασσινού νερού*» (1983), διαπιστώνει ότι:

«... σε περιόδους έντονων βροχών προκαλείται απότομη και παρατεταμένη αύξηση της παροχής της πηγής με ταυτόχρονο μηδενισμό της αλατότητας του νερού της για χρονικό διάστημα που κυμαίνεται από μία εβδομάδα μέχρι δύο μήνες. Το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί μεταξύ έναρξης της βροχής και αύξησης της παροχής της πηγής είναι της τάξης των 10 με 15 ωρών.....».

Τα δεδομένα αυτά υποδεικνύουν μεγάλες ταχύτητες κίνησης του υπόγειου νερού στο καρστ, που είναι φυσικά απότοκο της εκτεταμένης καρστικής ανάπτυξης του συστήματος.

Η επίδραση της ακόρεστης ζώνης που, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, είναι πολύ σημαντική για την απομείωση του ρυπαντικού φορτίου που φτάνει στους υδροφορείς, είναι στην περίπτωση του καρστ πολύ μικρή. Ειδικά δε στην περίπτωση των καρστικών υδροφορέων της Κρήτης η επίδραση της ακόρεστης ζώνης είναι πρακτικά μηδενική. Τα ανθρακικά βουνά είναι κατά κύριο λόγο επιφανειακά γυμνά και το μετεωρικό νερό διακινείται άμεσα από τη ζώνη αερισμού – ακόρεστη ζώνη του καρστ προς τη ζώνη εποχιακής διακύμανσης και τη ζώνη ολοκληρωτικού κορεσμού. Μάλιστα παρατηρήσεις, όπως αυτή, που περιγράφει στον Αλμυρό ο Μπεζές, υποδεικνύουν ότι η ζώνη εποχιακής διακύμανσης του καρστ μπορεί και πρακτικά να μην υπάρχει.

Ανάλογη φυσική κίνηση κάνει στα καρστικά συστήματα της Κρήτης και το δυνητικό ρυπαντικό φορτίο, που φθάνει και αναμιγνύεται με το νερό ουσιαστικά χωρίς κάποια απομείωση. Η υπόγεια κίνηση είναι της μορφής ροής σε κλειστούς αγωγούς χωρίς αντίσταση τριβής από το υδροφόρο μέσο και επομένως πρακτικά καμία από τις επωφελείς διεργασίες της ακόρεστης ζώνης δεν μπορεί να συντελεστεί. Η πίεση της ρύπανσης ασκείται στο νερό άμεσα και μεταφέρεται γρήγορα μαζί με αυτό στις θέσεις εκφόρτισης της υδροφορίας και στις θέσεις απόληψης του νερού της ως νερό ανθρώπινης κατανάλωσης. Επομένως χαρακτηρίζονται από Δυσμενείς Συνθήκες Προστασίας, ιδιότητα που τους αποδόθηκε πρόσφατα από τη 2^η Αναθεώρηση του ΣΔΛΑΠ.

2.3.2 Καρστικές Υδροφορίες Υποκείμενες Κοκκωδών Υ.Υ.Σ.

Κάποιας μορφής θετική επίδραση της ακόρεστης ζώνης είναι αποδεκτή για τις καρστικές υδροφορίες, οι οποίες περιλαμβάνονται στα κοκκώδη υδατικά συστήματα που αναπτύσσονται στα νεογενή πετρώματα της περιοχής. Όπως έχει εξηγηθεί και στα προηγούμενα κεφάλαια, οι υδροφορίες των νεογενών είναι στην πλειονότητα τους υδροφορίες καρστικής μορφής (υφαλογενείς και άλλοι ασβεστόλιθοι) και έχουν υδραυλική διασύνδεση με τα καρστικά συστήματα των αλπικών πετρωμάτων της ορεινής ζώνης.

Επομένως καλύπτονται κατά θέσεις από γεωλογικά υλικά (μάργες, αργιλικά, ψαμμίτες) όπου αναπτύσσονται συνθήκες ακόρεστης ζώνης, η οποία ασκεί θετική επίδραση στην απομείωση της τρωτότητας των υδροφορέων. Ο βαθμός βέβαια αυτής της θετικής επίδρασης μεταβάλλεται μεταξύ ακραίων ορίων και εξαρτάται από τις τοπικές γεωλογικές – υδρογεωλογικές συνθήκες. Υπάρχουν περιπτώσεις που ο υδροφορέας βρίσκεται σε βάθος και άλλες που είναι επιφανειακά εκτεθειμένος και με μικρή προστασία.

2.3.3 Κοκκώδεις Υδροφορίες

Τέλος, υπάρχουν λίγες περιπτώσεις αμιγώς κοκκωδών υδροφορέων στις οποίες οι συνθήκες τρωτότητας επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από την ακόρεστη ζώνη, αλλά φυσικά και από τις δραστηριότητες στην επιφάνεια του εδάφους. Αυτό το τελευταίο ίσως να είναι και καθοριστικό, τόσο για τις κοκκώδεις υδροφορίες όσο και για τις υδροφορίες των Νεογενών. Οι υδροφορίες αυτές αναπτύσσονται στις περιοχές με τις περισσότερες ανθρώπινες δραστηριότητες, σε αντίθεση με τα γυμνά ανθρακικά βουνά όπου οι δραστηριότητες είναι περιορισμένες.

Οι εργασίες που έχουν εκπονηθεί επί της εκτίμησης της τρωτότητας υδροφορέων της Κρήτης είναι περιορισμένες. Οι Nektarios N. Kourgialas και George P. Karatzas (2015) έκαναν εκτίμηση τρωτότητας υδροφορέων συνολικά για την Κρήτη. Η εκτίμηση τους έγινε με τη βαθμονόμηση 15 παραμέτρων που επηρεάζουν την ευαισθησία των υδροφορέων στη ρύπανση και την παραγωγή τελικού αποτελέσματος σε πενταβάθμια κλίμακα τρωτότητας.

Ανάλογες εργασίες, αλλά για επιμέρους περιοχές, έγιναν: i) το 2018 από την Ελευθερία Καλαϊτζάκη που χρησιμοποίησε DRASTIC για την εκτίμηση της τρωτότητας του κοκκώδη υδροφορέα της λεκάνης Μοιρών Ηρακλείου και ii) από τον Ελευθέριο Ζερβό που έκανε εκτίμηση τρωτότητας για τον υπολογισμό ζωνών προστασίας σημείων υδροληψίας του Δήμου Ρεθύμνου. Για τα κοκκώδη υδροφόρα χρησιμοποίησε στην εκτίμηση του τη μέθοδο DRASTIC και για τα καρστικά το Δείκτη EPIK.

Τέλος πρόσφατα (2024), έγινε εκτίμηση τρωτότητας υδροφορέων του Υ.Δ. Κρήτης στο πλαίσιο της 2^{ης} Αναθεώρησης των Σχεδίων Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών των Υδατικών Διαμερισμάτων της χώρας (2024). Η εκτίμηση έγινε με υδρογεωλογικά κριτήρια, κύρια κατά το πρότυπο Evans.

2.3.4 Υφαλμύριση και Τρωτότητα

Συνθήκες υφαλμύρισης καταγράφονται σε μεγάλο μήκος των ακτών της Κρήτης και κύρια στη βόρεια παράκτια ζώνη της, λόγω επαφής των μεγάλης υδροπερατότητας καρστικών ανθρακικών της πετρωμάτων με τη θάλασσα τόσο άμεσα, όσο και έμμεσα υποκείμενα Νεογενών ή άλλων σχηματισμών. Σχετικά αναφέρθηκε και προηγούμενα στο κεφ. 4.3.1 της παρούσας όπου καταδεικνύεται η λόγω γεωλογικής δομής ευπάθεια των παράκτιων αυτών υδροφορέων και η ανάδειξη της συντελούμενης φυσικής διεργασίας (τρωτότητα), ενώ στα επιμέρους υποκεφάλαια με τα κατά θέσεις υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά (Κεφ. 3) παρέχονται λεπτομερέστερα στοιχεία των αντλήσεων (ανθρώπινης παρέμβασης) που επιτείνουν το φαινόμενο.

Η υφαλμύριση τόσο υπό τη γενική έννοια της “πίεσης” στα νερά, όσο και ειδικότερα στην Κρήτη έχει τελικά διπλή υπόσταση, αφενός φυσική (τρωτότητα υδροφορέων) και αφετέρου ανθρωπογενή (αντλήσεις στην παράκτια ζώνη). Η διάκριση χωρικά περιοχών με επικρατούσα υφαλμύριση από τη μία ή την άλλη αιτία δεν είναι εφικτή

στο πλαίσιο της παρούσας. Πρακτική αξία έχει η αποτύπωση των συνθηκών υφαλμύρισης στο χάρτη τρωτότητας (φυσική διεργασία), ή/και στο χάρτη επικινδυνότητας ρύπανσης (ανθρωπογενής παρέμβαση). Η αποτύπωση των συνθηκών υφαλμύρισης έγινε με την προσθήκη στην αξιολόγηση ενός πρόσθετου παράγοντα, που σχετίζεται με τις δυνητικές και διαπιστωμένες συνθήκες υφαλμύρισης στο νησί και ο οποίος συνέβαλε στην τελική διαμόρφωση του χάρτη.

Η συμπερίληψη της υφαλμύρισης έγινε ύστερα από πολλές δοκιμές και επιλέχθηκε τελικά η συνεκτίμηση του πρόσθετου αυτού παράγοντα να γίνει στο χάρτη τρωτότητας, λαμβάνοντας υπόψη τις τοπικά ιδιαίτερες γεωλογικές συνθήκες που ευνοούν το φαινόμενο της υφαλμύρισης (τοπικά υψηλή καρστικοποίηση και υψηλός βαθμός διάρρηξης ανθρακικών σχηματισμών). Παράλληλα, οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες που συμβάλουν στην εκδήλωση της υφαλμύρισης (αντλήσεις), λήφθηκαν εμμέσως υπόψη στο πλαίσιο εκτίμησης της επικινδυνότητας ρύπανσης των υπόγειων υδάτων. Συγκεκριμένα, στο χάρτη επικινδυνότητας ρύπανσης αποδόθηκε η αντίστοιχη βαρύτητα στην κλάση χρήσεων γης "αρδευόμενες καλλιεργήσιμες εκτάσεις", όπου σημειώνεται ο υψηλότερος ρυθμός αντλήσεων. Σημειώνεται ότι η χρήση της σημειακής πληροφορίας "θέσεων άντλησης" δεν ήταν δυνατό να γίνει στο πλαίσιο της παρούσας εφαρμογής, καθώς δεν υπήρχαν επαρκή δεδομένα σχετικά με τις εκτάσεις επηρεασμού από τις αντλήσεις.

Οι περιοχές εκδηλωθείσας ή δυνητικής υφαλμύρισης που συνεκτιμήθηκαν στο χάρτη τρωτότητας προέκυψαν από τη μελέτη και αξιολόγηση της γεωλογικής δομής της παράκτιας ζώνης, των αναβλύσεων πηγών και των διαθέσιμων στοιχείων γεωτρήσεων και χημισμού του υπόγειου νερού. Οι περιοχές αυτές είναι:

1. Το βόρειο παράκτιο τμήμα του Δήμου Αποκορώνου (όρος Δραπανοκεφάλι) από Αρμένους ως Γεωργιούπολη και παραλία Κουρνά, λόγω ασβεστολιθικής σύστασης και διαπιστωμένης υφαλμύρισης.
2. Η βόρεια παράκτια περιοχή των Δήμων Μυλοποτάμου και Μαλεβιζίου (Ταλλαία όρη) από Πάνορμο Ρεθύμνου μέχρι Λινοπεράματα Ηρακλείου, λόγω ασβεστολιθικής σύστασης και διαπιστωμένης υφαλμύρισης (Βλυχάδα, Αλμυρίδα, Αλμυροπόταμος).
3. Η βόρεια παράκτια περιοχή των Δήμων Χερσονήσου και Αγίου Νικολάου από τη Χερσόνησο και τα Μάλια μέχρι περίπου του Καλό Χωριό Λασιθίου, λόγω ασβεστολιθικής σύστασης και διαπιστωμένης υφαλμύρισης (Αλμυρός Αγίου Νικολάου).
4. Η παράκτια ζώνη από Παχειά Άμμο μέχρι Μαλαύρα Λασιθίου λόγω ασβεστολιθικής σύστασης και διαπιστωμένης υφαλμύρισης.
5. Η περιοχή του Φοινικόδασους στο Βαΐ Λασιθίου λόγω αυξημένου κινδύνου προσβολής της προστατευόμενης περιοχής.
6. Οι παράκτιες ζώνες στο Λιβυκό Πέλαγος Καλό Νερό και Γούδουρας Λασιθίου.
7. Η παράκτια ζώνη στο Λιβυκό Πέλαγος από Μύρτο Λασιθίου ως Ιεράπετρα.
8. Ολόκληρη η νήσος Γαύδος

ΕΡΓΟ: ΛΕΠΤ. ΟΡΙΟΘΕΤΗΣΗ ΖΩΝΩΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΣΗΜ. ΥΔΡΟΛ. ΓΙΑ ΥΔΡΕΥΣΗ – ΚΡΗΤΗ, 5^η – 6^η – 7^η ΦΑΣΗ, ΤΕ 3-3

Ένωση Οικονομικών Φορέων: ΗΛΙΔΑ Α.Ε. – ΓΙΑΝΝΑΤΟΣ ΓΕΡΑΣΙΜΟΣ – ΑΛΕΞΙΑΔΟΥ ΜΑΡΙΑ ΧΑΡΑ
 ΣΤΡΑΒΩΝΟΣ 13, Τ.Κ. 142 34, Ν. ΙΩΝΙΑ mail: info@ilida-eng.gr, giannatosmakis@gmail.com, halex@geoskopio.gr

2.4 Επιλογή Μεθόδου Εκτίμησης Τρωτότητας

Από την περιγραφή που προηγήθηκε, των φυσικών μηχανισμών των γεωλογικών στρωμάτων ως προς τη δυνατότητα τους να προστατέψουν την υπόγεια υδροφορία από τη ρύπανση και από την εμπειρία ανάλογων εργασιών στον ελληνικό χώρο και ειδικά στην Κρήτη, επιλέχθηκε να εκτιμηθεί η τρωτότητα στην παρούσα μελέτη με προσέγγιση στην κλίμακα όλου του νησιού και στην παραγωγή αποτελέσματος που θα έχει στρατηγική χρησιμότητα για την εφαρμογή κατάλληλης πολιτικής προστασίας των υδατικών πόρων.

Η εκτίμηση της τρωτότητας έγινε στην παρούσα με την εφαρμογή δύο μεθόδων σύμφωνα και με τις συστάσεις των Τεχνικών Προδιαγραφών της μελέτης, οι οποίες εφαρμόζονται κατά βάση σε διαφορετικού είδους υδροφορείς. Η μία είναι η μέθοδος COP που εφαρμόστηκε λόγω των καρστικών υδροφορέων της περιοχής και η άλλη είναι η μέθοδος DRASTIC που εφαρμόστηκε λόγω των κοκκωδών και ρωγματωδών υδροφορέων. Οι καρστικοί υδροφορείς αναπτύσσονται στο μεγαλύτερο μέρος της Κρήτης, αλλά υπάρχουν και πολλές υδροφορίες στα νεογενή πετρώματα που έχουν ταξινομηθεί ως Υπόγεια Υδατικά Συστήματα (ΥΥΣ) κοκκώδους μορφής. Οι μεθοδολογίες που εφαρμόστηκαν είναι και στις δύο μεθόδους πολυκριτηριακές αναλύσεις με βαθμονόμηση κατά το δυνατόν των περισσότερων παραμέτρων που επηρεάζουν την τρωτότητα των υδροφορέων.

Η **μέθοδος COP** προτιμήθηκε για τους καρστικούς υδροφορείς επειδή «*αποτελεί μια γενική μη δεσμευτική προσέγγιση για την προσέγγιση της γενικής (intrinsic) τρωτότητας που μπορεί να εφαρμοστεί σε κάθε τύπο καρστ της Ευρώπης*» (Cost Action 620 (2003)). Παράλληλα δεν έχει τύχει εφαρμογής στην Ελλάδα και το καρστ της Κρήτης είναι μία αντιπροσωπευτική περίπτωση για την εφαρμογή της. Τα καρστικά υδατικά συστήματα της Κρήτης είναι πολύ σημαντικά και ουσιαστικά αποτελούν τον υδάτινο πλούτο του νησιού.

Η **μέθοδος DRASTIC** που έχει εφαρμοστεί κατά βάση σε κοκκώδεις υδροφορείς, προτιμήθηκε ως δεύτερη λόγω της αντιπροσωπευτικότητας της και της ιδιαιτερότητας που έχουν στην Κρήτη οι υδροφορίες των κοκκωδών ΥΥΣ. Οι υδροφορίες των Νεογενών είναι στην πλειονότητα τους υδροφορίες καρστικής μορφής μέσα σε Νεογενές περιβάλλον. Η τρωτότητά τους ρυθμίζεται σε σημαντικό βαθμό και από τα υπερκείμενα πετρώματα, που εξασφαλίζουν τις υδρογεωλογικές και υδροχημικές λειτουργίες της ακόρεστης ζώνης. Επιπλέον δε, σε όλες τις κλίμακες βαθμονόμησης των παραμέτρων της μεθόδου DRASTIC προβλέπονται τιμές για όλες τις περιπτώσεις και φυσικά του καρστικού υδροφορέα, σε μεγάλο ανάγλυφο, με μεγάλες τιμές υδραυλικής αγωγιμότητας και η επίδραση της ακόρεστης ζώνης καρστικοποιημένων ασβεστόλιθων.

Οι δύο μέθοδοι εφαρμόστηκαν αυτοτελώς στο σύνολο του νησιού, αλλά ο τελικός χάρτης τρωτότητας των υπόγειων υδροφορέων προέκυψε από συνένωση των επιμέρους χαρτών με βάση τη στόχευση κάθε μεθόδου. Ο χάρτης τρωτότητας είναι

συγκερασμός του αντίστοιχου χάρτη των δύο παραπάνω μεθόδων. Στις περιοχές των πετρωμάτων με τις καρστικές υδροφορίες ο χάρτης είναι αποτέλεσμα εφαρμογής της μεθόδου COP, ενώ σε όλες τις άλλες περιοχές με πορώδη και ρωγμώδη υδροφορία ο χάρτης είναι αποτέλεσμα εφαρμογής της μεθόδου DRASTIC.

Ακολούθησε η σύνταξη του χάρτη επικινδυνότητας ρύπανσης των υπόγειων υδροφορέων της Κρήτης με βάση τη μεθοδολογία που προτείνεται στο Ευρωπαϊκό Πρόγραμμα Cost Action 620, σύμφωνα και με τις απαιτήσεις των τεχνικών προδιαγραφών, που αποτυπώνει (πιθανοτικά) την ανθρωπογενή παρέμβαση στα υπόγεια νερά.

