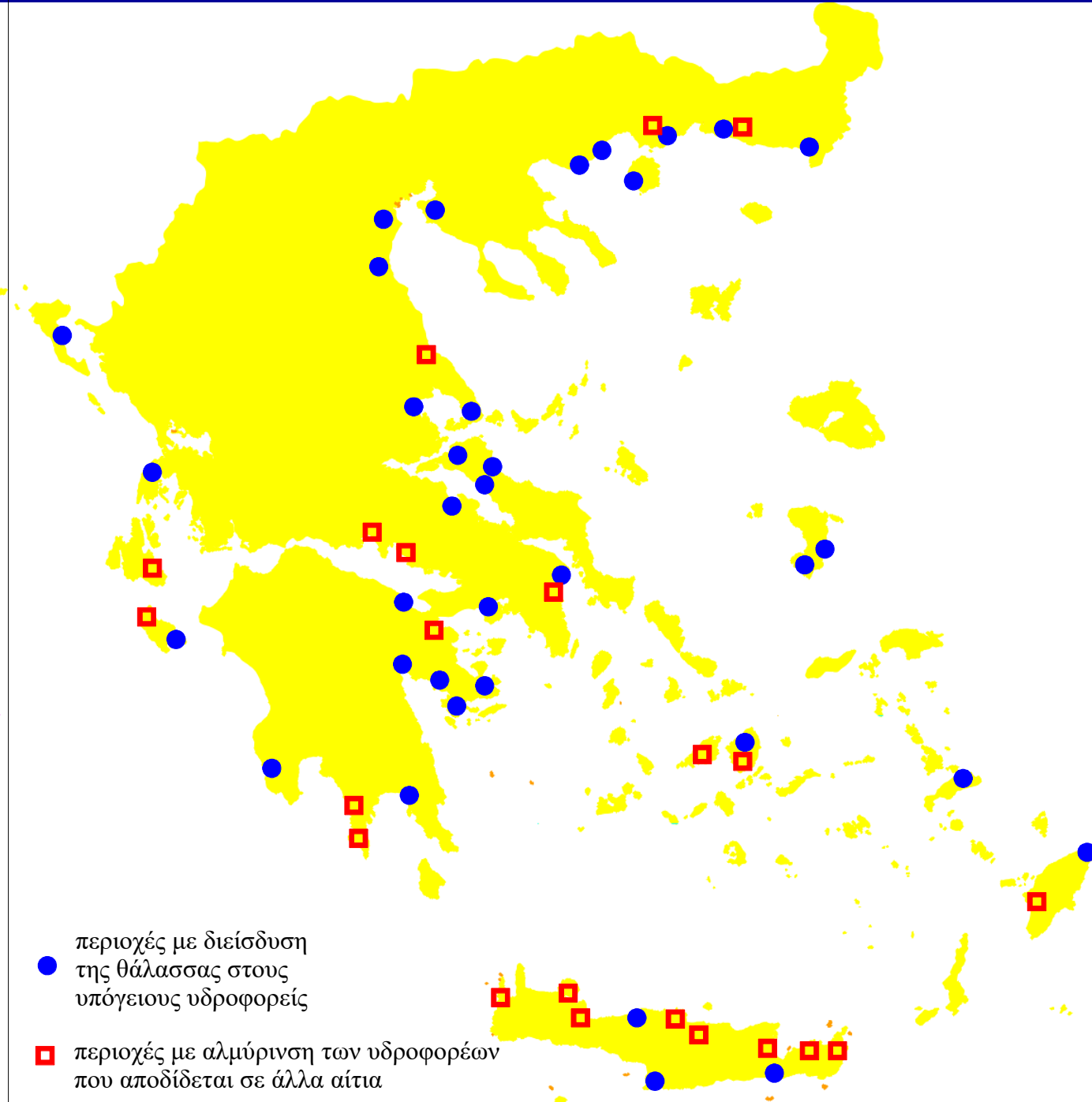


ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΕΜΠΕΙΡΙΑ ΣΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΙΑΣ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΕΡΕΥΝΩΝ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΝΕΡΟΥ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ, Δ.Π.Θ.

ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ - ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

- Κύρια αιτία εμφάνισης του φαινομένου
 - Έλλειψη επιστημονικής διαχείρισης
- Ορθολογική διαχείριση
 - Νομοθετικό πλαίσιο
- Επιπτώσεις του φαινομένου
 - Περιβαλλοντικές, Οικονομικές, Κοινωνικές
- Περιοχές με δυναμικό ρύπανσης
 - Παράκτιες και νησιωτικές



● περιοχές με διείσδυση της θάλασσας στους υπόγειους υδροφορείς

■ περιοχές με αλμύριση των υδροφορέων που αποδίδεται σε άλλα αίτια

ΧΑΡΤΗΣ ΜΕ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΠΟΙΟΤΙΚΗΣ ΥΠΟΒΑΘΜΙΣΗΣ ΥΔΡΟΦΟΡΩΝ ΛΟΓΩ ΑΛΜΥΡΙΣΗΣ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ

(από πρώην Υπουργείο Γεωργίας με τροποποίηση)

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΘΑΛΑΣΣΙΑΣ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ

● Αν. Μακεδονία και Θράκη

- Δέλτα π. Έβρου
- Δέλτα π. Λίσσου
- Δέλτα π. Νέστου
- Δυτικό παράκτιο πεδινό τμήμα Ν. Ροδόπης
- Περιοχή Ορφανού

● Πελοπόννησος

- Αργολικό παράκτιο πεδίο
- Κορινθιακός κόλπος, Λεκάνη απορροής π. Βολιναίου
- Εξαμίλλια Κορίνθου
- Πεδιάδα των Ιρίων, Ν. Αργολίδας
- Περιοχή λεκάνης Γλαύκου Ν. Αχαΐας

● Νησιωτική Περιφέρεια

- Περιοχή Γουβών Κρήτης
- Λεκάνες Μάννα – Γαλησσά, ν. Σύρου
- ΒΑ πεδινό τμήμα Ζακύνθου
- Παράκτια πεδία Τήνου, Πάρου, Σέριφου
- Παράκτια πεδία Πρίνου, Ραχωνίου στη Θάσο
- Πηγές Αλμυρού, Ηρακλείου Κρήτης

ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΙΑΣ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ ΣΤΗΝ ΑΝ. ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ ΚΑΙ ΣΤΗ ΘΡΑΚΗ

- Σε πολλές παράκτιες περιοχές της Θράκης το φαινόμενο της θαλάσσιας διείσδυσης άρχισε να εμφανίζεται μετά το 1950 με τη διάνοιξη καναλιών αποστράγγισης και σε μερικές από την αλόγιστη άντληση των υδροφόρων.
- Αποτελέσματα:
 - Πτώση της υδροστατικής επιφάνειας
 - Διείσδυση θαλασσινού νερού δια μέσου των καναλιών
- Δέλτα Π. Έβρου
- Δέλτα Π. Λίσσου
- Δέλτα Π. Νέστου
- Παράκτιο πεδίο Νέας Κεσσάνης
- Περιοχή Δ. Ορφανού
- Δυτικό παράκτιο πεδινό τμήμα Ν. Ροδόπης
- Περιοχή Ν. Περάμου
- Πεδινά παράκτια πεδία ν. Θάσου



Northern Greece

Strymonas River

Nestos River

Nestos N. Kessani eastern delta

W. Rhodope

Lissos River

Lissos delta

Evros River

Evros delta

Orfanon
SWI

N. Peramos
SWI

Prinos
SWI

SWI & SSR

OSS

SWI

SWI

SWI

0 20 40 km

OSS: Other Source of Salinization
SWI: SeaWater Intrusion
SS: Soil Salinisation

ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

- Παρά το γεγονός ότι πρόκειται για μια περιοχή χωρίς ιδιαίτερη πληθυσμιακή και αναπτυξιακή φόρτιση, εντούτοις πολύ νωρίς, από τη δεκαετία του 1970, έχουμε την εμφάνιση σοβαρών σχετικών προβλημάτων
- Στη συνέχεια δόθηκε έμφαση στην παράκτια περιοχή του Ν. Ροδόπης όπου τα προβλήματα συνδέονται κυρίως με την υπερεκμετάλλευση των υπόγειων νερών
- Με εξαίρεση τις περιοχές της Θάσου, της Νέας Περάμου και του Δήμου Ορφανού του Ν. Καβάλας όπου έχουμε αξιόλογη τουριστική ανάπτυξη, οι υπόλοιπες είναι κυρίως αγροτικές περιοχές ή περιοχές όπου στο παρελθόν υπήρχαν σημαντικοί υγροβιότοποι

ΠΕΔΙΝΗ ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗ ΞΥΛΑΓΑΝΗΣ-ΙΜΕΡΟΥ Ν. ΡΟΔΟΠΗΣ

- ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΙΑΣ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ ΣΤΟ ΠΕΔΙΝΟ ΤΜΗΜΑ ΞΥΛΑΓΑΝΗΣ – ΙΜΕΡΟΥ
- ΚΑΤΑΜΗΛΟΤΗΤΑ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ
- ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ
- ΠΕΡΙΟΔΟΙ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ:
1994 – 1997, 2002 – 2006, 2015, 2019.

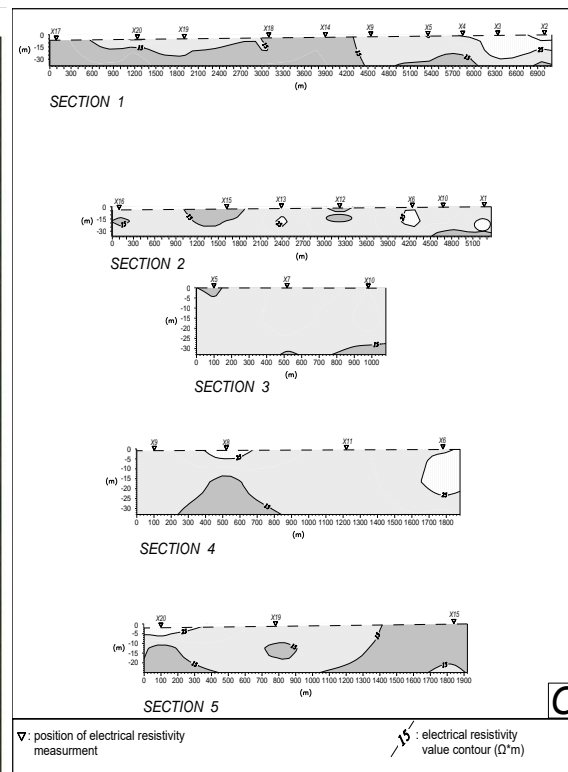
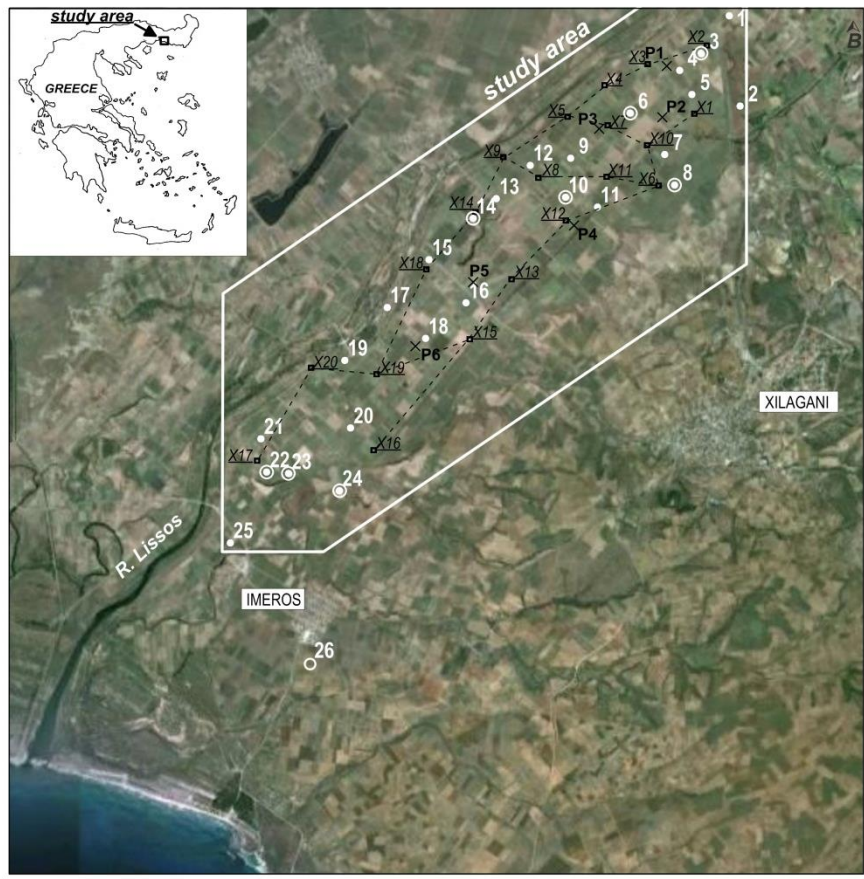
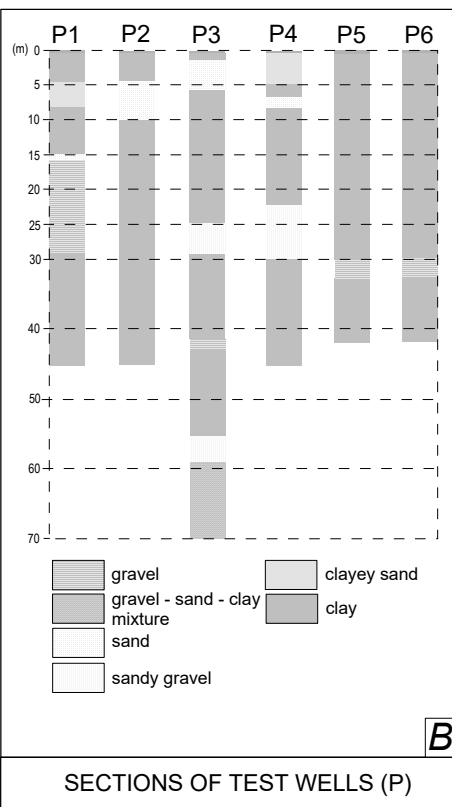


(Kallioras et al., 2011, Pliakas et al., 2007b)

0 1 2 km

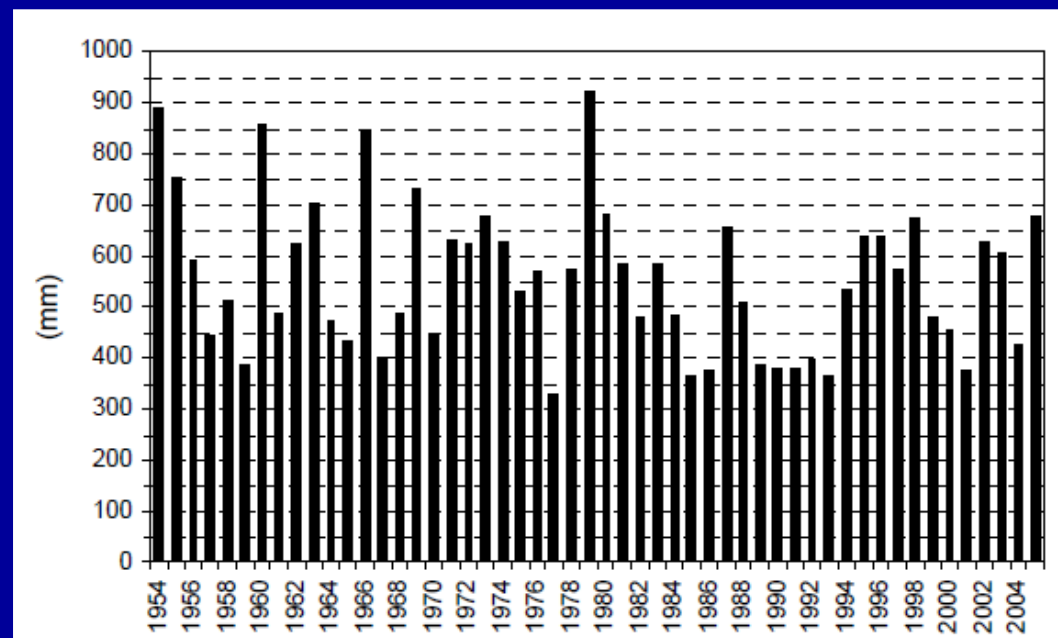
ΦΥΣΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ, ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

- Εκτείνεται μεταξύ του Ποταμού Λίσσου και των δυτικών κρασπέδων του όρους Ίσμαρος
- Νότια συνορεύει με τη θάλασσα
- Κύρια καλλιέργεια είναι το βαμβάκι
- 55 υδρογεωτρήσεις με μέσο βάθος τα 70 m, μέση παροχή 40 m³/h – 70 m³/h
- επάλληλα υδροφόρα στρώματα με αργιλοαμμώδη έως κυρίως αμμώδη υλικά πάχους 1–10 m

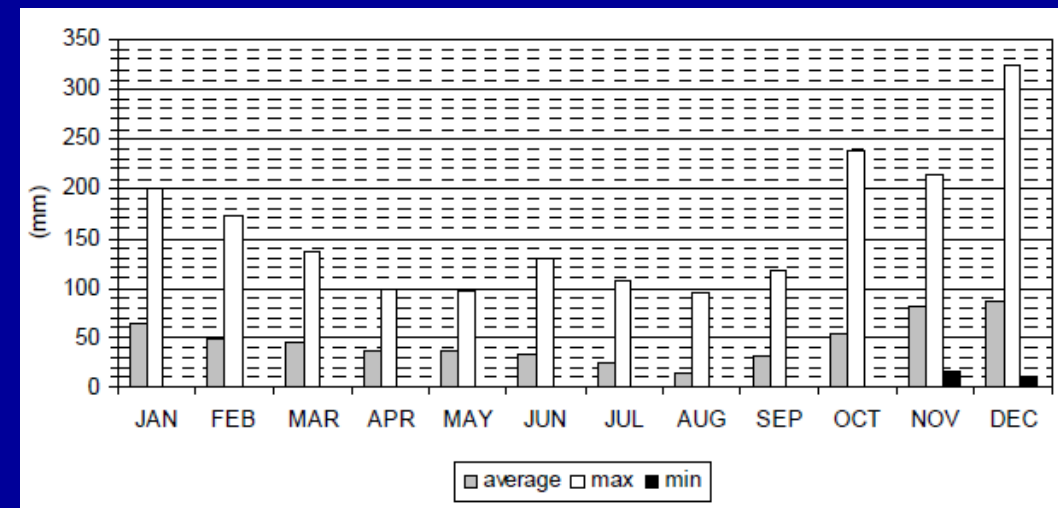


- ⊠^{X5} position of electrical resistivity measurement
- SECTION 1: X17-X20-X19-X18-X14-X9-X5-X4-X3-X2
 - SECTION 2: X16-X15-X13-X12-X6-X10-X1
 - SECTION 3: X5-X7-X10
 - SECTION 4: X9-X8-X11-X6
 - SECTION 5: X20-X19-X15

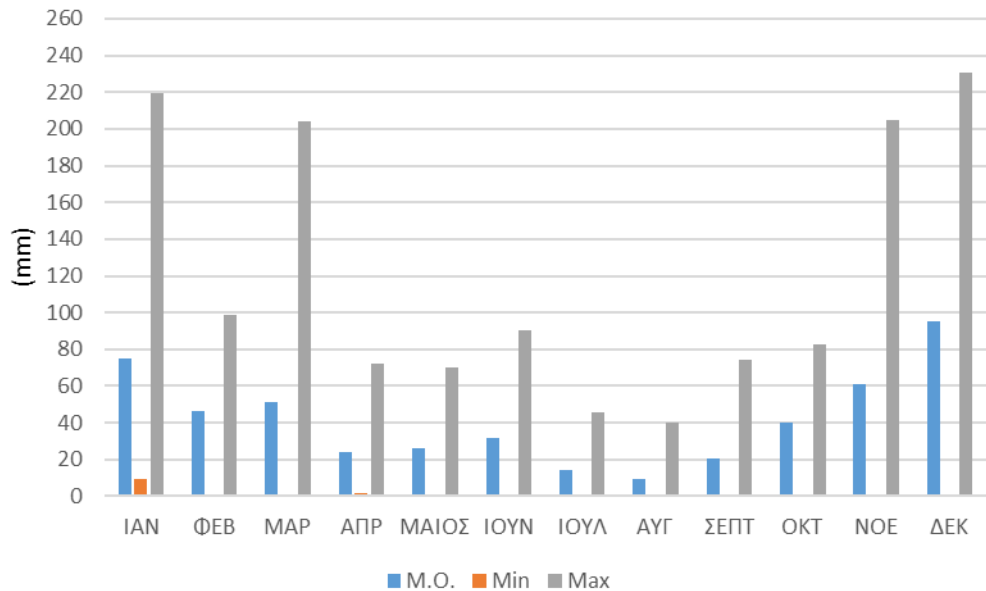
Υδρολογικά στοιχεία (1954 - 2005)



Διακύμανση της ετήσιας βροχόπτωσης (mm) (επάνω) και ιστογράμμο των μέσων, μέγιστων και ελάχιστων μηνιαίων βροχοπτώσεων (mm) (κάτω) για την περίοδο 1954-2005 στον σταθμό Πόρτης.

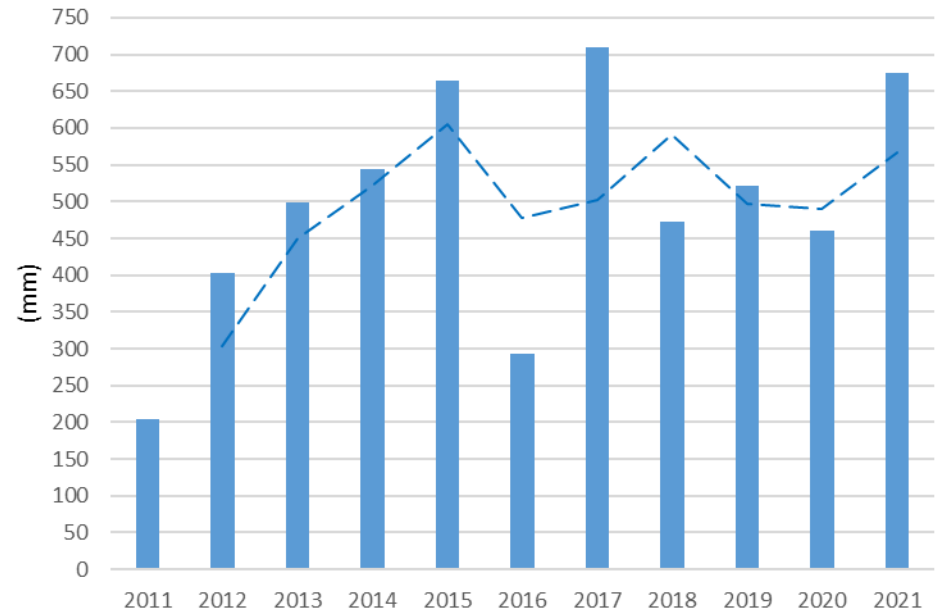


Υδρολογικά στοιχεία (2011 - 2020)

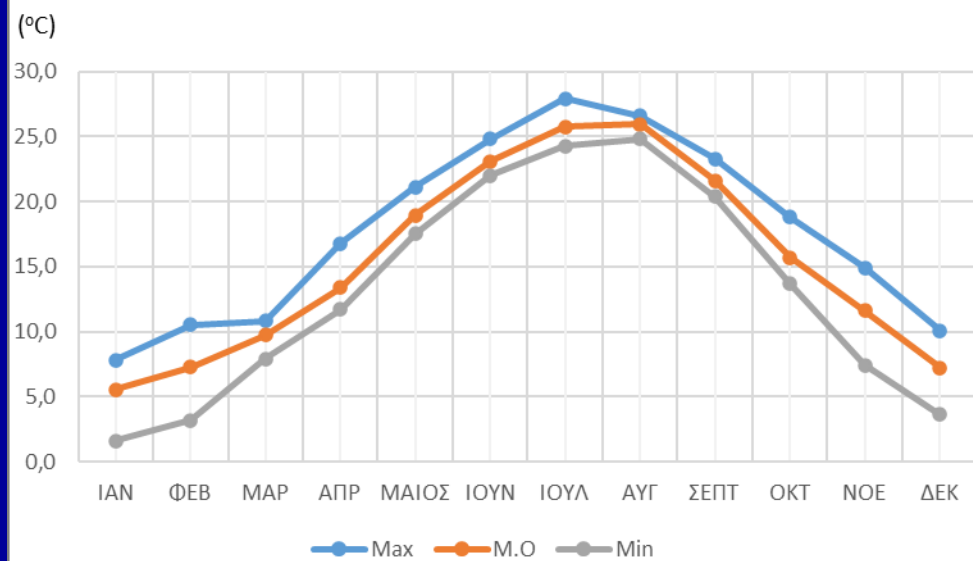


Διακύμανση της μέσης, ελάχιστης και μέγιστης μηνιαίας τιμής ύψους βροχόπτωσης (mm) κατά το διάστημα 2011 – 2021

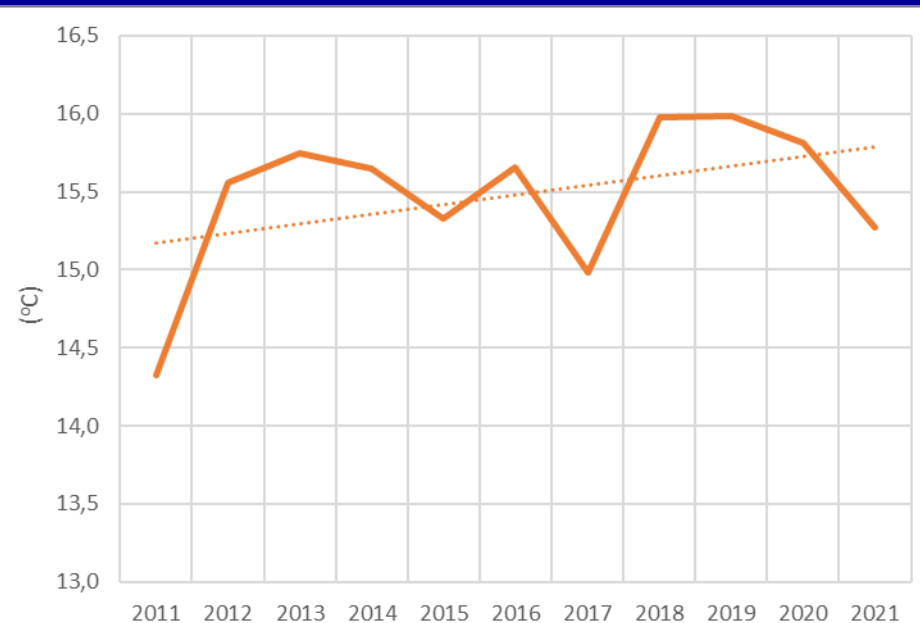
Διακύμανση τιμών της ετήσιας βροχόπτωσης (mm) στον μετεωρολογικό σταθμό Ιμέρου κατά το διάστημα 2011 – 2021



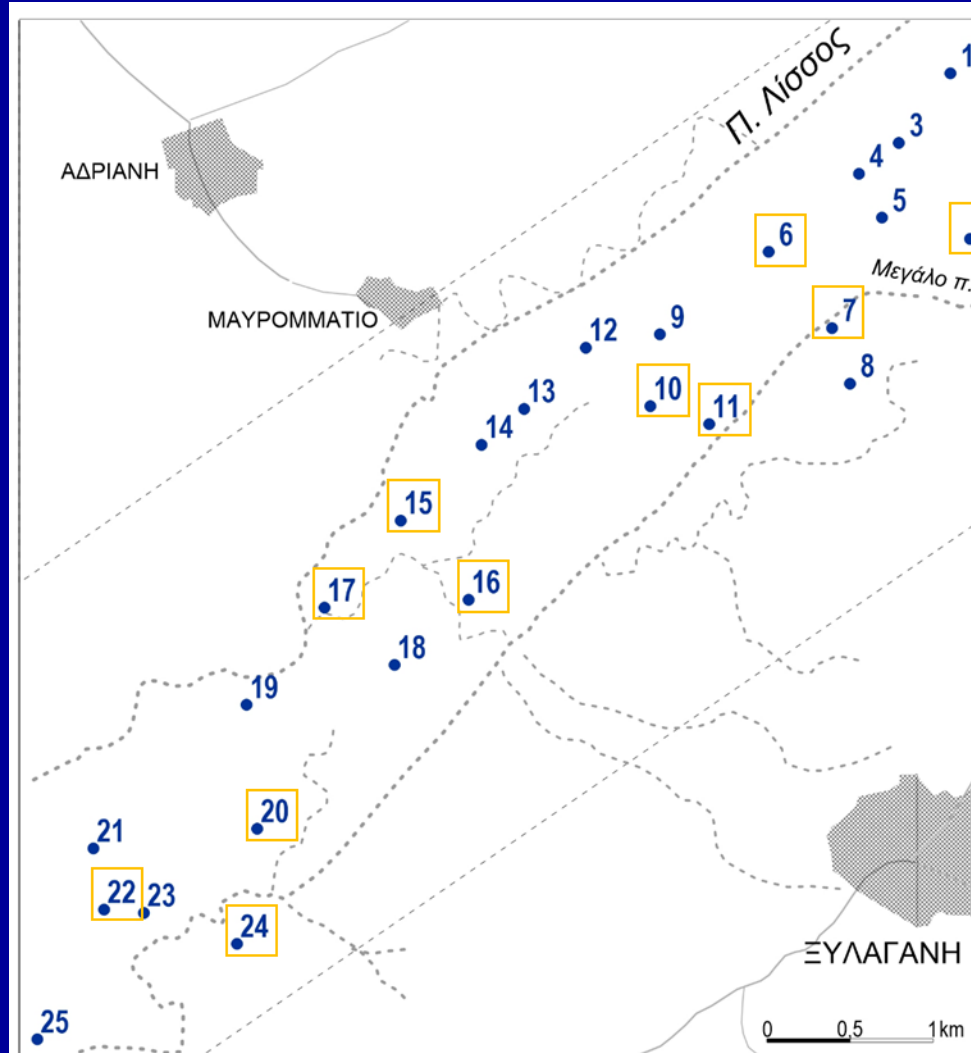
Διακύμανση των τιμών της μέσης, ελάχιστης και μέγιστης μηνιαίας τιμής θερμοκρασίας (°C) κατά το διάστημα 2011 – 2021



Διακύμανση μέσης ετήσιας θερμοκρασίας (°C) στον μετεωρολογικό σταθμό Ιμέρου κατά το διάστημα 2011 – 2021

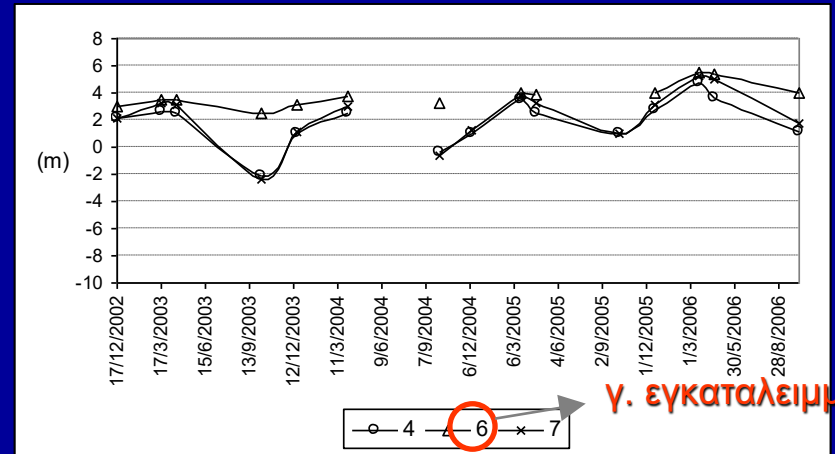
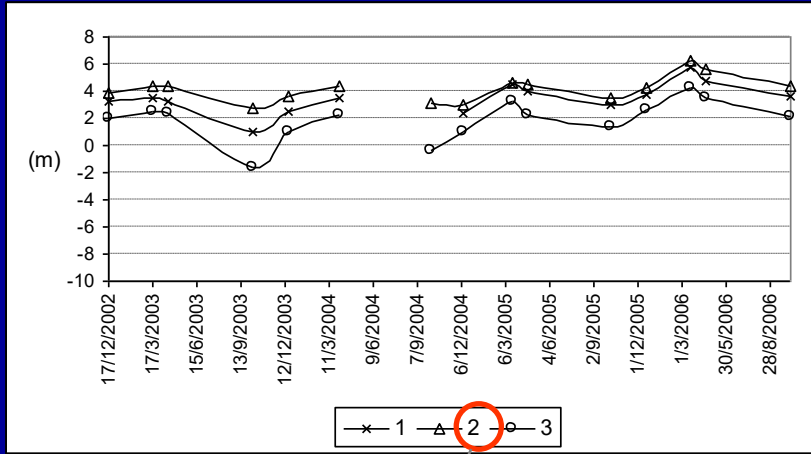


ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

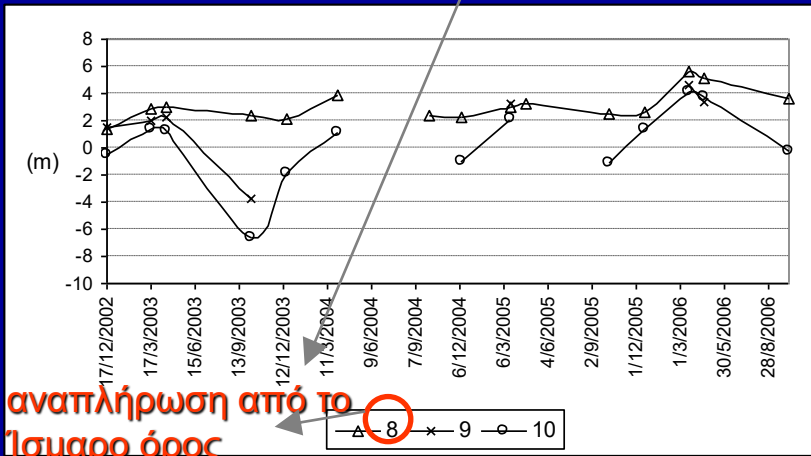


Χάρτης με τις θέσεις δειγματοληψίας υπόγειου νερού (Ιούλιος, 2017).