Οι χάρτες, της μελέτης και τα πρωτογενή δεδομένα της ποιοτικής ανάλυσης παραδίδονται και ψηφιακά σε αρχεία του ελεύθερου λογισμικού QGIS με υπόβαθρο Google Satellite Hybrid (δορυφορικός και τοπωνύμια). Επιδέχονται μεγέθυνση και εστίαση σε όλη την έκτασή τους για να είναι εφικτή η λεπτομερής παρατήρηση σε οποιαδήποτε θέση. Για τη σύνταξή τους χρησιμοποιήθηκε ανάλυση 250x250 m, που είναι αρκετά ικανοποιητική για την παράσταση των συνθηκών στην παρούσα κλίμακα μελέτης.

2.5 Εκτίμηση Τρωτότητας με τη Μέθοδο COP

2.5.1 Μεθοδολογικό Πλαίσιο – Δεδομένα

Η μέθοδος COP (Zwahlen, 2004) αναπτύχθηκε στο πλαίσιο του Ευρωπαϊκού προγράμματος COST ACTION 620 για την προστασία των καρστικών υδροφόρων αλλά εφαρμόζεται και σε άλλα υδρογεωλογικά περιβάλλοντα με επιτυχία. Σύμφωνα με την μεθοδολογία αυτή, ο χάρτης τρωτότητας COP προκύπτει από την συνένωση τριών θεματικών χαρτών: (1) ένα χάρτη που περιγράφει την προστασία που παρέχεται στον υδροφόρο από τα επιφανειακά, υπερκείμενα στρώματα (O Map - Overlying layers protection), (2) ένα χάρτη συγκέντρωσης ροής (C Map - Concentration of flow), και (3) ένα χάρτη που εκφράζει την επίπτωση της βροχής στη μεταφορά του ρύπου προς το υπόγειο νερό (P Map - Precipitation) (Andreo et al., 2006).

(1) Χάρτης προστασίας από τους επιφανειακούς σχηματισμούς (O Map)

Ο χάρτης αυτός περιγράφει την προστασία που παρέχεται στον υδροφόρο από τα επιφανειακά εδαφικά στρώματα αλλά και από τους υπερκείμενους των υπόγειων υδροφορέων γεωλογικούς σχηματισμούς (O Map - Overlying layers protection) και περιλαμβάνει παραμέτρους όπως το ποσοστό των λεπτόκοκκων ιζημάτων στα εδάφη, αλλά και την υδροπερατότητα των υπερκείμενων των υδροφόρων στρωμάτων (Daly et al., 2002; Zwahlen, 2004). Ο χάρτης αυτός προκύπτει από την συνένωση δύο επιμέρους χαρτών:

- i) ένα χάρτη εδάφους (soil map OS), ο οποίος σχετίζεται με την υφή και το πάχος των υπερκείμενων εδαφών και,
- ii) ένα λιθολογικό χάρτη που περιγράφει την ακόρεστη ζώνη (OL), ο οποίος περιγράφει τη λιθολογία και τις διαρρήξεις (ly) των σχηματισμών, το πάχος κάθε στρώματος (m) και τον βαθμό προστασίας λόγω υδρογεωλογικής δομής (ελεύθερος ή υπό πίεση υδροφόρος - cn).

Ο τελικός χάρτης O map προκύπτει από τον συνδυασμό των δύο επιμέρους χαρτών:

O factor = [OS] + [OL]

Οι τιμές του χάρτη προστασίας από τους επιφανειακούς σχηματισμούς (O map) κυμαίνονται από 1 έως 15 (με το 1 να υποδηλώνει την μικρότερη προστασία και το 15 τη μεγαλύτερη), και χωρίζεται σε πέντε (5) κλάσεις προστασίας: πολύ χαμηλή, χαμηλή, μέτρια, υψηλή και πολύ υψηλή. Οι περιοχές που εντάσσονται στην πολύ χαμηλή και χαμηλή κλάση δομούνται κυρίως από ανθρακικά πετρώματα και το εδαφικό κάλυμμα είναι μικρό έως ανύπαρκτο.

Δεδομένα αναφορικά με τα εδάφη στην περιοχή μελέτης προέρχονται από το Ευρωπαϊκό Κέντρο Εδαφολογικών Δεδομένων (European Soil Data Centre-ESDAC) του Κοινού Κέντρου Ερευνών (Joint Research Centre) της Ευρωπαϊκής Επιτροπής (Panagos et al., 2012). Δεδομένα αναφορικά με τη χωρική κατανομή των χαρακτηριστικών των εδαφών προέρχονται από το ευρωπαϊκό πρόγραμμα τοπογράφησης LUCAS topsoil database (Ballabio et al., 2016), στο οποίο περιλαμβάνεται η χωρική κατανομή των εδαφών ως προς την σύστασή τους σύμφωνα με την ταξινόμηση του United States Department of Agriculture (USDA) (Soil Science Division Staff, 2017).

Δεδομένα αναφορικά με το βάθος του εδάφους της Κρήτης αντλήθηκαν από δύο πηγές. Στην Ελλάδα η πιο λεπτομερής εδαφολογική χαρτογράφηση κλίμακας 1:30.000 πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του προγράμματος «Ανάπτυξη ενιαίου συστήματος γεωπληροφοριακών εδαφολογικών δεδομένων και οριοθέτησης αγροτικών ζωνών της χώρας» με αναθέτουσα αρχή τον ΟΠΕΚΕΠΕ του Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων (Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης-Τμήμα Γεωπονίας, 2015). Η χαρτογράφηση αυτή ωστόσο περιορίζεται στις περιοχές όπου παρατηρείται αγροτική δραστηριότητα. Δεδομένα αναφορικά με το βάθος του εδάφους στις υπόλοιπες περιοχές της Κρήτης αντλήθηκαν από την Ευρωπαϊκή Εδαφολογική Βάση Δεδομένων (European Soil Database-ESDB), η οποία βασίζεται στον ευρωπαϊκό χάρτη εδαφών κλίμακας 1:1.000.000, και σε επίπεδο τυπολογικής μονάδας εδάφους (soil typological units STU) περιγράφονται οι ιδιότητές του (Hiederer, 2013).

Σημειώνεται ότι όλα τα δεδομένα εικόνας προσαρμόστηκαν σε ανάλυση 250x250.

Δεδομένα αναφορικά με τη γεωλογική δομή της περιοχής μελέτης προέκυψαν από τους γεωλογικούς χάρτες του Ι.Γ.Μ.Ε. σε κλίμακα 1:50.000.

(2) Χάρτης συγκέντρωσης ροής (C Map)

Ο χάρτης συγκέντρωσης ροής (C Map - Concentration of flow) περιγράφει την ταχύτητα με την οποία το επιφανειακό (πιθανώς ρυπασμένο) νερό φτάνει στον υδροφόρο, αφού όσο μεγαλύτερος είναι ο χρόνος μεταφοράς του ρύπου μέχρι τον αποδέκτη, τόσο μεγαλύτερη είναι και η φυσική του υποβάθμιση και επομένως μεγαλύτερη η προστασία που προσφέρει ο περιβάλλοντας χώρος στο υπόγειο νερό.

Για το χάρτη αυτό ταξινομείται η περιοχή μελέτης ανάλογα με το βαθμό καρστικοποίησής της, την κλίση και το ποσοστό φυτοκάλυψης και από τον συνδυασμό των συντελεστών βαρύτητας αυτών των παραμέτρων προκύπτει ο αντίστοιχος χάρτης.

Ο χάρτης συγκέντρωσης ροής C εφαρμόζεται διορθωτικά στο χάρτη προστασίας από τους επιφανειακούς σχηματισμούς O Map (Daly et al., 2002). Στην παρούσα μελέτη η εκτίμηση του χάρτη συγκέντρωσης ροής C έγινε με βάση τα χαρακτηριστικά των σχηματισμών αναφορικά με το βαθμό καρστικοποίησης (χάρτης sf), και την κλίση του εδάφους σε συνδυασμό με τη φυτοκάλυψη (χάρτης sv). Ο τελικός χάρτης C προκύπτει από τη συνένωση των επιμέρους χαρτών ως εξής:

$$C = [sf] + [sv]$$

Ο χάρτης συγκέντρωσης ροής C κατηγοριοποιείται πάλι σε πέντε (5) κλάσεις (πολύ χαμηλή, χαμηλή, μέτρια, υψηλή και πολύ υψηλή), με την πολύ χαμηλή και χαμηλή να υποδηλώνουν μεγαλύτερη προστασία των υπόγειων υδροφόρων.

Δεδομένα αναφορικά με την τοπογραφία της περιοχής μελέτης προέρχονται από το ψηφιακό μοντέλο εδάφους DEM (Digital Elevation Data) 25x25 της ΕΤΥΜΠ (Εθνική Τράπεζα Υδρολογικής και Μετεωρολογικής Πληροφορίας), ενώ δεδομένα αναφορικά με την φυτοκάλυψη προέρχονται από τη βάση δεδομένων κάλυψης γης CORINE 2018 (European Environment Agency, 2020).

(3) Χάρτης επίδρασης της βροχόπτωσης (P Map)

Ο χάρτης αυτός εκφράζει την επίπτωση της βροχόπτωσης στη μεταφορά του ρύπου προς το υπόγειο νερό (P Map - Precipitation), καθώς μέτριες προς υψηλές ετήσιες τιμές βροχόπτωσης με υψηλές ημερήσιες εντάσεις συμβάλλουν στη γρήγορη διόδευση των ρύπων προς τον υδροφόρο και επομένως στη μείωση της προστασίας του. Ο χάρτης αυτός σχετίζεται λοιπόν με την ποσότητα της βροχόπτωσης, αλλά και με τη συχνότητα, τη διάρκεια και την ένταση των ακραίων επεισοδίων βροχόπτωσης, καθώς μπορεί να επηρεάσουν σημαντικά τις διαδικασίες διήθησης των ρύπων.

Ο χάρτης P προκύπτει από τη συνένωση δύο επιμέρους χαρτών:

- i) το χάρτη [PQ], που σχετίζεται με την ποσότητα της βροχόπτωσης και προκύπτει από τη μέση ετήσια βροχόπτωση των υγρών ετών (ως υγρό υδρολογικό έτος ορίζεται το υδρολογικό έτος με μέση ετήσια βροχόπτωση 15% μεγαλύτερη από τη μέση υπερετήσια βροχόπτωση), και

- ii) το χάρτη [PI], που σχετίζεται με την ένταση της βροχόπτωσης και προκύπτει από το πηλίκο της μέσης υπερετήσιας βροχόπτωσης των υγρών ετών προς τις μέσες ημέρες βροχής για την ίδια περίοδο.

Ο τελικός χάρτης P προκύπτει από το άθροισμα των δύο επιμέρους χαρτών:

$$P \text{ score} = [PQ] + [PI]$$

Ο χάρτης P που προκύπτει κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 0.4 και 1.0, με τις μικρότερες τιμές να εκφράζουν μεγαλύτερη μείωση της προστασίας των υπόγειων υδροφόρων και αύξηση της τρωτότητάς τους, λόγω του παράγοντα βροχόπτωσης.

Για την παραγωγή του χάρτη χρησιμοποιήθηκαν αρχικά τα δεδομένα (59) μετεωρολογικών σταθμών της Κρήτης που μας διατέθηκαν από την Υπηρεσία, οι οποίοι παρείχαν μακροχρόνιες ημερήσιες μετρήσεις από το 1974, κάποιοι εξ' αυτών ως και το 2018, οι περισσότεροι όμως μέχρι το 2000. Όμως η κατανομή της βροχόπτωσης που προέκυψε από τη συγκεκριμένη εφαρμογή δεν απέδωσε ικανοποιητικά αποτελέσματα.

Στη συνέχεια έγινε νέα εφαρμογή με τη χρήση χρονοσειρών βροχομετρικών δεδομένων που μας διατέθηκαν επίσης από την Υπηρεσία, με τη σύμφωνη γνώμη του καθηγητή του Πολυτεχνείου Κρήτης κ. Νικολαΐδη και της ομάδας του. Τα δεδομένα αυτά αφορούν συμπληρωμένες χρονοσειρές, που προέκυψαν από επεξεργασία στοιχείων μετεωρολογικών σταθμών της Κρήτης, διόρθωση λαθών – μηδενικές και ακραίες τιμές και συμπλήρωση χρονοσειρών με χωροχρονική γεωστατιστική μεθοδολογία. Η επεξεργασία των στοιχείων έγινε στο πλαίσιο των παραδόσεων της 2^{ης} Αναθεώρησης του ΣΔΛΑΠ Κρήτης. Τα στοιχεία προέρχονται από 117 μετεωρολογικούς σταθμούς της Κρήτης (Πιν. 2-1) και η πυκνότητα του δικτύου υπολογίζεται περίπου ίση με 71 km²/σταθμό και θεωρείται επαρκής σύμφωνα με τις οδηγίες του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (WHO, 2008).

Πιν. 2-1 Μετεωρολογικοί σταθμοί (P Map)

Α/Α	ΟΝΟΜΑ ΣΤΑΘΜΟΥ	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ		ΥΨΟΜΕΤΡΟ (m)	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ
		ΜΗΚΟΣ	ΠΛΑΤΟΣ		
1	Αβδού	35.21694	25.42353	230	1980-2009
2	Αγ. Βασίλειος	35.24000	24.45000	298.6	2010-2020
3	Αγ. Θωμάς	35.14000	25.03000	563.6	2010-2020
4	Αγία Βαρβάρα	35.13472	25.00000	570	1980-2009
5	Αγία Γαλήνη	35.10000	24.68333	20	1980-2009
6	Άγιος Κύριλλος	34.98167	24.91250	400	1980-2009
7	Άγιος Νικόλαος	35.19140	25.72090	30	2010-2020
8	Αγροκήπιο	35.49383	24.04651	7	1980-2009
9	Ακρωτήρι	35.53337	24.06835	137	2010-2020
10	Αλικιανός	35.45553	23.90987	51	1980-2009
11	Αλικιανός	35.45158	23.90993	95	2010-2020
12	Ανώγεια	35.28333	24.88333	740	1980-2009

ΕΡΓΟ: ΛΕΠΤ. ΟΡΙΟΘΕΤΗΣΗ ΖΩΝΩΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΣΗΜ. ΥΔΡΟΛ. ΓΙΑ ΥΔΡΕΥΣΗ – ΚΡΗΤΗ, 5^η – 6^η – 7^η ΦΑΣΗ, ΤΕ 3-3

Ένωση Οικονομικών Φορέων: ΗΛΙΔΑ Α.Ε. – ΓΙΑΝΝΑΤΟΣ ΓΕΡΑΣΙΜΟΣ – ΑΛΕΞΙΑΔΟΥ ΜΑΡΙΑ ΧΑΡΑ
ΣΤΡΑΒΩΝΟΣ 13, Τ.Κ. 142 34, Ν. ΙΩΝΙΑ mail: info@ilida-eng.gr, giannatosmakis@gmail.com, halex@geoskopio.gr

Α/Α	ΟΝΟΜΑ ΣΤΑΘΜΟΥ	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ		ΥΨΟΜΕΤΡΟ (m)	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ
		ΜΗΚΟΣ	ΠΛΑΤΟΣ		
13	Ανώγεια	35.28672	24.88942	801	2010-2020
14	Απόστολοι	35.25000	24.63333	500	2010-2020
15	Αρμάχα	35.16667	25.35000	450	1980-2009
16	Αρμένιοι	35.30000	24.45000	373.3	2010-2020
17	Αρχάνες	35.23000	25.16000	392.3	2010-2020
18	Ασήμι	35.04333	25.09333	200	1980-2009
19	Ασκούφου	35.30000	24.18333	750	1980-2009
20	Ασκούφου	35.29274	24.17625	727	2010-2020
21	Ασωμάτων	35.24000	24.66000	332.2	2010-2020
22	Αχεντριάς	34.99139	25.22472	680	1980-2009
23	Βαγιωνιά	35.01389	25.00083	190	1980-2009
24	Βάμος	35.40000	24.20000	240	1980-2009
25	Βολεώνες	35.26667	24.58333	260	1980-2009
26	Βόνη	35.19500	25.24667	330	1980-2009
27	Βορίζια	35.15028	24.84667	520	1980-2009
28	Βρύσες	35.36430	24.22960	58	2010-2020
29	Βυζάρι	35.20000	24.70000	310	1980-2009
30	Γαράζο	35.35000	24.78333	260	1980-2009
31	Γερακάρι	35.21667	24.61667	660	1980-2009
32	Γέργερη	35.13333	24.95000	450	1980-2009
33	Γόρτυς	35.06333	24.94694	180	1980-2009
34	Δεμάτι	35.03194	25.29167	210	1980-2009
35	Έλος	35.36406	23.63852	535	2010-2020
36	Έμπαρος	35.09000	25.38000	438.6	2010-2020
37	Έξω Ποτάμοι	35.20000	25.53333	840	1980-2009
38	Επισκοπή	35.33000	24.33000	100	2010-2020
39	Ζάκρος	35.11000	26.21000	224.1	2010-2020
40	Ζαρός	35.13333	24.90000	343	1980-2009
41	Ζυμπραγός	35.43864	23.75653	295	1980-2009
42	Ηράκλειο-Ανατολικά	35.32839	25.16048	35	2010-2020
43	Ηράκλειο-Δυτικά	35.31584	25.09271	85	2010-2020
44	Ηράκλειο-Λιμάνι	35.34336	25.13757	10	2010-2020
45	Ιεράπετρα	35.01019	25.74899	5	1980-2009
46	Ιεράπετρα	35.01019	25.74899	5	2010-2020
47	Καβούσι	35.31667	24.60000	580	1980-2009
48	Καλαμαύκα	35.07000	25.65000	502.2	2010-2020
49	Καλό Χωριο	35.11667	25.73333	20	1980-2009
50	Καλύβες	35.45000	24.16667	24	1980-2009
51	Καλύβια	35.05806	25.22778	200	1980-2009
52	Κάλυβος	35.31000	24.79000	551.5	2010-2020
53	Κάνδανος	35.32645	23.74016	439	1980-2009
54	Κάνδανος	35.33000	23.74000	436.6	2010-2020

ΕΡΓΟ: ΛΕΠΤ. ΟΡΙΟΘΕΤΗΣΗ ΖΩΝΩΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΣΗΜ. ΥΔΡΟΛ. ΓΙΑ ΥΔΡΕΥΣΗ – ΚΡΗΤΗ, 5^η – 6^η – 7^η ΦΑΣΗ, ΤΕ 3-3

Ένωση Οικονομικών Φορέων: ΗΛΙΔΑ Α.Ε. – ΓΙΑΝΝΑΤΟΣ ΓΕΡΑΣΙΜΟΣ – ΑΛΕΞΙΑΔΟΥ ΜΑΡΙΑ ΧΑΡΑ

ΣΤΡΑΒΩΝΟΣ 13, Τ.Κ. 142 34, Ν. ΙΩΝΙΑ mail: info@ilida-eng.gr, giannatosmakis@gmail.com, halex@geoskopio.gr

Α/Α	ΟΝΟΜΑ ΣΤΑΘΜΟΥ	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ		ΥΨΟΜΕΤΡΟ (m)	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ
		ΜΗΚΟΣ	ΠΛΑΤΟΣ		
55	Καπετανιανά	34.95889	25.04167	800	1980-2009
56	Κασσάνοι	35.10361	25.31278	320	1980-2009
57	Καστέλλι	35.20750	25.33750	350	1980-2009
58	Καστέλλι	35.18968	25.32862	332	2010-2020
59	Κατσιδώνι	35.13333	26.13333	480	1980-2009
60	Καψάλοι	35.00000	25.40000	10	1980-2009
61	Κρουσσώνας	35.23056	24.98278	500	1980-2009
62	Λαγολιό	35.10000	24.78333	140	1980-2009
63	Λευκώγεια	35.18333	24.45000	90	1980-2009
64	Μάλλες	35.08333	25.58333	590	1980-2009
65	Μαρμακέτο	35.18000	25.49000	850	2010-2020
66	Μαρωνιά	35.13333	26.08333	150	1980-2009
67	Μέλαμπες	35.13333	24.65000	560	1980-2009
68	Μεσελέροι	35.08333	25.71667	360	2010-2020
69	Μεσκλά	35.40000	23.95000	183.3	2010-2020
70	Μεταξοχώρι	35.13000	25.14222	430	1980-2009
71	Μεταξοχώρι - ΕΑΑ	35.12906	25.14276	418	2010-2020
72	Μοίρες - Πετροκεφάλι	35.03007	24.83459	54	2010-2020
73	Μορόνι	35.10000	24.91667	400	1980-2009
74	Μουρί	35.33333	24.28333	49	1980-2009
75	Μπούτακας	35.34000	24.18000	271.7	2010-2020
76	Μύθοι	35.03333	25.58333	200	1980-2009
77	Νίθαυρη	35.17000	24.73000	460.7	2010-2020
78	Παλαιά Ρούματα	35.39973	23.77988	316	1980-2009
79	Παλαιόκαστρο	35.21667	26.25000	25	1980-2009
80	Παλαιόχωρα - ΕΑΑ	35.23750	23.68459	5	2010-2020
81	Πάρτηρα	35.11778	25.22611	400	1980-2009
82	Παχεία Αμμος	35.10000	25.81389	50	1980-2009
83	Πέραμα	35.37000	24.70000	53.7	2010-2020
84	Πλακιάς	35.19081	24.39387	5	2010-2020
85	Πλατανιάς	35.51737	23.88501	12	2010-2020
86	Πόμπια	35.01139	24.86667	150	1980-2009
87	Ποταμιές	35.25507	25.38326	170	2010-2020
88	Πραιτώρια	35.03750	25.14639	225	1980-2009
89	Πρασσές	35.37644	23.84809	520	1980-2009
90	Προφήτης Ηλίας	35.20639	25.10000	380	1980-2009
91	Πυράθι	35.09595	25.18977	311	2010-2020
92	Ρέθυμνο	35.36903	24.44468	39	2010-2020
93	Σαμαριά-Ξυλόσκαλο	35.30923	23.91699	1250	2010-2020
94	Σαμαρια-Φαράγγι	35.28800	23.95860	349	2010-2020
95	Σαμωνάς	35.42066	24.11129	390	1980-2009
96	Σητεία	35.20000	26.10000	114.5	1980-2009

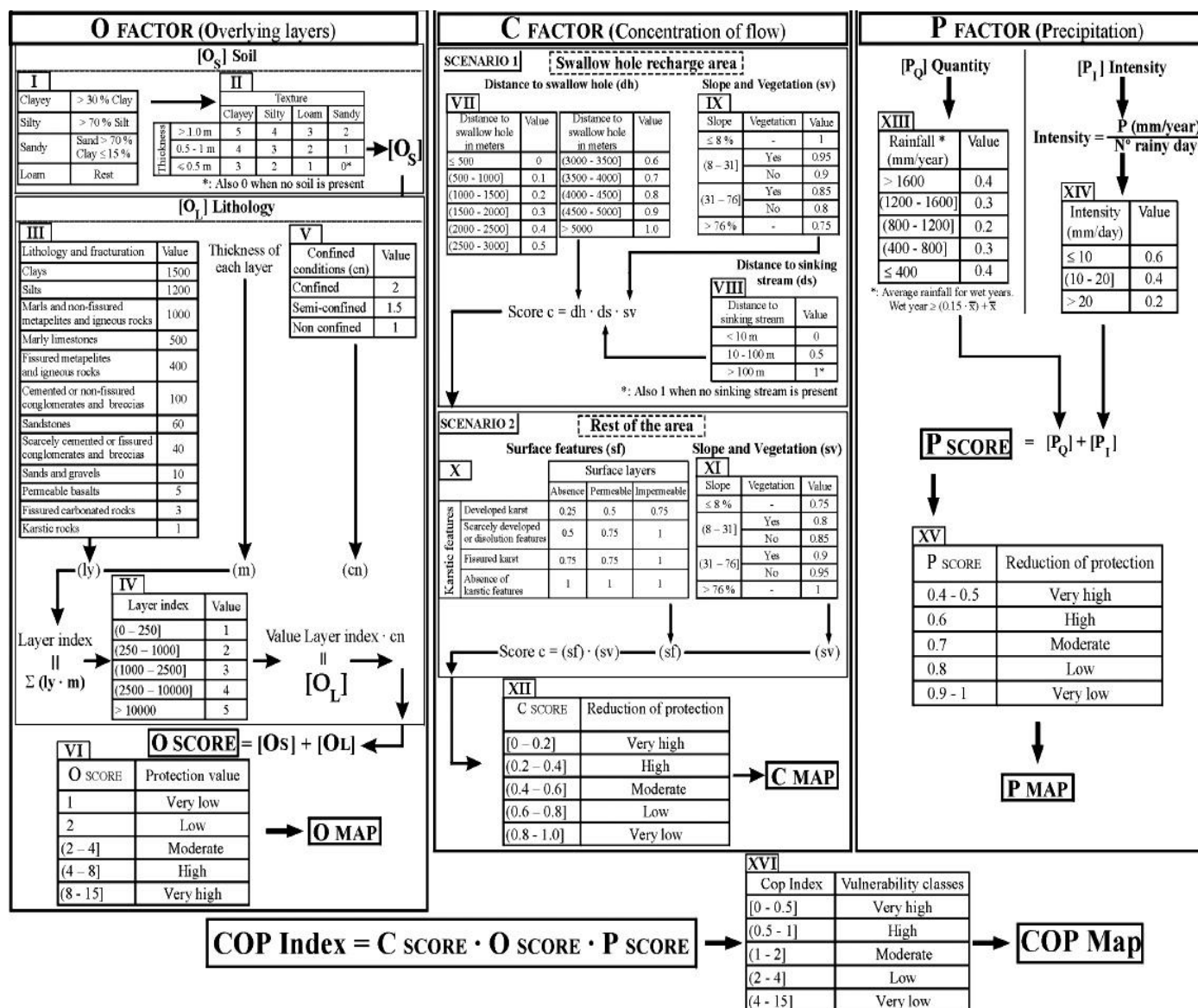
ΕΡΓΟ: ΛΕΠΤ. ΟΡΙΟΘΕΤΗΣΗ ΖΩΝΩΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΣΗΜ. ΥΔΡΟΛ. ΓΙΑ ΥΔΡΕΥΣΗ – ΚΡΗΤΗ, 5^η – 6^η – 7^η ΦΑΣΗ, ΤΕ 3-3

Ένωση Οικονομικών Φορέων: ΗΛΙΔΑ Α.Ε. – ΓΙΑΝΝΑΤΟΣ ΓΕΡΑΣΙΜΟΣ – ΑΛΕΞΙΑΔΟΥ ΜΑΡΙΑ ΧΑΡΑ

ΣΤΡΑΒΩΝΟΣ 13, Τ.Κ. 142 34, Ν. ΙΩΝΙΑ mail: info@ilida-eng.gr, giannatosmakis@gmail.com, halex@geoskopio.gr

Α/Α	ΟΝΟΜΑ ΣΤΑΘΜΟΥ	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ		ΥΨΟΜΕΤΡΟ (m)	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ
		ΜΗΚΟΣ	ΠΛΑΤΟΣ		
97	Σητεία	35.20500	26.09500	30	2010-2020
98	Σίτανος	35.11667	26.15000	620	2010-2020
99	Σούδα	35.29000	24.07000	150	1980-2009
100	Σπήλι	35.23333	24.53333	390	1980-2009
101	Σπήλι	35.21880	24.53540	405	2010-2020
102	Σταυράκια	35.25333	25.06250	245	2010-2020
103	Στέρνες	35.00750	25.08722	300	1980-2009
104	Στροβλές	35.36000	23.66000	512.2	2010-2020
105	Σφακιά	35.23022	24.01790	770	2010-2020
106	Ταυρωνίτης	35.53172	23.82075	11	1980-2009
107	Τζερμιάδων	35.18010	25.46800	820	1980-2009
108	Τυμπάκι	35.07222	24.76667	6	1980-2009
109	Φαλάσαρνα	35.49241	23.58203	10	2010-2020
110	Φινοκαλιά	35.33550	25.66720	250	2010-2020
111	Φοινικιά	35.28333	25.10000	45	1980-2009
112	Φουρνή	35.25000	25.65000	316	1980-2009
113	Φουρφουράς	35.21035	24.71070	471	2010-2020
114	Φράγμα Ποταμών	35.28365	24.56517	240	2010-2020
115	Χανιά	35.51303	24.01481	63	1980-2009
116	Χανιά-Κέντρο	35.51303	24.01481	7	2010-2020
117	Ψυχρό Πηγάδι	35.39357	24.04357	948	1980-2009

Η μεθοδολογία της μεθόδου COP δείχνεται σχηματικά στο Σχ. 2-1, που ακολουθεί:



Σχ. 2-1 Σχηματική Απεικόνιση Μεθόδου COP

ΕΡΓΟ: ΛΕΠΤ. ΟΡΙΟΘΕΤΗΣΗ ΖΩΝΩΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΣΗΜ. ΥΔΡΟΛ. ΓΙΑ ΥΔΡΕΥΣΗ – ΚΡΗΤΗ, 5^η – 6^η – 7^η ΦΑΣΗ, ΤΕ 3-3

Ένωση Οικονομικών Φορέων: ΗΛΙΔΑ Α.Ε. – ΓΙΑΝΝΑΤΟΣ ΓΕΡΑΣΙΜΟΣ – ΑΛΕΞΙΑΔΟΥ ΜΑΡΙΑ ΧΑΡΑ
 ΣΤΡΑΒΩΝΟΣ 13, Τ.Κ. 142 34, Ν. ΙΩΝΙΑ mail: info@ilida-eng.gr, giannatosmakis@gmail.com, halex@geoskopio.gr

2.5.2 Αποτελέσματα

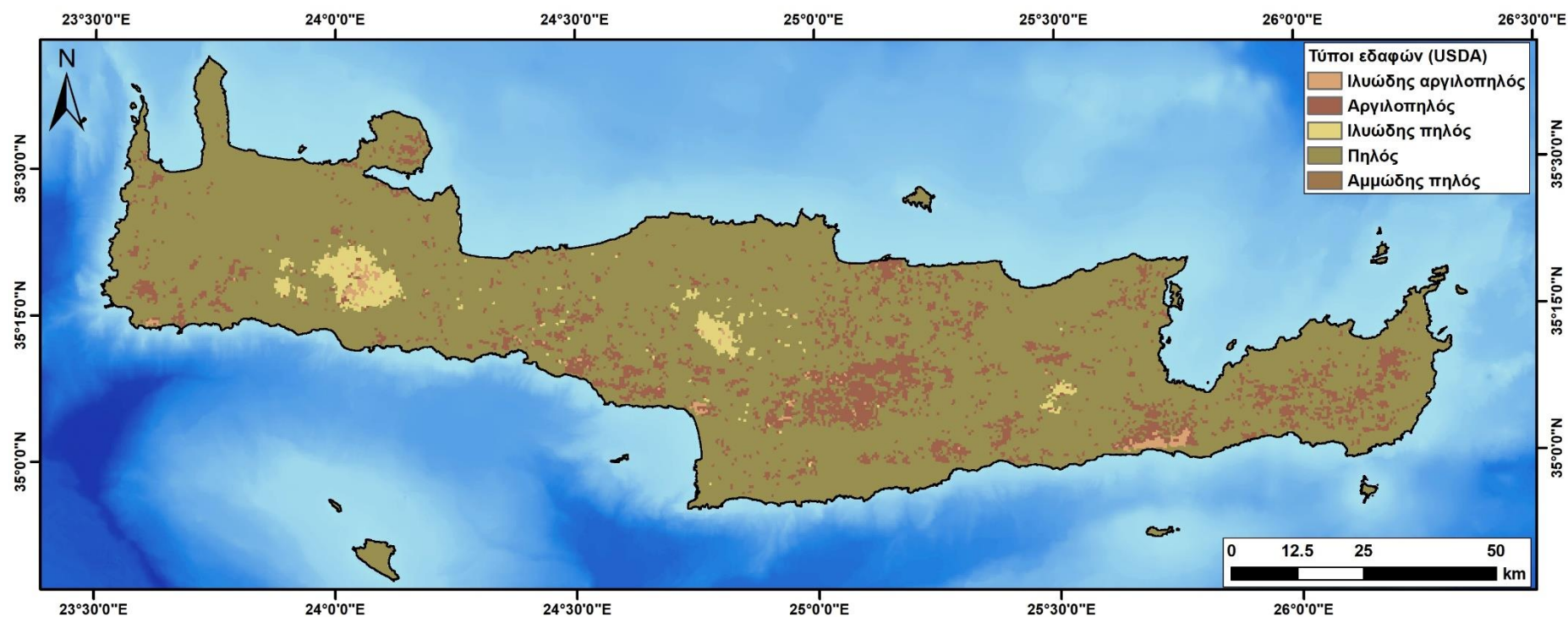
(1) Χάρτης προστασίας από τους επιφανειακούς σχηματισμούς (Ο Map)

Σύμφωνα με τον εδαφολογικό χάρτη του ευρωπαϊκού προγράμματος τοπογράφησης LUCAS topsoil database (Ballabio et al., 2016), στην Κρήτη επικρατεί ο πηλός με ποσοστό 86%, ενώ σε μικρά ποσοστά συναντάται και ιλυώδης πηλός (2%) και ιλυώδης αργιλοπηλός (1%). Όλα τα εδάφη της Κρήτης ανήκουν στην ομάδα των πηλωδών εδαφών-μέσης σύστασης, όπου οι αναλογίες σε άμμο, άργιλο και ιλύ είναι περίπου ίσες με κάποιες διαφοροποιήσεις (Σχ. 2-2).

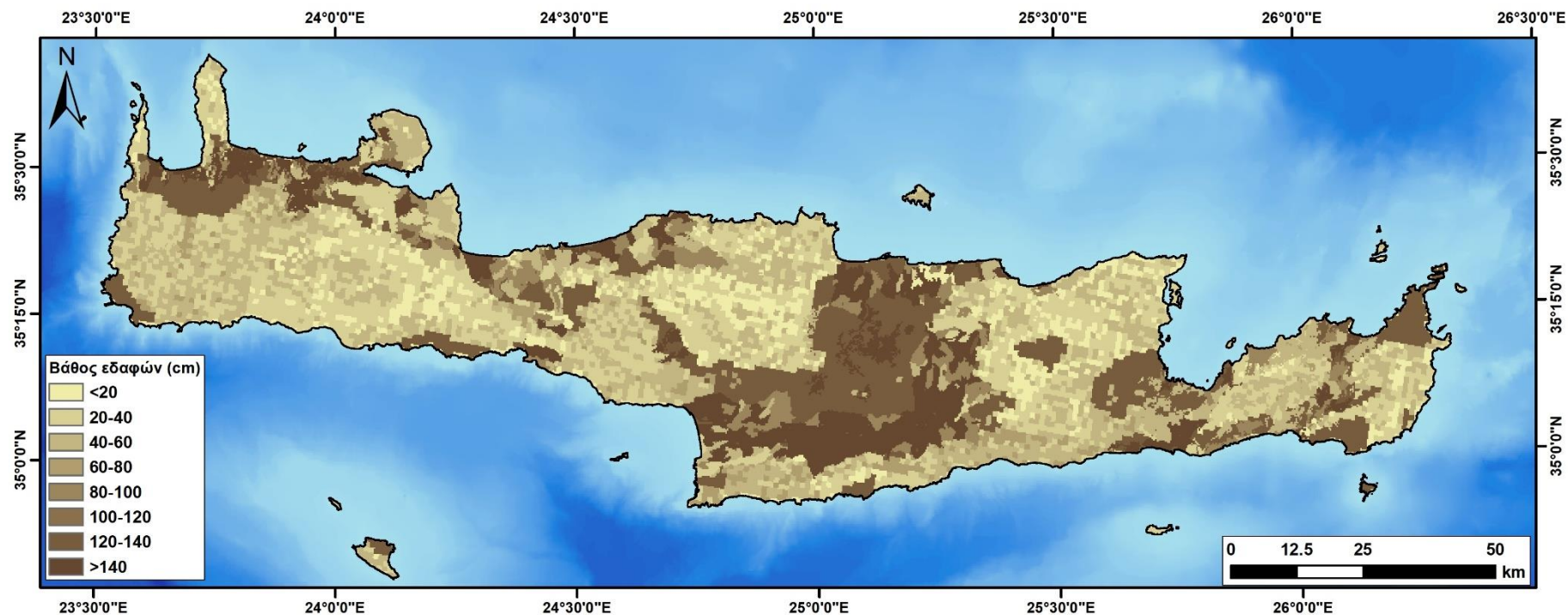
Το βάθος των εδαφών της Κρήτης κυμαίνεται από μηδέν έως μικρότερο των 20cm στις ορεινές περιοχές, μέχρι μεγαλύτερο από 150cm στις πεδινές περιοχές (Σχ. 2-3).

Αναφορικά με τα υδρολιθολογικά χαρακτηριστικά των γεωλογικών σχηματισμών της Κρήτης, επικρατούν οι ανθρακικοί σχηματισμοί και συγκεκριμένα οι εκτεταμένης ανάπτυξης, υψηλής έως μέτριας υδροπερατότητας ανθρακικοί σχηματισμοί (K1, ποσοστό 25%) και ανθρακικοί σχηματισμοί μέτριας έως μικρής υδροπερατότητας (K2, ποσοστό 13%). Οι προσχωματικές αποθέσεις κυμαινόμενης υδροπερατότητας P1 συναντώνται σε ποσοστό 10%, οι Νεογενείς και Πλειστοκαινικές αποθέσεις μέτριας έως μικρής υδροπερατότητας P2 σε ποσοστό 17% και οι μη προσχωματικές αποθέσεις μικρής έως πολύ μικρής υδροπερατότητας P3 σε ποσοστό 13%. Τέλος, οι ρωγματώδεις σχηματισμοί πρακτικά αδιαπέρατοι (φλυσχικοί σχηματισμοί) A1 συναντώνται σε ποσοστό 8% και οι ρωγματώδεις σχηματισμοί μικρής έως πολύ μικρής υδροπερατότητας (φυλλίτες-χαλαζίτες-σχιστόλιθοι) A2 σε ποσοστό 14%. Σημειώνεται ότι στην Κρήτη υπάρχουν και μικρές εμφανίσεις γύψου (Σχ. 2-4).