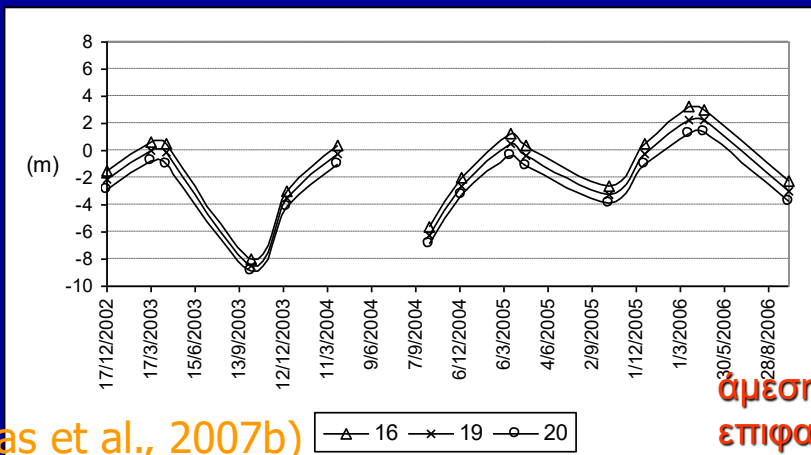
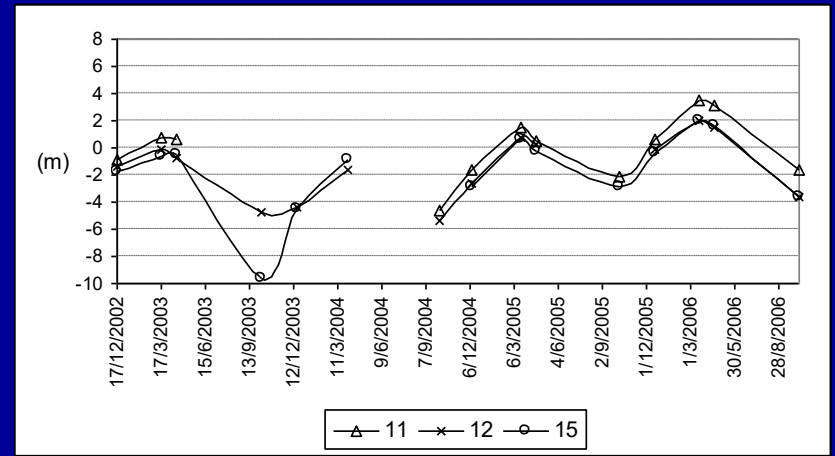
(Μήτσου, 2019)



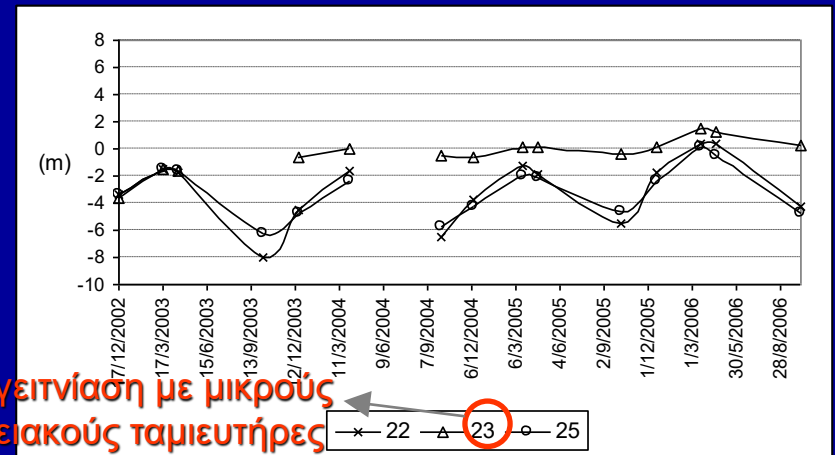
γ. εγκαταλειμμένη



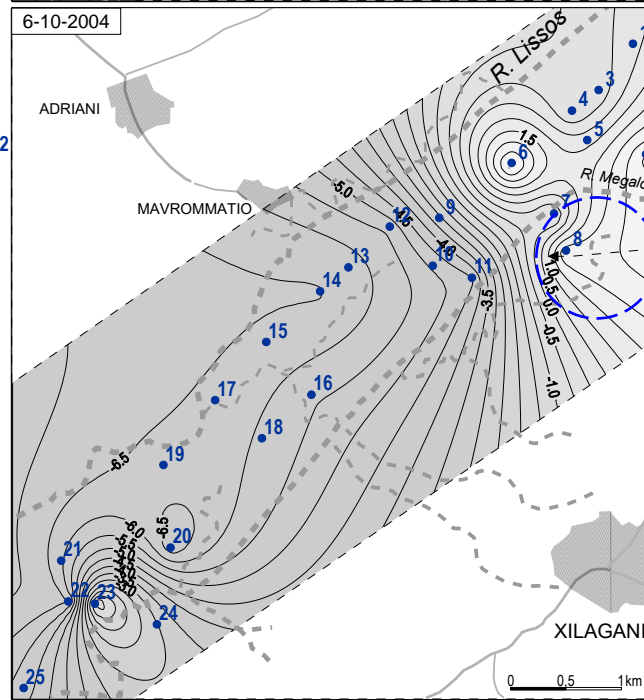
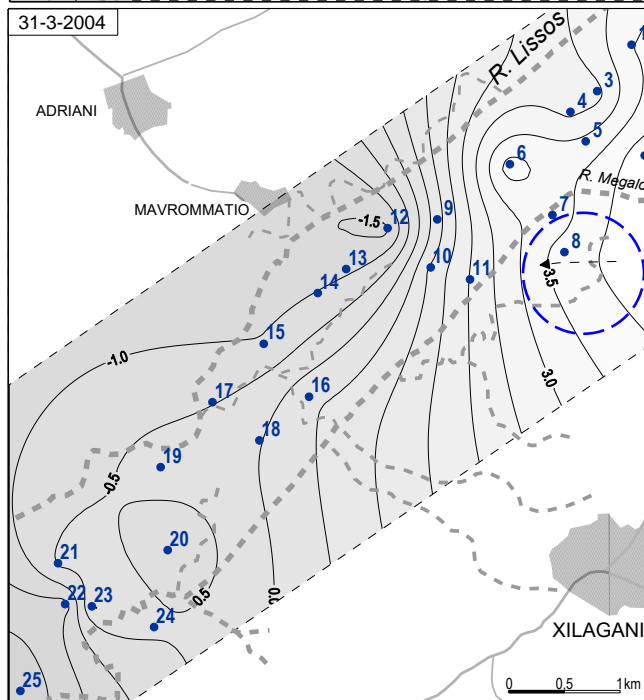
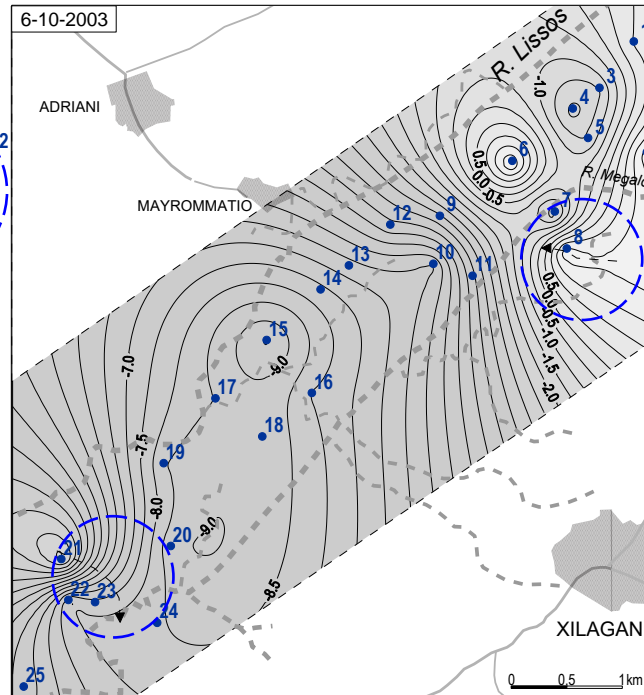
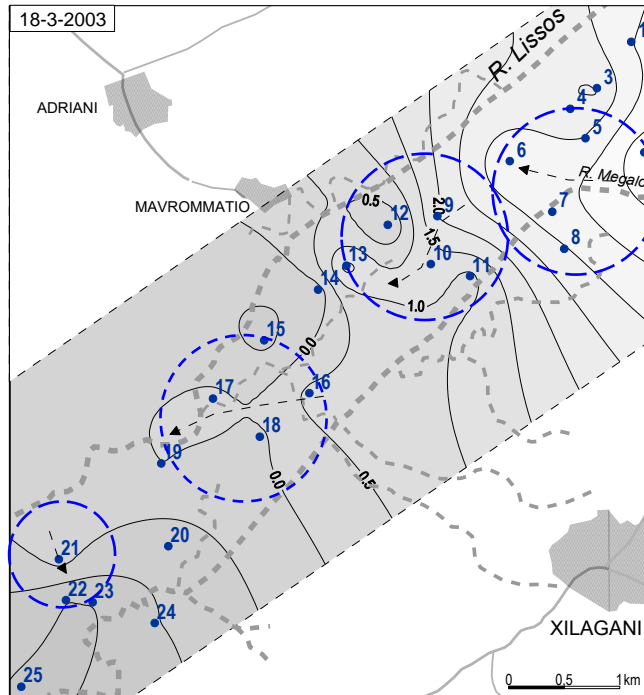
αναπλήρωση από το
1η μαρο όρος



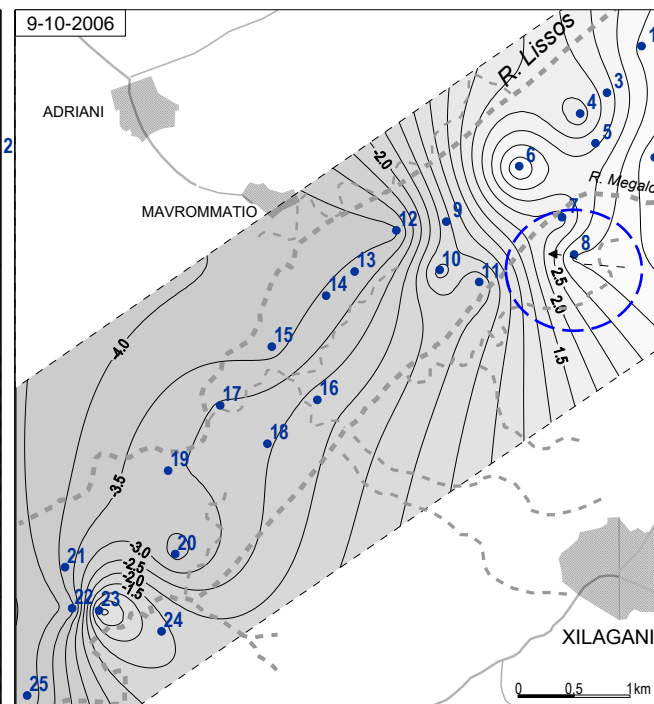
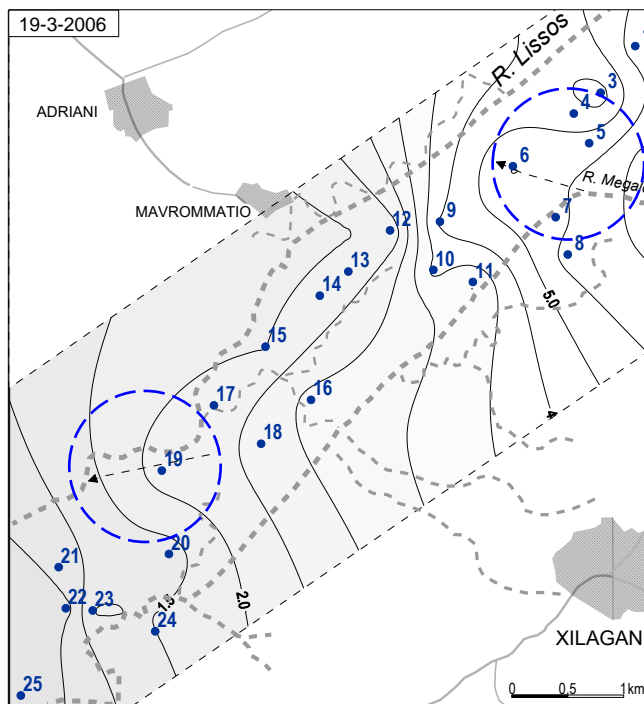
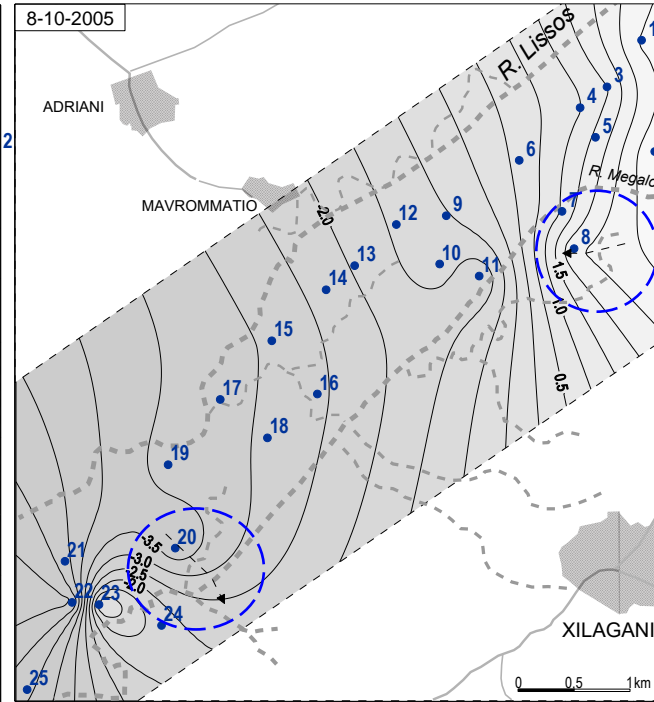
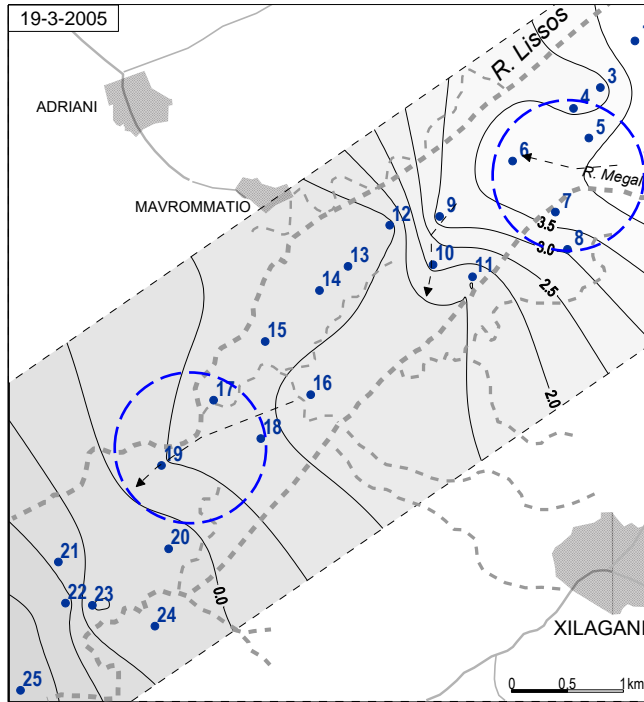
αμέση γειτνίαση με μικρούς
επιφανειακούς ταμιευτήρες



(Pliakas et al., 2007b)

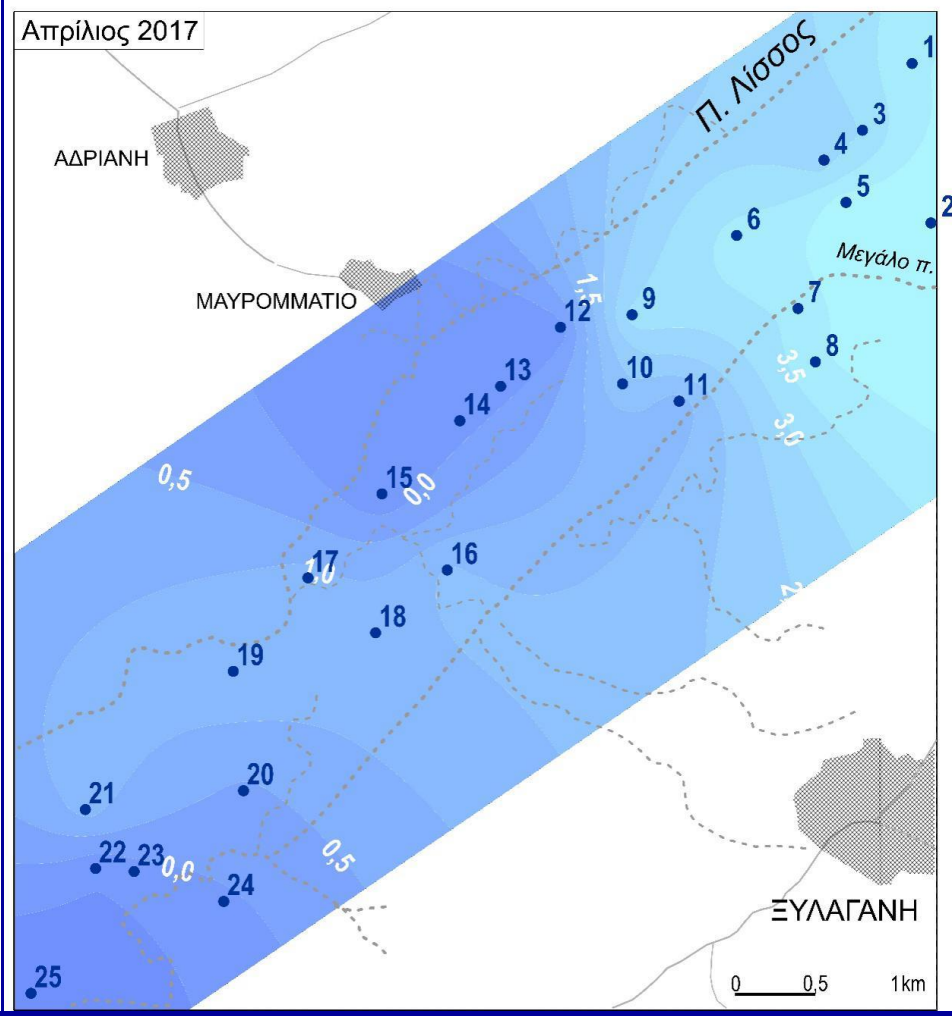
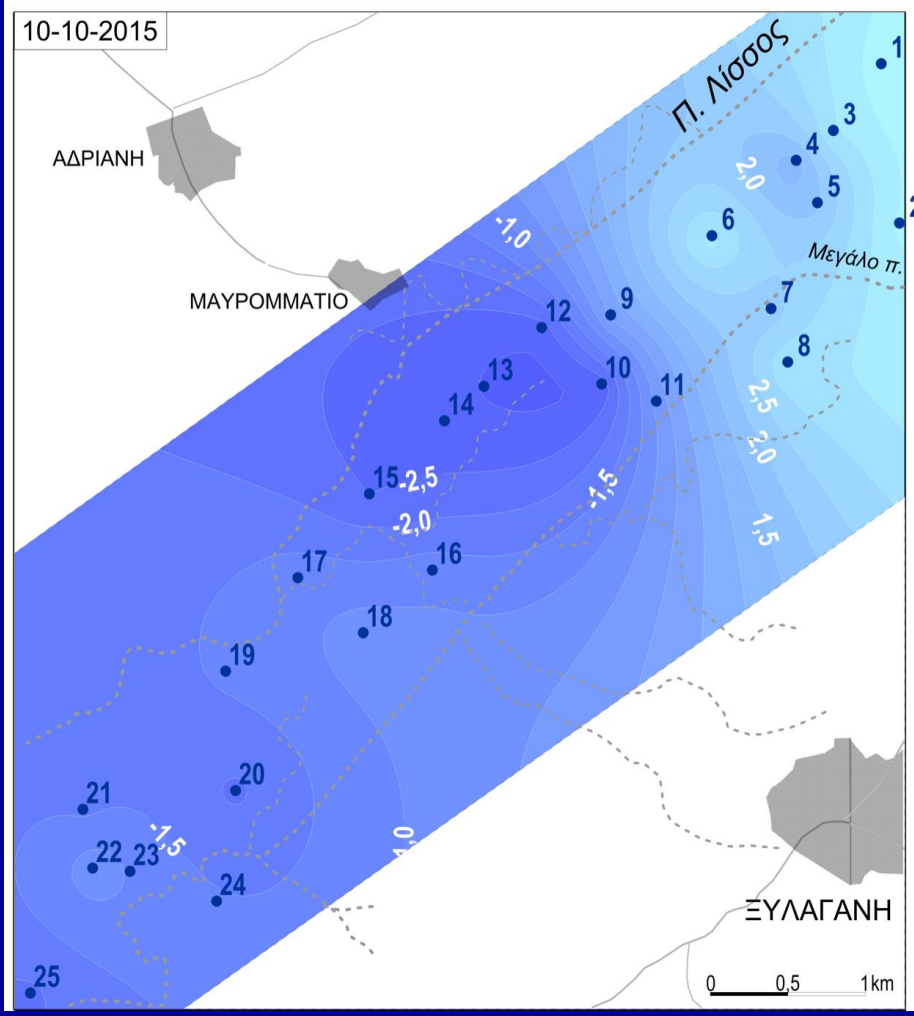


25 monitoring well - - - -> main groundwater recharge axis - 0.5 - piezometric contour



25 monitoring well - - - - - main groundwater recharge axis — 0.5 — piezometric contour

(Pliakas et al., 2007b)



ΠΟΙΟΤΙΚΟΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΕΣ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΝΕΡΟΥ

8-7-2003	Ca ²⁺ (*1)	Mg ²⁺ (*2)	Na ⁺ (*3)	K ⁺ (*4)	Mn ²⁺	Fe ²⁺	Zn ²⁺	NH ₄ ⁺ (*5)	HCO ₃ ⁻ (*6)	Cl ⁻ (*7)	SO ₄ ²⁻ (*8)	
well	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	
3	70.54	32.50	116.00	10.50	0.00	0.00	0.00	0.00	396.50	116.00	10.50	
6	68.94	156.73	100.00	6.60	0,0	0.00	0.00	0.00	350.14	425.00	58.00	
8	84.97	45.68	58.00	5.00	0.00	0.00	0.00	1.15	318.42	354.50	92.00	
10	110.22	25.70	318.00	86.00	0.00	0.00	0.00	2.14	313.54	992.00	88.00	
14	36.87	15.55	200.00	8.50	0.00	0.00	0.00	0.00	390.40	496.00	60.00	
22	332.67	206.55	726.00	27.00	0.00	0.00	0.00	0.00	337.94	2375.00	128.00	
23	232.47	133.65	400.00	15.00	0.00	0.00	0.00	0.00	341.60	1418.00	83.60	
24	52.21	37.00	208.00	18.00	0.00	0.00	0.00	0.00	366.00	709.00	75.05	
26	497.00	175.00	481.00	3.00	0.00	0.00	0.00	0.10	247.66	1773.00	300.00	
well	NO ₃ ⁻ (*9)	NO ₂ ⁻ (*10)	PO ₄ ³⁻	pH	EC	Alkalinity P	Alkalinity M	Temp. Hardness (°F)	Perm. Hardness (°F)	Total Hardness (°F)	SAR**	TDS** (mg/L)
	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)		(μS/cm)							
3	2.00	0.00	0.90	8.11	1162	0.00	6.50	32.50	4.30	36.80	2.87	720.4
6	1.50	0.00	0.90	7.87	1197	0.00	5.74	28.70	53.00	81.70	1.52	742,.
8	14.00	0.06	0.95	8.20	933	0.00	5.22	26.10	13.90	40.00	1.26	578.4
10	0.00	0.00	1.26	7.99	2440	0.00	5.14	25.70	27.80	53.50	7.09	1512.7
14	1.00	0.00	2.69	7.98	1384	0.00	6.40	32.00	0.00	15.60	6.97	858.0
22	3.00	0.00	0.23	7.89	6895	0.00	5.54	27.70	140.30	168.00	7.71	4274.6
23	1.00	0.00	0.45	7.99	4290	0.00	5.60	28.00	86.00	114.00	5.18	2659.6
24	3.00	0.00	0.21	7.78	1802	0.00	6.00	30.00	11.20	41.20	5.38	1117.2
26	21.00	0.00	0.24	7.34	6100	0.00	4.06	20.30	0.00	19.60	4.73	3781.8

max concentration levels: *1: < 75 mg/L, *2: < 50 mg/L, *3: < 200 mg/L, *4: < 12 mg/L, *5: < 0.50 mg/L, *6: (usually) < 500 mg/L, *7: < 250 mg/L, *8: < 250 mg/L, *9: < 50 mg/L, *10: < 0.50 mg/L

SAR (Sodium Adsorption Ratio, Συντελεστής Προσρόφησης Νατρίου)

TDS (Total Dissolved Solids, Σύνολο Διαλυμένων Στερεών)

(Pliakas et al., 2007b)

20-7-2006	Ca ²⁺ (*1) (mg/L)	Mg ²⁺ (*2) (mg/L)	Na ⁺ (*3) (mg/L)	K ⁺ (*4) (mg/L)	Mn ²⁺ (mg/L)	Fe ²⁺ (mg/L)	Zn ²⁺ (mg/L)	NH ₄ ⁺ (*5) (mg/L)	HCO ₃ ⁻ (*6) (mg/L)	Cl ⁻ (*7) (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (*8) (mg/L)	
well												
2	54.90	37.75	51.00	5.00	0.00	0.06	0.00	0.41	289.14	57.80	79.00	
8	69.36	40.82	76.00	8.00	0.00	0.20	0.00	1.03	324.52	78.70	90.00	
11	55.30	44.70	26.00	10.00	0.00	0.85	0.00	0.77	419.68	113.83	82.00	
15	32.87	21.38	40.00	5.00	0.00	0.27	0.00	1.23	263.52	179.43	53.00	
16	52.90	70.95	52.00	10.00	0.00	0.07	0.00	1.60	379.42	292.54	77.00	
18	87.37	85.05	107.00	10.00	0.00	0.19	0.00	1.00	405.04	833.60	67.00	
19	17.47	31.83	74.00	7.00	0.00	0.33	0.00	1.11	308.66	80.85	61.00	
20	56.51	55.40	43.00	5.00	0.00	0.11	0.00	0.71	446.52	276.59	82.00	
25	462.00	414.00	1812.50	30.00	0.00	1.31	0.00	8.40	287.92	4184.28	0.00	
well	NO ₃ ⁻ (*9) (mg/L)	NO ₂ ⁻ (*10) (mg/L)	PO ₄ ³⁻ (mg/L)	pH	EC (μS/cm)	Alkalinity P	Alkalinity M	Temp. Hardness (°F)	Perm. Hardness (°F)	Total Hardness (°F)	SAR**	TDS** (mg/L)
2	18.00	0.22	0.45	7.47	808	0.00	4.74	23.70	4.30	28.00	1.3	525.2
8	12.00	0.07	1.20	7.69	921	0.00	5.32	26.60	7.20	33.80	3.58	598.7
11	5.00	0.03	0.60	7.23	1245	0.00	6.88	34.40	0.00	32.20	0.63	809.2
15	3.00	0.02	2.37	7.46	1138	0.00	4.32	21.60	0.00	17.00	1.33	739.7
16	22.00	0.03	0.77	7.86	1879	0.00	6.22	31.10	11.30	42.40	1.1	1221.4
18	5.00	0.02	1.10	7.58	3660	0.00	6.64	33.20	23.60	56.80	1.95	2379
19	3.00	0.02	0.70	7.74	733	0.00	5.06	25.80	0.00	21.80	2.44	476.5
20	4.00	0.10	1.31	7.37	1525	0.00	7.32	36.60	0.30	36.90	0.97	991.2
25	3.00	0.05	0.00	7.35	12380	0.00	7.72	23.60	238.60	262.00	14.75	8047

max concentration levels: *1: < 75 mg/L, *2: < 50 mg/L, *3: < 200 mg/L, *4: < 12 mg/L, *5: < 0.50 mg/L, *6: (usually) < 500 mg/L, *7: < 250 mg/L, *8: < 250 mg/L, *9: < 50 mg/L, *10: < 0.50 mg/L

Ποιοτικοί χαρακτήρες του νερού δειγμάτων στην περιοχή έρευνας και τιμές με έντονη επισήμανση, που παρουσιάζουν τιμές πέραν των ανωτάτων επιθυμητών ή επιτρεπομένων ή αποδεκτών ορίων (δειγματοληψία Ιούλιος, 2017) (Καραχοντζίτης, 2019).

ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ (αντιστοιχία με τον αριθμό γεώτρησης)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)	NH ₄ (Mg/L)	PO ₄ (mg/L)	HCO ₃ (mg/L)	Cl (mg/L)	SO ₄ (mg/L)
2	68,94	46,66	59,37	2,8	0,00	0,25	307,44	78,01	468,0
6	78,56	26,24	104,25	6,7	0,08	1,28	341,60	106,38	67,2
7	51,30	27,22		2,9	0,14	0,44	289,14	159,57	105,8
10	92,99	43,74	192,94	6,8	0,25	0,58	372,46	297,87	450,0
11	128,26	29,16	87,23	6,2	0,04	10,69	382,47	99,29	98,5
15	76,15	64,13	286,36	6,0	0,05	2,10	300,12	349,28	88,5
16			309,09	6,2	0,00	0,69	335,50	420,20	96,0
17	83,37	44,71	136,57	5,8	0,25	0,29	357,46	205,67	454,0
20	112,22	19,44	300,00	4,7	0,03	1,00	386,74	343,96	75,0
22	496,99	194,40	1056,72	3,1	0,68	0,35	391,62	2659,5	252,0
24	122,24	38,88	300,00	2,1	0,00	0,63	457,50	372,33	96,5

Ποιοτικοί χαρακτήρες του νερού δειγμάτων στην περιοχή έρευνας και τιμές με έντονη επισήμανση, που παρουσιάζουν τιμές πέραν των ανωτάτων επιθυμητών ή επιτρεπομένων ή αποδεκτών ορίων (δειγματοληψία Ιούλιος, 2017) (Καραχοντζίτης, 2019).

ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ (αντιστοιχία με τον αριθμό γεώτρησης)	NO ₃ (mg/L)	NO ₂ (mg/L)	Mn (mg/L)	Fe (mg/L)	pH	Ηλεκτρική αγωγιμότητα (μS/cm)	Αλκαλικότητα M (mg/L)	Παροδική Σκληρότητα (°F)	Ολική Σκληρότητα (°F)	Revelle
2	20	0,1	0,1	0,01	7,70	927	5,04	25,20	36,4	0,44
6	2	1,21	0,0	0,00	7,91	1009	5,60	28,00	30,4	0,54
7	13	0,01	0,4	0,04	7,80	837	4,74	23,70	23,4	0,96
10	0	2,25	0,4	0,07	7,98	1664	6,11	30,55	41,2	1,39
11	14	0,61	0,0	0,02	7,53	1182	6,27	31,35	44,0	0,45
15	4	2,38	0,0	0,03	7,79	1769	4,92	24,60	35,0	2,03
16	43	0,02	0,0	0,00	7,66	2100	5,50	27,50		2,18
17	0	12,36	0,6	0,25	8,14	1288	5,86	29,30	32,2	1,00
20	7	0,24	0,0	0,00	7,77	2730	6,34	31,70	36,0	1,55
22	0	7,70	5,5	0,16	7,93	8580	6,42	32,10	204,0	11,84
24	3	0,02	0,0	0,00	7,80	1916	7,50	37,50	46,5	1,42

Ρύπος	Ποιοτικά πρότυπα
Νιτρικά άλατα	50 mg/L
Δραστικές ουσίες φυτοφαρμάκων (συμπεριλαμβάνονται αντίστοιχοι μεταβολίτες, προϊόντα αποικοδόμησης και αντιδράσεων) ^[1]	0,1 μg/L 0,5 μg/L (συνολικό) ^[2]

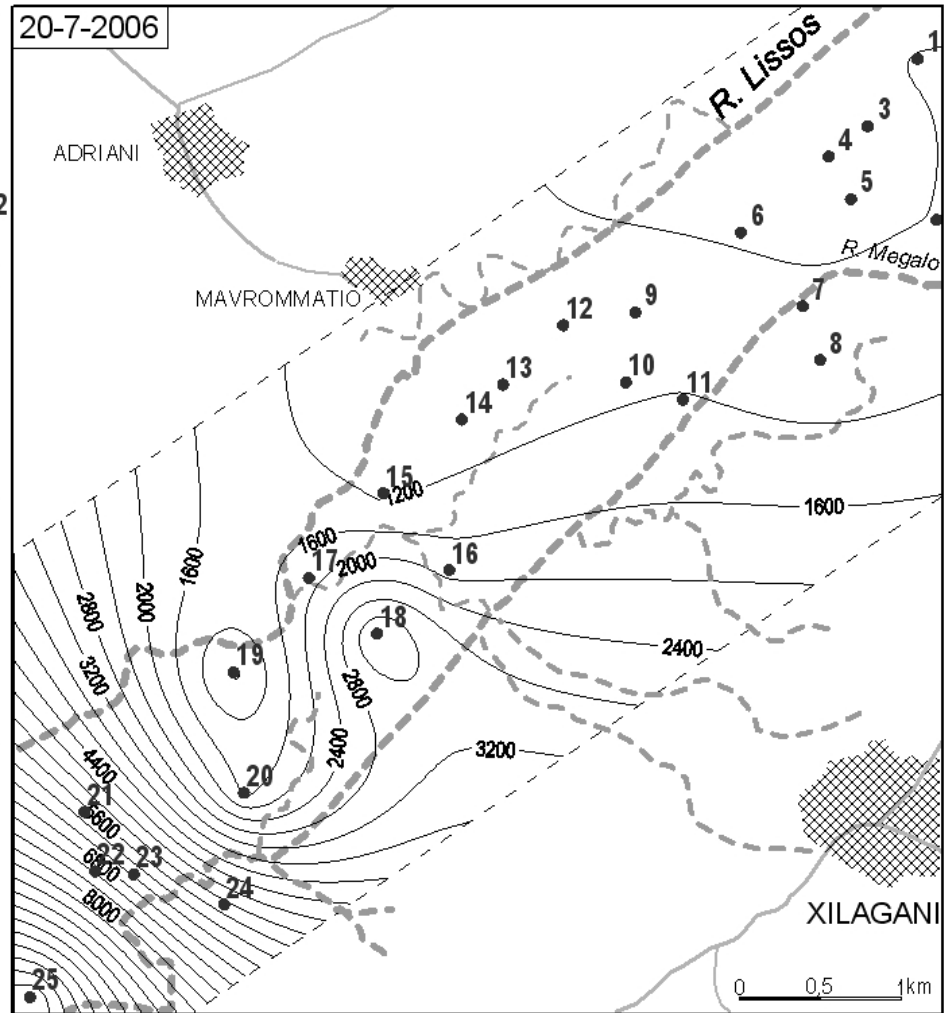
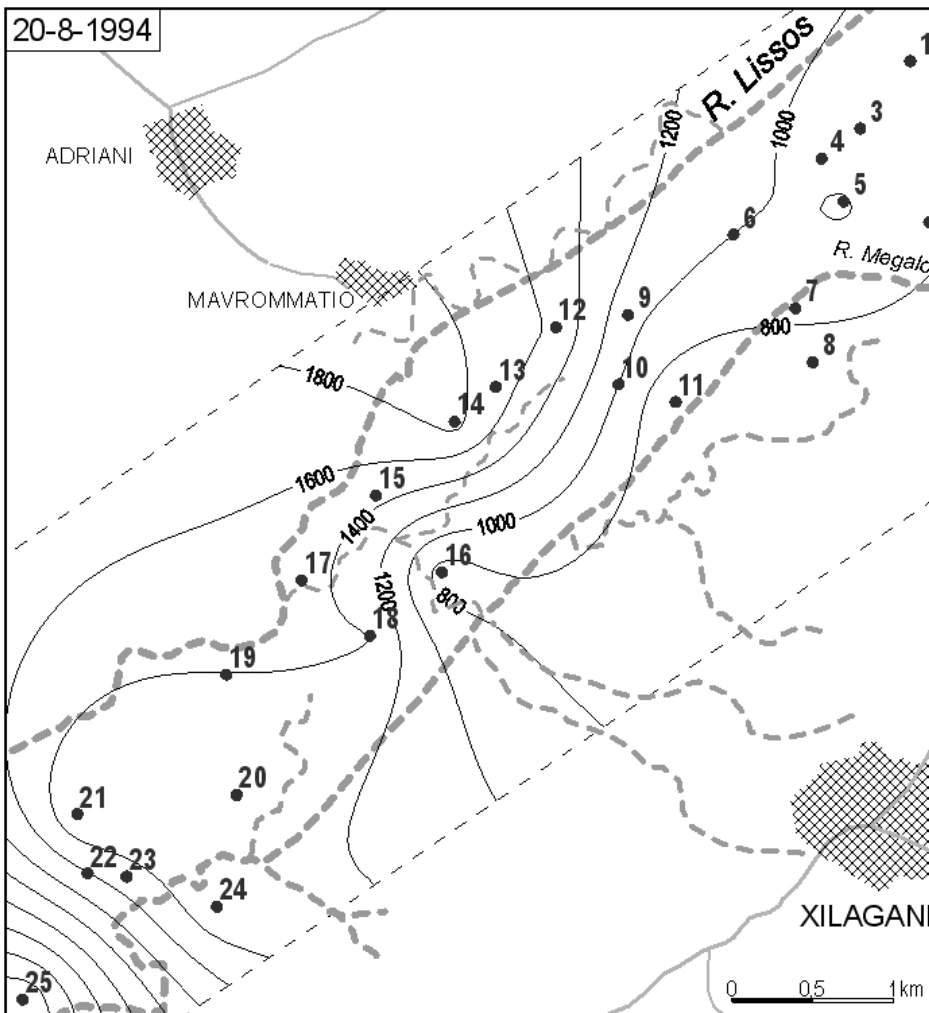
[1] Ως «φυτοφάρμακα», νοούνται τα φυτοπροστατευτικά προϊόντα και τα βιοκτόνα, όπως ορίζονται αντίστοιχα στις σχετικές διατάξεις της κείμενης εθνικής και κοινοτικής νομοθεσίας.

[2] Ως «συνολικό», νοείται το άθροισμα όλων των επιμέρους φυτοφαρμάκων που ανιχνεύονται και προσδιορίζονται ποσοτικά κατά τη διαδικασία παρακολούθησης, συμπεριλαμβανομένων σχετικών προϊόντων μεταβολισμού, προϊόντων αποδόμησης και προϊόντων αντίδρασης.

Ποιοτικά πρότυπα υπόγειων νερών (Υ.Α. 1811/2011, ΕΓΥ, 2013α)

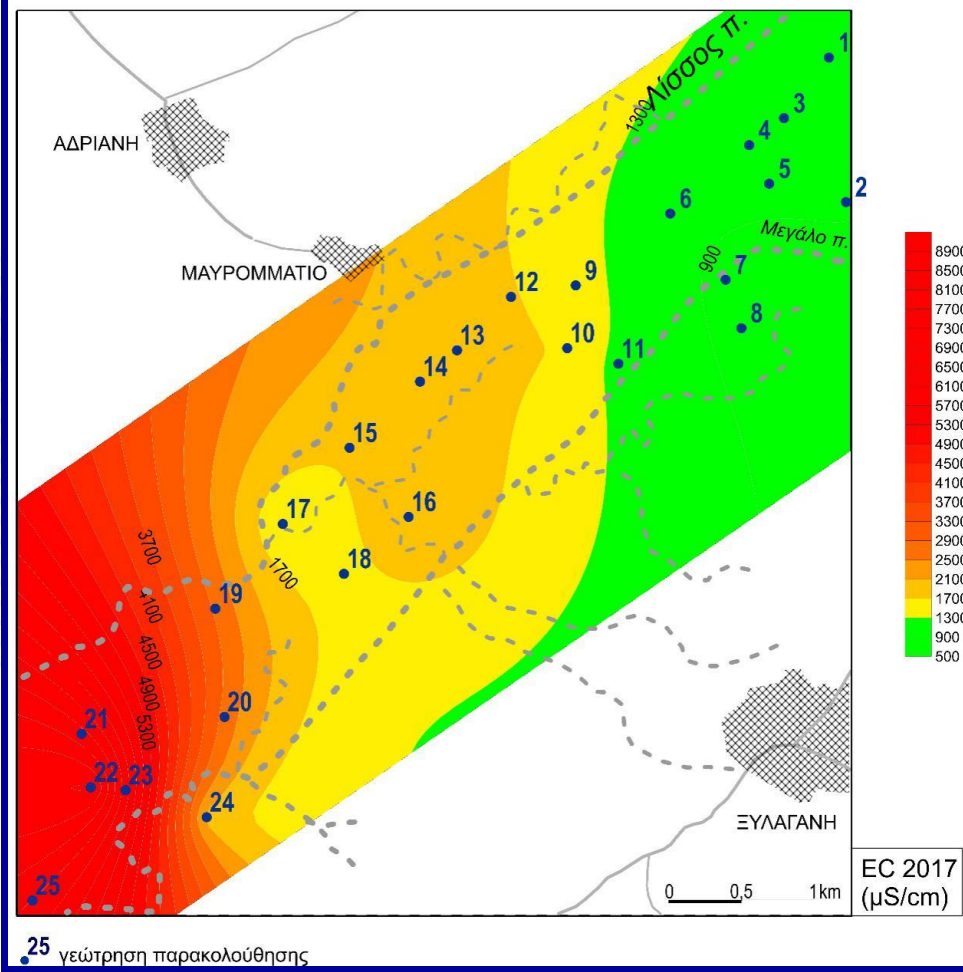
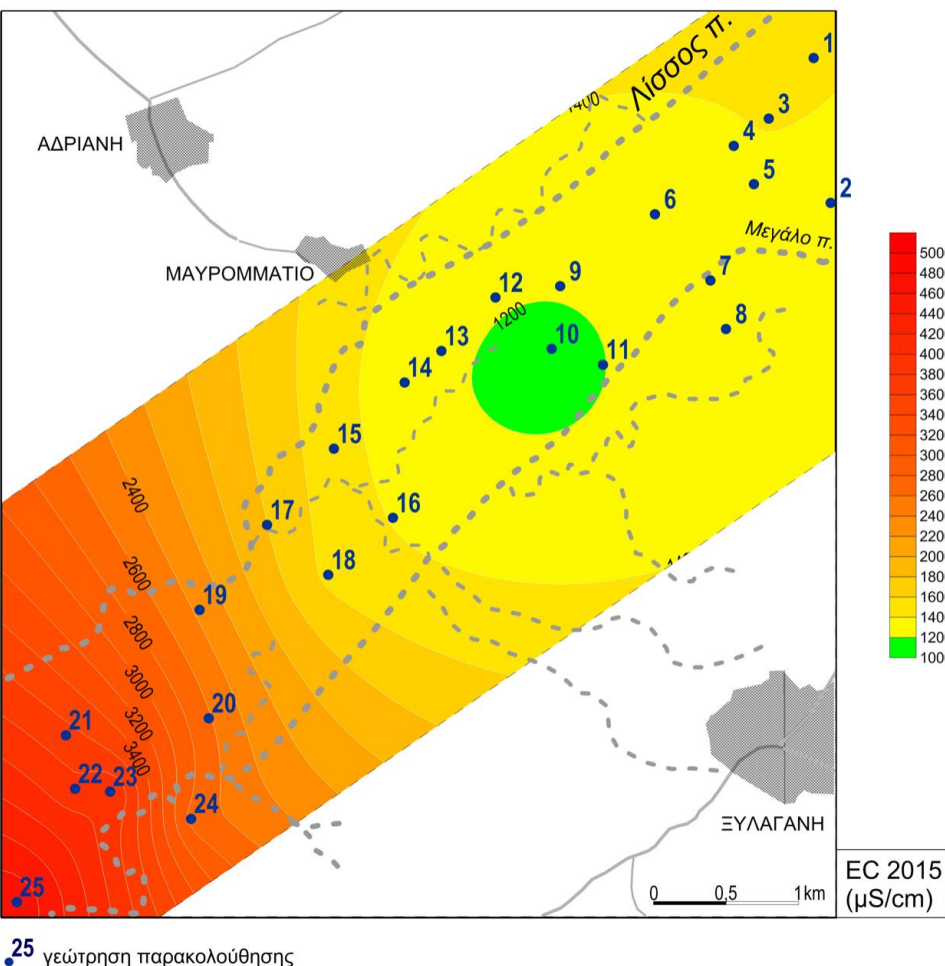
Παράμετρος	Ανώτερη Αποδεκτή Τιμή
pH	6,50 – 9,50
Αγωγιμότητα	2500 μS/cm
Αρσενικό	10 μg/L
Κάδμιο	5 μg/L
Μόλυβδος	25 μg/L
Υδράργυρος	1,0 μg/L
Νικέλιο	20,0 μg/L
Ολικό χρώμιο	50,0 μg/L
Αργίλιο	200,0 μg/L
Αμμώνιο	0,50 mg/L
Νιτρώδη	0,50 mg/L
Χλωριούχα ιόντα	250 mg/L
Θειικά ιόντα	250 mg/L
Άθροισμα Τριχλωροαιθυλενίου και Τετραχλωροαιθυλενίου	10 mg/L

Ανώτερες αποδεκτές τιμές ρύπων υπόγειων νερών
(Υ.Α. 1811/2011, ΕΓΥ, 2013α)



Κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας SEC της περιοχής έρευνας
(880-12380 $\mu\text{S}/\text{cm}$)

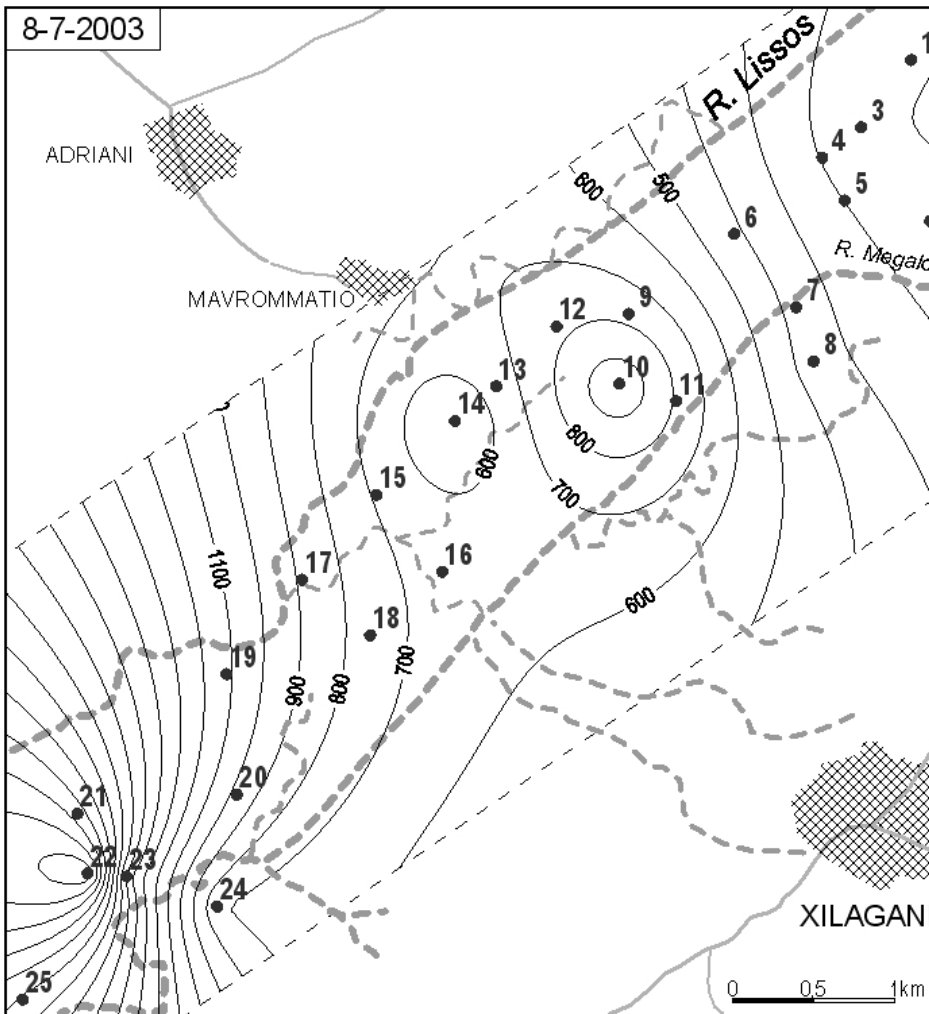
(Pliakas et al., 2007b)



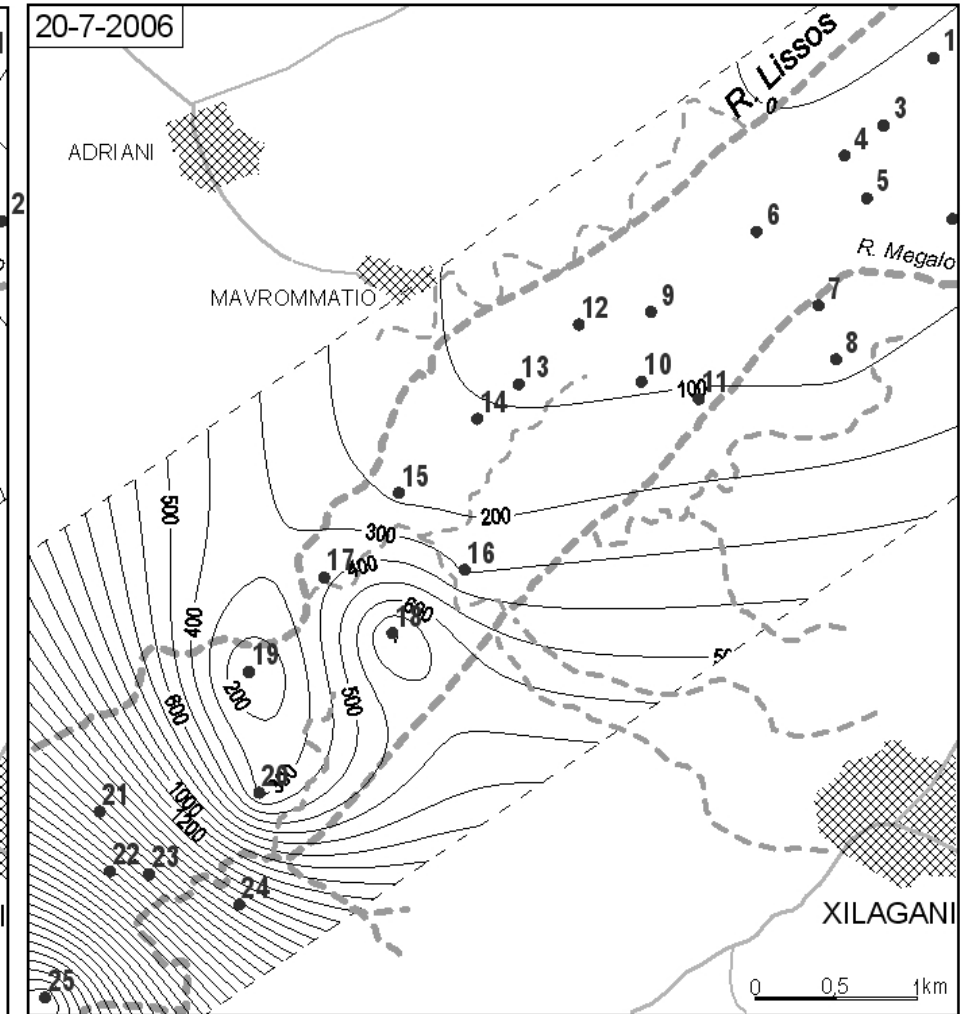
Χάρτες με την κατανομή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας EC (Ιούλιος 2015, 2017)

(Εμινόγλου, 2015, Μήτσου, 2019)

8-7-2003

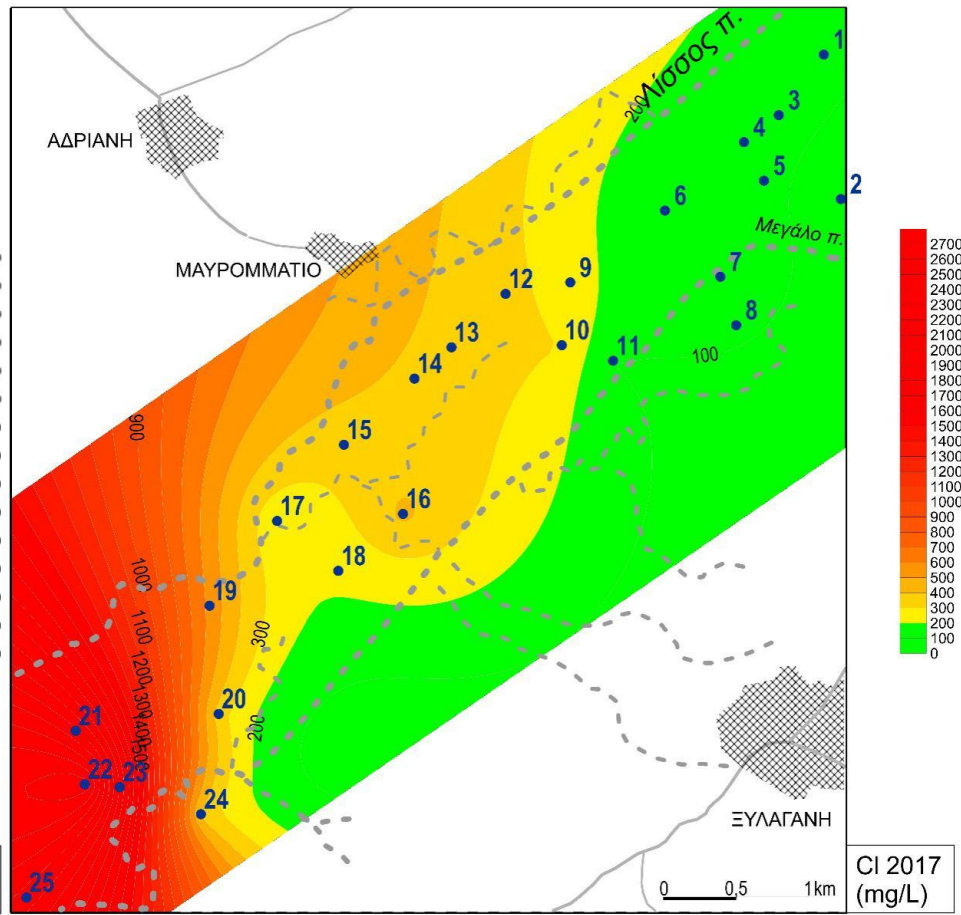
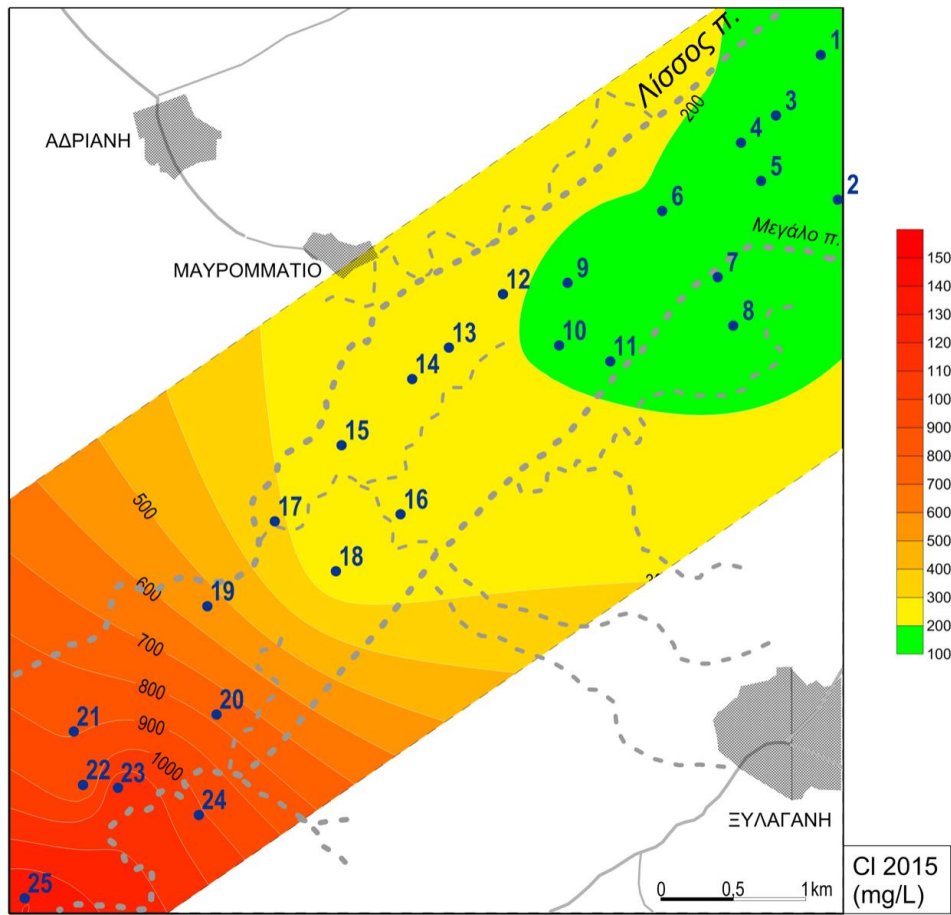


20-7-2006



Κατανομή συγκεντρώσεων Cl^- (mg/L)

- το 2006 σχετική βελτίωση στο ΒΑ τμήμα (αύξηση βροχοπτώσεων → ανάλογη αύξηση φυσικού εμπλουτισμού και πλευρικού εμπλουτισμού από τα κράσπεδα του όρους Ισμάρου) και επιβάρυνση στο ΝΔ τμήμα με τιμές έως και 4184 mg/L

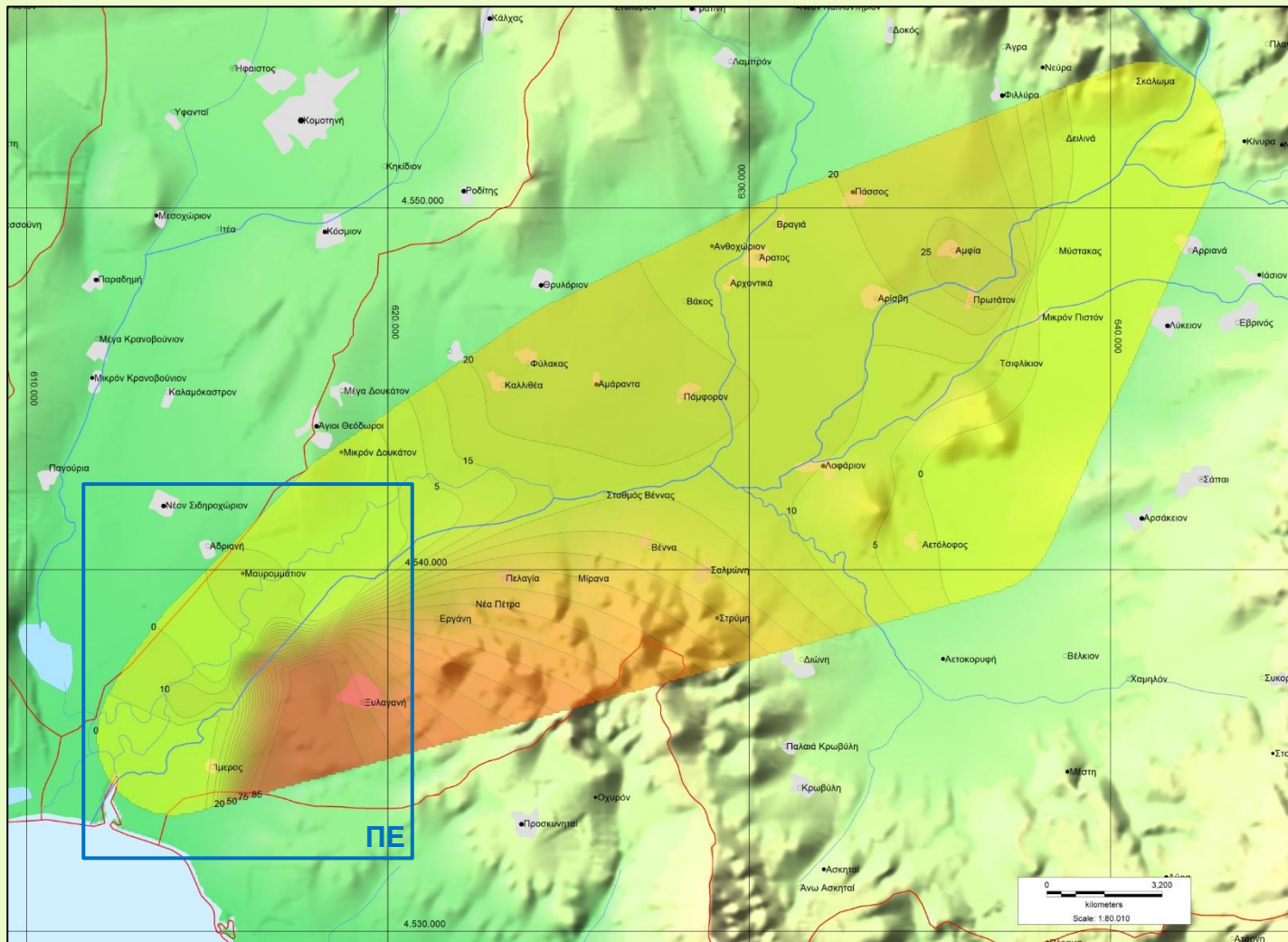


25 γεώτρηση παρακολούθησης

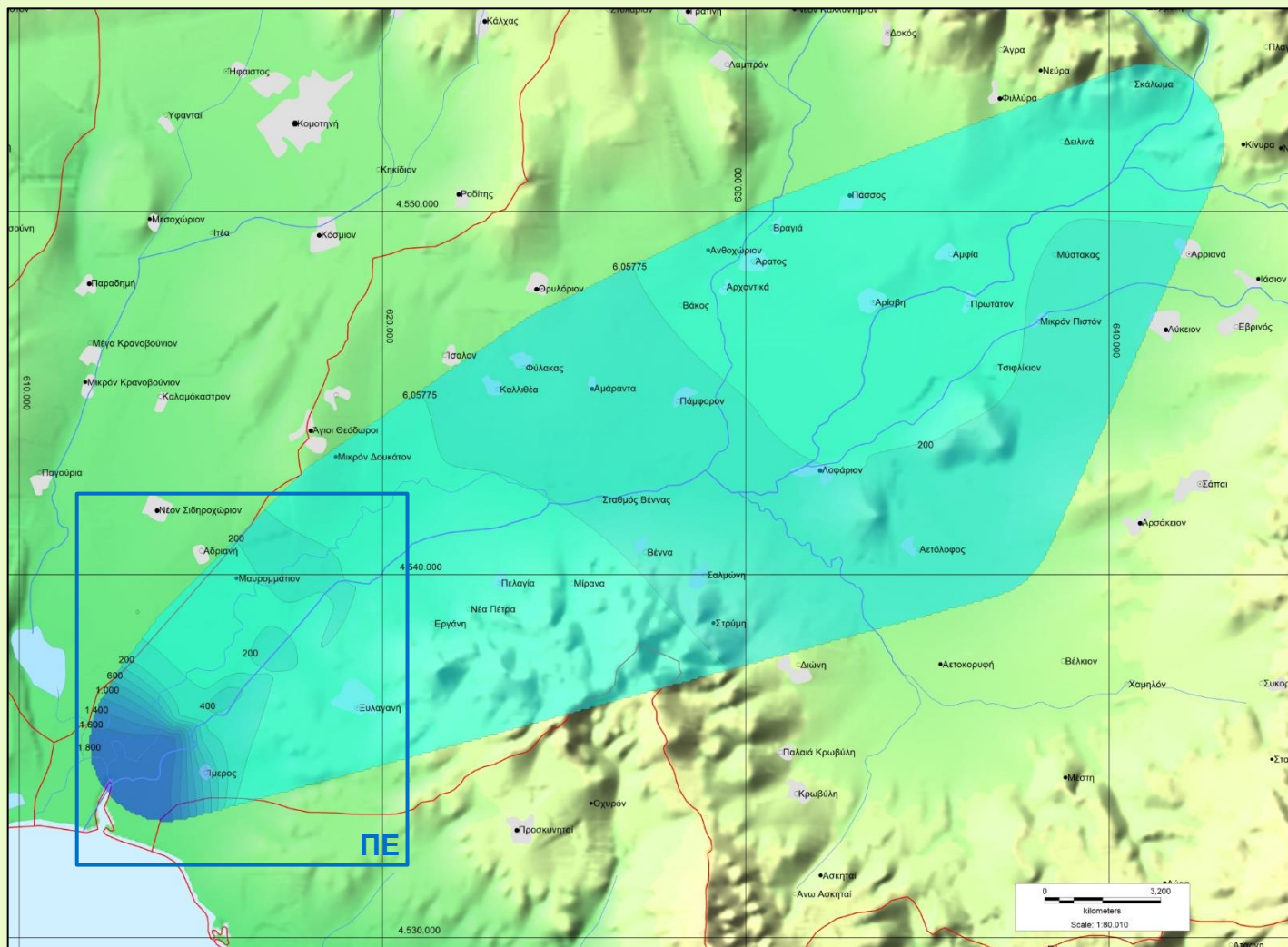
25 γεώτρηση παρακολούθησης

Χάρτες με την κατανομή της συγκέντρωσης ιόντων χλωρίου Cl (Ιούλιος 2015, 2017)