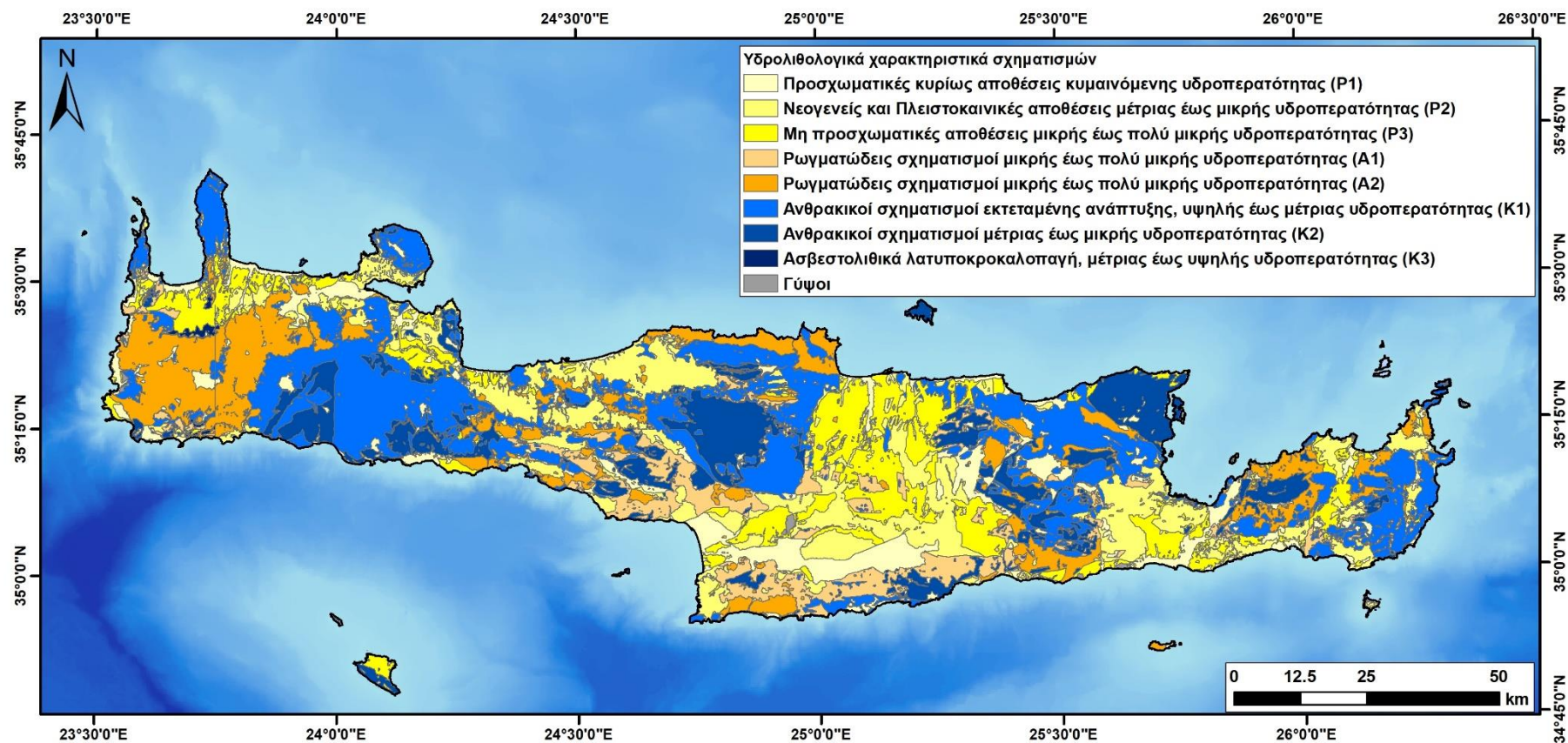
Με βάση τα αποτελέσματα, ο μικρότερος βαθμός προστασίας του υδροφόρου παρατηρείται στις περιοχές όπου αναπτύσσονται σχηματισμοί μεγάλης έκτασης και δυναμικότητας (μάρμαρα, ασβεστολιθικά και δολομιτικά πετρώματα) χωρίς υπερκείμενο ή με μικρού πάχους εδαφικό κάλυμμα, κυρίως στις ορεινές μάζες του νησιού. Αντίθετα, ο υψηλότερος βαθμός προστασίας παρατηρείται στις περιοχές όπου αναπτύσσονται τα πρακτικά αδιαπέρατα - ημιπερατά μεταλλικά πετρώματα, στους φλυσχικούς σχηματισμούς και τα ηφαιστειακά πετρώματα (Σχ. 2-5).



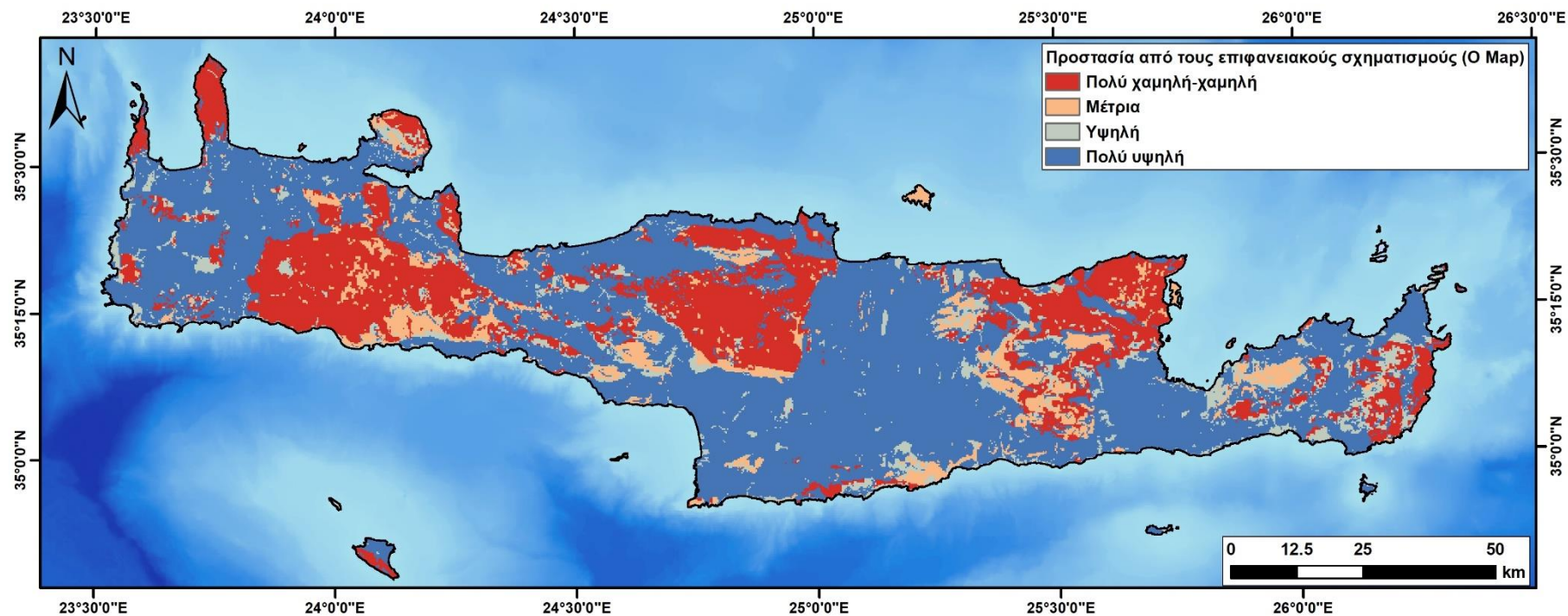
Σχ. 2-2 Εδαφολογικός Χάρτης



Σχ. 2-3 Χάρτης Βάθους Εδαφών



Σχ. 2-4 Υδρολιθολογικά Χαρακτηριστικά Γεωλογικών Σχηματισμών (ΣΔΛΑΠ - 2^η Αναθεώρηση)



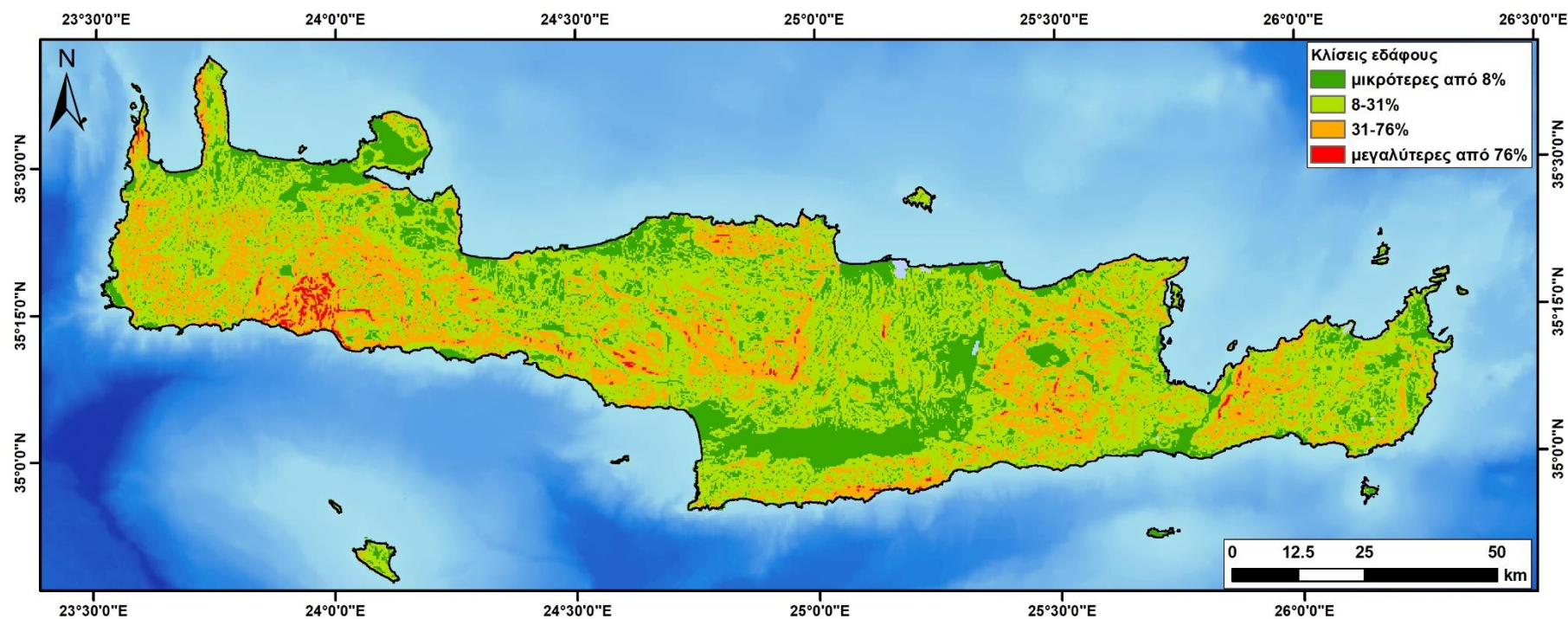
Σχ. 2-5 Χάρτης Προστασίας Υπόγειων Υδροφόρων από Επιφανειακούς και Υπερκείμενους Γεωλογικούς Σχηματισμούς (Ο Map)

(2) Χάρτης συγκέντρωσης ροής (C Map)

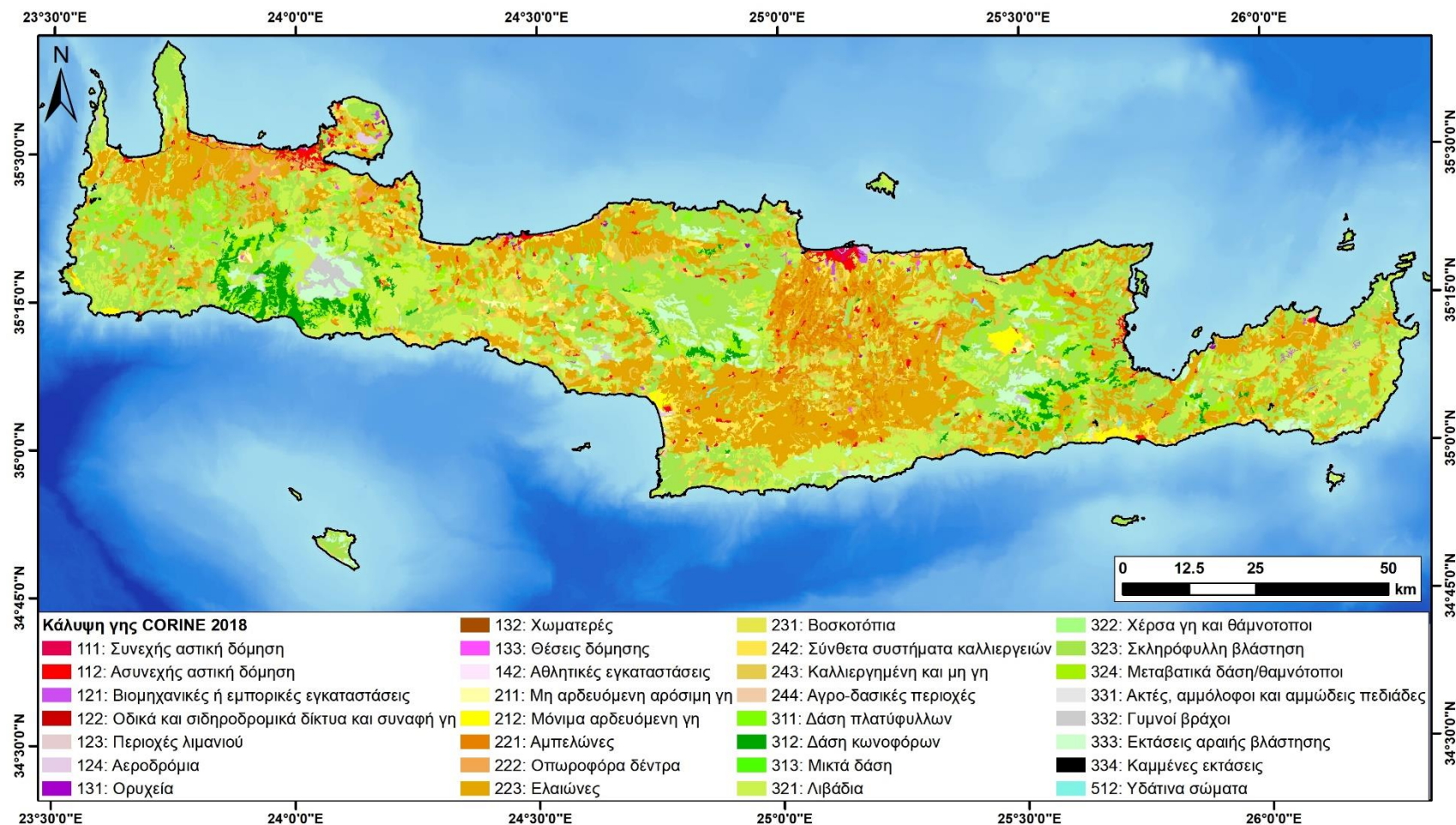
Από το χάρτη κλίσεων εδάφους της περιοχής μελέτης προκύπτει ότι οι μικρότερες κλίσεις εμφανίζονται στο ΒΔ/κό τμήμα της Κρήτης στην ευρύτερη περιοχή των Χανίων, βόρεια στην περιοχή του Ρεθύμνου και του Ηρακλείου και νότια, στην περιοχή της Μεσσαράς. Οι μεγαλύτερες κλίσεις συναντώνται στο ΝΔ/κό τμήμα της Κρήτης, στα Λευκά Όρη, στο κεντρικό τμήμα τον Ψηλορείτη, και ανατολικά στην ευρύτερη περιοχή του λεκανοπεδίου Λασιθίου και στο όρος Θρεπτής (Σχ. 2-6).

Οι περιοχές της Κρήτης με τη μεγαλύτερη φυτοκάλυψη συναντώνται στο ΝΔ/κό τμήμα του νησιού, στο κεντρικό τμήμα τοπικά και στο ανατολικό. Με βάση τον χάρτη κάλυψης γης Corine 2018, το 49% του νησιού εμφανίζει φυτοκάλυψη. Σημειώνεται ότι κατά ένα ποσοστό ίσο με 26% το νησί της Κρήτης καλύπτεται από ελαιώνες, κυρίως στο ΒΔ/κό και κεντρικό τμήμα (Σχ. 2-7).