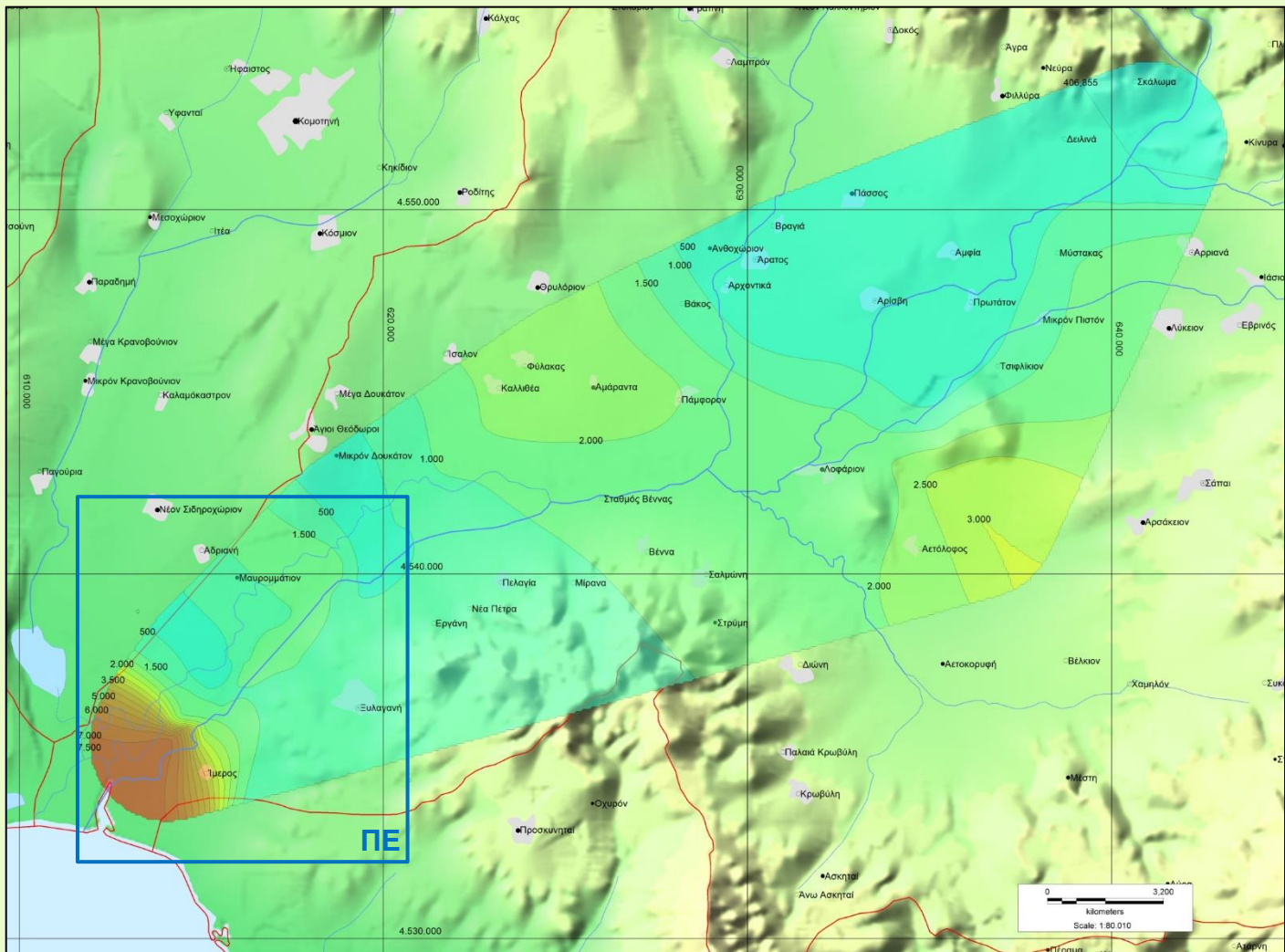
(Εμίνογλου, 2015, Μήτσου, 2019)



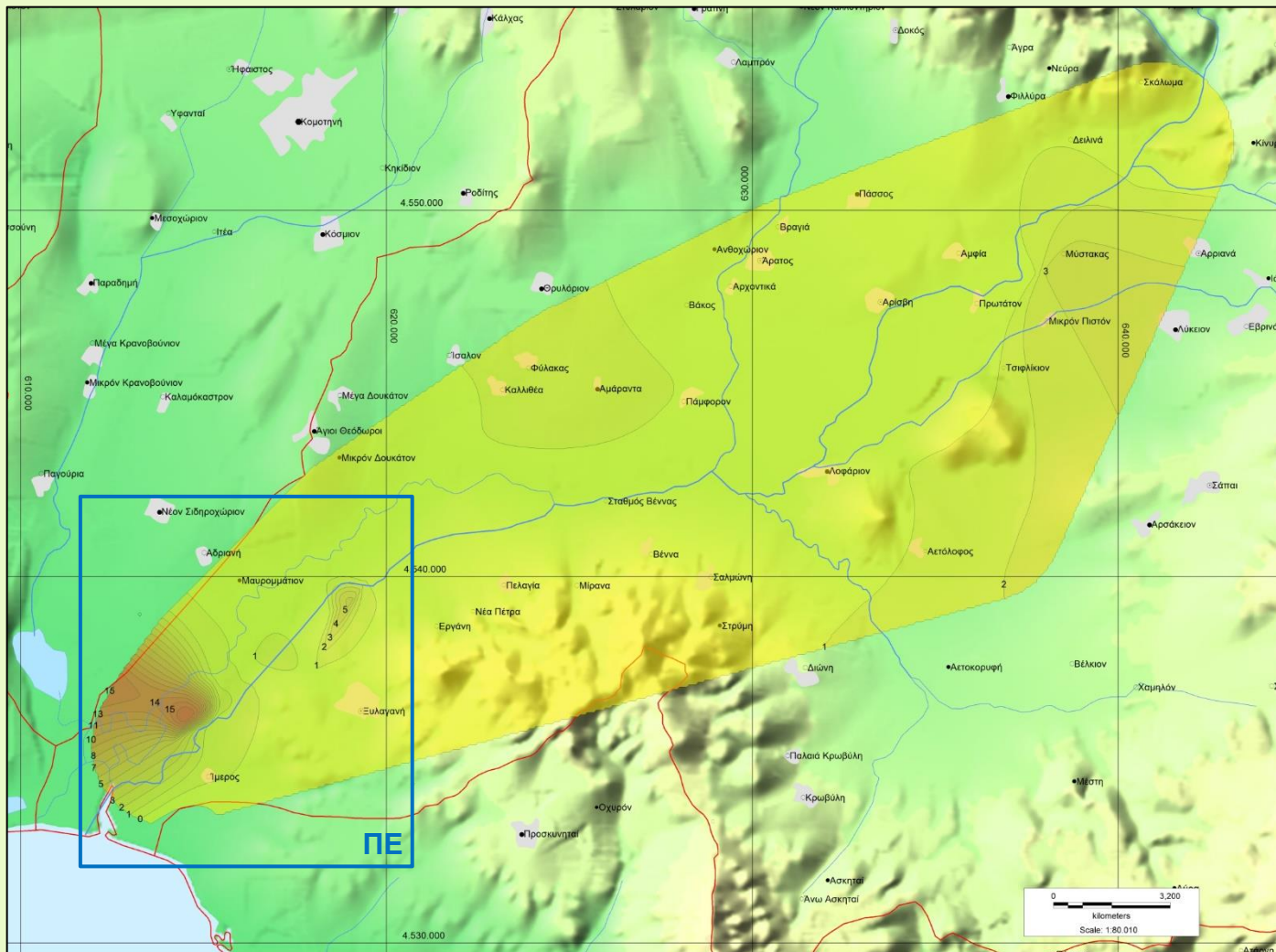
Χάρτης με την κατανομή των τιμών συγκέντρωσης νιτρικών ιόντων (NO_3^-) (mg/L) του υδροφορέα της περιοχής έρευνας (ΠΕ) (Ιούλιος 2021) (Πλιάκας, 2022, με τροποποίηση).



Χάρτης με την κατανομή των τιμών συγκέντρωσης χλωρίου (Cl^-) (mg/L) του υδροφορέα της περιοχής έρευνας (ΠΕ) (Ιούλιος 2021) (Πλιάκας, 2022, με τροποποίηση).



Χάρτης με την κατανομή τιμών Ηλεκτρικής Αγωγιμότητας (EC) ($\mu\text{S}/\text{cm}$) του υδροφορέα της περιοχής έρευνας (ΠΕ) (Ιούλιος 2021) (Πλιάκας, 2022, με τροποποίηση).



Χάρτης με την κατανομή των τιμών του δείκτη Revelle του υδροφορέα της περιοχής έρευνας (ΠΕ) (Ιούλιος 2021) (Πλιάκας, 2022, με τροποποίηση).

			Αξιολόγηση με κριτήριο τις τιμές των:		Αξιολόγηση με κριτήριο τις συγκεντρώσεις των:		
Γεώτρηση	SAR	TDS (mg/l)	SAR	TDS	Na ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻
3	2,87	720,4	Κανένα προβλήματα	Αυξανόμενα προβλήματα	Αυξανόμενα προβλήματα	Αυξανόμενα προβλήματα	Κανένα προβλήματα
6	1,52	742,1	Κανένα προβλήματα	Αυξανόμενα προβλήματα	Αυξανόμενα προβλήματα	Αυξανόμενα προβλήματα	Σοβαρά προβλήματα
8	1,26	578,4	Κανένα προβλήματα	Αυξανόμενα προβλήματα	Κανένα προβλήματα	Αυξανόμενα προβλήματα	Αυξανόμενα προβλήματα
10	7,09	1512,7	Αυξανόμενα προβλήματα	Αυξανόμενα προβλήματα	Σοβαρά προβλήματα	Αυξανόμενα προβλήματα	Σοβαρά προβλήματα
14	6,97	858,0	Αυξανόμενα προβλήματα	Αυξανόμενα προβλήματα	Σοβαρά προβλήματα	Αυξανόμενα προβλήματα	Σοβαρά προβλήματα
22	7,71	4274,6	Αυξανόμενα προβλήματα	Σοβαρά προβλήματα	Σοβαρά προβλήματα	Αυξανόμενα προβλήματα	Σοβαρά προβλήματα
23	5,18	2659,6	Κανένα προβλήματα	Σοβαρά προβλήματα	Σοβαρά προβλήματα	Αυξανόμενα προβλήματα	Σοβαρά προβλήματα
24	5,38	1117,2	Κανένα προβλήματα	Αυξανόμενα προβλήματα	Σοβαρά προβλήματα	Αυξανόμενα προβλήματα	Σοβαρά προβλήματα
26	4,73	3781,8	Κανένα προβλήματα	Σοβαρά προβλήματα	Σοβαρά προβλήματα	Αυξανόμενα προβλήματα	Σοβαρά προβλήματα

Ποιοτική αξιολόγηση δειγμάτων νερού της περιοχής έρευνας ως προς την επίδρασή τους στη γεωργική απόδοση με κριτήρια τις τιμές των SAR, TDS και τις συγκεντρώσεις Na⁺, HCO₃⁻, Cl⁻ (κατά Ayers, 1975)

Γεώτρηση	Τάξη
3	C ₃
6	C ₃
8	C ₃
10	C ₄
14	C ₃
22	C ₄
23	C ₄
24	C ₃
26	C ₄

➤ Τάξη C3: (500<TDS<1500, 250<EC<2250).

Νερό υψηλής αλατότητας, ακατάλληλο για άρδευση σε εδάφη περιορισμένης στράγγισης. Απαιτούνται μέτρα ελέγχου της αλατότητας και καλλιέργεια μόνο ανθεκτικών σε αυτή φυτών.

➤ Τάξη C4: (1500<TDS<3000, 2250<EC<5000).

Νερό πολύ υψηλής αλατότητας, ακατάλληλο για άρδευση κάτω από συνηθισμένες συνθήκες. Χρησιμοποιήσιμο σε ειδικές συνθήκες (εδάφη πολύ περατά, στράγγιση πολύ καλή). Συνιστάται η χρησιμοποίηση πλεονάσματος νερού ώστε να επιτευχθεί η απόπλυση εδάφους και η καλλιέργεια πολύ ανθεκτικών στην αλατότητα φυτών
[TDS: mg/L, EC: μS/cm]

(κατά Richards, 1954)

(Pliakas et al., 2007b)

Αποδεκτή:

$$\text{βαθμός αλκαλίωσης Na\% (\%E.sp.)} = \frac{(\text{Na} + \text{K})100}{\text{Ca} + \text{Mg} + \text{Na} + \text{K}} \quad (\text{meq/L})$$

%Na: 40-60 & EC: 750-2000 $\mu\text{S/cm}$

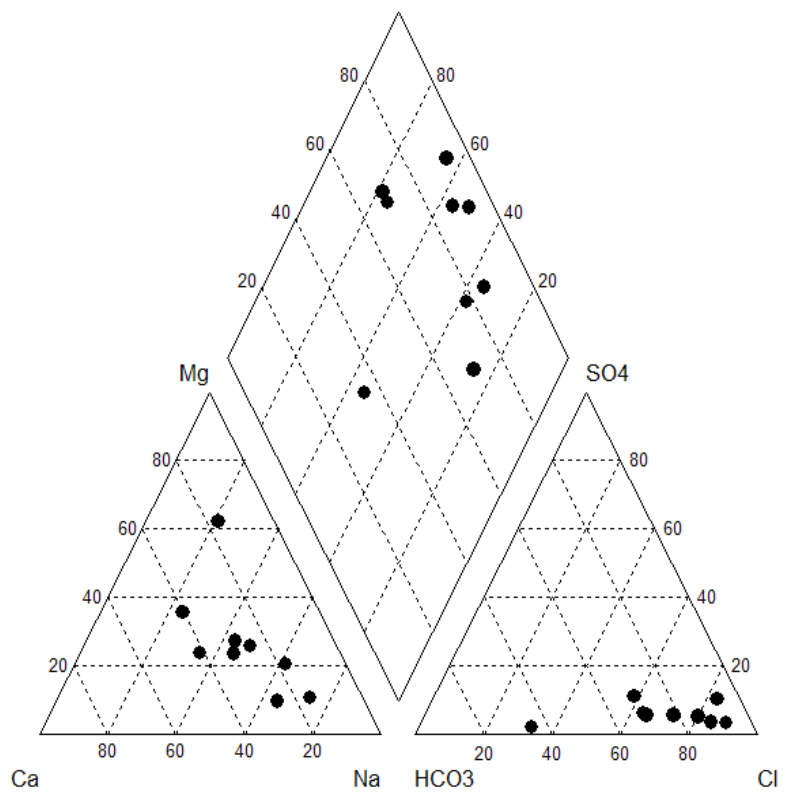
Αμφίβολη:

%Na: 60-80 & EC: 2000-3000 $\mu\text{S/cm}$

Ακατάλληλη: %Na: >80 & EC: >3000 $\mu\text{S/cm}$

(κατά Wilcox, 1955)

Γεώτρηση	%Na (ή %E.sp)	Ποιότητα νερού
3	46,22	Αποδεκτή
6	21,68	Αποδεκτή
8	24,88	Αποδεκτή
10	67,81	Αμφίβολη
14	74,09	Αμφίβολη
22	49,00	Ακατάλληλη
23	44,04	Ακατάλληλη
24	62,73	Αποδεκτή
26	34,88	Ακατάλληλη



Διάγραμμα Piper για την ποιοτική ταξινόμηση των δειγμάτων υπόγειου νερού την 08/07/2003

(Pliakas et al., 2007b)

Ποιοτική αξιολόγηση για την καταλληλότητα του νερού των δειγμάτων για άρδευση εκφρασμένη ως Degree of Restriction on Use (DRU): None (N), Slight to Moderate (SM), Serious (S) (Asano and Pettygrove, 1987, Roscoe Moss Company, 1990).

	Potential Irrigation Problem expressed as Degree of Restriction on use							
	salinity		permeability	specific ion toxicity				
	based on EC (μS/cm) values	based on TDS (mg/L) values	based on SAR & EC (mg/L) values	based on Na ⁺ values (mg/L)		based on Cl ⁻ values (mg/L)		based on HCO ₃ ⁻ values (mg/L)
				surface irrigation (SAR)	sprinkler irrigation	surface irrigation	sprinkler irrigation	sprinkler irrigation
well	<i>8-7-2003</i>							
3	SM	SM	SM	N	SM	N	SM	SM
6	SM	SM	SM	N	SM	S	SM	SM
8	SM	SM	SM	N	N	S	SM	SM
10	SM	SM	N	SM	SM	S	SM	SM
14	SM	SM	SM	SM	SM	S	SM	SM
22	S	S	N	SM	SM	S	SM	SM
23	S	S	N	SM	SM	S	SM	SM
24	SM	SM	SM	SM	SM	S	SM	SM
26	S	S	N	SM	SM	S	SM	SM
	<i>20-7-2006</i>							
2	SM	SM	N	N	N	N	N	SM
8	SM	SM	SM	SM	SM	N	N	SM
11	SM	SM	N	N	N	N	SM	SM
15	SM	SM	SM	N	N	SM	SM	SM
16	SM	SM	N	N	N	SM	SM	SM
18	S	SM	N	N	SM	S	SM	SM
19	SM	SM	SM	N	SM	N	N	SM
20	SM	SM	N	N	N	SM	SM	SM
25	S	S	N	S	SM	S	SM	SM

(Pliakas et al., 2007b)

Το νερό των δειγμάτων

- ως προς την επίδραση στη γεωργική απόδοση με κριτήρια τις τιμές των SAR (Sodium Adsorption Ratio, Συντελεστή Προσρόφησης Νατρίου), TDS (Total Dissolved Solids, Σύνολο Διαλυμένων Στερεών) και τις συγκεντρώσεις Na^+ , HCO_3^- , Cl^- κατατάσσονται στην κατηγορία των αυξανόμενων έως σοβαρών προβλημάτων
- με κριτήριο τις τιμές %Na (ή %E.sp, βαθμός αλκαλίωσης) κατατάσσονται σε νερά αποδεκτής ποιότητας (δείγματα από τις γεωτρήσεις 3, 6, 8, 24), αμφίβολης ποιότητας (δείγματα από τις γεωτρήσεις 10, 14) και ακατάλληλης ποιότητας (δείγματα από τις γεωτρήσεις 22, 23, 26)
- της γεώτρησης 25 χαρακτηρίζεται ως ακατάλληλο για οποιαδήποτε χρήση
- με βάση τα κριτήρια για το 'πότισμα' οικιακών ζώων χαρακτηρίζονται ως κατάλληλα, εκτός από τα νερά των δειγμάτων από τις γεωτρήσεις 22 και 26 που χαρακτηρίζονται ως ακατάλληλα για μικρά ζώα και κατάλληλα μόνο για το 'πότισμα' πουλερικών και μεγάλων ζώων (τιμές $\text{TDS} > 3000 \text{ mg/L}$).

Η **τρωτότητα** του υπόγειου νερού σε εξωτερική ρύπανση είναι συνάρτηση:

- Του πάχους και της φύσης της ακόρεστης ζώνης. Είναι μεγαλύτερη, όταν το πάχος της ακόρεστης ζώνης είναι μικρό και συντίθεται από αμμώδη και γενικά από χοντρόκοκκα υλικά, ενώ είναι μικρότερη, όταν το πάχος της ακόρεστης ζώνης είναι μεγαλύτερο και συντίθεται από λεπτόκοκκα, ιδιαίτερα από αργιλικά, υλικά.
- Του τύπου του υδροφόρου. Είναι ασήμαντη στους αρτεσιανούς υδροφόρους και μεγάλη στους ελεύθερους, ρηχούς, κυρίως, υδροφόρους. Ιδιαίτερα τρωτοί είναι οι υδροφόροι σε καρστικά ή σε υδροφόρα διαρρηγμένες βραχομάζες.
- Της παρουσίας φυσικών οργανικών υλικών στο έδαφος. Η παρουσία φυσικής οργανικής ύλης στην ακόρεστη ζώνη μειώνει την τρωτότητα και αυξάνει την ικανότητα αφομοίωσης της ρύπανσης.
- Του βαθμού ευκολίας ή δυσκολίας βιοδιάσπασης των ρύπων.
- Της απόστασης του υδροφόρου ή του υδροληπτικού έργου από την πηγή ρύπανσης και του χρόνου παραμονής του νερού στο έδαφος μέχρι να φτάσει στον υδροφόρο ή στο έργο υδροληψίας.
- Του ρυθμού εμπλουτισμού του υδροφόρου. Υψηλοί ρυθμοί εμπλουτισμού αυξάνουν την τρωτότητα των υδροφόρων.
- Της έντασης της εξατμισοδιαπνοής, η οποία μπορεί να μειώσει το ρυθμό κατείσδυσης ρύπων προς την κορεσμένη ζώνη.

$$R = V \times H$$

Η **διακινδύνευση ενός υδροφόρου (risk pollution) R** στη ρύπανση είναι συνάρτηση της τρωτότητας του **V (vulnerability)** και της πιθανότητας – επικινδυνότητας **H (hazard)** εκδήλωσης ενός επεισοδίου ρύπανσης σε μια περιοχή.

Οι χρησιμοποιούμενες μέθοδοι για την εκτίμηση της τρωτότητας διακρίνονται σε:

- Στατιστικές μέθοδοι (statistical methods) και
- Μέθοδοι προσομοίωσης (simulating models)
- Μέθοδοι βαθμονόμησης (rating methods). Περιλαμβάνουν μεθόδους δεικτών (index methods) και υβριδικές μεθόδους (hybrid methods), που συνδυάζουν μεθόδους δεικτών με στατιστικές μεθόδους (DRASTIC, GOD, AVI, SINTACS, ISIS, DASTI, κλπ).

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

➤ Σε πολλές χώρες συντάσσονται **χάρτες τρωτότητας** σε κλίμακα νομού ή περιφερειακή κλίμακα ή σε ολόκληρη τη χώρα, στους οποίους φαίνονται οι περιοχές με αυξημένη ή μη πιθανότητα ρύπανσης των υπόγειων υδροφορέων. Οι χάρτες αυτοί είναι μια ειδική κατηγορία υδρογεωλογικών χαρτών και επειδή είναι χρονο-εξαρτώμενοι απαιτούν ενημέρωση σε τακτά χρονικά διαστήματα.

Οι χάρτες τρωτότητας συνδυάζονται με χάρτες χρήσεων γης, ποιότητας νερού, πυκνότητας πληθυσμού κ.α. και αποτελούν πολύτιμα εργαλεία στη λήψη αποφάσεων, τη διαχείριση και τη νομοθεσία σε όλα τα επίπεδα της δημόσιας διοίκησης.

Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων γίνεται τελευταία με τη χρήση των **Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS)** και του διεθνούς κώδικα χρωμάτων, όπου οι επιμέρους χάρτες είναι τα θεματικά επίπεδα. Η συλλογή δεδομένων τροφοδοτεί τη βάση και η επεξεργασία γίνεται με τα λογισμικά Arc/Info, Map/Info κ.ά.

Πληροφορίες που απαιτούνται για τη χαρτογράφηση της τρωτότητας των υπόγειων νερών (Καλλέργης, 2000). [1]

ΠΕΔΙΑ ΒΑΣΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ	ΤΥΠΟΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ
ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ	Υψόμετρα, μεταβολές μορφολογιών κλίσεων, πυκνότητα και κατανομή υδρογραφικού δικτύου.
ΒΛΑΣΤΗΣΗ	Χρήσεις γης, διαδρομές υπεδαφικού νερού, περιοχές τροφοδοσίας και εκφόρτισης, ιχνογράφιση ασυνεχειών και γραμμικών στοιχείων.
ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑ	Βροχομετρικά δεδομένα, μέση θερμοκρασία αέρα, υγρασία, ηλιακή ακτινοβολία, εξατμισοδιαπνοή, εκτίμηση της ενεργής βροχόπτωσης.
ΕΔΑΦΗ	Πάχη, ιστός, δομή, ορυκτολογική σύσταση, χημικές και φυσικές ιδιότητες, πορώδες, διαπερατότητα, υγρασία, ικανότητα κατείσδυσης.
ΥΔΡΟΛΟΓΙΑ	Παροχές υδρορευμάτων, ανάλυση υδρογραφημάτων, βασική ροή, λόγος ροής, ανταλλαγές νερού με υποκείμενα υδροφόρα συστήματα.
ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ	
(i) ακόρεστη ζώνη	Βάθος υπόγειου νερού, πάχος, λιθοστρωματογραφία, ορυκτολογία, γεωμετρία, δείκτης ρωγμών, δείκτης ανάπτυξης καρστ, ενεργό πορώδες και βαθμός κορεσμού, ταχύτητα ροής, ρυθμός κατείσδυσης, τροφοδοσία.
(ii) κορεσμένη ζώνη	Λιθοστρωματογραφία, γεωλογική δομή, γεωμετρία, ενεργό πορώδες, τύπος διαπερατότητας (πρωτογενές ή δευτερογενές πορώδες), μεταβιβαστικότητα, αποθηκευτικότητα και υδραυλική αγωγιμότητα των υδροφόρων οριζόντων, τύπος υδροφορέα (ελεύθερος, ημιελεύθερος, υπό πίεση), μεταβολές στάθμης υπόγειου νερού, υδραυλική κλίση, κατεύθυνση ροής, ενεργή ταχύτητα ροής και εκφόρτιση, τύποι υπόγειου νερού, ανταλλαγές με επιφανειακά σώματα νερού ή άλλα υδροφόρα συστήματα.

Πληροφορίες που απαιτούνται για τη χαρτογράφηση της τρωτότητας των υπόγειων νερών (Καλλέργης, 2000). [2]

ΧΡΗΣΕΙΣ ΝΕΡΟΥ	Σημεία υδροληψίας (πηγές, γεωτρήσεις) και θέσεις υδροληπτικών έργων, επιφανειακοί και υπόγειοι υδατικοί πόροι, κατανομή τους και χρήση, παροχή και πτώσεις στάθμης των υδροφόρων πεδίων, θέση και ρυθμοί τροφοδοσίας των διαφόρων συστημάτων.
ΧΗΜΕΙΑ	
(i) υδροχημεία	Φυσικές και χημικές ιδιότητες επιφανειακών και υπόγειων νερών, χημικοί δείκτες, ισότοπα, ηλικία υπόγειου νερού και χρόνος παραμονής του στα υδροφόρα, χαρακτηριστικοί λόγοι, κατανομή ποιότητας επιφανειακών και υπόγειων νερών.
(ii) χαρακτηριστικά ρύπων	Αλλαγές στην ποιότητα του υπόγειου νερού, παρουσία ρύπων, φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά ρύπων, συγκέντρωση, ημιζωή, κινητικότητα, ικανότητα ιοντο-ανταλλαγής, προσρόφησης, βιοαποδόμησης, κ.ά.
ΑΝΘΡΩΠΙΝΕΣ ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	Έκταση αστικών περιοχών, θέση και τύπος των βιομηχανιών, παρουσία και δυναμικότητα ρυπογόνων πηγών, δυνητικές εισοδοι ρύπων.

Κατηγορία τρωτότητας	Αντίστοιχος Ορισμός
Ακραία	Τρωτότητα στους περισσότερους ρύπους στο νερό με σχετικά ραγδαίες επιπτώσεις, σε πολλά σενάρια ρύπανσης
Υψηλή	Τρωτότητα σε πολλούς ρύπους, εκτός από αυτούς που απορροφώνται πλήρως ή μετασχηματίζονται, σε πολλά σενάρια ρύπανσης
Μέτρια	Τρωτότητα σε ορισμένους ρύπους, αλλά μόνον όταν συνεχώς εκφορτίζονται ή αποπλένονται
Χαμηλή	Τρωτότητα μόνο σε συντηρητικούς ρύπους μακροπρόθεσμα όταν συνεχώς και ευρέως εκφορτίζονται ή αποπλένονται
Αμελητέα	Παρουσία περιοριστικών στρώσεων χωρίς σημαντική κατακόρυφη ροή υπόγειου νερού (διαρροή)

Ο όρος **DRASTIC** είναι ακρωνύμιο των:

D (Depth) βάθος της στάθμης του υπόγειου νερού,

R (Recharge) ενεργή κατείσδυση,

A (Aquifer) υδροφόρος,

S (Soil) έδαφος,

T (Topography) κλίση αναγλύφου,

I (Impact of the vadose zone) επίδραση της ακόρεστης ζώνης,

C (Hydraulic Conductivity of the aquifer) συντελεστής υδραυλικής αγωγιμότητας ή υδροπερατότητας.

δείκτης DRASTIC (**DI**):

$$DI = DrDw + RrRw + ArAw + SrSw + TrTw + Irlw + CrCw$$

όπου

ο δείκτης (**r**) εκφράζει την τιμή της παραμέτρου και

ο δείκτης (**w**) τη βαρύτητα καθεμιάς.

(κύριες αναφορές: Aller et al., 1987, Βουδούρης, 2009, Γκεμιτζή κ.ά, 2005, Καλλέργης, 2000, 2001, Panagopoulos et al., 2006, Στουρνάρας, 2007)

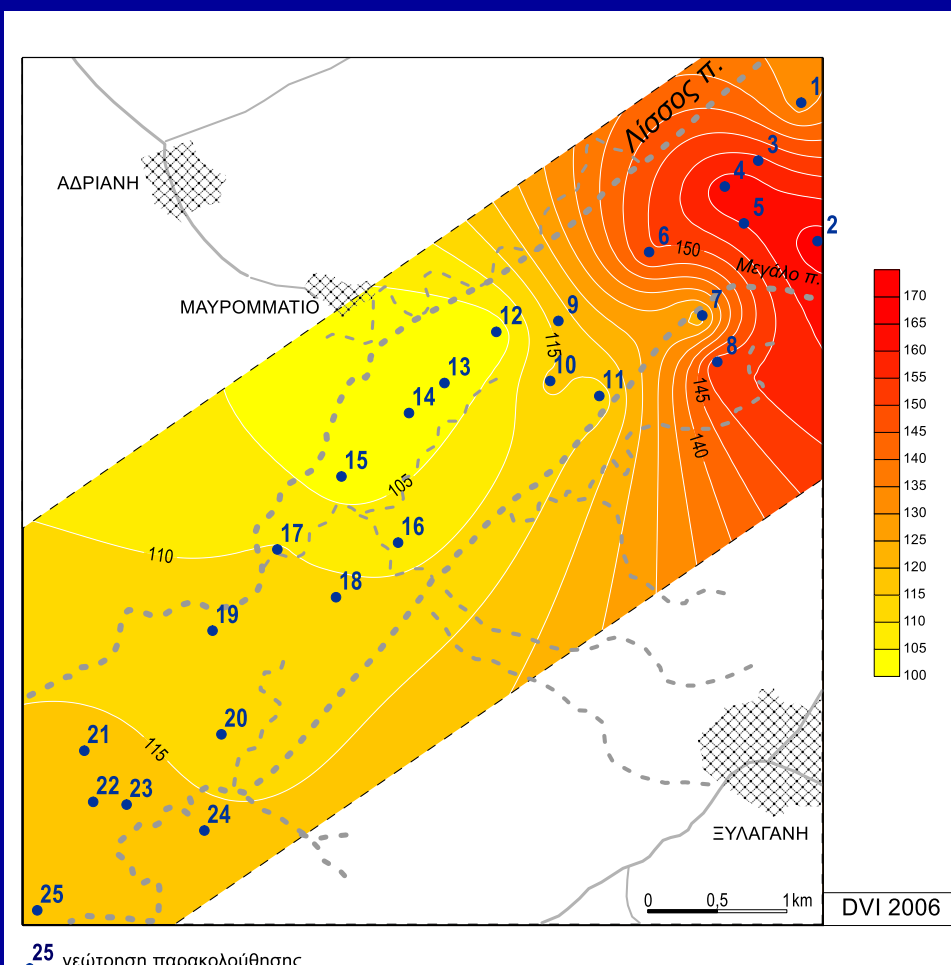
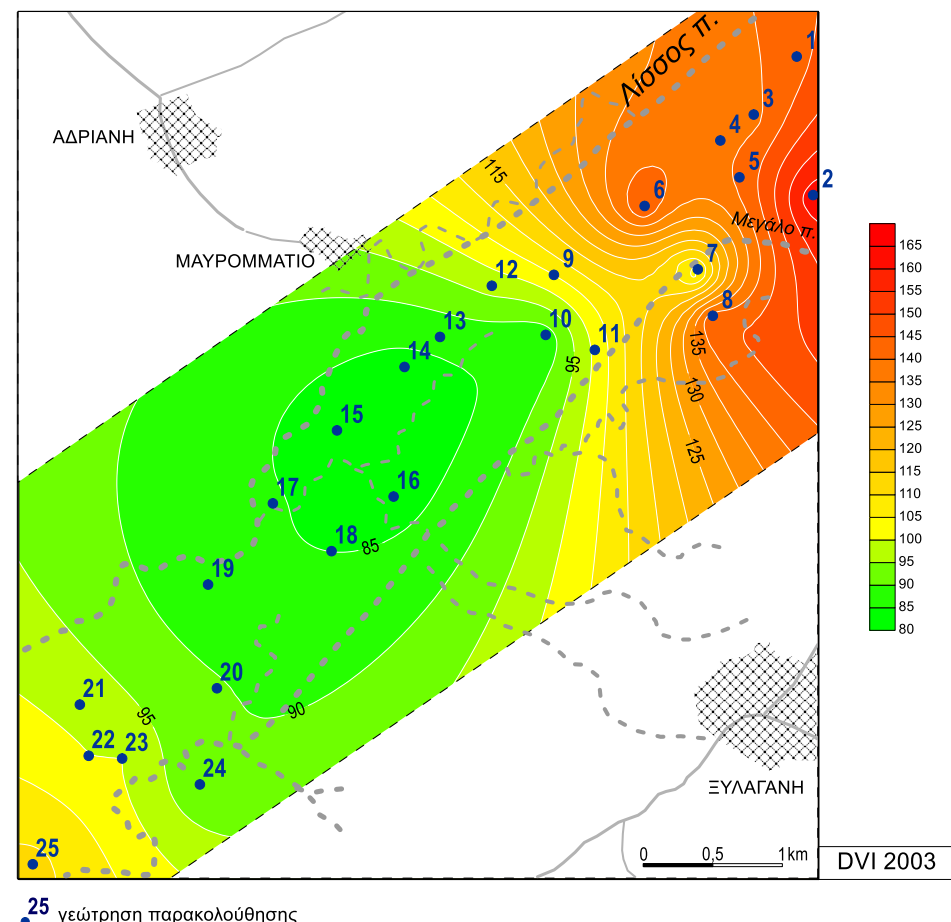
- Για κάθε παράμετρο υπάρχουν δύο τιμές βαρύτητας.

Η πρώτη είναι για την εφαρμογή της μεθόδου στην περίπτωση οικιακών και βιομηχανικών ρύπων (γενική, Typical DRASTIC) και η δεύτερη είναι για τη χρήση φυτοφαρμάκων σε αρδευόμενες περιοχές (ειδική, Pesticide DRASTIC).

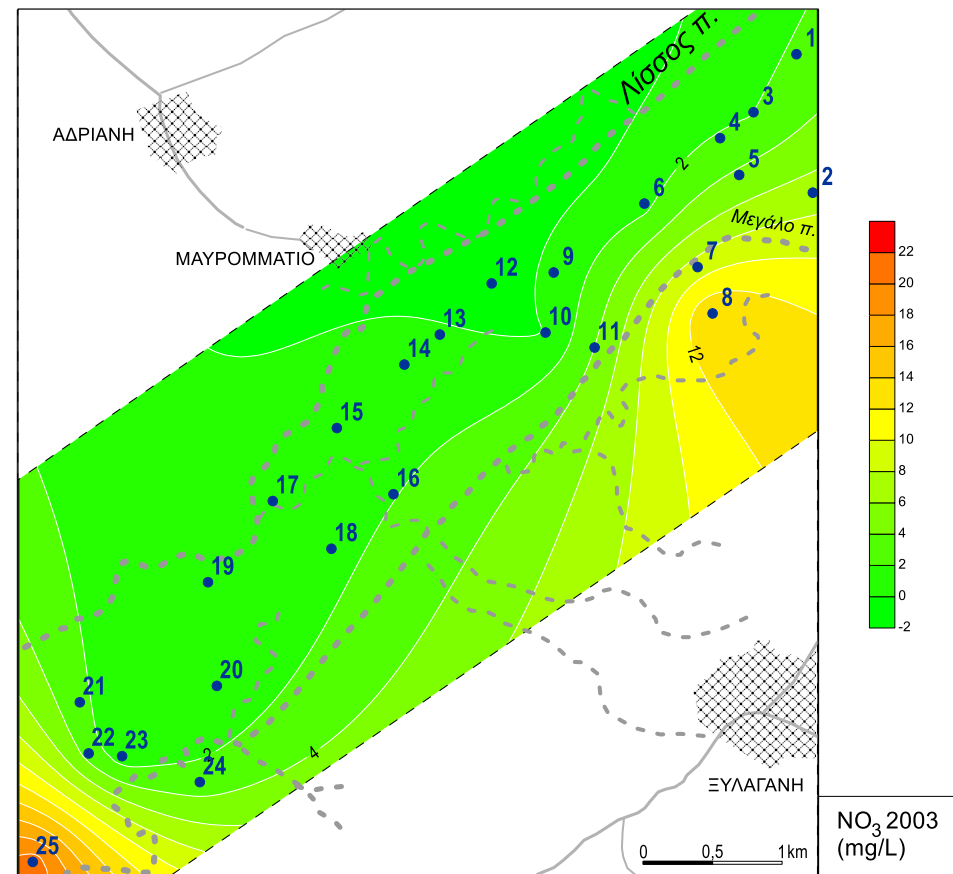
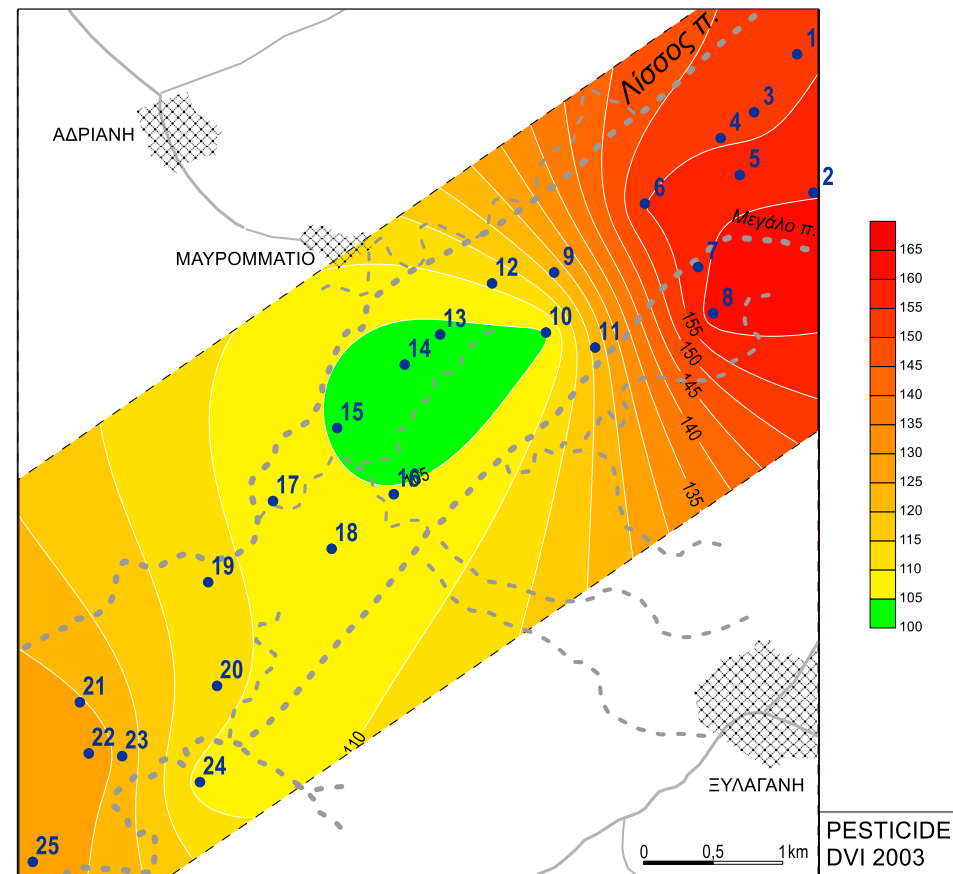
- Οι τιμές των παραμέτρων κυμαίνονται από 1 (ελάχιστο δυναμικό ρύπανσης) έως 10 (μέγιστο δυναμικό ρύπανσης).

Βαρύτητα κάθε παραμέτρου στη μεθοδολογία DRASTIC.

Παράμετρος	Βαρύτητα (Γενική)	Βαρύτητα (Ειδική)
D Βάθος της στάθμης του υπόγειου νερού	5	5
R Ενεργή κατείσδυση	4	4
A Υδροφορέας	3	3
S Έδαφος	2	5
T Κλίση αναγλύφου	1	3
I Επίδραση της ακόρεστης ζώνης	5	3
C Συντελεστής υδραυλικής αγωγιμότητας	3	2

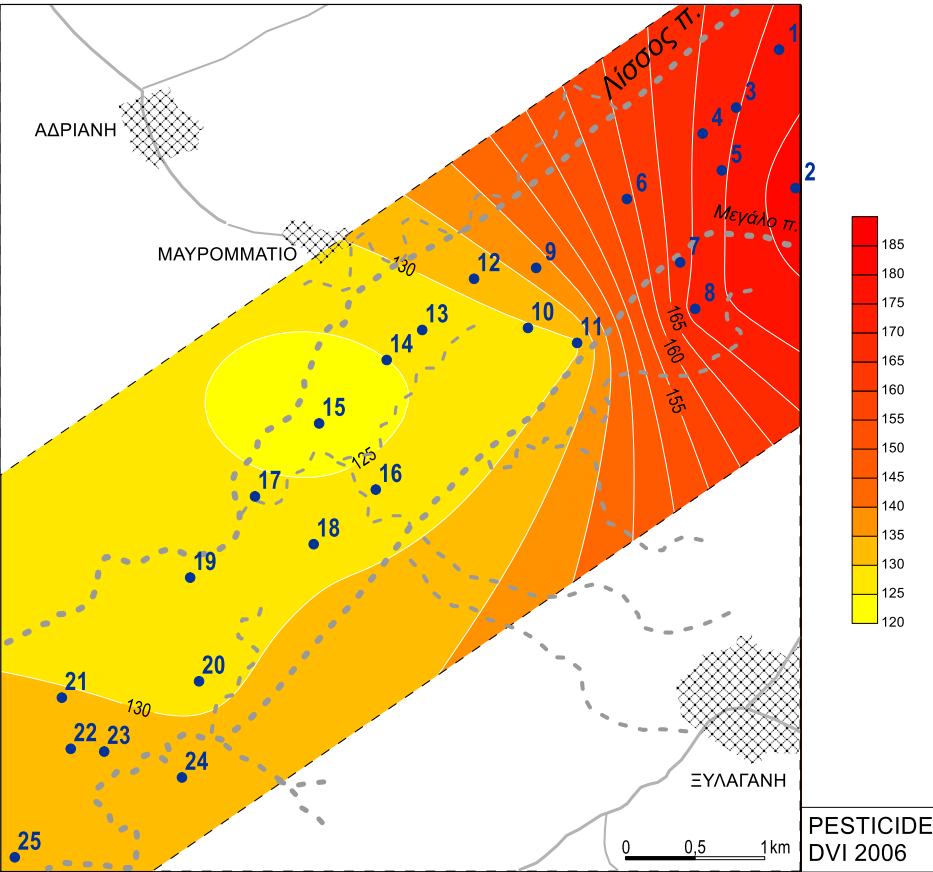


(Kallioras et al., 2011, Pliakas et al., 2007b)

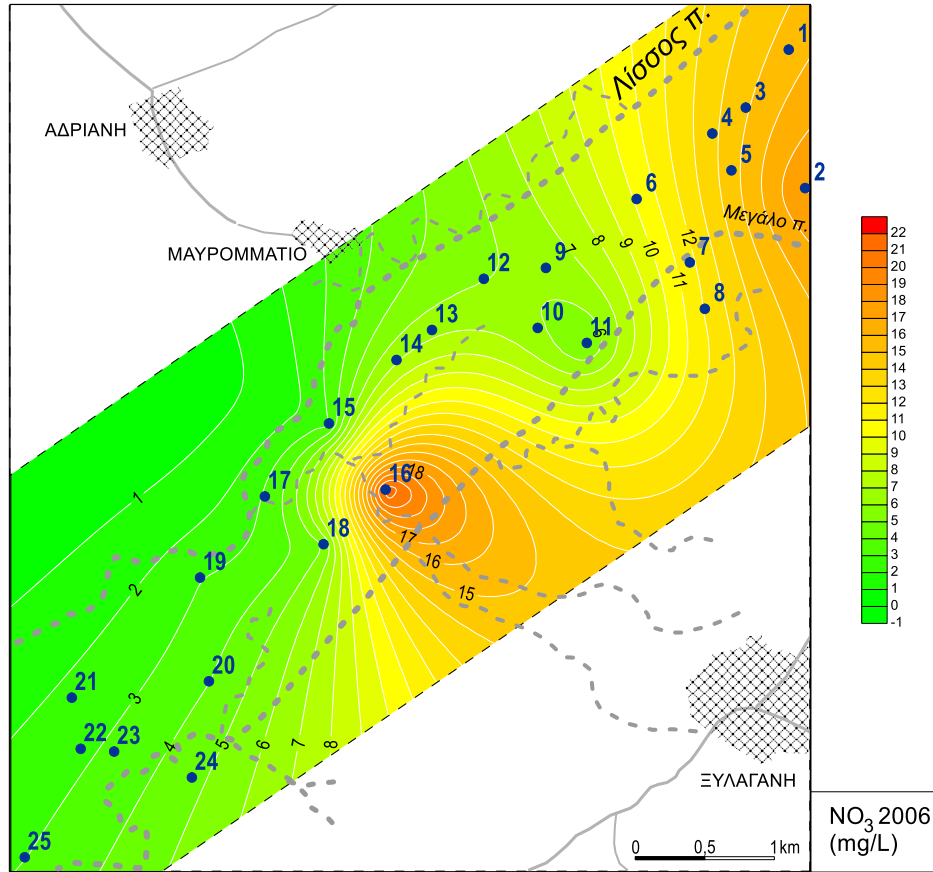


25 γεώτρηση παρακολούθησης

25 γεώτρηση παρακολούθησης



25 γεώτρηση παρακολούθησης



25 γεώτρηση παρακολούθησης

Εκτίμηση της τρωτότητας υδροφόρου σε θαλάσσια διείσδυση με τη χρήση της μεθόδου GALDIT

Groundwater Occurrence (Παρουσία του υπόγειου νερού - τύπος υδροφόρου, ελεύθερος, υπό πίεση υδροφόρος, υδροφόρος με διαρροή)

Aquifer Hydraulic Conductivity (Υδραυλική αγωγιμότητα υδροφόρου)

Height of Groundwater **L**evel above Sea Level (Υδραυλικό φορτίο του γλυκού υπόγειου νερού πάνω από τη στάθμη της θάλασσας)

Distance from the Shore (distance inland perpendicular from shoreline). (Απόσταση από την ακτή μετρημένη κάθετα προς την ακτογραμμή)

Impact of existing status of seawater intrusion in the area (Επιπτώσεις της υφιστάμενης κατάστασης της θαλάσσιας διείσδυσης στην περιοχή)

Thickness of the aquifer, which is being mapped (Πάχος του υδροφόρου, ο οποίος χαρτογραφείται)

Δείκτης	Βαρύτητα	Μεταβλητές του δείκτη	Βαθμονόμηση
Παρουσία υπόγειου νερού / Τύπος υδροφόρου (<u>G</u> roundwater Occurrence - Aquifer Type)	1	Υπό πίεση υδροφόρος	10
		Ελεύθερος υδροφόρος	7,5
		Υπό πίεση με διαρροές υδροφόρος	5
		Περιορισμένος πλευρικά υδροφόρος (εμπλουτισμός ή/και αδιαπέρατο όριο παράλληλο με την ακτογραμμή)	2,5

Δείκτης (m/day)	Βαρύτητα	Μεταβλητές του δείκτη		Βαθμονόμηση
		Χαρακτηρισμός υδραυλικής αγωγιμότητας	Διακύμανση (m/day)	
Υδραυλική Αγωγιμότητα Υδροφόρου (<u>A</u> quifer Hydraulic Conductivity)	3	Υψηλή	>40	10
		Μέση	10-40	7,5
		Χαμηλή	5-10	5
		Πολύ χαμηλή	<5	2,5

Δείκτης (m)	Βαρύτητα	Μεταβλητές του δείκτη		Βαθμονόμηση
		Χαρακτηρισμός φορτίου	Διακύμανση (m)	
Φορτίο της στάθμης του υπόγειου νερού πάνω από τη μέση στάθμη της θάλασσας (Height of Groundwater <u>L</u> evel above Mean Sea Level)	4	Υψηλό	<1,0	10
		Μέσο	1,0-1,5	7,5
		Χαμηλό	1,5-2,0	5
		Πολύ χαμηλό	>2,0	2,5

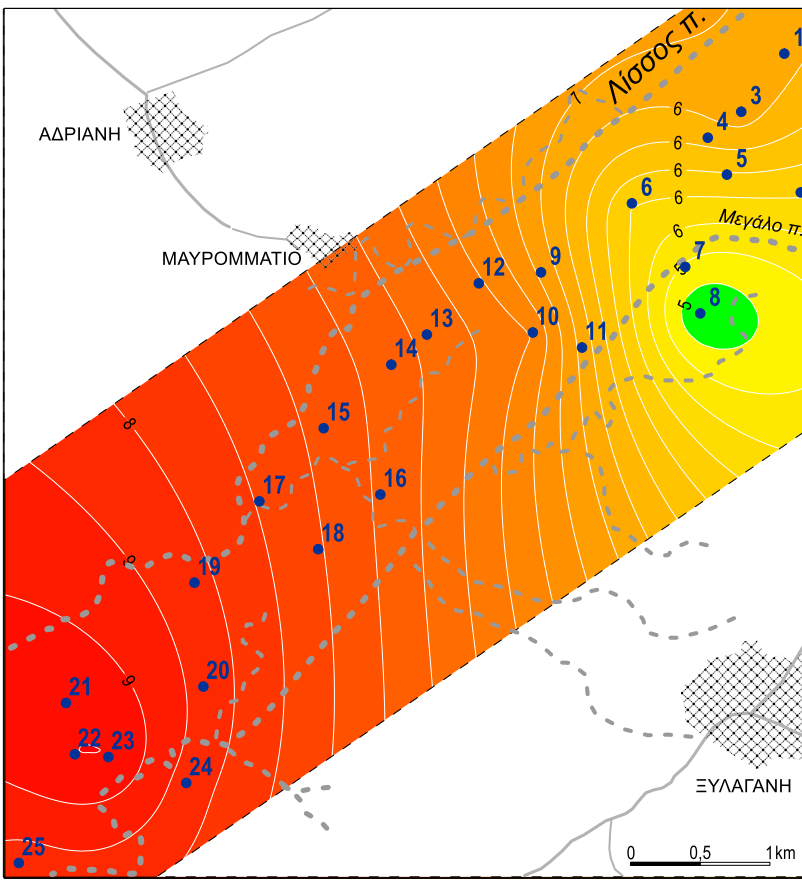
Δείκτης (m)	Βαρύτητα	Μεταβλητές του δείκτη		Βαθμονόμηση
		Χαρακτηρισμός απόστασης	Διακύμανση (m)	
Απόσταση από την ακτή / υψηλή στάθμη παλίρροιας (<u>D</u> istance from shore / High Tide)	4	Πολύ μικρή	<500	10
		Μικρή	500-750	7,5
		Μεσαία	750-1000	5
		Μεγάλη	>1000	2,5

Δείκτης Cl ⁻ / [HCO ₃ ⁻¹ + CO ₃ ²⁻]	Βαρύτητα	Μεταβλητές του δείκτη		Βαθμονόμηση
		Χαρακτηρισμός επίδρασης	Διακύμανση Cl ⁻ / [HCO ₃ ⁻¹ + CO ₃ ²⁻]	
Επίδραση της διείσδυσης του θαλασσινού νερού (Impact status of existing seawater intrusion)	1	Υψηλή	>2	10
		Μέση	1,5-2,0	7,5
		Χαμηλή	1-1,5	5
		Πολύ χαμηλή	<1	2,5

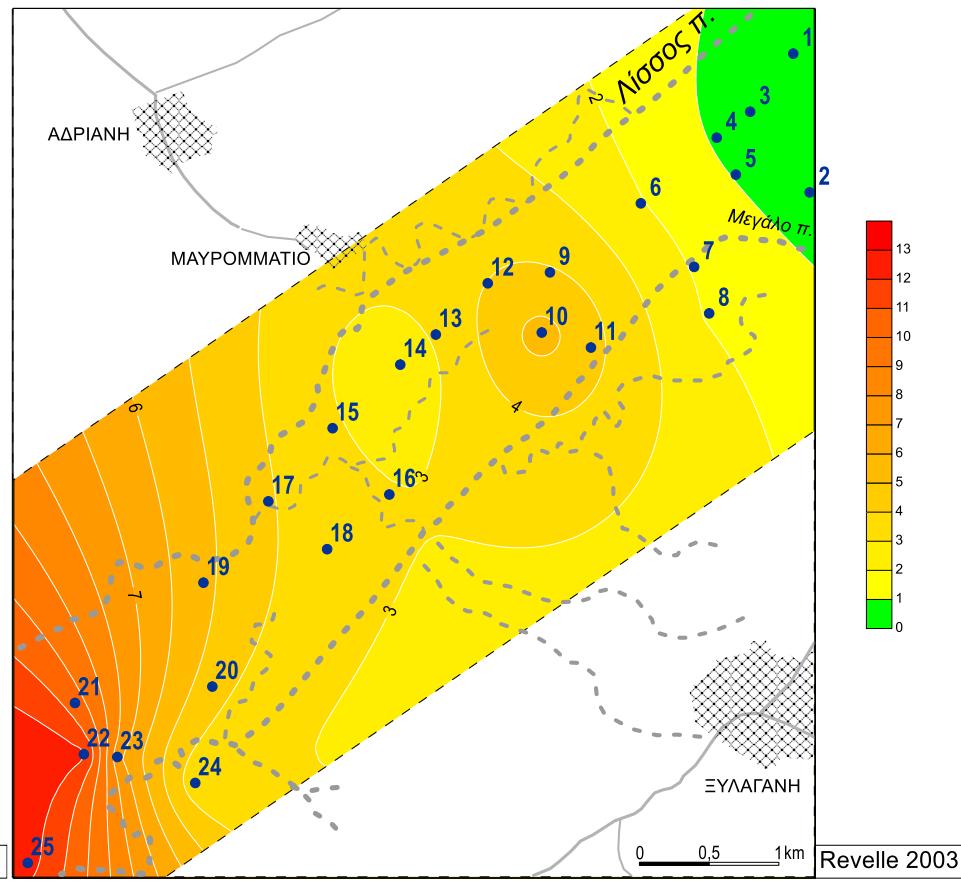
	δείκτης GALDIT	Τρωτότητα
1	> 7,5	Υψηλή
2	5 – 7,5	Μέση
3	< 5	Χαμηλή

$$\text{GALDIT – Index} = \frac{\sum_{i=1}^6 \{(W_i)R_i\}}{\sum_{i=1}^6 W_i}$$

Δείκτης (m)	Βαρύτητα	Μεταβλητές του δείκτη		Βαθμονόμηση
		Χαρακτηρισμός πάχους	Διακύμανση (m)	
Πάχος Υδροφόρου (κορεσμένου) (Aquifer thickness (saturated))	2	Μεγάλο	>10	10
		Μέσο	7,5-10	7,5
		Μικρό	5-7,5	5
		Πολύ μικρό	<5	2,5



GVI 2003



Revelle 2003

25 γεώτρηση παρακολούθησης

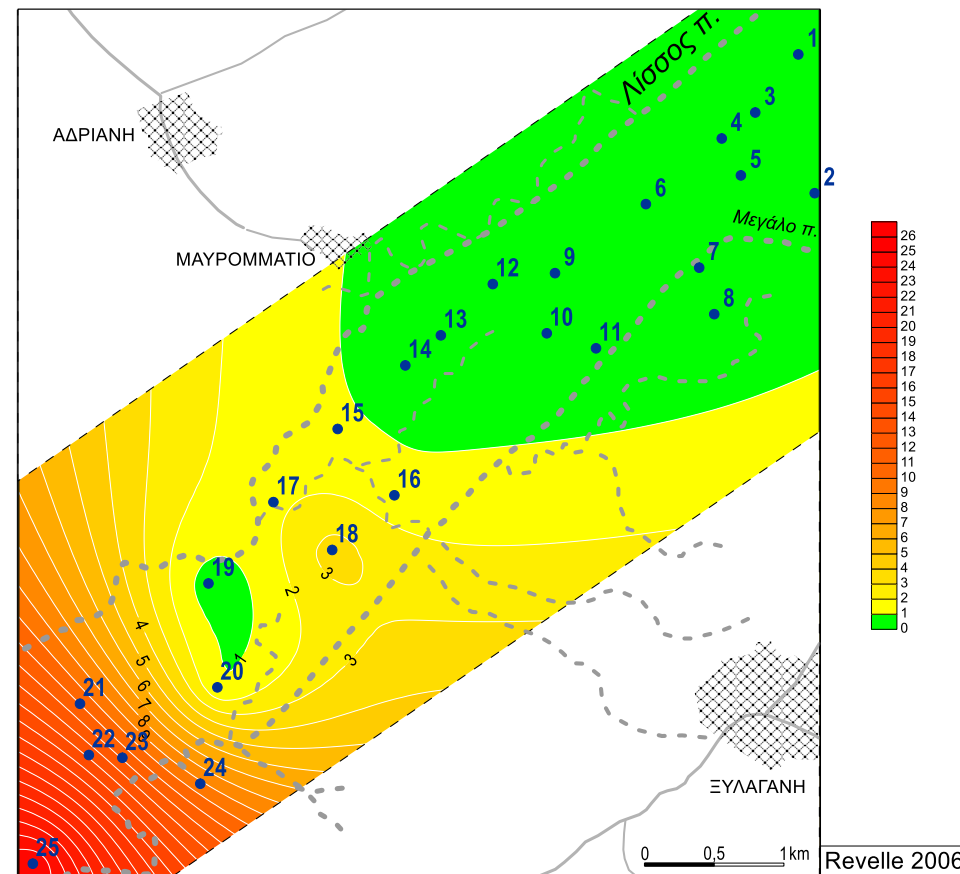
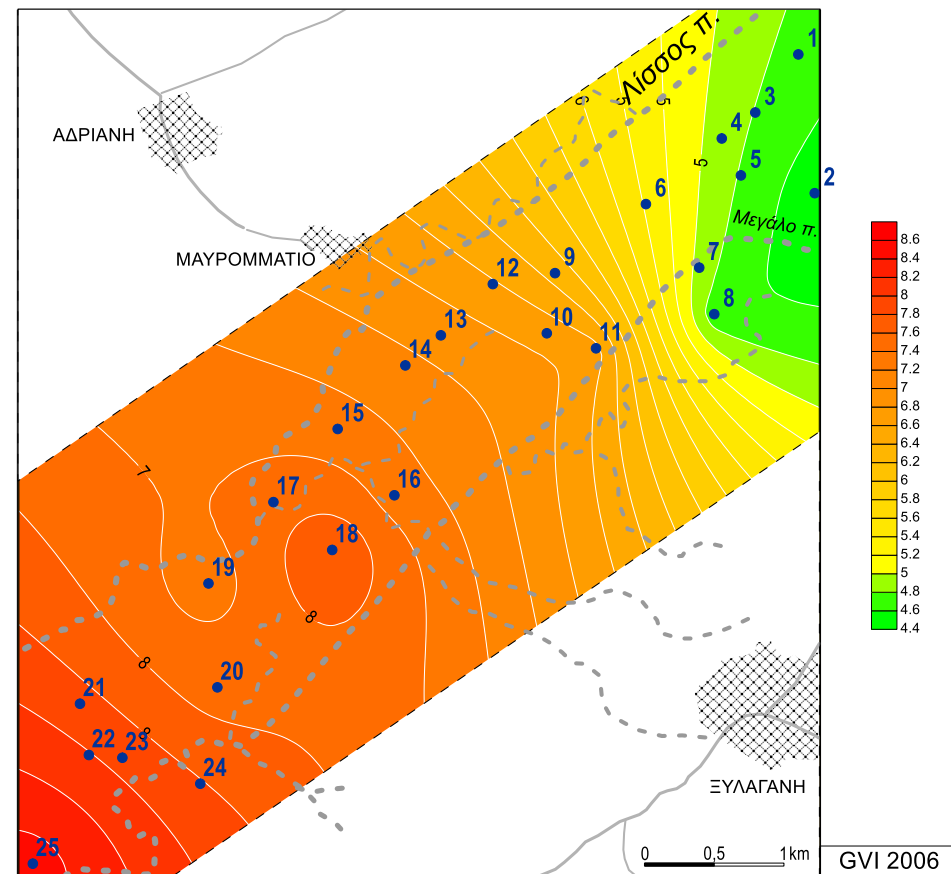
25 γεώτρηση παρακολούθησης

$$Re\ velle, R = \frac{[Cl]}{[CO_3] + [HCO_3]}$$

concentrations in meq/L

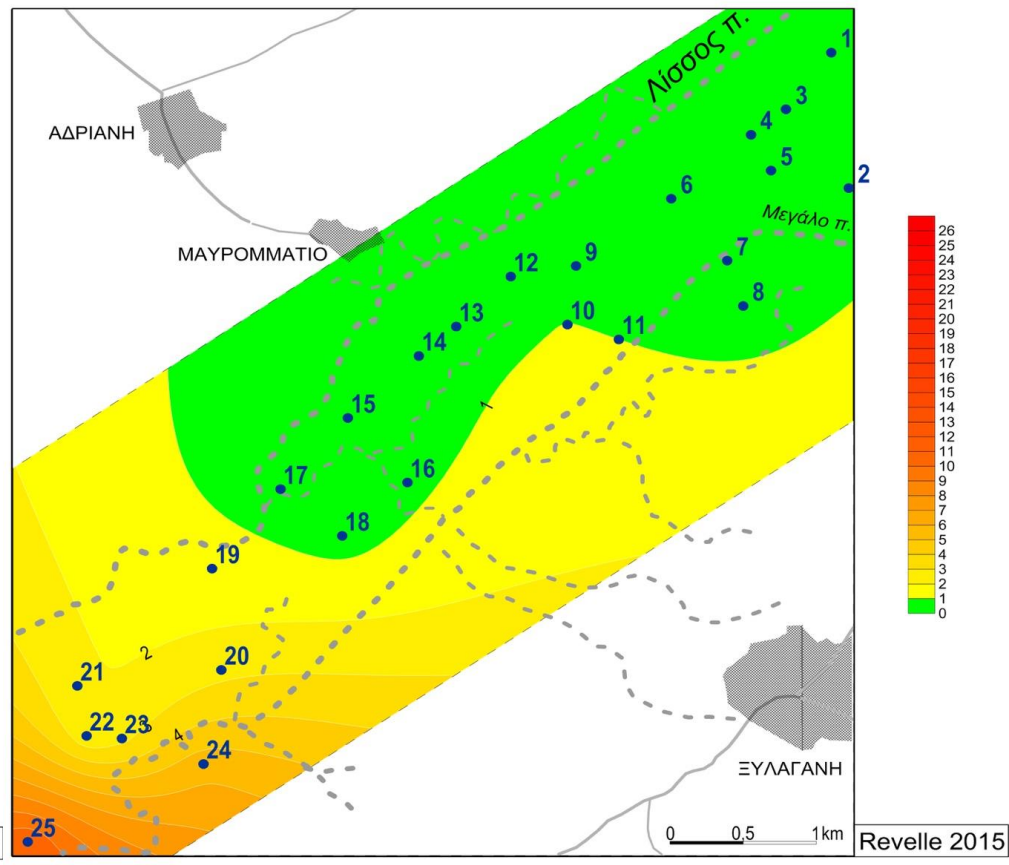
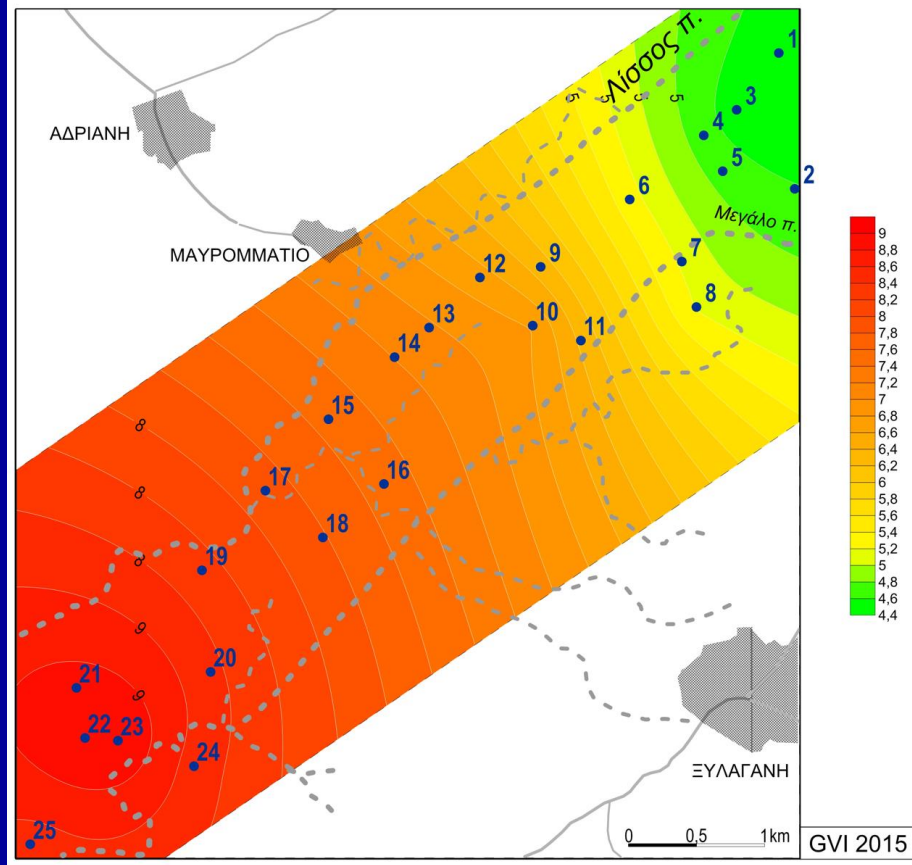
Συντελεστής Revelle	Χαρακτηρισμός νερού
Προτεινόμενο όριο	
< 1	Καλό υπόγειο νερό χωρίς ρύπανση από θάλασσα
1 - 2.	Ελαφρά ρυπασμένο νερό
2 - 6.	Μέτρια ρυπασμένο νερό
6 - 10.	Σοβαρά ρυπασμένο νερό
10 - 150.	Επικίνδυνα ρυπασμένο νερό
> 150	Θαλασσινό νερό