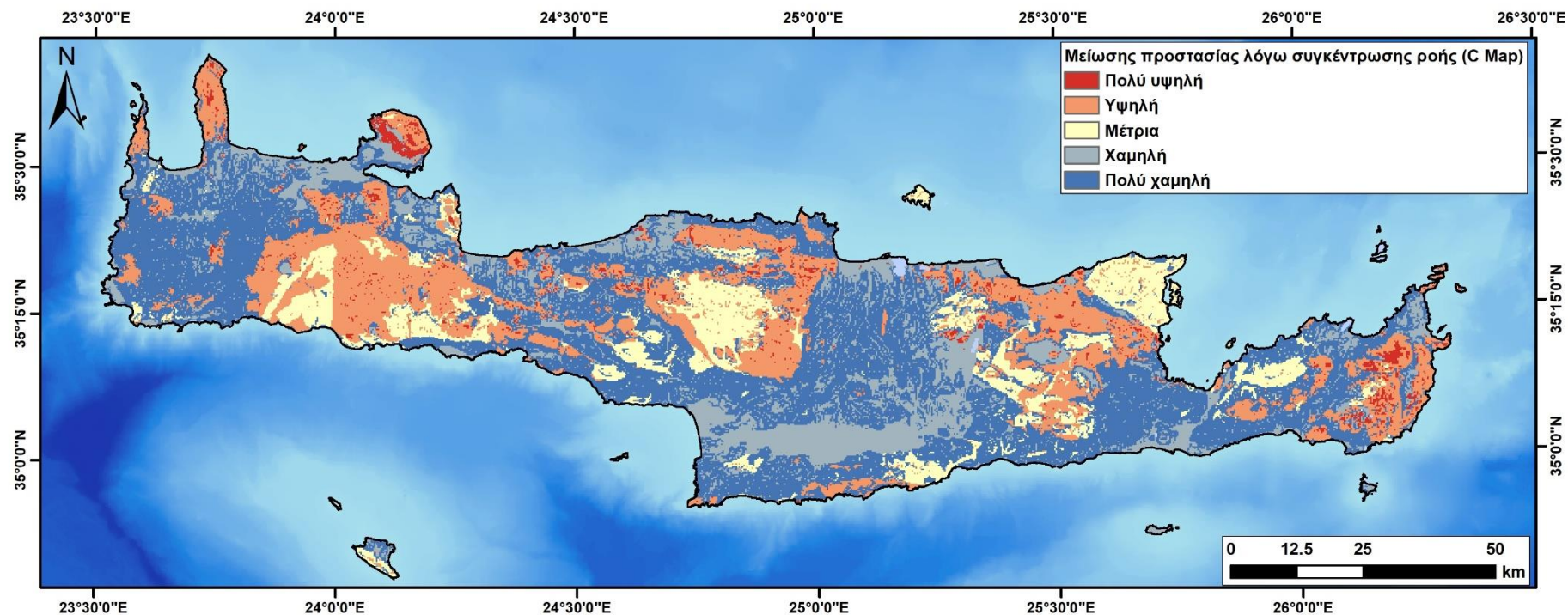
Από το χάρτη συγκέντρωσης ροής (C Map - Concentration of flow) προκύπτει ότι πολύ υψηλή-υψηλή μείωση της προστασίας των υπόγειων οριζόντων εμφανίζεται στις περιοχές κυρίως με υψηλό βαθμό καρστικοποίησης, και ταυτόχρονα χαμηλές κλίσεις και φυτοκάλυψη, στο ΝΔ/κό τμήμα του νησιού στα Λευκά Όρη, στο κεντρικό στον Ψηλορείτη, και ανατολικά στην ευρύτερη περιοχή του Αγίου Νικολάου και της Σητείας. Πολύ χαμηλή μείωση της προστασίας των υπόγειων οριζόντων εμφανίζεται στο δυτικό και κεντρικό τμήμα του νησιού, κυρίως στις περιοχές όπου δεν συναντώνται καρστικοί σχηματισμοί (Σχ. 2-8).



Σχ. 2-6 Χάρτης Κλίσεων Γης



Σχ. 2-7 Χάρτης Κάλυψης Γης - Φυτοκάλυψης (Corine 2018)



Σχ. 2-8 Χάρτης Μείωσης Προστασίας Υπόγειων Υδροφόρων λόγω Συγκέντρωσης Ροής (C Map)

(3) Χάρτης επίδρασης της βροχόπτωσης (P Map)

Με βάση τα αποτελέσματα, η μεγαλύτερη μείωση της προστασίας και αύξηση της τρωτότητας των υπόγειων οριζόντων εξαιτίας του παράγοντα της βροχόπτωσης εμφανίζεται στο ανατολικό τμήμα της Κρήτης (περιοχή Ζάκρος) και στα Λευκά Όρη. Στο βόρειο και δυτικό τμήμα του νησιού η μείωση της προστασίας είναι μικρότερη (Πιν. 2-2, Σχ. 2-9).

Πιν. 2-2 Δεδομένα Βροχομετρικών Σταθμών

A/A	ΟΝΟΜΑ ΣΤΑΘΜΟΥ	ΜΕΓΕΘΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	ΜΕΣΗ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ ΥΓΡΩΝ ΕΤΩΝ (mm)	ΗΜΕΡΕΣ ΒΡΟΧΗΣ ΥΓΡΩΝ ΕΤΩΝ	PQ	ΕΝΤΑΣΗ ΒΡΟΧΗΣ	PI	Psc
1	Αβδού	30	1159	72	0.2	16	0.4	0.6
2	Αγ. Βασίλειος	11	1610	76	0.4	21	0.2	0.6
3	Αγ. Θωμάς	11	1028	82	0.2	13	0.4	0.6
4	Αγία Βαρβάρα	30	1266	83	0.3	15	0.4	0.7
5	Αγία Γαλήνη	30	870	49	0.2	18	0.4	0.6
6	Άγιος Κύριλλος	30	769	57	0.3	13	0.4	0.7
7	Άγιος Νικόλαος	11	645	85	0.3	8	0.6	0.9
8	Αγροκήπιο	30	799	74	0.3	11	0.4	0.7
9	Ακρωτήριο	11	963	112	0.2	9	0.6	0.8
10	Αλικιανός	30	1041	87	0.2	12	0.4	0.6
11	Αλικιανός	11	1340	96	0.3	14	0.4	0.7
12	Ανώγεια	30	1434	85	0.3	17	0.4	0.7
13	Ανώγεια	11	1484	112	0.3	13	0.4	0.7
14	Απόστολοι	11	1347	104	0.3	13	0.4	0.7
15	Αρμάχα	30	988	65	0.2	15	0.4	0.6
16	Αρμένιοι	11	1673	82	0.4	20	0.2	0.6
17	Αρχάνες	11	988	57	0.2	17	0.4	0.6
18	Ασήμι	30	726	79	0.3	9	0.6	0.9
19	Ασκήφου	30	2829	80	0.4	35	0.2	0.6
20	Ασκήφου	11	2933	135	0.4	22	0.2	0.6
21	Ασωμάτων	11	1506	74	0.3	20	0.4	0.7
22	Αχεντριάς	30	907	67	0.2	14	0.4	0.6
23	Βαγιωνιά	30	747	50	0.3	15	0.4	0.7
24	Βάμος	30	1145	71	0.2	16	0.4	0.6
25	Βολεώνες	30	1592	81	0.3	20	0.4	0.7
26	Βόνη	30	1024	66	0.2	16	0.4	0.6
27	Βορίζια	30	1628	65	0.4	25	0.2	0.6
28	Βρύσες	11	1660	162	0.4	10	0.4	0.8
29	Βυζάρι	30	957	63	0.2	15	0.4	0.6
30	Γαράζο	30	1526	64	0.3	24	0.2	0.5
31	Γερακάρι	30	1628	59	0.4	28	0.2	0.6

ΕΡΓΟ: ΛΕΠΤ. ΟΡΙΟΘΕΤΗΣΗ ΖΩΝΩΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΣΗΜ. ΥΔΡΟΛ. ΓΙΑ ΥΔΡΕΥΣΗ – ΚΡΗΤΗ, 5^η – 6^η – 7^η ΦΑΣΗ, ΤΕ 3-3

Ένωση Οικονομικών Φορέων: ΗΛΙΔΑ Α.Ε. – ΓΙΑΝΝΑΤΟΣ ΓΕΡΑΣΙΜΟΣ – ΑΛΕΞΙΑΔΟΥ ΜΑΡΙΑ ΧΑΡΑ

ΣΤΡΑΒΩΝΟΣ 13, Τ.Κ. 142 34, Ν. ΙΩΝΙΑ mail: info@ilida-eng.gr, giannatosmakis@gmail.com, halex@geoskopio.gr

A/A	ΟΝΟΜΑ ΣΤΑΘΜΟΥ	ΜΕΓΕΘΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	ΜΕΣΗ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ ΥΓΡΩΝ ΕΤΩΝ (mm)	ΗΜΕΡΕΣ ΒΡΟΧΗΣ ΥΓΡΩΝ ΕΤΩΝ	PQ	ΕΝΤΑΣΗ ΒΡΟΧΗΣ	PI	Psc
32	Γέργερη	30	1214	69	0.3	18	0.4	0.7
33	Γόρτυς	30	764	83	0.3	9	0.6	0.9
34	Δεμάτι	30	656	45	0.3	15	0.4	0.7
35	Έλος	11	1659	134	0.4	12	0.4	0.8
36	Έμπαρος	11	1055	60	0.2	18	0.4	0.6
37	Έξω Ποτάμοι	30	1927	23	0.4	83	0.2	0.6
38	Επισκοπή	11	1613	68	0.4	24	0.2	0.6
39	Ζάκρος	11	904	20	0.2	46	0.2	0.4
40	Ζαρός	30	1211	49	0.3	25	0.2	0.5
41	Ζυμπραγός	30	1328	81	0.3	16	0.4	0.7
42	Ηράκλειο- Ανατολικά	11	675	91	0.3	7	0.6	0.9
43	Ηράκλειο- Δυτικά	11	759	82	0.3	9	0.6	0.9
44	Ηράκλειο- Λιμάνι	11	473	84	0.3	6	0.6	0.9
45	Ιεράπετρα	30	591	65	0.3	9	0.6	0.9
46	Ιεράπετρα	11	556	78	0.3	7	0.6	0.9
47	Καβούσι	30	1448	54	0.3	27	0.2	0.5
48	Καλαμαύκα	11	914	50	0.2	18	0.4	0.6
49	Καλό Χωριο	30	697	80	0.3	9	0.6	0.9
50	Καλύβες	30	978	51	0.2	19	0.4	0.6
51	Καλύβια	30	736	54	0.3	14	0.4	0.7
52	Κάλυβος	11	1414	71	0.3	20	0.4	0.7
53	Κάνδανος	30	1433	87	0.3	16	0.4	0.7
54	Κάνδανος	11	2070	66	0.4	32	0.2	0.6
55	Καπετανιανά	30	936	45	0.2	21	0.2	0.4
56	Κασσάνοι	30	731	72	0.3	10	0.4	0.7
57	Καστέλλι	30	914	76	0.2	12	0.4	0.6
58	Καστέλλι	11	1036	85	0.2	12	0.4	0.6
59	Κατσιδώνι	30	1184	58	0.2	20	0.4	0.6
60	Καψάλοι	30	597	52	0.3	11	0.4	0.7
61	Κρουσσώνας	30	1163	74	0.2	16	0.4	0.6
62	Λαγολιό	30	807	60	0.2	13	0.4	0.6
63	Λευκώγεια	30	1130	72	0.2	16	0.4	0.6
64	Μάλλες	30	992	73	0.2	14	0.4	0.6
65	Μαρμακέτο	11	1391	126	0.3	11	0.4	0.7
66	Μαρωνιά	30	830	52	0.2	16	0.4	0.6
67	Μέλαμπες	30	980	50	0.2	20	0.4	0.6
68	Μεσελέροι	11	632	65	0.3	10	0.6	0.9
69	Μεσκλά	11	1903	61	0.4	31	0.2	0.6
70	Μεταξοχώρι	30	980	64	0.2	15	0.4	0.6

ΕΡΓΟ: ΛΕΠΤ. ΟΡΙΟΘΕΤΗΣΗ ΖΩΝΩΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΣΗΜ. ΥΔΡΟΛ. ΓΙΑ ΥΔΡΕΥΣΗ – ΚΡΗΤΗ, 5^η – 6^η – 7^η ΦΑΣΗ, ΤΕ 3-3

Ένωση Οικονομικών Φορέων: ΗΛΙΔΑ Α.Ε. – ΓΙΑΝΝΑΤΟΣ ΓΕΡΑΣΙΜΟΣ – ΑΛΕΞΙΑΔΟΥ ΜΑΡΙΑ ΧΑΡΑ

ΣΤΡΑΒΩΝΟΣ 13, Τ.Κ. 142 34, Ν. ΙΩΝΙΑ mail: info@ilida-eng.gr, giannatosmakis@gmail.com, halex@geoskopio.gr

A/A	ΟΝΟΜΑ ΣΤΑΘΜΟΥ	ΜΕΓΕΘΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	ΜΕΣΗ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ ΥΓΡΩΝ ΕΤΩΝ (mm)	ΗΜΕΡΕΣ ΒΡΟΧΗΣ ΥΓΡΩΝ ΕΤΩΝ	PQ	ΕΝΤΑΣΗ ΒΡΟΧΗΣ	PI	Psc
71	Μεταξοχώρι - ΕΑΑ	11	986	135	0.2	7	0.6	0.8
72	Μοίρες - Πετροκεφάλι	11	623	109	0.3	6	0.6	0.9
73	Μορόνι	30	993	65	0.2	15	0.4	0.6
74	Μουρί	30	1530	75	0.3	20	0.4	0.7
75	Μπούτακας	11	1579	77	0.3	20	0.4	0.7
76	Μύθοι	30	762	53	0.3	15	0.4	0.7
77	Νίθαυρη	11	1082	55	0.2	20	0.4	0.6
78	Παλαιά Ρούματα	30	1579	93	0.3	17	0.4	0.7
79	Παλαιόκαστρο	30	773	57	0.3	14	0.4	0.7
80	Παλαιόχωρα - ΕΑΑ	11	881	92	0.2	10	0.6	0.8
81	Πάρτηρα	30	864	55	0.2	16	0.4	0.6
82	Παχεία Αμμος	30	847	59	0.2	14	0.4	0.6
83	Πέραμα	11	1091	70	0.2	16	0.4	0.6
84	Πλακιάς	11	1183	100	0.2	12	0.4	0.6
85	Πλατανιάς	11	809	135	0.2	6	0.6	0.8
86	Πόμπια	30	748	55	0.3	14	0.4	0.7
87	Ποταμιές	11	976	80	0.2	12	0.4	0.6
88	Πραιτώρια	30	669	77	0.3	9	0.6	0.9
89	Πρασσές	30	2415	93	0.4	26	0.2	0.6
90	Προφήτης Ηλίας	30	1077	71	0.2	15	0.4	0.6
91	Πυράθι	11	736	120	0.3	6	0.6	0.9
92	Ρέθυμνο	11	714	96	0.3	7	0.6	0.9
93	Σαμαριά- Ξυλόσκαλο	11	2261	112	0.4	20	0.2	0.6
94	Σαμαρία- Φαράγγι	11	1877	153	0.4	12	0.4	0.8
95	Σαμωνάς	41	1421	54	0.3	26	0.2	0.5
96	Σητεία	30	582	65	0.3	9	0.6	0.9
97	Σητεία	11	787	86	0.3	9	0.6	0.9
98	Σίτανος	11	1101	90	0.2	12	0.4	0.6
99	Σούδα	41	872	91	0.2	10	0.6	0.8
100	Σπήλι	30	1464	84	0.3	17	0.4	0.7
101	Σπήλι	11	1431	112	0.3	13	0.4	0.7
102	Σταυράκια	11	1029	91	0.2	11	0.4	0.6
103	Στέρνες	41	821	53	0.2	16	0.4	0.6
104	Στροβλές	11	1671	84	0.4	20	0.4	0.8
105	Σφακιά	11	1033	123	0.2	8	0.6	0.8
106	Ταυρωνίτης	30	734	81	0.3	9	0.6	0.9
107	Τζερμιάδων	41	1473	100	0.3	15	0.4	0.7

ΕΡΓΟ: ΛΕΠΤ. ΟΡΙΟΘΕΤΗΣΗ ΖΩΝΩΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΣΗΜ. ΥΔΡΟΛ. ΓΙΑ ΥΔΡΕΥΣΗ – ΚΡΗΤΗ, 5^η – 6^η – 7^η ΦΑΣΗ, ΤΕ 3-3

Ένωση Οικονομικών Φορέων: ΗΛΙΔΑ Α.Ε. – ΓΙΑΝΝΑΤΟΣ ΓΕΡΑΣΙΜΟΣ – ΑΛΕΞΙΑΔΟΥ ΜΑΡΙΑ ΧΑΡΑ

ΣΤΡΑΒΩΝΟΣ 13, Τ.Κ. 142 34, Ν. ΙΩΝΙΑ mail: info@ilida-eng.gr, giannatosmakis@gmail.com, halex@geoskopio.gr

A/A	ΟΝΟΜΑ ΣΤΑΘΜΟΥ	ΜΕΓΕΘΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	ΜΕΣΗ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ ΥΓΡΩΝ ΕΤΩΝ (mm)	ΗΜΕΡΕΣ ΒΡΟΧΗΣ ΥΓΡΩΝ ΕΤΩΝ	PQ	ΕΝΤΑΣΗ ΒΡΟΧΗΣ	PI	Psc
108	Τυμπάκι	30	724	60	0.3	12	0.4	0.7
109	Φαλάσαρνα	11	1032	101	0.2	10	0.6	0.8
110	Φινοκαλιά	11	557	98	0.3	6	0.6	0.9
111	Φοινικιά	30	1104	66	0.2	17	0.4	0.6
112	Φουρνή	30	974	53	0.2	18	0.4	0.6
113	Φουρφουράς	11	1494	105	0.3	14	0.4	0.7
114	Φράγμα Ποταμών	11	1334	148	0.3	10	0.4	0.7
115	Χανιά	30	832	83	0.2	10	0.6	0.8
116	Χανιά-Κέντρο	11	890	97	0.2	9	0.6	0.8
117	Ψυχρό Πηγάδι	41	2386	72	0.4	33	0.2	0.6

2.6 Εκτίμηση Τρωτότητας με τη Μέθοδο DRASTIC

2.6.1 Μεθοδολογικό Πλαίσιο – Δεδομένα

Η τρωτότητα των υπόγειων υδροφόρων με τη μέθοδο DRASTIC (Aller et al., 1987) στηρίζεται στην εκτίμηση της τρωτότητας με βάση επτά (7) υδρογεωλογικές παραμέτρους: (1) βάθος της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα (depth to groundwater D), (2) ενεργή κατείσδυση (net recharge R), (3) τύπος των υλικών του υδροφορέα (aquifer type media A), (4) εδαφικός τύπος (soil media S), (5) κλίση ανάγλυφου (topography T), (6) επίδραση των υλικών της ακόρεστης ζώνης (impact of the vadose zone media I), και (7) υδραυλική αγωγιμότητα (hydraulic conductivity C).

Οι παράμετροι αυτές εισάγονται σε μια απλή γραμμική εξίσωση, αφού αναχθούν από τη φυσική κλίμακα διακύμανσής τους σε μια δεκαβάθμια σχετική κλίμακα (Πιν. 2-3). Κάθε μία από τις παραμέτρους αυτές πολλαπλασιάζεται με ένα συντελεστή βαρύτητας, ο οποίος μπορεί να καθοριστεί με υποκειμενικά κριτήρια, με βάση τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά κάθε περιοχής μελέτης (Λάππας, 2018). Στη συγκεκριμένη περίπτωση ωστόσο, χρησιμοποιήθηκαν οι συντελεστές βαρύτητας που προτείνονται στην πρωτότυπη μεθοδολογία (Aller et al., 1987). Η γραμμική εξίσωση προσδιορισμού έχει τη μορφή (Aller et al., 1987; Λάππας, 2018):

$$Di = D_R D_W + R_R R_W + A_R A_W + S_R S_W + T_R T_W + I_R I_W + C_R C_W,$$

όπου R η τιμή της παραμέτρου και W ο συντελεστής βαρύτητας κάθε μίας παραμέτρου. Ο δείκτης τρωτότητας Di παίρνει τιμές 1-10, με τις υψηλότερες να υποδηλώνουν μεγάλο δυναμικό ρύπανσης. Ο συντελεστής βαρύτητας w παίρνει τιμές από 1 έως 5.