(Kallioras et al., 2011, Pliakas et al., 2007b)



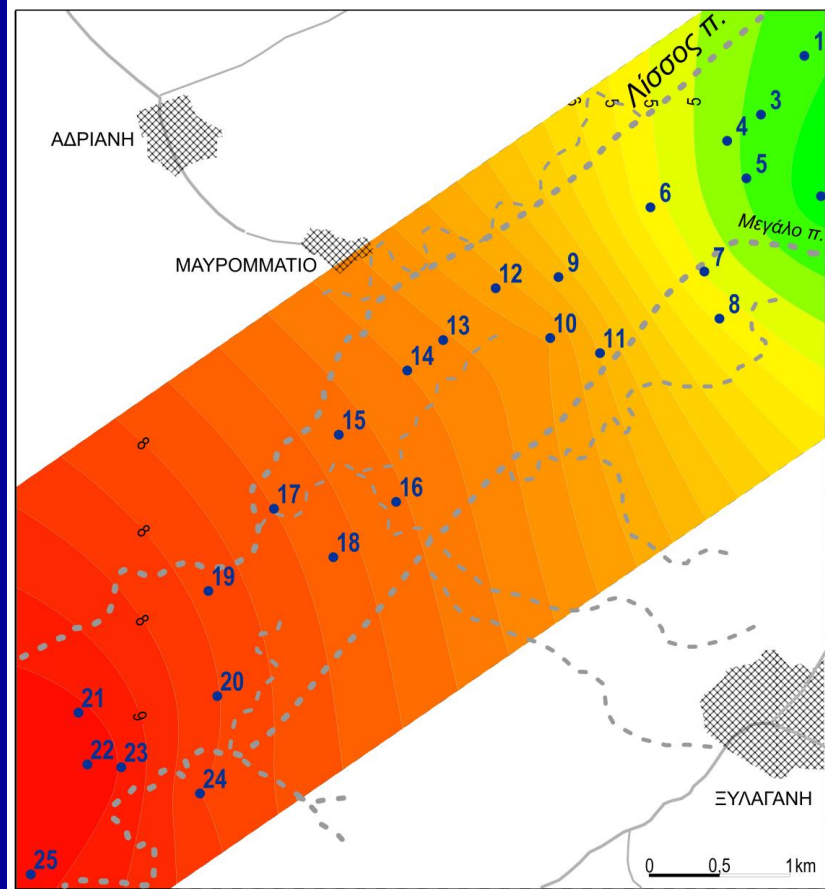
25 γεώτρηση παρακολούθησης

25 γεώτρηση παρακολούθησης

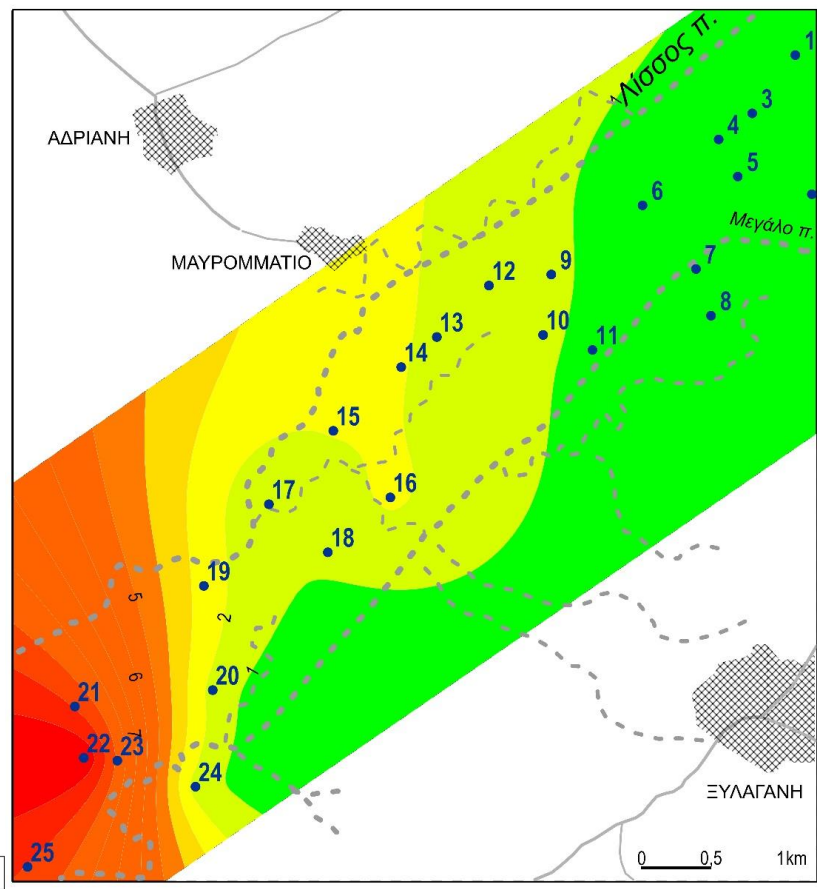


25 γεώτρηση παρακολούθησης

25 γεώτρηση παρακολούθησης



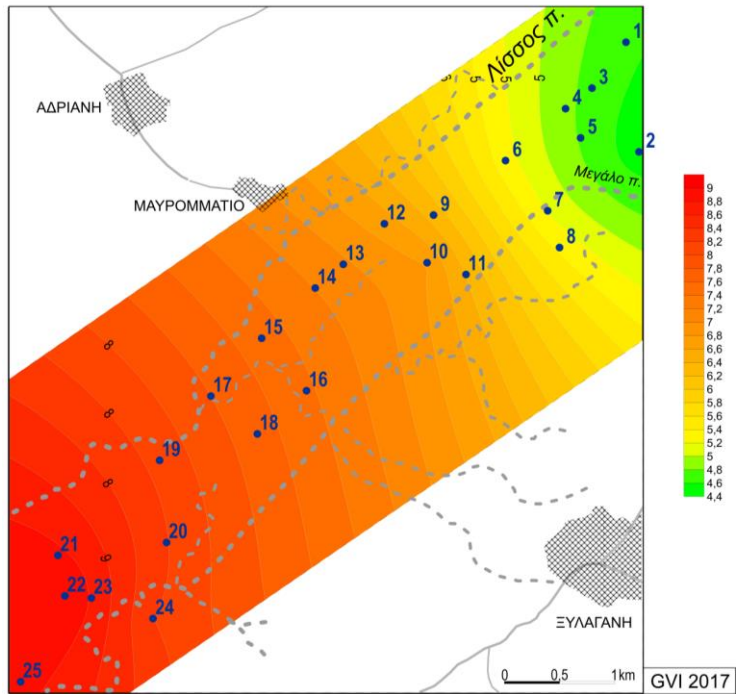
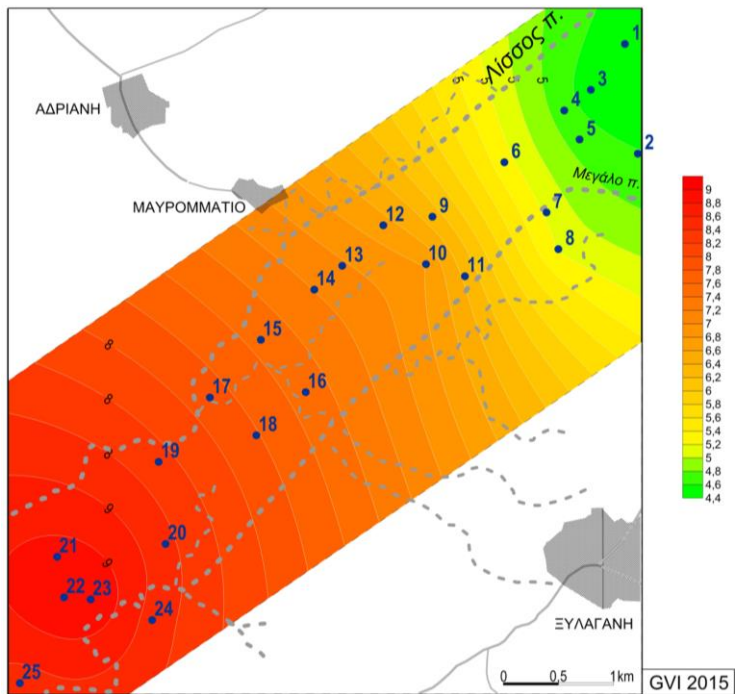
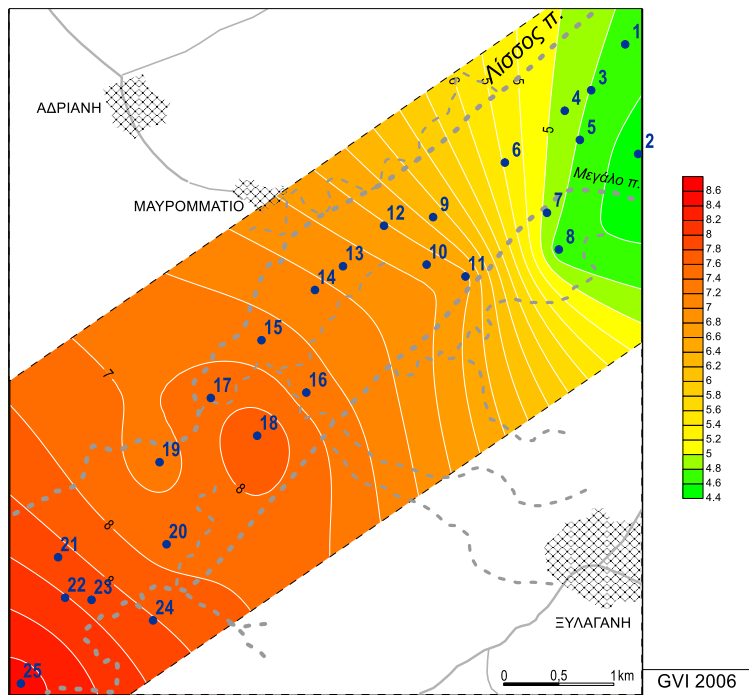
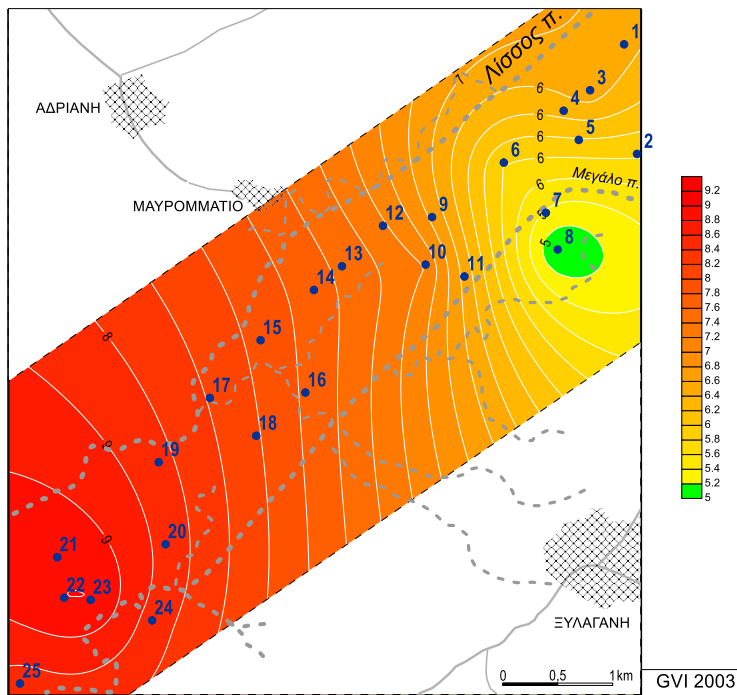
GVI 2017



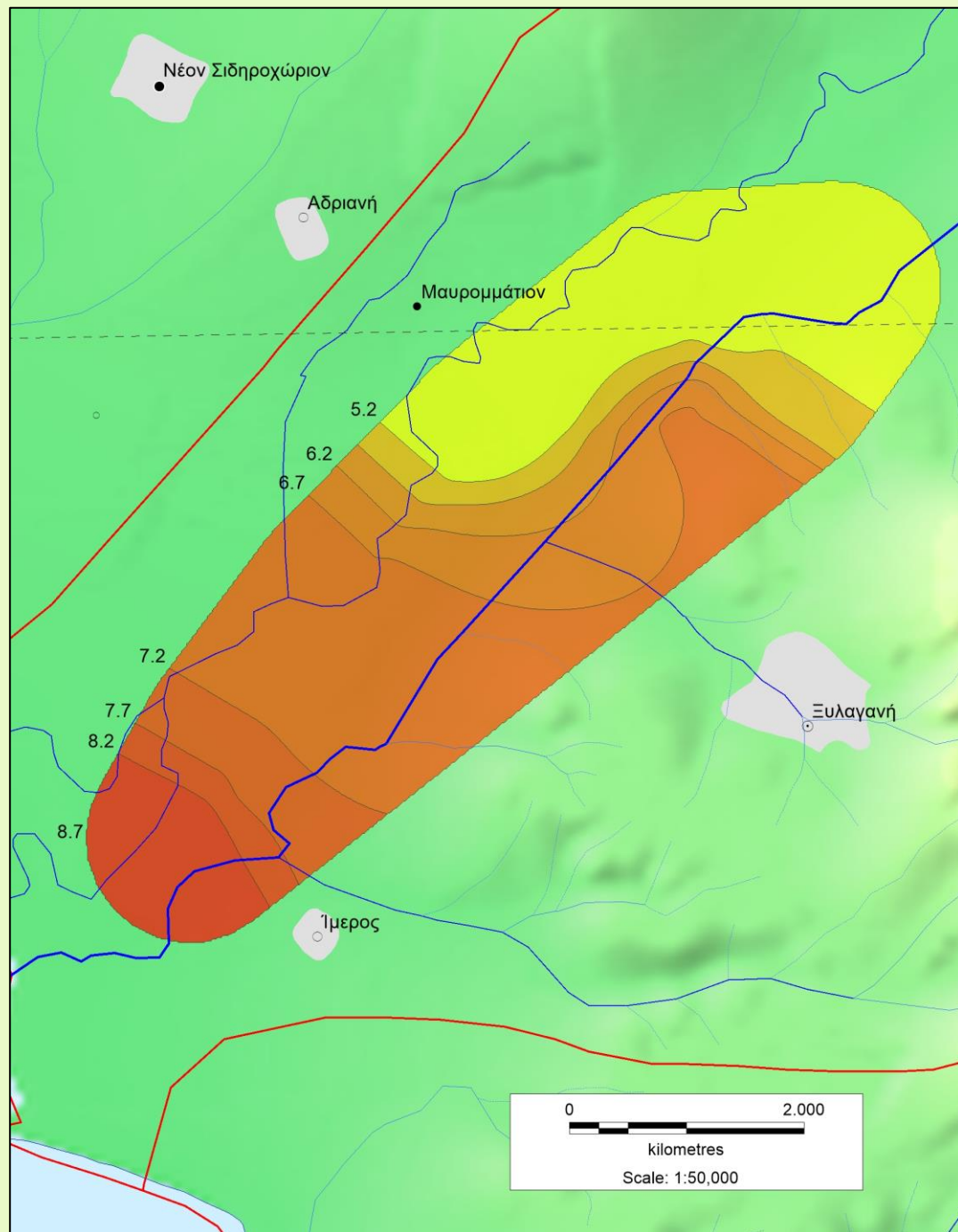
Revelle 2017

25 γεώτρηση παρακολούθησης

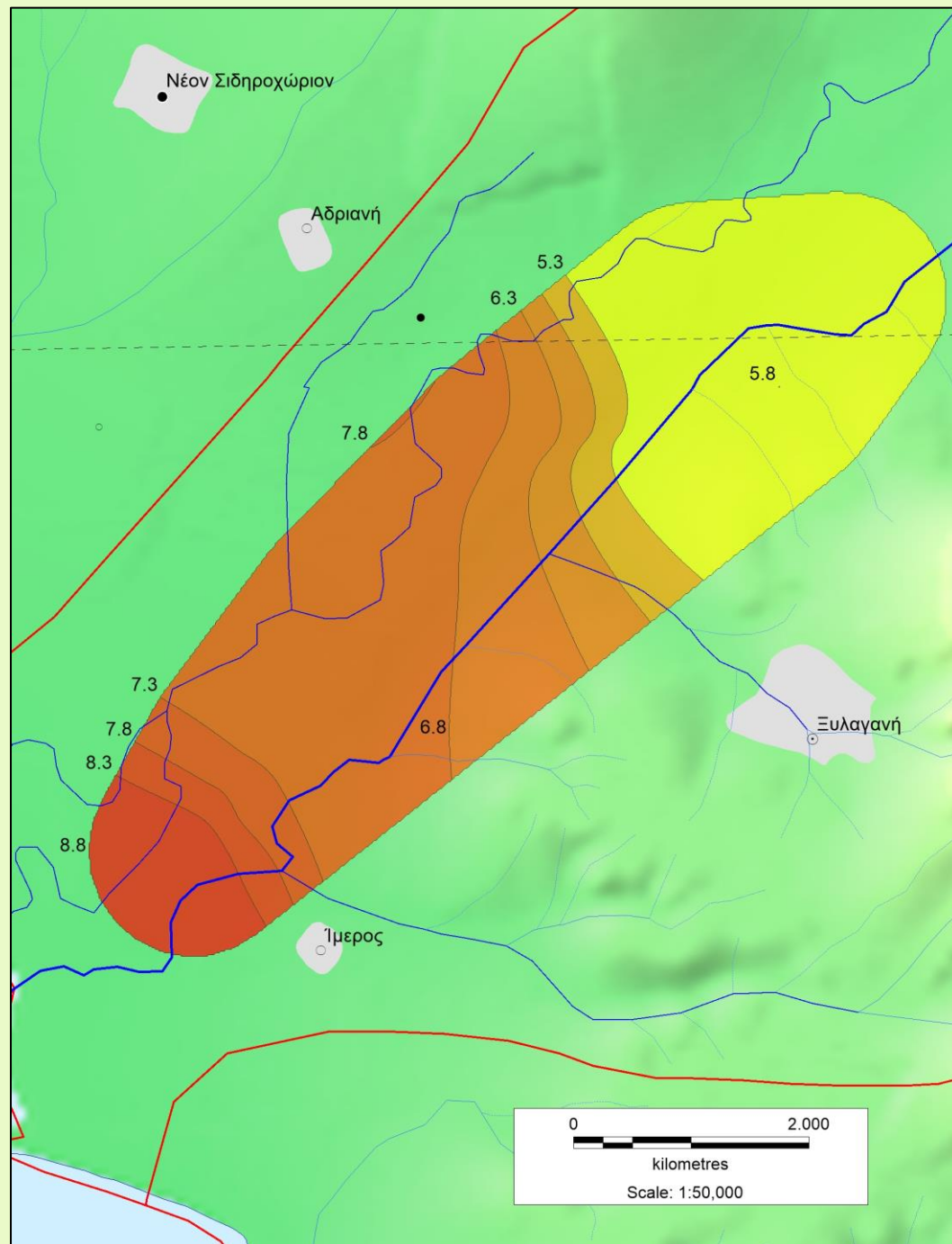
25 γεώτρηση παρακολούθησης



Κατανομή του δείκτη τρωτότητας
(GVI) του υδροφορέα της
περιοχής έρευνας (Ιούλιος 2021)
(Λάππα, 2022).



Κατανομή του δείκτη τρωτότητας
(GVI) του υδροφορέα της περιοχής
έρευνας (Οκτώβριος 2021)
(Λάππα, 2022).



Μέθοδος SITE

Ο όρος **SITE** είναι ακρωνύμιο των:

- **(S)** Surface area of groundwater affected by salinization (Επιφανειακή έκταση υφαλμυρισμένου υπόγειου νερού)
- **(I)** Intensity of the intrusion (Ένταση διείσδυσης)
- **(T)** Temporality or seasonality (Χρονικότητα ή εποχικότητα)
- **(E)** Evolution of seawater intrusion (Εξέλιξη θαλάσσιας διείσδυσης)

Μέθοδος SIVI

Ο όρος **SIVI** (**Seawater Intrusion Vulnerability Index**) εξαρτάται από τις εξής παραμέτρους:

- **(S)** Surface area of groundwater affected by salinization (Επιφανειακή έκταση υφαλμυρισμένου υπόγειου νερού)
- **(I)** Intensity of the intrusion (Ένταση διείσδυσης)
- **(T)** Temporality or seasonality (Χρονικότητα ή εποχικότητα)
- **(E)** Evolution of seawater intrusion (Εξέλιξη θαλάσσιας διείσδυσης)
- **(A)** Aquifer type (Τύπος υδροφορέα)
- **(C)** Hydraulic conductivity (Υδραυλική αγωγιμότητα)
- **(H)** Height of groundwater level above sea elevation (Υψόμετρο στάθμης υπόγειου νερού)
- **(D)** Distance from shoreline (Απόσταση από την ακτογραμμή)

Τυπολόγιο παραμέτρων μεθόδου SIVI

$$S = \frac{S_a}{S_t}$$

$$I = \frac{\sum S_{i(>vr)} Cl_{i(>vr)}}{S_a}$$

$$T_0(\text{mg/L}) = \frac{\frac{1}{n} \sum_{x=1}^n f(x) - \bar{f}}{\bar{f}}$$

$$T (\text{mg/L}) = 1,25 \times T_0$$

$$E = \frac{\overline{Cl}_n}{\overline{Cl}_{n-1}}$$

$$C = \frac{S_b}{S_t}$$

$$H = \frac{S_c}{S_t}$$

$$D = \frac{S_d}{S_t}$$

Βαθμονόμηση κάθε παραμέτρου

Χαρακτηρισμός των τιμών S, I, T, E, A, C, H, D

(Ballesteros et al, 2016, Zeinolabedin and Ghiassi, 2019)

Παράμετρος	Πεδίο τιμών	Χαρακτηρισμός	Αριθμητικός κωδικός	Αλφαριθμητικός κωδικός
S	0,00 – 0,10	Πολύ χαμηλή (Very low / Null)	0	N
	0,11 – 0,25	Χαμηλή (Low)	1	L
	0,26 – 0,50	Μέτρια (Moderate)	2	M
	0,51 – 0,75	Υψηλή (High)	3	H
	0,76 – 1,00	Εξαιρετικά υψηλή (Extreme)	4	E
I (mg/L)	≤ 250	Πολύ χαμηλή (Very low / Null)	0	N
	251 - 500	Χαμηλή (Low)	1	L
	501 - 1000	Μέτρια (Moderate)	2	M
	1001 - 2000	Υψηλή (High)	3	H
	> 2000	Εξαιρετικά υψηλή (Extreme)	4	E
T	0,00 – 0,10	Πολύ χαμηλή (Very low / Null)	0	N
	0,11 – 0,20	Χαμηλή (Low)	1	L
	0,21 – 0,30	Μέτρια (Moderate)	2	M
	0,31 – 0,40	Υψηλή (High)	3	H
	> 0,40	Εξαιρετικά υψηλή (Extreme)	4	E
E	< 0,85	Σημαντική ανάκαμψη (Significant recovery)	-2	-2
	0,85 – 0,97	Μέτρια ανάκαμψη (Moderate recovery)	-1	-1
	0,98 – 1,02	Σταθερή (Stable)	0	0
	1,03 – 1,15	Μέτρια επιδείνωση (Moderate deterioration)	1	1
	> 1,15	Σημαντική επιδείνωση (Significant deterioration)	2	2
A	Περιορισμένος υδροφορέας	Χαμηλή (Low)	1	
	Υδροφορέας με διαρροή	Μέτρια (Moderate)	2	
	Ελεύθερος υδροφορέας	Υψηλή (High)	3	
	Υπό πίεση υδροφορέας	Εξαιρετικά υψηλή (Extreme)	4	
C	0,00 – 0,10	Πολύ χαμηλή (Very low)	0	
	0,11 – 0,25	Χαμηλή (Low)	1	
	0,26 – 0,50	Μέτρια (Moderate)	2	
	0,51 – 0,75	Υψηλή (High)	3	
	0,76 – 1,00	Εξαιρετικά υψηλή (Extreme)	4	
H	0,00 – 0,10	Πολύ χαμηλή (Very low)	0	
	0,11 – 0,25	Χαμηλή (Low)	1	
	0,26 – 0,50	Μέτρια (Moderate)	2	
	0,51 – 0,75	Υψηλή (High)	3	
	0,76 – 1,00	Εξαιρετικά υψηλή (Extreme)	4	
D	0,00 – 0,10	Πολύ μικρή (Very small)	-2	
	0,11 – 0,25	Μικρή (Small)	-1	
	0,26 – 0,50	Μεσαία (Medium)	0	
	0,51 – 0,75	Μακρινή (Far)	1	
	0,76 – 1,00	Πολύ μακρινή (Very far)	2	

Δείκτες SIVI και SITE

$$\text{SIVI index} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{av i}}{28}$$

(Zeynolabedin and Ghiassi, 2019)

$$\text{SITEvalue} = \frac{3S + 3(S/4)I + T + E}{30}$$

(Ballesteros et al, 2016)

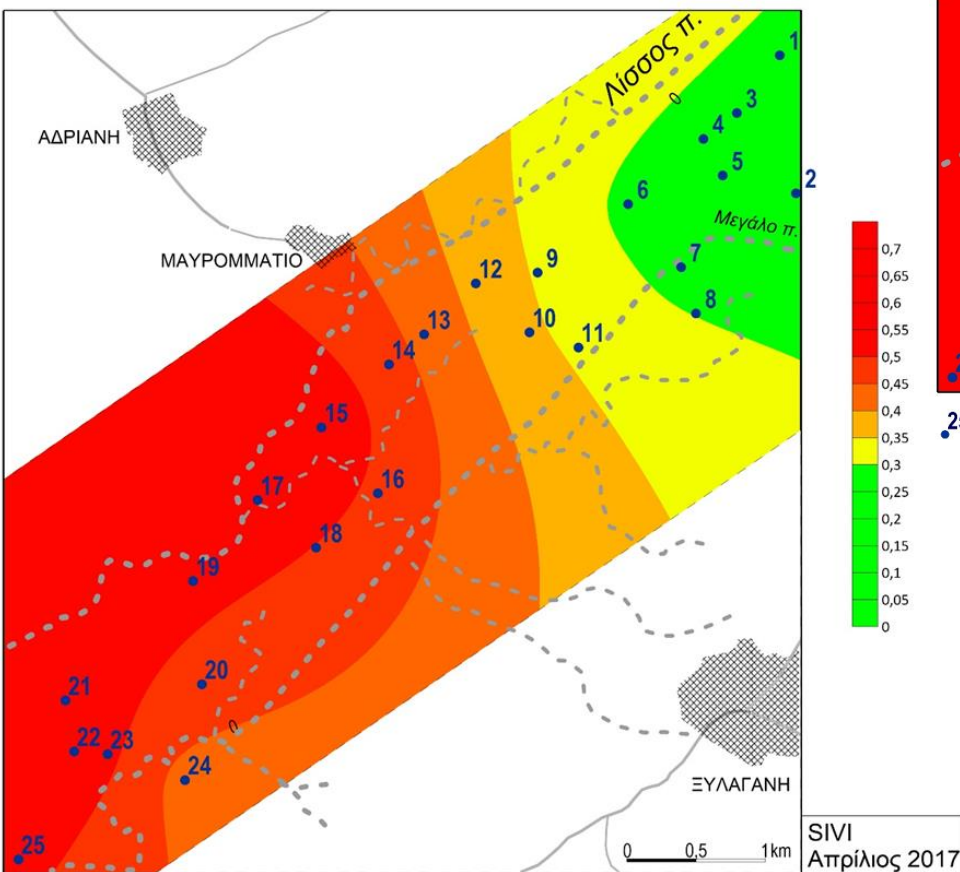
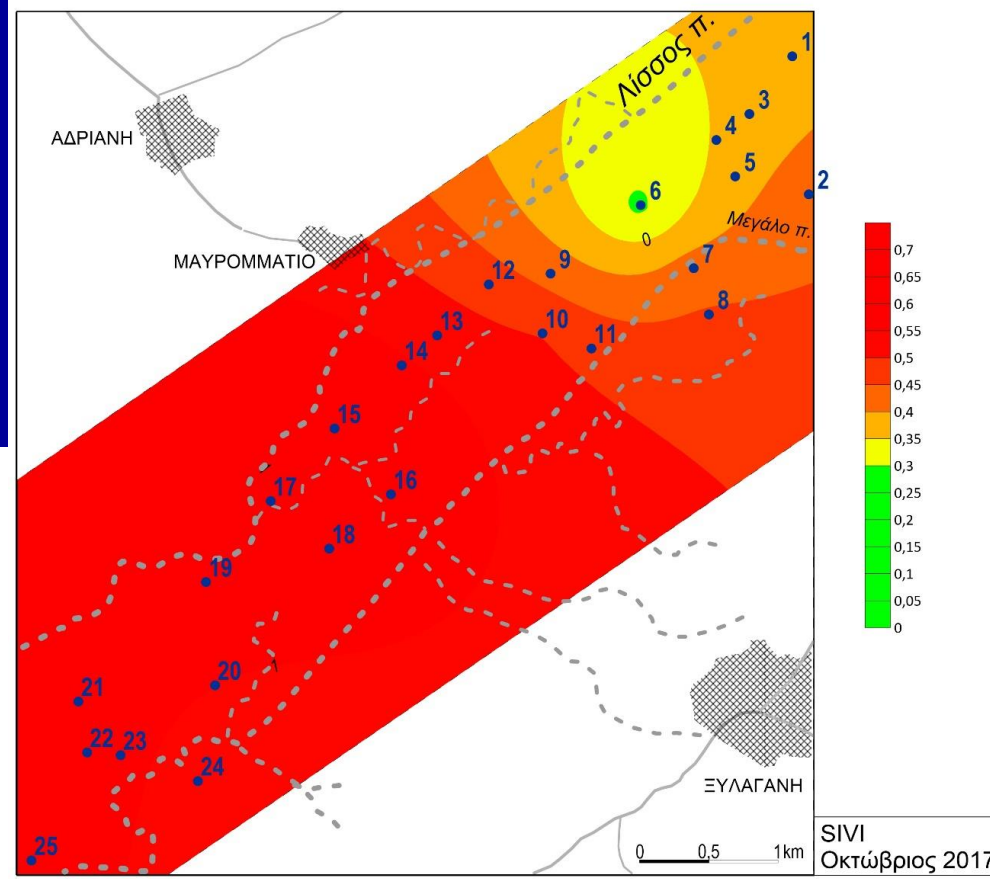
Κατάσταση διείδυσης με βάση την τιμή του SITE index (Ballesteros et al, 2016)

Τιμές δείκτη SITE	Κατάσταση διείδυσης
$\leq 0,10$	Πολύ χαμηλή (Very low)
0,11 – 0,25	Χαμηλή (Low)
0,26 – 0,50	Μέτρια (Moderate)
0,51 – 0,75	Υψηλή (High)
0,76 – 1,00	Εξαιρετικά υψηλή (Extreme)

όπου P_{avi} είναι η αντιστοιχισμένη τιμή (assigned value) της i παραμέτρου

Υπολογισμός των τιμών των δεικτών SITE και SIVI για την περιοχή έρευνας

	Υπολογισμένη τιμή (Calculated value)	Αντιστοιχισμένη τιμή (Assigned value)	Χαρακτηρισμός
S	0,525	3	High
I	997,21	2	Moderate
T	0,181	1	Low
E	0,821	-2	Significant recovery
A	Μερικώς υπό πίεση υδροφορέας	4	Extreme
C	0,709	3	High
H (Απρίλιος 2017)	0,342	2	Moderate
H (Οκτώβριος 2017)	0,908	4	Extreme
D	1	2	Very far
SITE value		0,417	Moderate
SIVI Index		0,679	High



25 γεώτρηση παρακολούθησης

25 γεώτρηση παρακολούθησης

(Ζάχαρης, 2021)

ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

- Άμεση κατασκευή αναβαθμών κατάντη του ήδη υπάρχοντος, προς τη θάλασσα
- Εκπόνηση ειδικής μελέτης, όπου θα χαρτογραφηθούν επακριβώς τα τμήματα κυρίως του ποταμού, όπου παρατηρείται είσοδος του αλμυρού νερού στον υδροφόρο και θα προταθούν συγκεκριμένες τεχνικές παρεμπόδισης της θαλάσσιας διείσδυσης με ειδικούς φραγμούς σε επίμαχα σημεία
- Κατασκευή καναλιών, που θα επιτρέπουν στο αλμυρό νερό να μεταναστεύει προς επιλεγμένες περιοχές της ενδοχώρας
- Εξασφάλιση εναλλακτικών πηγών διάθεσης νερού
- Πολιτική για το πρόβλημα των εγκαταλελειμμένων γεωτρήσεων
- Θέσπιση συγκεκριμένου οργανωμένου σχεδίου άντλησης για όλη την περιοχή με στόχο τον έλεγχο και τον προγραμματισμό των αντλήσεων έτσι ώστε οι στάθμες να διατηρούνται σε σχετικά υψηλά επίπεδα.