Σύμφωνα με την πρωτότυπη μεθοδολογία:

$$Di = 5 * D_R + 4 * R_R + 3 * A_R + 2 * S_R + T_R + 5 * I_R + 3 * C_R$$

Αναλυτικά (Aller et al., 1987; Λάππας, 2018):

- **Βάθος στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα (depth of groundwater D):** Το βάθος του υπόγειου νερού αποτελεί μία σημαντική παράμετρο στην εκτίμηση της τρωτότητας, καθώς καθορίζει το πάχος της ακόρεστης ζώνης που πρέπει να διανύσει ένας πιθανός ρύπος για να φτάσει τον υδροφόρο ορίζοντα. Όσο μικρότερη είναι η διαδρομή που διανύει το υπόγειο νερό από την επιφάνεια έως και τον υδροφόρο ορίζοντα, τόσο λιγότερα εδαφικά υλικά ενεργούν ως φίλτρα και προσροφητές και τόσο λιγότερο ευνοούνται οι αβιοτικές και βιοτικές χημικές διεργασίες.

- **Ενεργή κατείσδυση (net recharge R):** Η τροφοδοσία των υπόγειων υδροφόρων πραγματοποιείται κατ' εξοχήν από τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, με το νερό να κατεισδύει στα εδάφη και να καταλήγει στον υπόγειο υδροφόρα. Ωστόσο, τροφοδοσία μπορεί να πραγματοποιείται και με άλλες διαδικασίες (π.χ. άρδευση, τεχνητός εμπλουτισμός ή πλευρική τροφοδοσία), οι οποίες θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη, ενώ είναι πολύ σημαντικό να λαμβάνονται υπόψη και οι εκροές ή απώλειες του υδροφόρου (επιφανειακή – επιδερμική και υπόγεια απορροή, εξατμισοδιαπνοή).
- **Τύπος των υλικών του υδροφορέα (aquifer type media A):** Ο τύπος του υδροφορέα αποτελεί σημαντική παράμετρο εκτίμησης της τρωτότητας, καθώς καθορίζει τον τρόπο που το νερό του υδροφόρου, και κατ' επέκταση ο ρύπος, μπορεί να κινηθεί. Όταν το υπόγειο νερό φιλοξενείται σε πετρώματα που χαρακτηρίζονται από δευτερογενές πορώδες (καρστικά δίκτυα ρωών, διακλάσεις, ρωγμές κ.ά.), τότε το νερό καθίσταται πιο επιρρεπές σε μόλυνση και ρύπανση σε σχέση με πετρώματα, που διακρίνονται για τον πορώδη χαρακτήρα τους.
- **Εδαφικός τύπος (soil media S):** Ο τύπος του εδαφικού καλύμματος, του ανώτερου αποσαθρωμένου στρώματος όπου παρατηρείται σημαντική βιολογική δραστηριότητα, διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην εκτίμηση της τρωτότητας. Το εδαφικό υλικό μπορεί να συμβάλει στην προστασία του υπόγειου υδροφόρου ή στην ποσότητα του νερού που θα τον τροφοδοτήσει. Παράλληλα, συμμετέχει στις διαδικασίες εξασθένησης των ρύπων με τη δράση της οργανικής ύλης και των αργιλικών υλικών, που πιθανά περιέχει.
- **Κλίση ανάγλυφου (topography T):** Η κλίση του ανάγλυφου μπορεί να συμβάλει στην αύξηση ή μείωση της τρωτότητας του υπόγειου υδροφόρου, καθώς η ευκολία και η ταχύτητα που κατεισδύει ένας ρύπος εξαρτάται και από την τοπογραφική κλίση.
- **Επίδραση των υλικών της ακόρεστης ζώνης (impact of the vadose zone media I):** Τα υλικά της ακόρεστης ζώνης (η κοκκομετρία, η περιεκτικότητα σε οργανική ύλη και η ορυκτολογία των εδαφικών υλικών και ιδιαίτερα η περιεκτικότητα σε αργιλικά ορυκτά), αποτελούν παραμέτρους που καθορίζουν την ικανότητά της να προστατεύει τον υπόγειο υδροφόρα από τους επιφανειακούς ρυπαντές, ενώ λαμβάνουν χώρα διαδικασίες όπως χημικές αντιδράσεις (chemical reactions), διήθηση (mechanical filtration), βιοαποδόμηση (biodegradation), απενεργοποίηση (neutralization), εξάερωση (volatilization) και διασπορά (dispersion).

Η κατηγοριοποίηση του τελικού χάρτη τρωτότητας στην προκειμένη περίπτωση έγινε με τη μέθοδο Natural Breaks (Jenks).

Πιν. 2-3 Παράμετροι Μεθόδου DRASTIC (Aller et al., 1987; Λάππας, 2018)

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΕΥΡΟΣ ΤΙΜΩΝ / ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ
1. Βάθος υδροφόρου D (m)	0.0-1.5	10
	1.5-4.5	9
	4.5-9.0	7
	9.0-15.0	5
	15.0-23.0	3
	23.0-30.5	2
	>30.5	1
2. Ενεργή κατείδυση R (mm/y)	0-50	1
	50-100	3
	100-180	6
	180-250	8
	>250	9
3. Είδος υδροφορέα A	Συμπαγείς σχιστόλιθοι	2
	Μεταμορφωμένα/Εκρηξιγενή	3
	Φλύσξης	3
	Αποσαθρωμένα	4
	Κροκαλοπαγή	4
	Παγετωνικοί τιλλίτες	5
	Αλλούβια	5
	Εναλλαγές στρωσιγενών ψαμμιτών, ασβεστολίθων και αργίλων	6
	Συμπαγείς ψαμμίτες	6
	Συμπαγείς ασβεστόλιθοι	6
	Μάργες	6
	Καρστοποιημένοι ασβεστόλιθοι	8
	Άμμοι και χαλίκια	8
	Βασάλτης	9
	Έντονα καρστοποιημένοι ασβεστόλιθοι	10
4. Εδαφικός τύπος S	Απουσία ή μικρό πάχος εδάφους	10
	Χαλίκια	10
	Άμμος	9
	Τύρφη	8
	Αμμώδης πηλός	6
	Πηλός	5
	Ιλυώδης πηλός	4
	Αργιλώδης πηλός	3
	Οργανικό έδαφος	2
	Άργιλος	1
5. Κλίση αναγλύφου T (%)	0-2	10
	2-6	9
	6-12	5
	12-18	3
	>18	1
6. Επίδραση των υλικών της ακόρεστης ζώνης I	Αδιαπέρατο στρώμα	1
	Ιλύς/Άργιλος	3

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΕΥΡΟΣ ΤΙΜΩΝ / ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ
	Σχιστόλιθος	3
	Ασβεστόλιθος	6
	Ψαμμίτης	6
	Στρωσιγενείς ασβεστόλιθοι, ψαμμίτες, σχιστόλιθοι	6
	Άμμοι και χαλίκια με σημαντική συμμετοχή ιλύς και αργίλου	6
	Μεταμορφωμένα/Εκρηξιγενή	4
	Άμμοι και χαλίκια	8
	Βασάλτης	9
	Καρστικοποιημένοι ασβεστόλιθοι	10
7. Υδραυλική αγωγιμότητα C (m/s)	$1 \cdot 10^{-7}$ - $2 \cdot 10^{-5}$	1
	$2 \cdot 10^{-5}$ - $5 \cdot 10^{-5}$	2
	$5 \cdot 10^{-5}$ - $1 \cdot 10^{-4}$	4
	$1 \cdot 10^{-4}$ - $2 \cdot 10^{-4}$	6
	$2 \cdot 10^{-4}$ - $3 \cdot 10^{-4}$	8
	$>3 \cdot 10^{-4}$	10

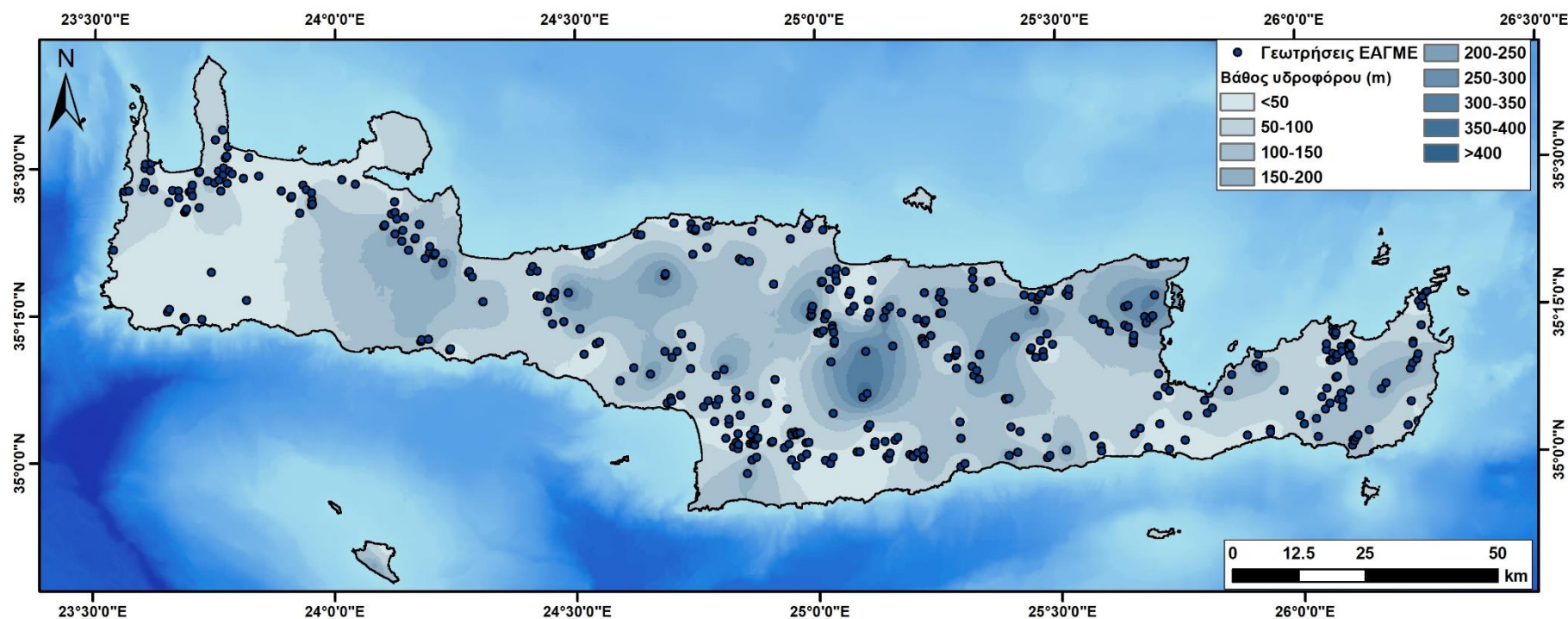
Τέλος, κατά την βαθμονόμηση των επιμέρους παραμέτρων της μεθοδολογίας DRASTIC λήφθηκαν υπόψη οι τοπικές γεωλογικές συνθήκες.

2.6.2 Αποτελέσματα

(1) Βάθος υδροφόρου (D)

Τα δεδομένα αναφορικά με το βάθος του υπόγειου υδροφόρου της Κρήτης προέρχονται από τις μετρήσεις υπαίθρου που πραγματοποιεί η Ελληνική Αρχή Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΕΑΓΜΕ) στο πλαίσιο του προγράμματος «Παρακολούθηση και καταγραφή της κατάστασης (ποιότητα, ποσότητα, πιέσεις, χρήση) των υδάτων της χώρας», καθώς και από παλαιότερες μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί από τον φορέα και παρέχουν μακροχρόνιες μετρήσεις υπαίθρου για ολόκληρο το νησί (Πολυχρονάκη et al., 2009). Από την επεξεργασία των δεδομένων αυτών προέκυψαν μετρήσεις βάθους στάθμης από 446 γεωτρήσεις της Κρήτης. Οι μετρήσεις καλύπτουν την περίοδο 2000-2023. Ως αντιπροσωπευτικό βάθος υδροφόρου θεωρήθηκε η διάμεση τιμή του συνόλου των μετρήσεων, ενώ η χωρική παρεμβολή έγινε με τη μεθοδολογία Empirical Bayesian Kriging (Σχ. 2-10).

Στη συνέχεια, ανάλογα με το βάθος του υδροφόρου αποδόθηκε η βαθμολογία D σύμφωνα με τη μεθοδολογία (Πιν. 2-3).



Σχ. 2-10 Χάρτης Βάθους Υπόγειων Υδροφόρων (Μετρήσεις ΕΑΓΜΕ 2000-2023)

(2) Ενεργή κατείσδυση R

Η εκτίμηση της ενεργούς κατείσδυσης στηρίχτηκε στα δεδομένα ετήσια βροχόπτωσης (Πιν. 2-4), μετά από χωρική παρεμβολή (Σχ. 2-11). Η εκτίμηση της ενεργούς κατείσδυσης (Σχ. 2-12) έγινε με βάση τους συντελεστές κατείσδυσης των γεωλογικών σχηματισμών της Κρήτης (Πιν. 2-5).

Με βάση τα αποτελέσματα, οι μεγαλύτερες ετήσιες βροχοπτώσεις που τοπικά στα Λευκά Όρη ξεπερνούν τα 2000 mm/y παρατηρούνται στην δυτική Κρήτη, ενώ υψηλές τιμές παρατηρούνται όπως είναι αναμενόμενο και στον Ψηλορείτη. Αντίθετα, μικρότερες τιμές ετήσιας βροχόπτωσης παρατηρούνται στην ανατολική Κρήτη και στις πεδινές περιοχές.

Πιν. 2-4 Δεδομένα Βροχομετρικών Σταθμών – Μέση Ετήσια Βροχόπτωση

A/A	ΟΝΟΜΑ ΣΤΑΘΜΟΥ	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	ΜΕΣΗ ΕΤΗΣΙΑ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ (mm)
1	Αβδού	1980-2009	860
2	Αγ. Βασίλειος	2010-2020	1208
3	Αγ. Θωμάς	2010-2020	785
4	Αγία Βαρβάρα	1980-2009	951
5	Αγία Γαλήνη	1980-2009	619
6	Άγιος Κύριλλος	1980-2009	529
7	Άγιος Νικόλαος	2010-2020	468
8	Αγροκήπιο	1980-2009	620
9	Ακρωτήρι	2010-2020	641
10	Αλικιανός	1980-2009	794
11	Αλικιανός	2010-2020	831
12	Ανώγεια	1980-2009	1034
13	Ανώγεια	2010-2020	1067
14	Απόστολοι	2010-2020	1012
15	Αρμάχα	1980-2009	788
16	Αρμένιοι	2010-2020	1221
17	Αρχάνες	2010-2020	759
18	Ασήμι	1980-2009	563
19	Ασκούφου	1980-2009	2190
20	Ασκούφου	2010-2020	2099
21	Ασωμάτων	2010-2020	1049
22	Αχεντριάς	1980-2009	697
23	Βαγιωνιά	1980-2009	524
24	Βάμος	1980-2009	891
25	Βολεώνες	1980-2009	1213
26	Βόνη	1980-2009	739
27	Βορίζια	1980-2009	1158
28	Βρύσες	2010-2020	1014
29	Βυζάρι	1980-2009	730

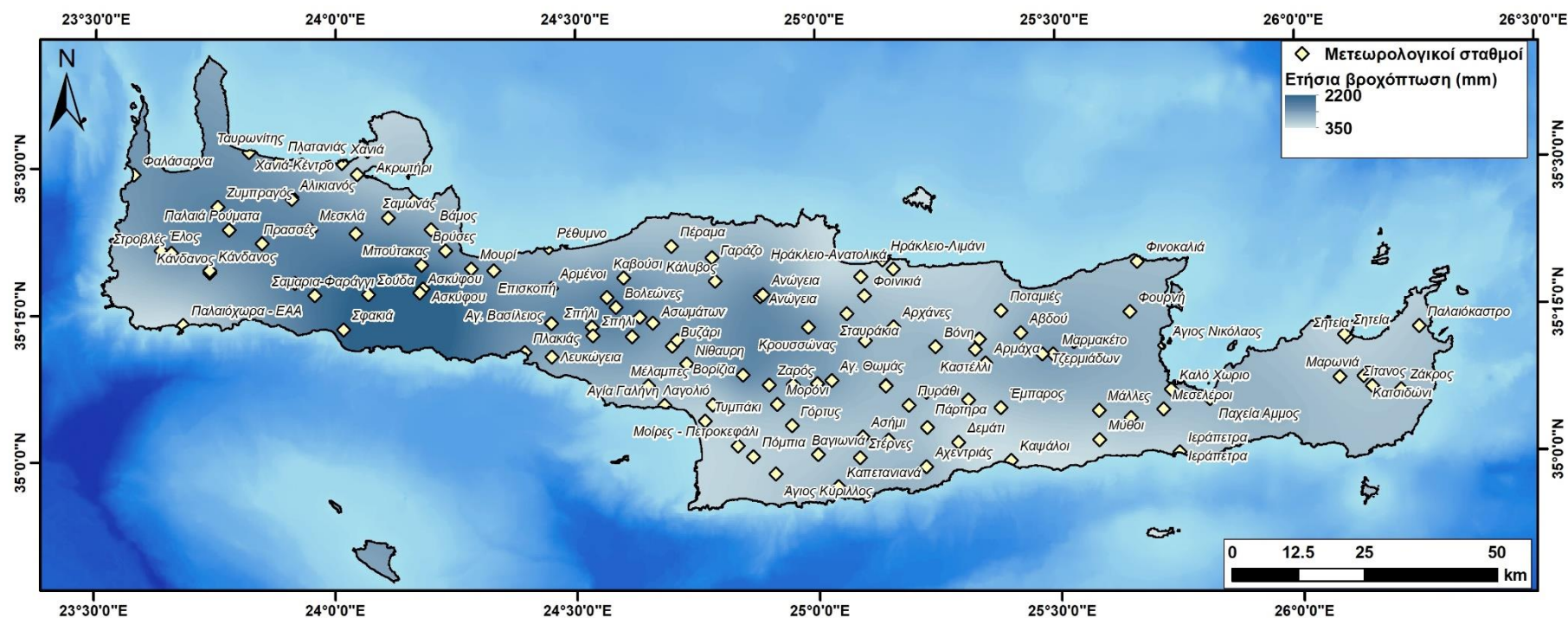
A/A	ΟΝΟΜΑ ΣΤΑΘΜΟΥ	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	ΜΕΣΗ ΕΤΗΣΙΑ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ (mm)
30	Γαράζο	1980-2009	1139
31	Γερακάρι	1980-2009	1308
32	Γέργερη	1980-2009	898
33	Γόρτυς	1980-2009	568
34	Δεμάτι	1980-2009	469
35	Έλος	2010-2020	1112
36	Έμπαρος	2010-2020	829
37	Έξω Ποτάμοι	1980-2009	1368
38	Επισκοπή	2010-2020	1273
39	Ζάκρος	2010-2020	647
40	Ζαρός	1980-2009	854
41	Ζυμπραγός	1980-2009	1011
42	Ηράκλειο-Ανατολικά	2010-2020	519
43	Ηράκλειο-Δυτικά	2010-2020	538
44	Ηράκλειο-Λιμάνι	2010-2020	361
45	Ιεράπετρα	1980-2009	430
46	Ιεράπετρα	2010-2020	409
47	Καβούσι	1980-2009	1002
48	Καλαμαύκα	2010-2020	654
49	Καλό Χωριο	1980-2009	533
50	Καλύβες	1980-2009	703
51	Καλύβια	1980-2009	562
52	Κάλυβος	2010-2020	952
53	Κάνδανος	1980-2009	1046
54	Κάνδανος	2010-2020	1462
55	Καπετανιανά	1980-2009	680
56	Κασσάνοι	1980-2009	564
57	Καστέλλι	1980-2009	706
58	Καστέλλι	2010-2020	733
59	Κατσιδώνι	1980-2009	863
60	Καψάλοι	1980-2009	453
61	Κρουσσώνας	1980-2009	916
62	Λαγολιό	1980-2009	575
63	Λευκώγεια	1980-2009	823
64	Μάλλες	1980-2009	761
65	Μαρμακέτο	2010-2020	1061
66	Μαρωνιά	1980-2009	656
67	Μέλαμπες	1980-2009	767
68	Μεσελέροι	2010-2020	473
69	Μεσκλά	2010-2020	1188
70	Μεταξοχώρι	1980-2009	744
71	Μεταξοχώρι - ΕΑΑ	2010-2020	737