ΔΥΤΙΚΟ ΠΕΔΙΝΟ ΠΑΡΑΚΤΙΟ ΤΜΗΜΑ ΤΟΥ Ν. ΡΟΔΟΠΗΣ

- Στο τμήμα μεταξύ των λιμνών Ισμαρίδας και Βιστωνίδας αναπτύσσεται αξιόλογο υπό πίεση υδροφόρο σύστημα
- Στον υπό πίεση υδροφόρο η διείσδυση συμβαίνει κυρίως στο στόμιο της Βιστωνίδας
- Επίσης, η περιοχή χαρακτηρίζεται από την παρουσία εγκλωβισμένων αλμυρών του παρελθόντος, όπως φανερώνει και η κατανομή του χλωρίου σε περιοχές ανεπηρέαστες από τη διείσδυση της θάλασσας, όπως π.χ. η περιοχή της Νέας Καλλιόστης



ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΚΑΙ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

- Από τα δυτικά προς τα ανατολικά έχουμε μεγαλύτερη άνοδο των μειοκαινικών στρωμάτων. Ο άξονας από χονδρόκοκκα υλικά που παρατηρείται παράλληλα προς το Βοσβόζη και δυτικά αυτού είναι παλιότερης ηλικίας από τον κύριο άξονα που παρατηρείται στην περιοχή Πόρρης – Μέσης.
- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ: ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΥΔΡΟΦΟΡΙΑΣ ΑΠΟ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΗΣ ΗΛΙΚΙΑΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥΣ.
- Η ευρύτερη περιοχή έρευνας χαρακτηρίζεται από γεωμορφολογικής πλευράς από την παρουσία ορεινού και λοφώδους έως ημιλοφώδους ανάγλυφου, που διακόπτεται κατά διαστήματα από πεδινές ζώνες.

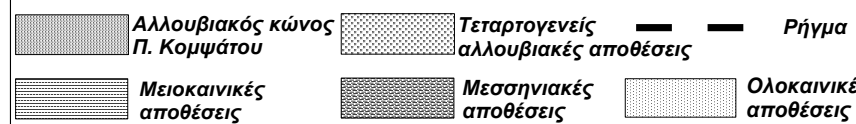
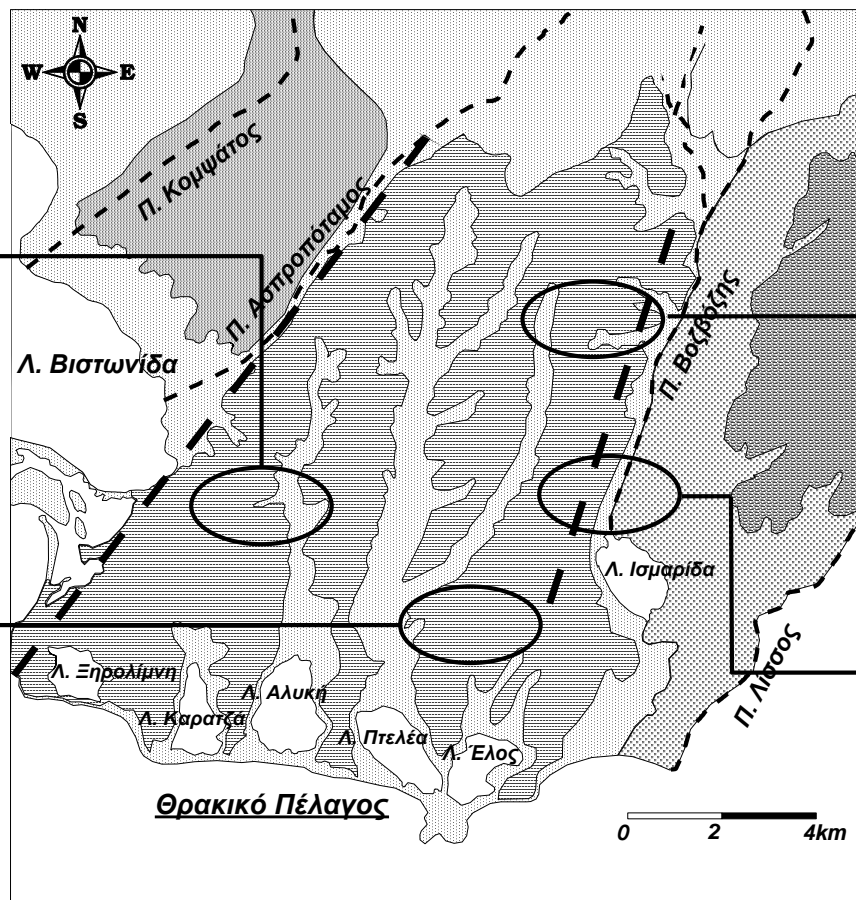




Τομή περιοχής Γλυκονερίου



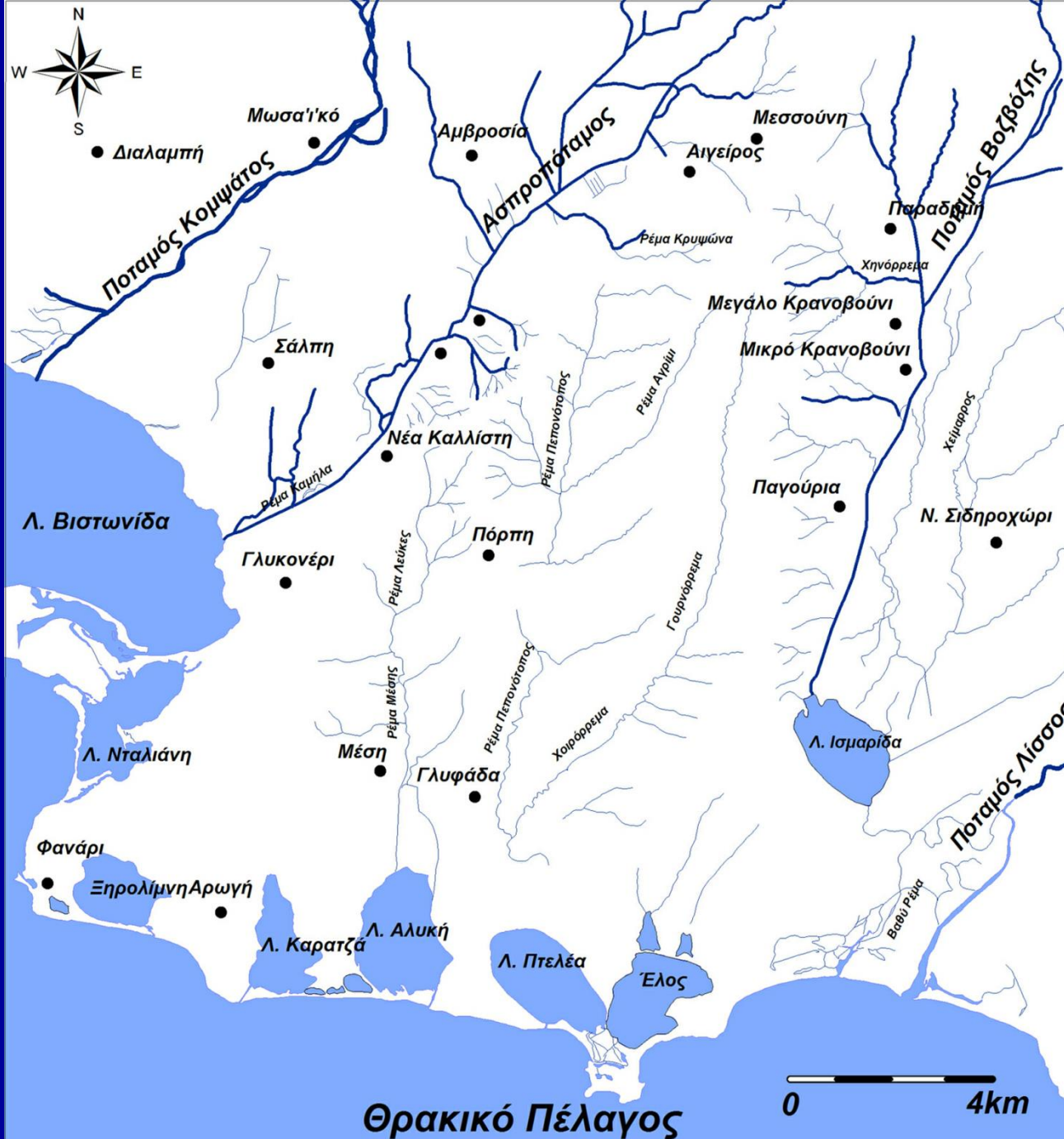
Τομή περιοχής Γλυφάδας



Τομή περιοχής Μ. Κρανοβουνίου



Τομή περιοχής Λ. Ισμαρίδας



(Καλιώρας, 2008)

ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

- Στα Άνω-Μειοκαινικά χονδρόκοκκα ιζήματα σχηματίζεται ένας πολύ σημαντικός υδροφόρος ορίζοντας υπό πίεση, ο οποίος στη βάση του αλλά και πλευρικά οριοθετείται από την παρουσία της μειοκαινικής γκριζοπράσινης αργίλου.
- Ο κύριος όγκος του αποτελείται από ένα και συνήθως δύο και τρία στρώματα σημαντικού πάχους τα οποία βρίσκονται μεταξύ τους σε υδραυλική επικοινωνία. Το πάχος τους ποικίλλει όπως και το βάθος στο οποίο εντοπίζεται το ανώτερο στρώμα.
- Επί μικτού όγκου $9.424 \times 10^6 \text{ m}^3$ (υδροφόρων και στεγανών σχηματισμών) οι υδροφόροι καταλαμβάνουν περίπου $5.201 \times 10^6 \text{ m}^3$, δηλαδή ποσοστό 55,9%.
- Το μέσο πάχος των υδροφόρων της περιοχής είναι 48,1 m.

ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Ο ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΥΔΡΟΦΟΡΩΝ ΕΠΙΤΥΓΧΑΝΕΤΑΙ
ΑΠΟ:

- Άμεση κατείσδυση των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων
- Διηθήσεις από τη ροή ποταμών και χειμάρρων της περιοχής
- Διηθήσεις από το φρέατο υδροφόρο των τεταρτογενών αποθέσεων
- Τροφοδοσία από το νερό της άρδευσης (επιστροφές άρδευσης)
- Πλευρική μετάγγιση από την τεταρτογενή υδροφορία του Κομψάτου.

ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

- Η περιοχή έχει έκταση 120,734 km², ενώ το 80% περίπου αποτελεί αγροτική έκταση η οποία αρδεύεται.
- Η υπερκατανάλωση σε νερό άρδευσης αποτελεί δεδομένο γεγονός, που σε ορισμένες περιπτώσεις ξεπερνά το 10% των πραγματικών αναγκών.



ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΑΝΤΛΗΣΗΣ ΚΑΙ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΣΗΣ

(Καλλιώρας, 2008)



ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΑΝΤΛΗΣΗΣ ΚΑΙ ΚΑΛΙΕΡΓΕΙΕΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΙΣΜΑΡΙΔΑΣ

(Καλλιώρας, 2008)



ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΑΝΤΛΗΣΗΣ ΚΑΙ ΚΑΛΙΕΡΓΕΙΕΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΓΛΥΦΑΔΑΣ

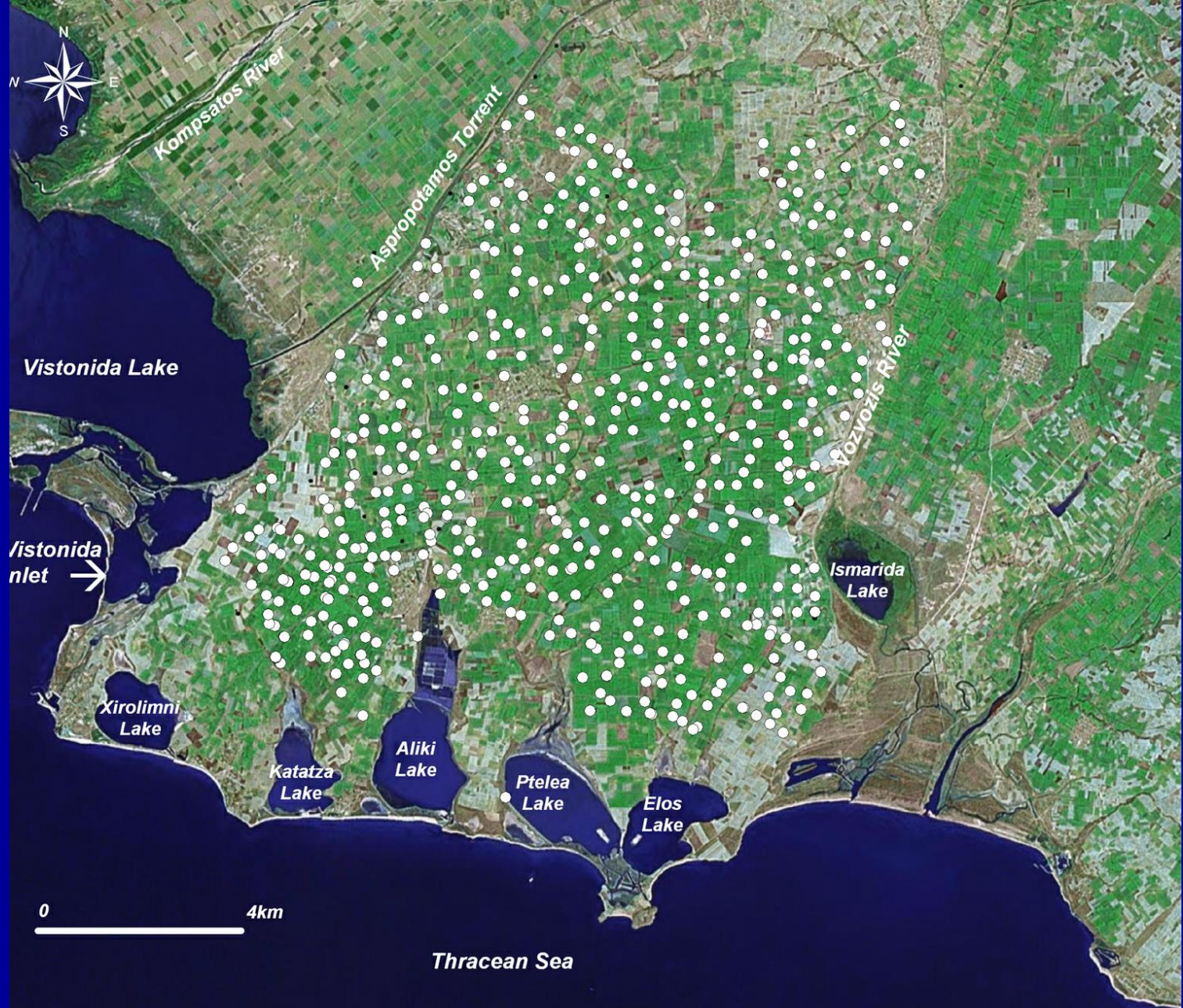
(Καλλιώρας, 2008)



ΣΥΝΕΧΗΣ
ΑΝΟΡΥΞΗ
ΥΔΡΟΓΩΤΡΗΣΕΩΝ
ΟΙ ΟΠΟΙΕΣ
ΔΗΜΙΟΥΡΓΟΥΝΤΑΙ
ΑΠΟ ΕΡΑΣΙΤΕΧΝΕΣ
ΚΑΙ
ΑΣΥΝΕΙΔΗΤΟΥΣ
ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΕΣ

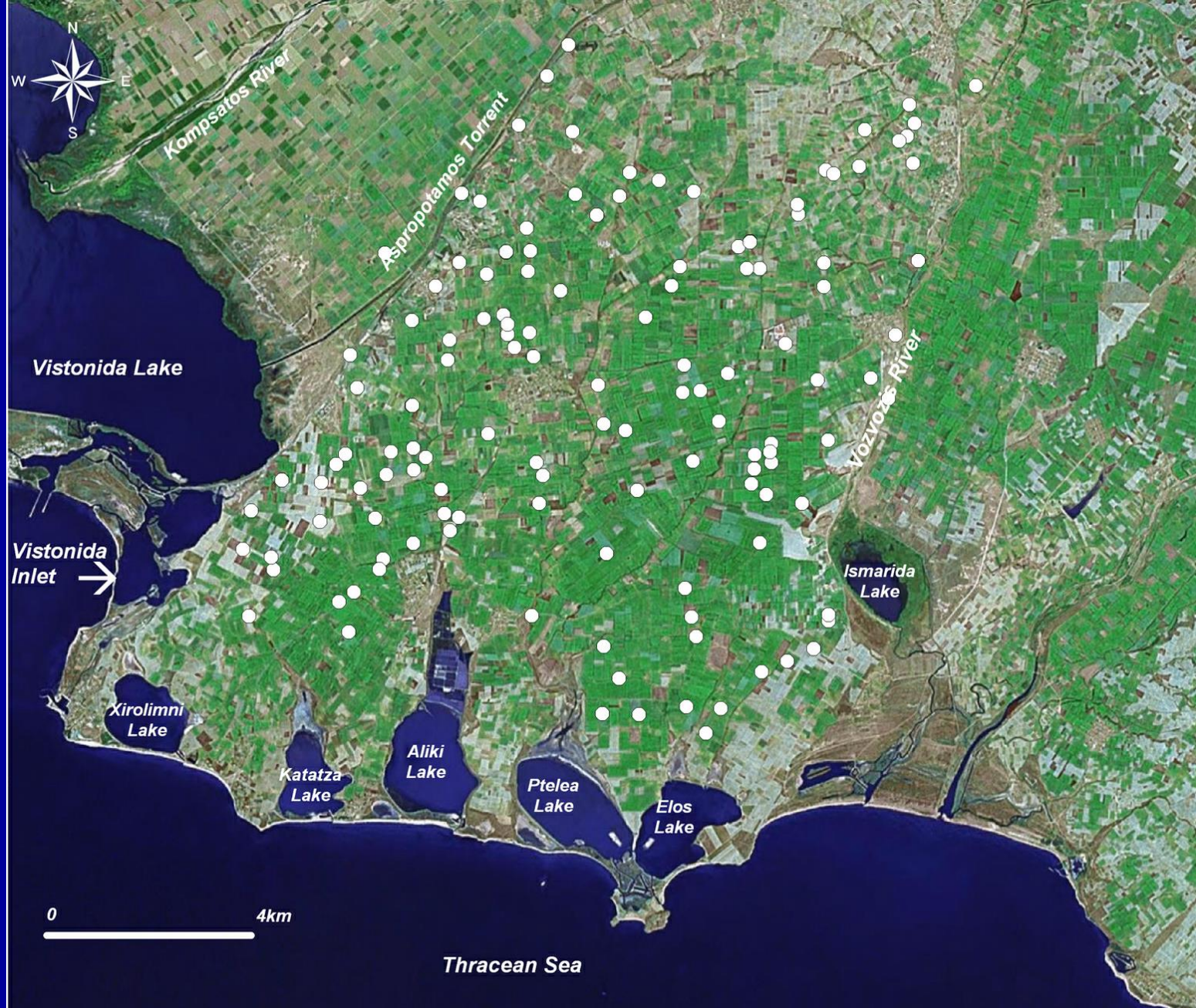


Χάρτης
ισοβαθών
καμπύλων
της
γκριζοπράσι-
νης αργίλου
(υπόβραθο
ή πυθμένας
υδροφόρου)



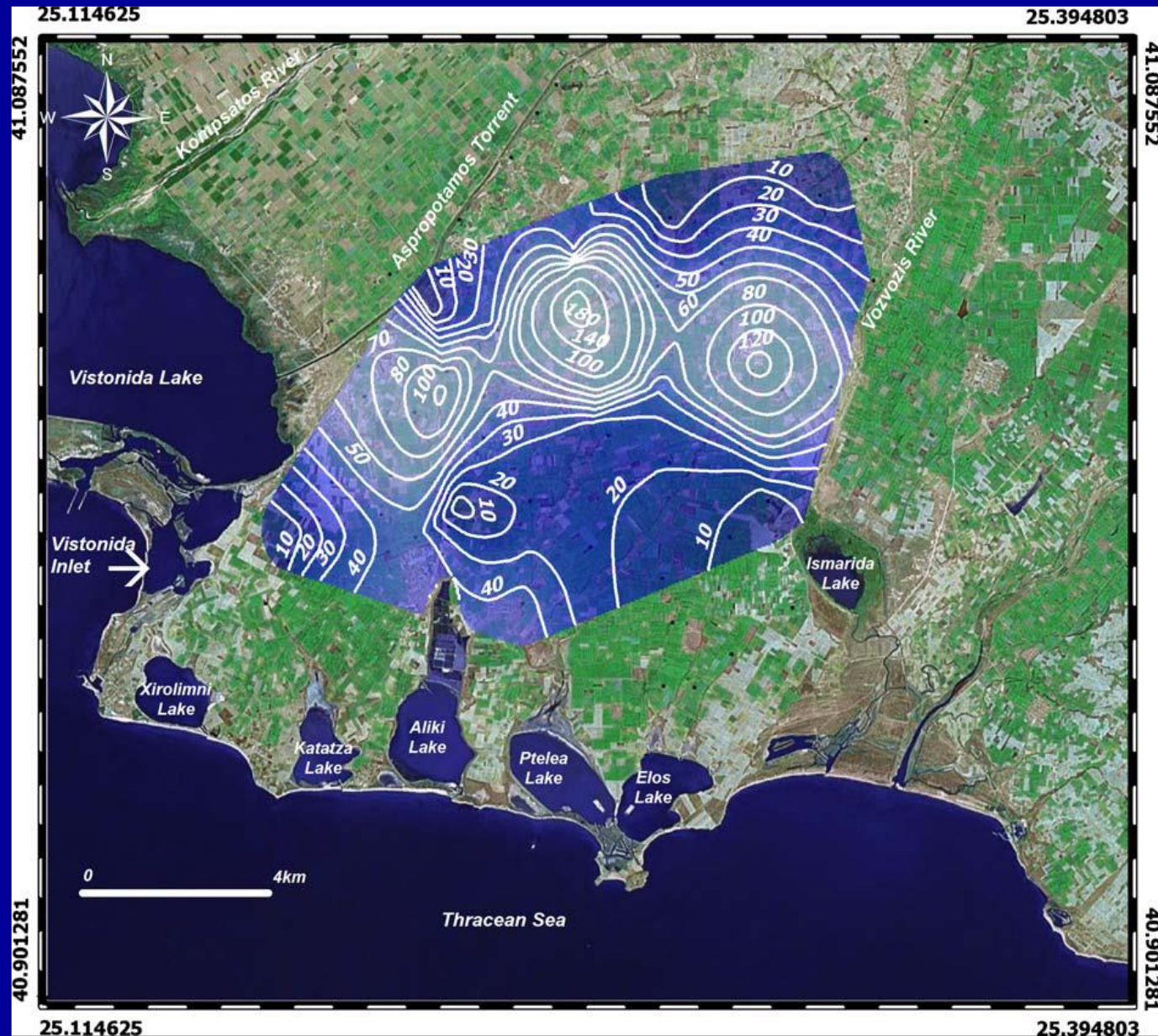
Συνολικό δίκτυο παραγωγικών και εγκαταλειμμένων γεωτρήσεων

(Kallioras et al., 2006)



Δίκτυο γεωτρήσεων παρακολούθησης στάθμης και δειγματοληψίας
(Kallioras et al., 2006)

Χωρική κατανομή
υδραυλικής
αγωγιμότητας K
($\times 10^{-5}$ m/sec)

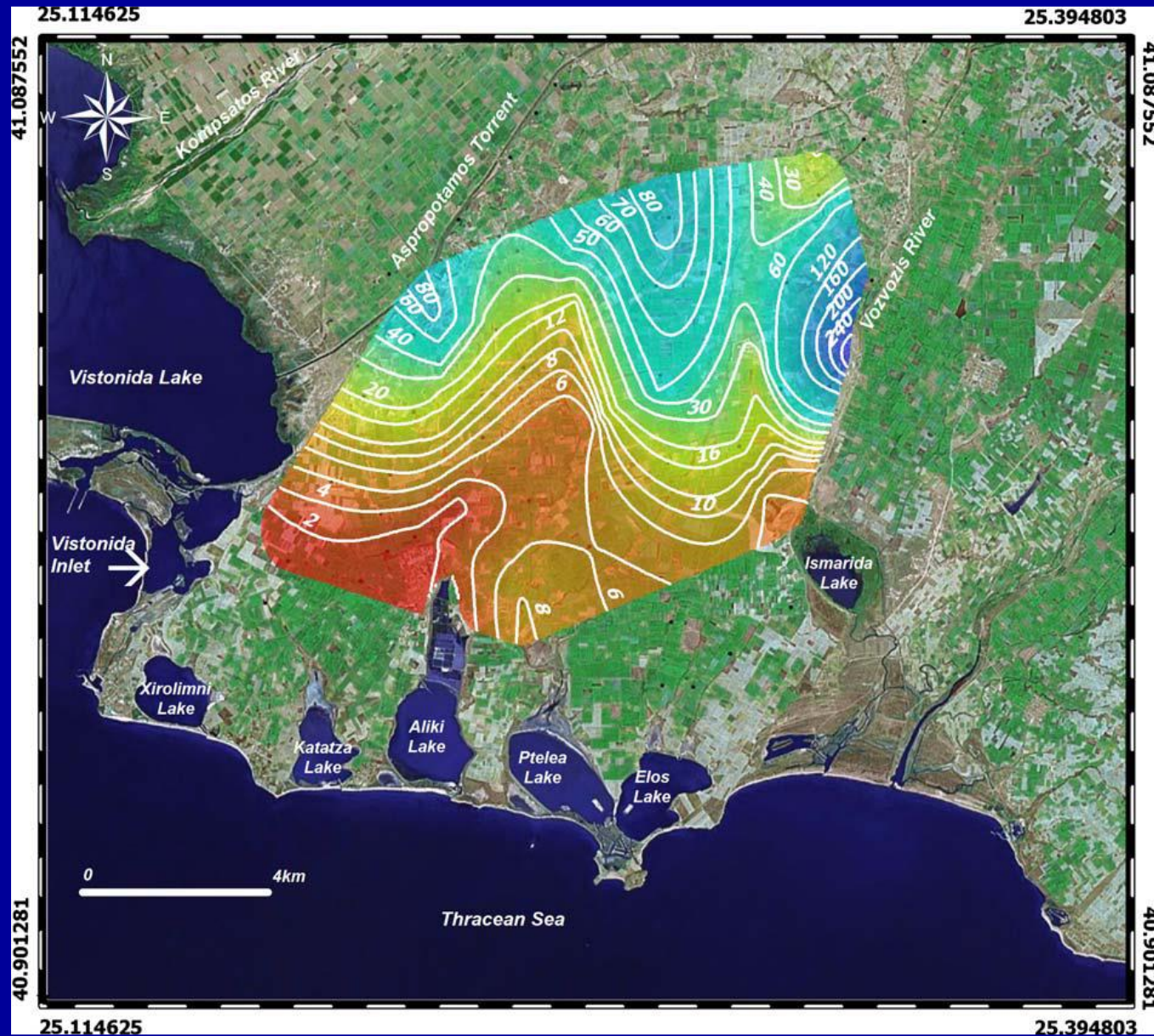


$T: 1,15 \times 10^{-3} - 9,971 \times 10^{-2}$ m²/sec, average value: $2,395 \times 10^{-2}$ m²/sec

$K: 2,49 \times 10^{-5} - 2,22 \times 10^{-3}$ m/sec, average value: $4,67 \times 10^{-4}$ m/sec

(Kallioras et al., 2010)