A/A	ΟΝΟΜΑ ΣΤΑΘΜΟΥ	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	ΜΕΣΗ ΕΤΗΣΙΑ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ (mm)
72	Μοίρες - Πετροκεφάλι	2010-2020	430
73	Μορόνι	1980-2009	715
74	Μουρί	1980-2009	1137
75	Μπούτακας	2010-2020	1195
76	Μύθοι	1980-2009	555
77	Νίθαυρη	2010-2020	797
78	Παλαιά Ρούματα	1980-2009	1218
79	Παλαιόκαστρο	1980-2009	542
80	Παλαιόχωρα - ΕΑΑ	2010-2020	516
81	Πάρτηρα	1980-2009	672
82	Παχεία Αμμος	1980-2009	604
83	Πέραμα	2010-2020	758
84	Πλακιάς	2010-2020	755
85	Πλατανιάς	2010-2020	620
86	Πόμπια	1980-2009	518
87	Ποταμιές	2010-2020	709
88	Πραιώρια	1980-2009	514
89	Πρασσές	1980-2009	1821
90	Προφήτης Ηλίας	1980-2009	799
91	Πυράθι	2010-2020	549
92	Ρέθυμνο	2010-2020	551
93	Σαμαριά-Ξυλόσκαλο	2010-2020	1638
94	Σαμαριά-Φαράγγι	2010-2020	1483
95	Σαμωνάς	1980-2009	1013
96	Σητεία	1980-2009	454
97	Σητεία	2010-2020	549
98	Σίτανος	2010-2020	713
99	Σούδα	1980-2009	616
100	Σπήλι	1980-2009	1122
101	Σπήλι	2010-2020	1069
102	Σταυράκια	2010-2020	759
103	Στέρνες	1980-2009	576
104	Στροβλές	2010-2020	1112
105	Σφακιά	2010-2020	777
106	Ταυρωνίτης	1980-2009	557
107	Τζερμιάδων	1980-2009	1131
108	Τυμπάκι	1980-2009	489
109	Φαλάσαρνα	2010-2020	564
110	Φινοκαλιά	2010-2020	414
111	Φοινικιά	1980-2009	784
112	Φουρνή	1980-2009	701
113	Φουρφουράς	2010-2020	1042

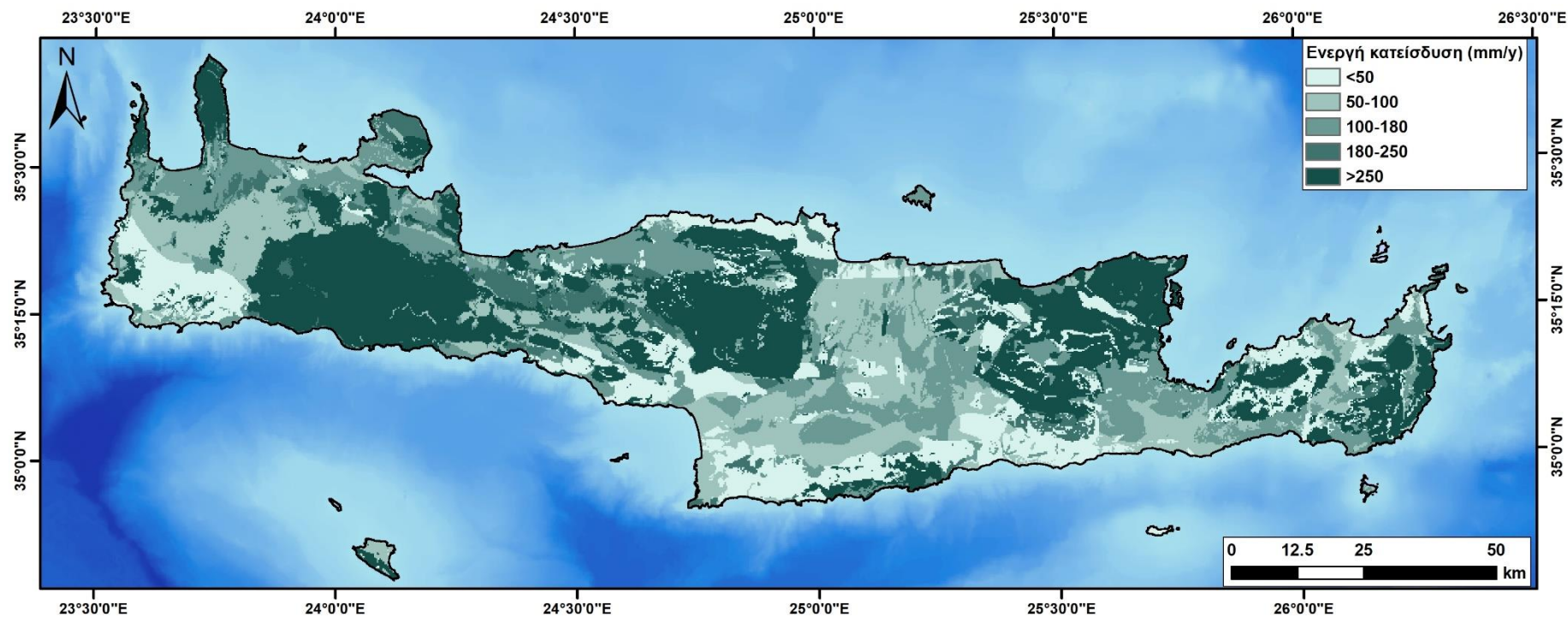
A/A	ΟΝΟΜΑ ΣΤΑΘΜΟΥ	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	ΜΕΣΗ ΕΤΗΣΙΑ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ (mm)
114	Φράγμα Ποταμών	2010-2020	979
115	Χανιά	1980-2009	564
116	Χανιά-Κέντρο	2010-2020	642
117	Ψυχρό Πηγάδι	1980-2009	1712

Πιν. 2-5 Συντελεστές Κατείσδυσης Υδρολιθολογικών Σχηματισμών

ΥΔΡΟΛΙΘΟΛΟΓΙΚΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ	ΥΔΡΟΛΙΘΟΛΟΓΙΚΟΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΚΑΤΕΙΣΔΥΣΗΣ (%)
A1	Πρακτικά Αδιαπέρατοι σχηματισμοί (φλύσχης)	5%
A2	Ρωγματώδεις σχηματισμοί μικρής έως πολύ μικρής υδροπερατότητας (φυλλίτες-χαλαζίτες-σχιστόλιθοι)	5%
g	Γύψοι	8%
K1	Ανθρακικοί σχηματισμοί εκτεταμένης ανάπτυξης, υψηλής έως μέτριας υδροπερατότητας	45%
K2	Ανθρακικοί σχηματισμοί μέτριας έως μικρής υδροπερατότητας	40%
K3	Ασβεστολιθικά λατυποκροκαλοπαγή, μέτριας έως υψηλής υδροπερατότητας	30%
P1	Προσχωματικές κυρίως αποθέσεις κυμαινόμενης υδροπερατότητας	15%
P2	Νεογενείς και Πλειστοκαινικές αποθέσεις μέτριας έως μικρής υδροπερατότητας	20%
P3	Μη προσχωματικές αποθέσεις μικρής έως πολύ μικρής υδροπερατότητας	10%



Σχ. 2-11 Χωρική Κατανομή Ετήσιας Βροχόπτωσης



Σχ. 2-12 Ενεργή Κατείσδυση

(3) Είδος υδροφορέα Α

Η εκτίμηση της παραμέτρου Α που σχετίζεται με το είδος του υδροφορέα στηρίχτηκε στον υδρολιθολογικό χάρτη της Κρήτης (Σχ. 2-4). Σε κάθε υδρολιθολογική μονάδα αποδόθηκε η αντίστοιχη βαθμολογία όπως παρατίθεται στο κεφάλαιο της μεθοδολογίας (Πιν. 2-3).

Με βάση τα αποτελέσματα, οι τιμές της παραμέτρου Α κυμαίνονται από 2 έως 10.

(4) Εδαφικός τύπος S

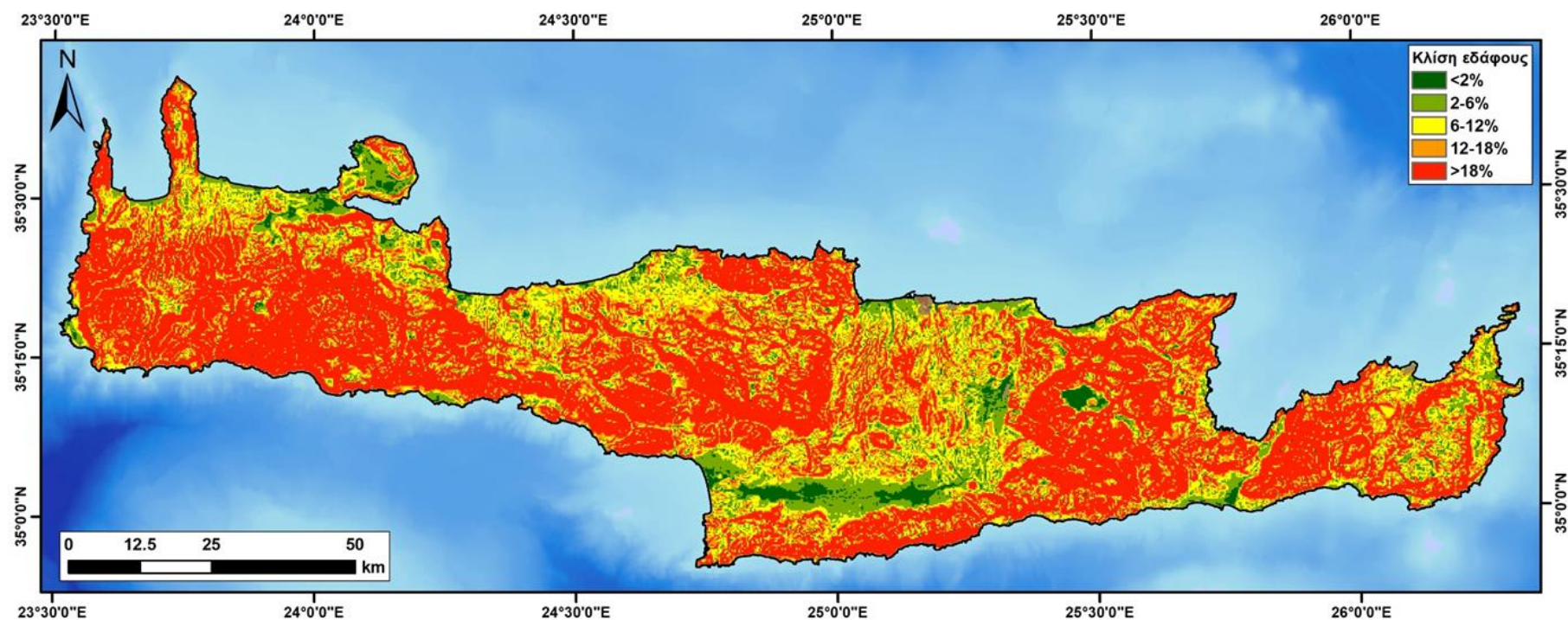
Δεδομένα σχετικά με τα εδαφολογικά χαρακτηριστικά της Κρήτης αντλήθηκαν, όπως αναφέρθηκε, από τον εδαφολογικό χάρτη του ευρωπαϊκού προγράμματος τοπογράφησης LUCAS topsoil database (Ballabio et al., 2016) (Σχ. 2-2).

Με βάση τα αποτελέσματα, οι τιμές της παραμέτρου S κυμαίνονται από 3 έως 6.

(5) Κλίση ανάγλυφου T

Δεδομένα αναφορικά με την τοπογραφία της περιοχής μελέτης προέρχονται από το ψηφιακό μοντέλο εδάφους DEM (Digital Elevation Data) 25x25 της ΕΤΥΜΠ (Εθνική Τράπεζα Υδρολογικής και Μετεωρολογικής Πληροφορίας).

Σύμφωνα με την κατάταξη της κλίσης του εδάφους κατά τη μεθοδολογία DRASTIC, μικρές κλίσεις εντοπίζονται στην λεκάνη της Μεσσαράς, στο οροπέδιο του Λασιθίου, και στις περιοχές της Ιεράπετρας, του Ηρακλείου, και Χανίων (Σχ. 2-13).



Σχ. 2-13 Χάρτης Κλίσεων Γης (κατάταξη με τη μέθοδο DRASTIC)

(6) Επίδραση των υλικών της ακόρεστης ζώνης I

Η εκτίμηση της επίδρασης των υλικών της ακόρεστης στην τρωτότητα των υπόγειων υδροφόρων στηρίχτηκε στον υδρολιθολογικό χάρτη της Κρήτης (Σχ. 2-4). Οι τιμές της παραμέτρου I κυμαίνονται συνεπώς από 1 έως 10 (Πιν. 2-3).

(7) Υδραυλική αγωγιμότητα C

Η υδραυλική αγωγιμότητα των σχηματισμών, τόσο κατά την κατακόρυφη, όσο και κατά την οριζόντια έννοια, διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στη μεταφορά και διασπορά του ρύπου. Η εκτίμηση της υδραυλικής αγωγιμότητας των γεωλογικών σχηματισμών της Κρήτης, λόγω απουσίας δεδομένων υπαίθρου και αποτελεσμάτων δοκιμαστικών αντλήσεων, στηρίχτηκε σε βιβλιογραφικά δεδομένα. Συγκεκριμένα, σε κάθε υδρολιθολογικό σχηματισμό της Κρήτης (Σχ. 2-4) αποδόθηκε κατ' εκτίμηση μία αντιπροσωπευτική τιμή υδραυλικής αγωγιμότητας (Terzaghi et al., 1996).

2.7 Χάρτης Τρωτότητας Υπόγειων Υδροφορέων της Κρήτης

Ο χάρτης τρωτότητας (vulnerability map) των υπόγειων υδροφορέων της Κρήτης που συντάχθηκε στο πλαίσιο της μελέτης (Σχ. 4 14) είναι όπως προαναφέρθηκε σύνθετος. Η τρωτότητα των περιοχών που δομούνται από καρστικά πετρώματα είναι αποτέλεσμα εφαρμογής της μεθόδου COP, ενώ σε όλες τις υπόλοιπες περιοχές του νησιού η τρωτότητα είναι αποτέλεσμα εφαρμογής της μεθόδου DRASTIC.

Παράλληλα, η τελική διαμόρφωση του χάρτη τρωτότητας είναι αποτέλεσμα και ορισμένων αναγκαίων παρεμβάσεων που έγιναν στη βαθμονόμηση, μετά την ολοκλήρωση των επιμέρους επεξεργασιών (COP και DRASTIC), προκειμένου να συνεκτιμηθούν κατά τον καλύτερο δυνατό τρόπο οι τοπικές συνθήκες. Μία από αυτές αναφέρθηκε ήδη προηγούμενα στο κεφάλαιο 4.3.4. και κρίθηκε αναγκαία για την αποτύπωση της υφαλμύρισης των υπόγειων νερών. Αφορά στην επαύξηση κατά μία κλάση της τρωτότητας, που προέκυψε από το χάρτη τρωτότητας κατά COP, σε συγκεκριμένες παράκτιες περιοχές με ασβεστόλιθους υψηλής καρστικοποίησης και καταγεγραμμένη με στοιχεία χημισμού υφαλμύριση. Η έκταση των περιοχών παρέμβασης εκτιμήθηκε από τη γεωλογική δομή της παράκτιας ζώνης, από τις αναβλύσεις παράκτιων πηγών και από τα διαθέσιμα στοιχεία γεωτρήσεων και χημισμού του υπόγειου νερού.

Μία δεύτερη παρέμβαση απαιτήθηκε για την αποτύπωση τοπικών συνθηκών, που λόγω της κλίμακας προσέγγισης της τρωτότητας, δεν ήταν δυνατή. Η κλίμακα προσέγγισης της τρωτότητας είναι ολόκληρη η Κρήτη σε ανάλυση 250x250, που συνεπάγεται αναπόφευκτα διάφορες απλοποιήσεις λόγω των οποίων δεν αποτυπώνονται μικρότερης κλίμακας, αλλά μεγάλης σημασίας, τοπικές συνθήκες.

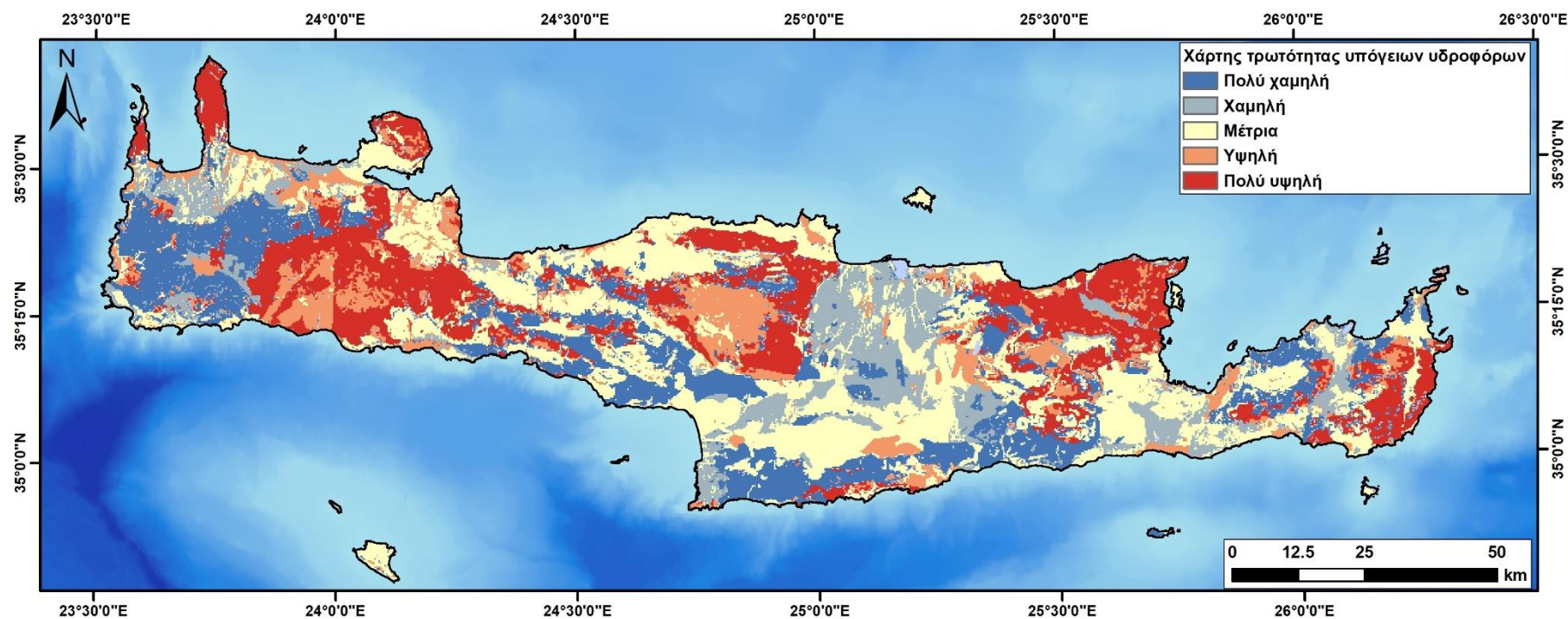
ΕΡΓΟ: ΛΕΠΤ. ΟΡΙΟΘΕΤΗΣΗ ΖΩΝΩΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΣΗΜ. ΥΔΡΟΛ. ΓΙΑ ΥΔΡΕΥΣΗ – ΚΡΗΤΗ, 5^η – 6^η – 7^η ΦΑΣΗ, ΤΕ 3-3

Ένωση Οικονομικών Φορέων: ΗΛΙΔΑ Α.Ε. – ΓΙΑΝΝΑΤΟΣ ΓΕΡΑΣΙΜΟΣ – ΑΛΕΞΙΑΔΟΥ ΜΑΡΙΑ ΧΑΡΑ
ΣΤΡΑΒΩΝΟΣ 13, Τ.Κ. 142 34, Ν. ΙΩΝΙΑ mail: info@ilida-eng.gr, giannatosmakis@gmail.com, halex@geoskopio.gr

Μία ενδεικτική περίπτωση είναι αυτή της τρωτότητας ομαλού ανάγλυφου ή/και επίπεδων εκτάσεων σε μεγάλα υψόμετρα ασβεστολιθικών βουνών, όπως είναι το οροπέδιο της Νίδας. Σε τέτοιες περιπτώσεις ο χάρτης προστασίας από επιφανειακούς σχηματισμούς (Ο Map) της μεθόδου COP αποτυπώνει συγκριτικά αυξημένη προστασία των υπόγειων νερών, λόγω των πηλωδών εδαφών που καταγράφονται στους χάρτες εδαφολογικών δεδομένων. Η πραγματικότητα όμως είναι διαφορετική. Τα πηλώδη εδάφη υπέρκεινται ανθρακικών σχηματισμών με ανεπτυγμένο καρστ και αυξημένη υδροπερατότητα όπως τα ιζήματα της ενότητας Τρίπολης, ενώ παράλληλα η κατείσδυση του μετεωρικού νερού σε βάθος γίνεται σε μεγάλο βαθμό μέσω καταβοθρών. Η προστασία επομένως είναι στην προκειμένη περίπτωση πολύ χαμηλή και όχι αυτή που αποτυπώνεται λόγω των εδαφολογικών δεδομένων. Στις περιπτώσεις αυτές προχωρήσαμε σε σχετική διόρθωση της βαθμονόμησης με βάση το υποκείμενο των εδαφικών σχηματισμών ανθρακικό πέτρωμα για να επιτευχθεί η καλύτερη δυνατή απόδοση των τοπικών συνθηκών.

Ο χάρτης τρωτότητας της μελέτης αποτυπώνει τελικά την ευπάθεια των υδροφορέων σε ρύπανση. Ουσιαστικά αποτυπώνει μία εγγενή ιδιότητα του συστήματος έδαφος / πέτρωμα / υπόγειο νερό που είναι ανεξάρτητη εξωτερικών παραγόντων.

Σύμφωνα με το χάρτη τρωτότητας της μελέτης οι περιοχές που δομούνται από γεωλογικούς σχηματισμούς μικρής υδροπερατότητας (κυρίως συμπαγείς ή φλυσικούς σχηματισμούς), ή/και με μεγάλες εδαφικές κλίσεις (μεγαλύτερες των 12°), έχουν υδροφόρο ορίζοντα σε μεγάλο βάθος και η ενεργή κατείσδυση είναι μικρότερη των 100mm το χρόνο, χαρακτηρίζονται από Πολύ Χαμηλή και Χαμηλή τρωτότητα. Πρόκειται για μεγάλες εκτάσεις: του δυτικού τμήματος της Π.Ε. Χανίων, του νότιου τμήματος της Π.Ε. Ρεθύμνου, της περιοχής Αρχανών και Αρκαλοχωρίου στην Π.Ε. Ηρακλείου, των Αστερούσιων Ορέων και των κεντρικών περιοχών της Π.Ε. Λασιθίου. Αντίθετα μεγάλο μέρος των ορεινών όγκων των Λευκών Ορέων, των ορεινών μαζών Σιδέροντα και Κέδρου, του Ψηλορείτη, της Σελένας και των βουνών του Ζάκρου στο Λασιθί χαρακτηρίζονται από Υψηλή και Πολύ υψηλή τρωτότητα.



Σχ. 2-14 Χάρτης Τρωτότητας Υπόγειων Υδροφόρων της Κρήτης

2.8 Χάρτης Επικινδυνότητας Ρύπανσης των Υπόγειων Υδροφορέων της Κρήτης

Ο χάρτης επικινδυνότητας ρύπανσης (hazard map) είναι ένας πιθανοτικός χάρτης και αποτυπώνει την πιθανότητα προσβολής (ρύπανσης) των υπόγειων υδροφορέων λόγω των ανθρώπινων δραστηριοτήτων που συντελούνται στην επιφάνεια του εδάφους. Ο χάρτης συντάχθηκε με βάση τις χρήσεις γης και στηρίχθηκε στη μεθοδολογία που αναπτύχθηκε στο πλαίσιο του Ευρωπαϊκού προγράμματος COST ACTION 620 (Andreo et al., 2006; Zwahlen, 2004). Η μεθοδολογία βασίζεται στη χρησιμοποίηση του δείκτη επικινδυνότητας (hazard index) για την κατάταξη των χρήσεων γης και των υποδομών ως προς την επικινδυνότητα ρύπανσης για τα υπόγεια νερά. Για την προσαρμογή στις τοπικές ιδιαιτερότητες της Κρήτης έγινε ένας εξορθολογισμός της βαθμονόμησης των χρήσεων γης που προτάθηκε στο πλαίσιο του προγράμματος COST ACTION 620 και μία προσαρμογή των συντελεστών βαρύτητας στις ανάγκες της παρούσας μελέτης. Αυτό κρίθηκε αναγκαίο επειδή στην πρωτότυπη μεθοδολογία δίνεται μεγαλύτερη έμφαση στην επιβάρυνση από τις βιομηχανικές δραστηριότητες και την ανάπτυξη των υποδομών και μικρότερη στις αγροτικές δραστηριότητες και την κτηνοτροφία, που αποτελούν τη βασική πηγή επιβάρυνσης των υπόγειων υδροφόρων της Κρήτης. Αντίστοιχη προσαρμογή και εξορθολογισμός έγινε στα όρια των κλάσεων (Dimitriou et al., 2014). Δεδομένα αναφορικά με τις χρήσεις γης της Κρήτης αντλήθηκαν από τη βάση δεδομένων κάλυψης γης της Ευρωπαϊκής Ένωσης CORINE 2018 (European Environment Agency, 2020). Η τελική βαθμονόμηση των κλάσεων που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα μελέτη δίδεται στη συνέχεια στον Πιν. 4 6.

Πιν. 2-6 Βαθμονόμηση Κλάσεων Κάλυψης Γης ως προς την Επικινδυνότητα Ρύπανσης των Υπόγειων υδροφορέων της Κρήτης

ΚΛΑΣΗ ΚΑΛΥΨΗΣ ΓΗΣ CORINE	ΚΩΔΙΚΟΣ CORINE	ΔΕΙΚΤΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ
Συνεχής αστική δόμηση	111	35
Ασυνεχής αστική δόμηση	112	70
Βιομηχανικές ή εμπορικές εγκαταστάσεις	121	40
Οδικά και σιδηροδρομικά δίκτυα και συναφή γη	122	40
Περιοχές λιμανιού	123	40
Αεροδρόμια	124	50
Ορυχεία	131	50
Χωματερές	132	50
Θέσεις δόμησης	133	50
Αθλητικές εγκαταστάσεις	142	70

ΕΡΓΟ: ΛΕΠΤ. ΟΡΙΟΘΕΤΗΣΗ ΖΩΝΩΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΣΗΜ. ΥΔΡΟΛ. ΓΙΑ ΥΔΡΕΥΣΗ – ΚΡΗΤΗ, 5^η – 6^η – 7^η ΦΑΣΗ, ΤΕ 3-3

Ένωση Οικονομικών Φορέων: ΗΛΙΔΑ Α.Ε. – ΓΙΑΝΝΑΤΟΣ ΓΕΡΑΣΙΜΟΣ – ΑΛΕΞΙΑΔΟΥ ΜΑΡΙΑ ΧΑΡΑ
 ΣΤΡΑΒΩΝΟΣ 13, Τ.Κ. 142 34, Ν. ΙΩΝΙΑ mail: info@ilida-eng.gr, giannatosmakis@gmail.com, halex@geoskopio.gr

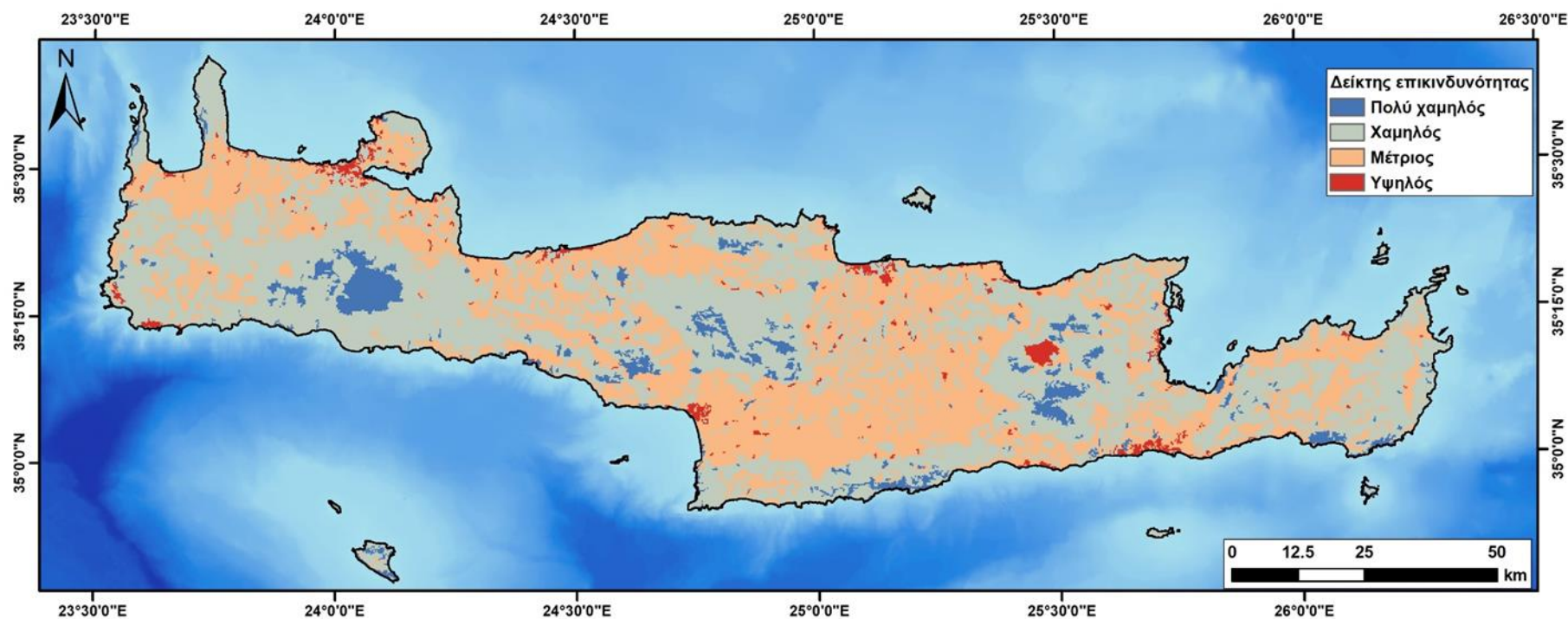
ΚΛΑΣΗ ΚΑΛΥΨΗΣ ΓΗΣ CORINE	ΚΩΔΙΚΟΣ CORINE	ΔΕΙΚΤΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ
Μη αρδευόμενη αρόσιμη γη	211	60
Μόνιμα αρδευόμενη γη	212	70
Αμπελώνες	221	40
Οπωροφόρα δέντρα	222	40
Ελαιώνες	223	50
Βοσκοτόπια	231	40
Σύνθετα συστήματα καλλιέργειών	242	60
Καλλιεργημένη και μη γη	243	50
Αγρο-δασικές περιοχές	244	45
Δάση πλατύφυλλων	311	30
Δάση κωνοφόρων	312	30
Μικτά δάση	313	30
Λιβάδια	321	40
Χέρσα γη και θαμνότοποι	322	15
Σκληρόφυλλη βλάστηση	323	40
Μεταβατικά δάση/θαμνότοποι	324	40
Ακτές, αμμόλοφοι και αμμώδεις πεδιάδες	331	5
Γυμνοί βράχοι	332	5
Εκτάσεις αραιής βλάστησης	333	20
Καμένες εκτάσεις	334	45
Υδάτινα σώματα	512	5

Ο χάρτης επικινδυνότητας ρύπανσης (hazard map) των υπόγειων υδροφορέων της Κρήτης που συντάχθηκε στο πλαίσιο της μελέτης (Σχ. 4-15), αποτυπώνει τη διακύμανση του δείκτη επικινδυνότητας σε τέσσερις κλάσεις: πολύ χαμηλός, χαμηλός, μέτριος και υψηλός.

Υψηλή επικινδυνότητα ρύπανσης των υπόγειων υδροφόρων εντοπίζεται στις αστικές περιοχές μη συνεχούς δόμησης, όπου υπάρχει υψηλός κίνδυνος διαρροών και μη καλή λειτουργία του αποχετευτικού δικτύου. Επίσης, υψηλή επικινδυνότητα σημειώνεται στις μόνιμα αρδευόμενες περιοχές.

Μέτρια επικινδυνότητα ρύπανσης εντοπίζεται στις υπόλοιπες περιοχές με αγροτικές δραστηριότητες (μη αρδευόμενη αρόσιμη γη, σύνθετα συστήματα καλλιέργειών, ελαιώνες κλπ.). Αντίστοιχα, μέτρια επικινδυνότητα συναντάται σε κάποιες περιοχές με εγκαταστάσεις υποδομών, όπως αεροδρόμια, ορυχεία, θέσεις δόμησης και χωματερές, καθώς και καμένες περιοχές.

Χαμηλή και πολύ χαμηλή επικινδυνότητα ρύπανσης υπόγειων υδροφόρων εντοπίζεται σε κάποιες περιοχές με λιγότερο επιβαρυντικές αγροτικές δραστηριότητες (αμπελώνες, οπωροφόρα δένδρα κ.α.), σε δάση και περιοχές με σκληρόφυλλη βλάστηση και φυσικά βοσκοτόπια, καθώς και σε περιοχές δόμησης χαμηλής επιβάρυνσης (οδικό δίκτυο, εμπορικά κέντρα, κλπ.).



Σχ. 2-15 Χάρτης Κινδύνου Ρύπανσης Υπόγειων Υδροφόρων της Κρήτης

2.9 Συμπέρασμα

Η μελέτη τρωτότητας αποτυπώνει ανάγλυφα ορισμένα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του υπόγειου υδατικού πλούτου της Κρήτης, που είναι ένας αυξημένου δυναμικού φυσικός πόρος για το νησί.

Ο πολύτιμος αυτός φυσικός πόρος χαρακτηρίζεται από αυξημένη επιδεκτικότητα στη ρύπανση, τόσο στις θέσεις ανάπτυξης και μέγιστης συγκέντρωσης του (ορεινές περιοχές), όσο και στις θέσεις που δέχεται τις μεγαλύτερες πιέσεις (παράκτια ζώνη και πεδινές εκτάσεις).

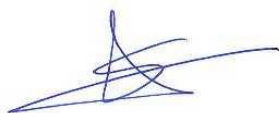
Οι ανθρωπογενείς πιέσεις που ασκούνται στα υπόγεια νερά και αποτελούν εν δυνάμει παράγοντα υποβάθμισής τους είναι όμως διεσπαρμένες σε όλη σχεδόν την έκταση του νησιού και διαφοροποιούνται μόνο ως προς την ένταση. Εξαίρεση αποτελούν λίγες απομακρυσμένες περιοχές που είναι δύσκολα προσεγγίσιμες και σε μεγάλα υψόμετρα.

Η προστασία των υπόγειων νερών της Κρήτης έχει μεγάλη σημασία τόσο στο πλαίσιο εξασφάλισης της υδροδότησης που αποτελεί αντικείμενο της παρούσας μελέτης, όσο και γενικότερα στο πλαίσιο της αιφορίας. Η θέσπιση κανόνων προστασίας των υπόγειων νερών ανθρώπινης κατανάλωσης εκτός από την εξασφάλιση της ποιότητας του πλέον βασικού ανθρώπινου αγαθού, θα συμβάλλει γενικότερα στην προστασία των υδάτινων πόρων της Κρήτης, στόχος που θα πρέπει να αποτελεί μείζον προτεραιότητα για την κοινωνία μας.

Αθήνα, Ιούλιος 2026

Οι Συντάξαντες

Για την ΗΛΙΔΑ Α.Ε.



Σ. ΣΚΟΒΟΛΑΣ
Γεωλόγος MSc



Μ.Χ. ΑΛΕΞΙΑΔΟΥ
Γεωλόγος MSc

Ο Συντονιστής



Γ. ΓΙΑΝΝΑΤΟΣ
Δρ. Υδρογεωλόγος