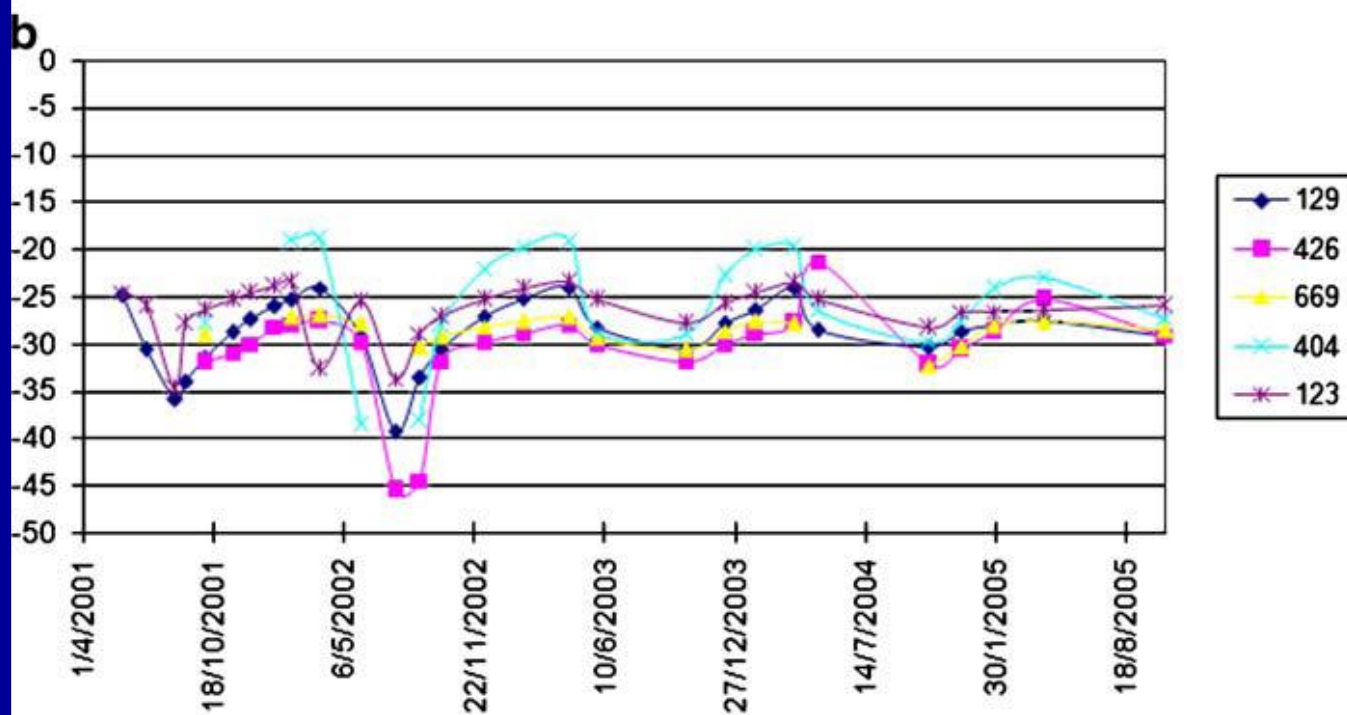
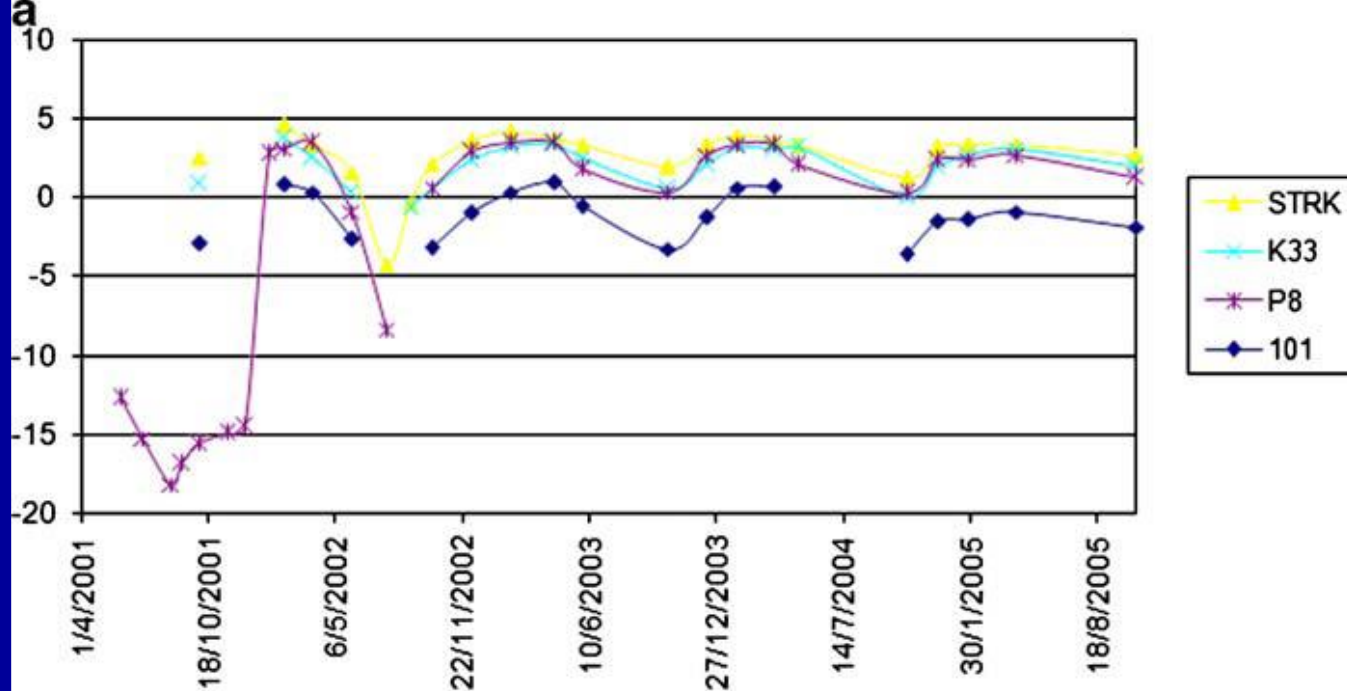
Χωρική κατανομή
συντελεστή
υδροχωρητικότητας
 $S (\times 10^{-4})$



$S: 1,3 \times 10^{-4} - 2,9 \times 10^{-2}$, average value: $5,06 \times 10^{-3}$

(Kallioras et al., 2010)

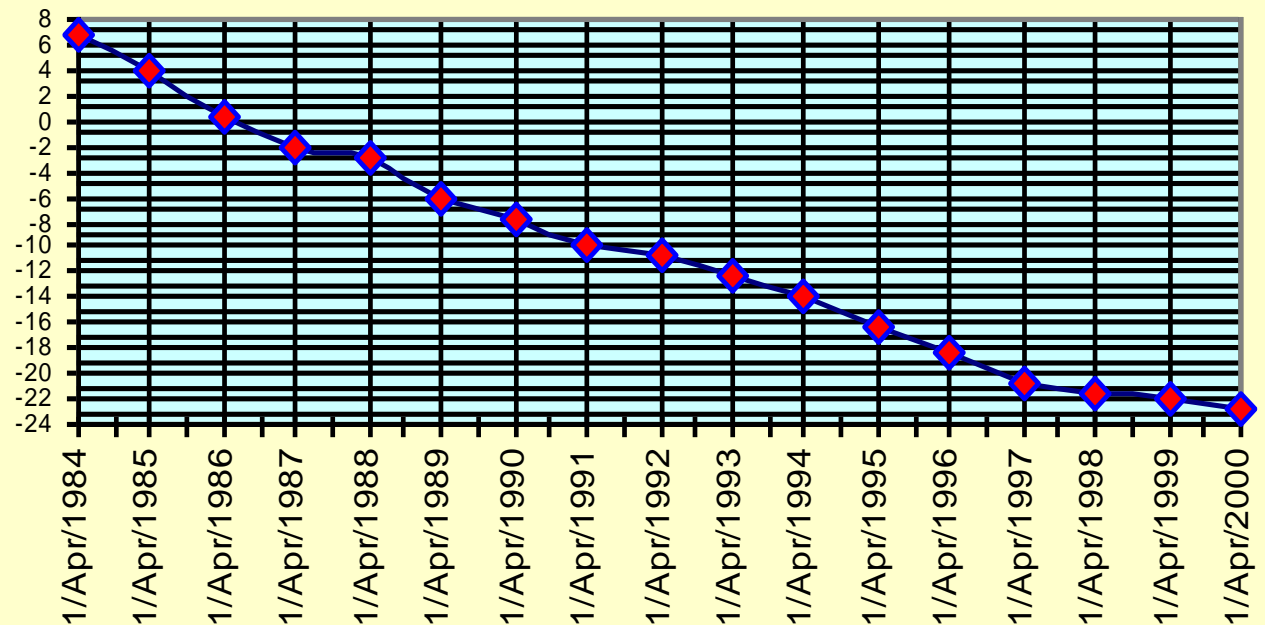
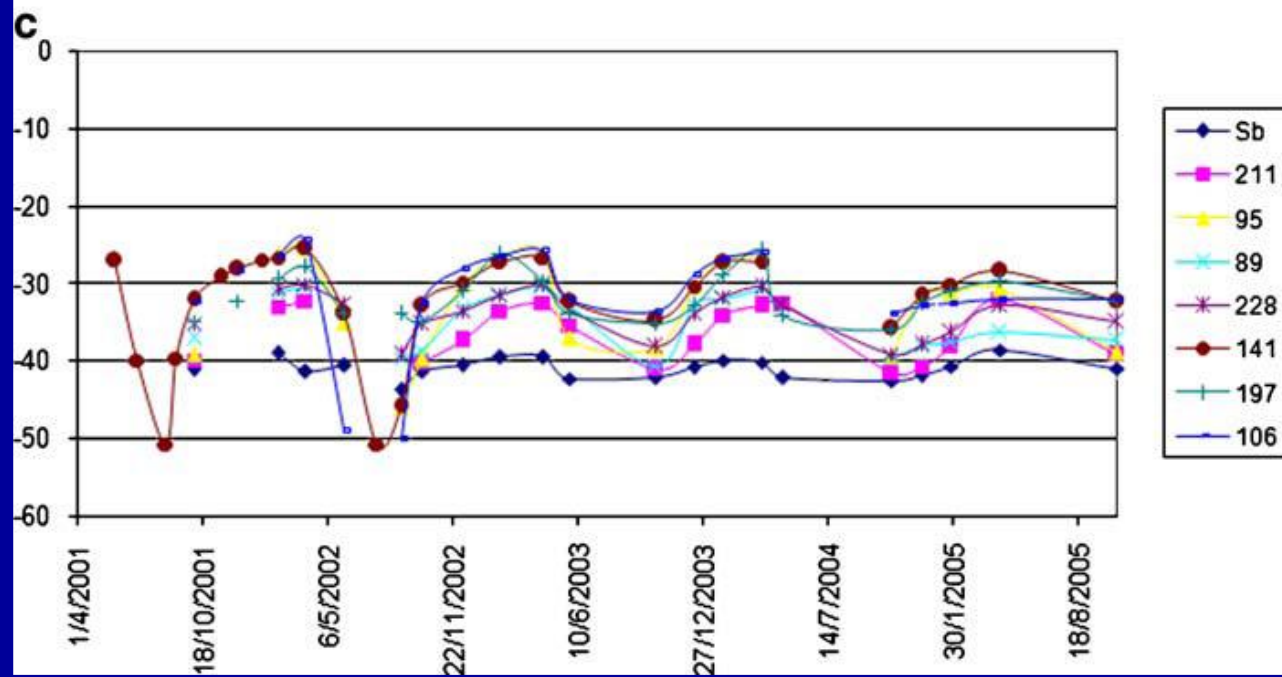
Διακύμανση στάθμης
υπόγειων νερών σε
επιλεγμένες
γεωτρήσεις
(2001-2005)



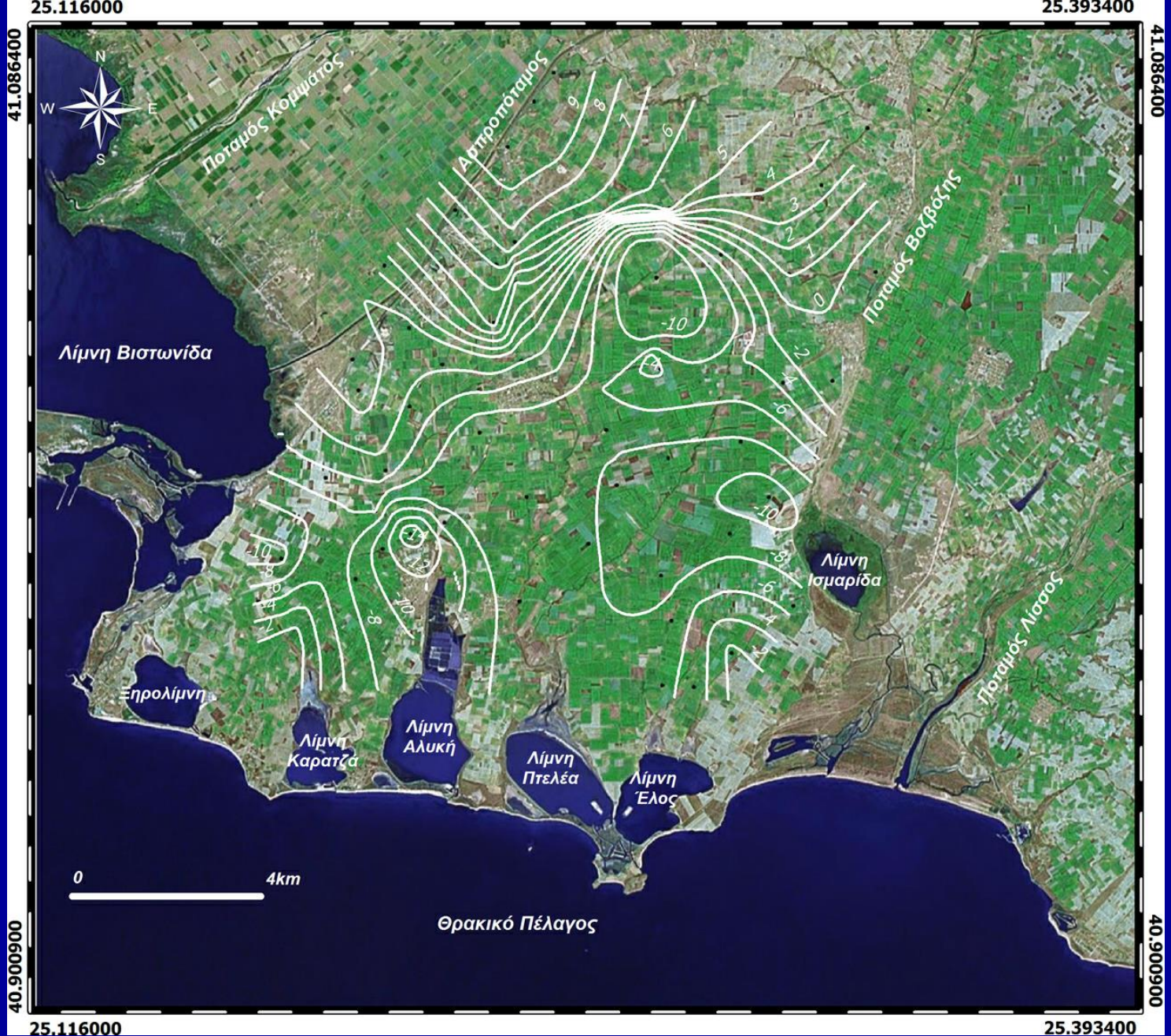
Διακύμανση στάθμης
υπόγειων νερών σε
επιλεγμένες
γεωτρήσεις

(2001-2005)

(Kallioras et al., 2010)



Πορεία της ανώτατης
ετήσιας πιεζομετρικής
στάθμης στον παράκτιο
υδροφόρο του Ν. Ροδόπης
(1984-2000)



Πιεζομετρικός χάρτης περιοχής έρευνας κατά τον Απρίλιο 1992
 (Καλλιώρας, 2008)



Πιεζομετρικός χάρτης Απριλίου 2005

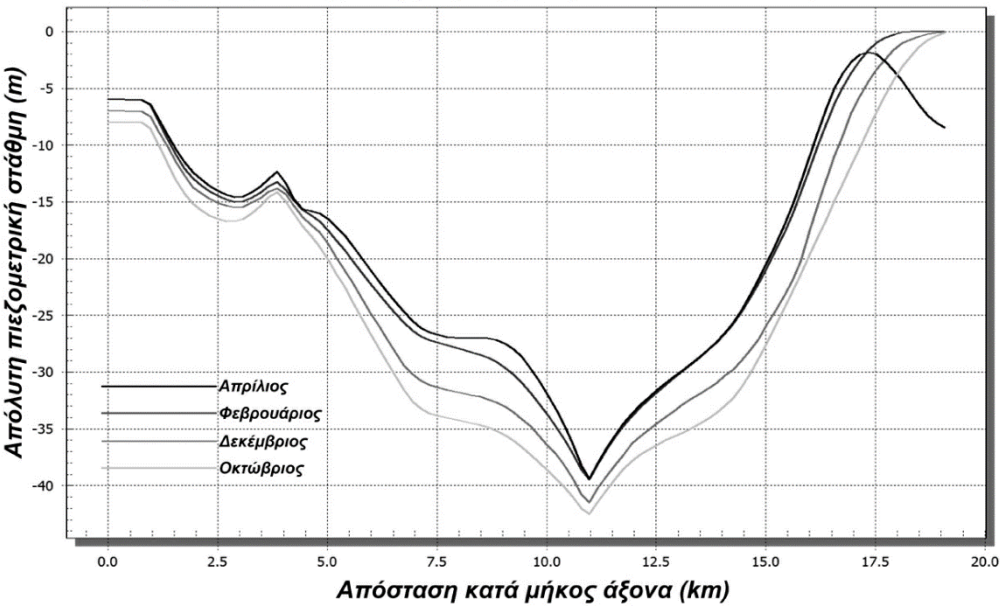
(Kallioras et al., 2006)



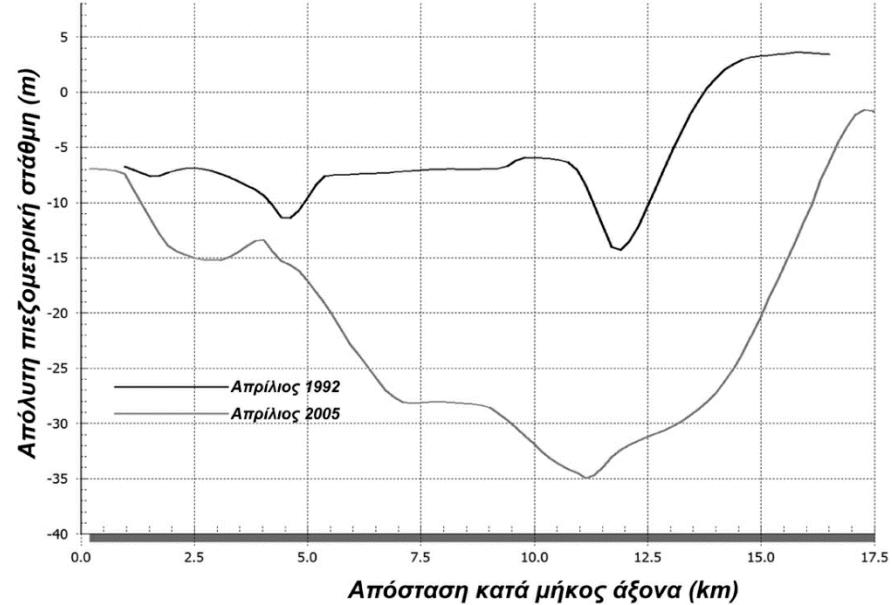
Πιεζομετρικός χάρτης Οκτωβρίου 2005

(Kallioras et al., 2006)

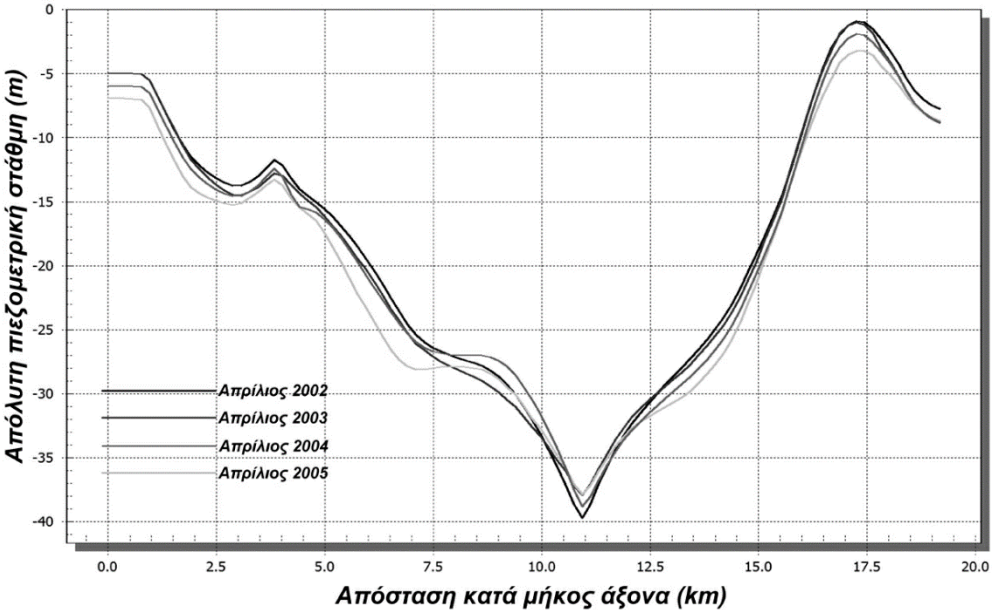
Τομή διακύμανσης πιεζομετρικής επιφάνειας κατά το έτος 2004

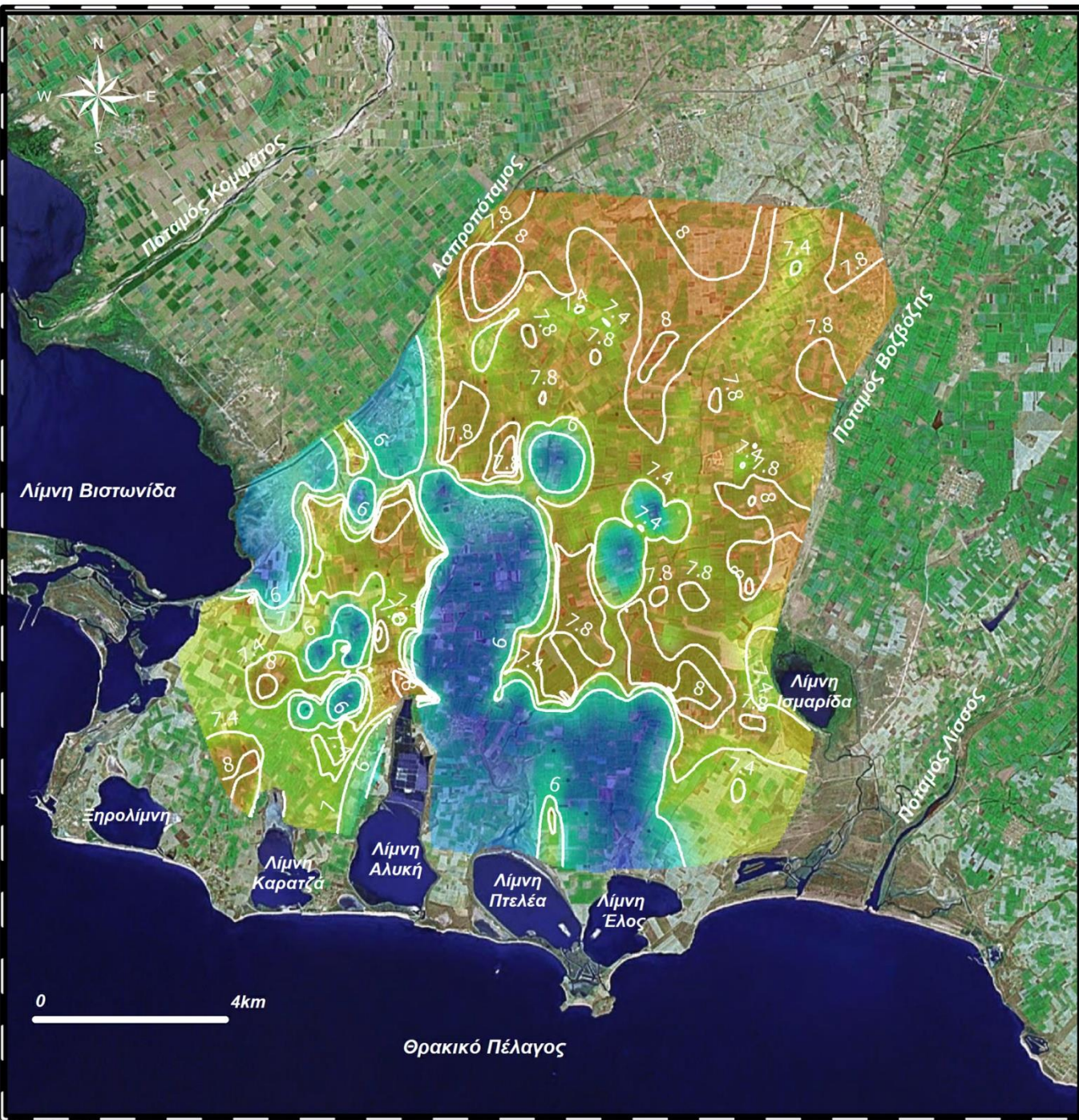


Διακύμανση πιεζομετρικής επιφάνειας Απριλίου κατά τα έτη 1992-2005

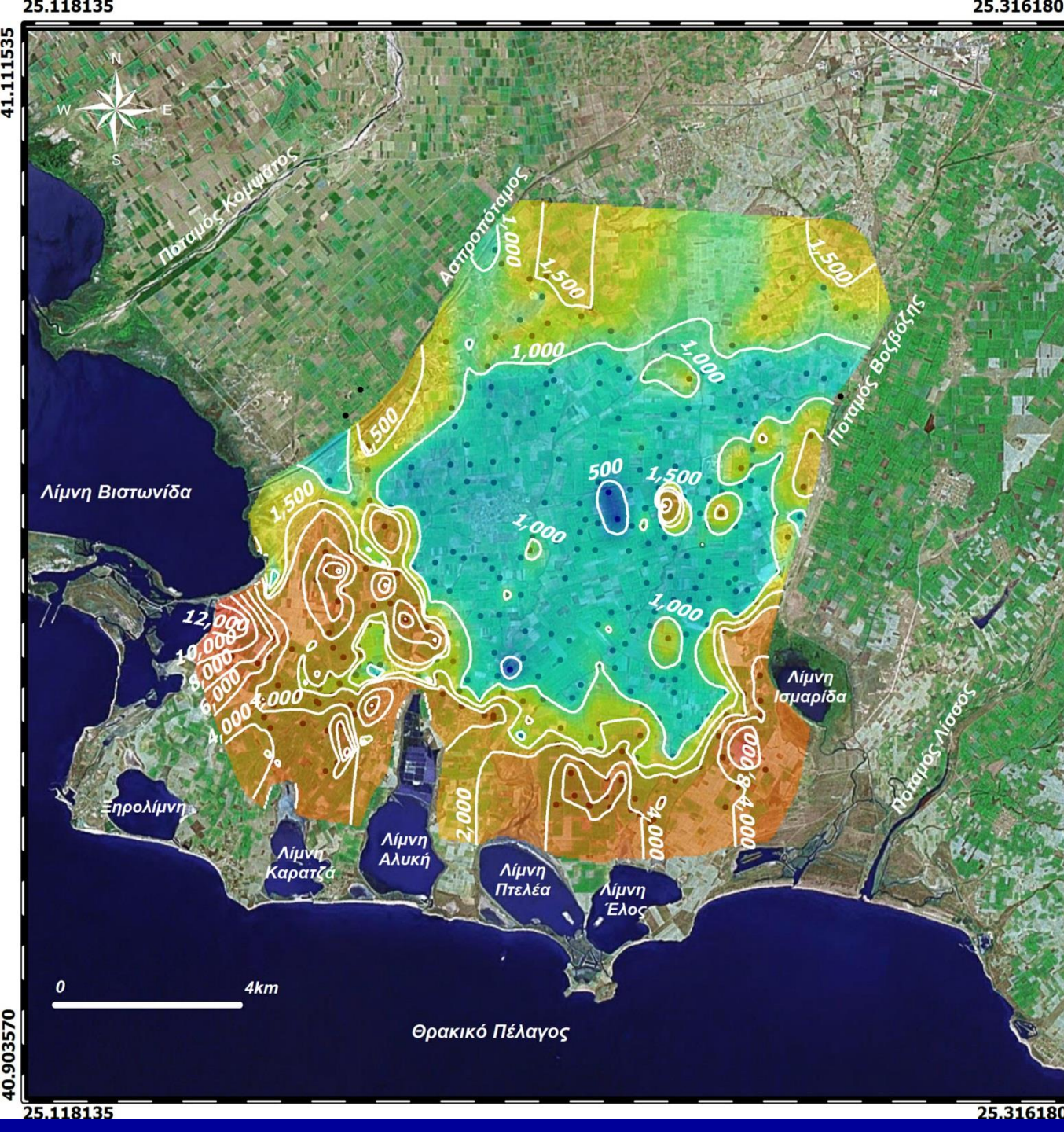


Διακύμανση πιεζομετρικής επιφάνειας Απριλίου κατά τα έτη 2002-2003-2004-2005

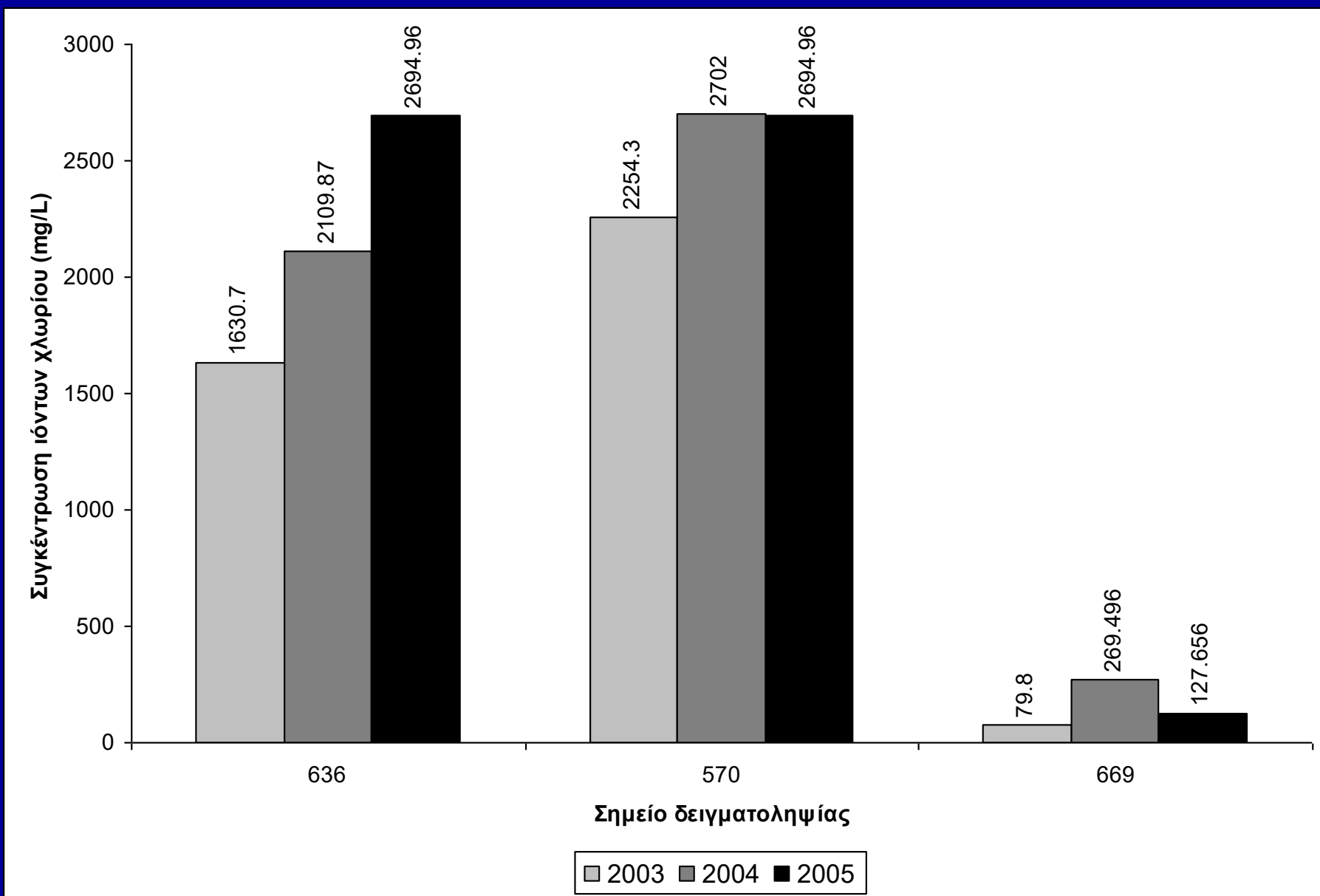




Χωρική κατανομή
 του pH σε 375
 σημεία
 δειγματοληψίας
 κατά την περίοδο
 Ιούλιος 2003

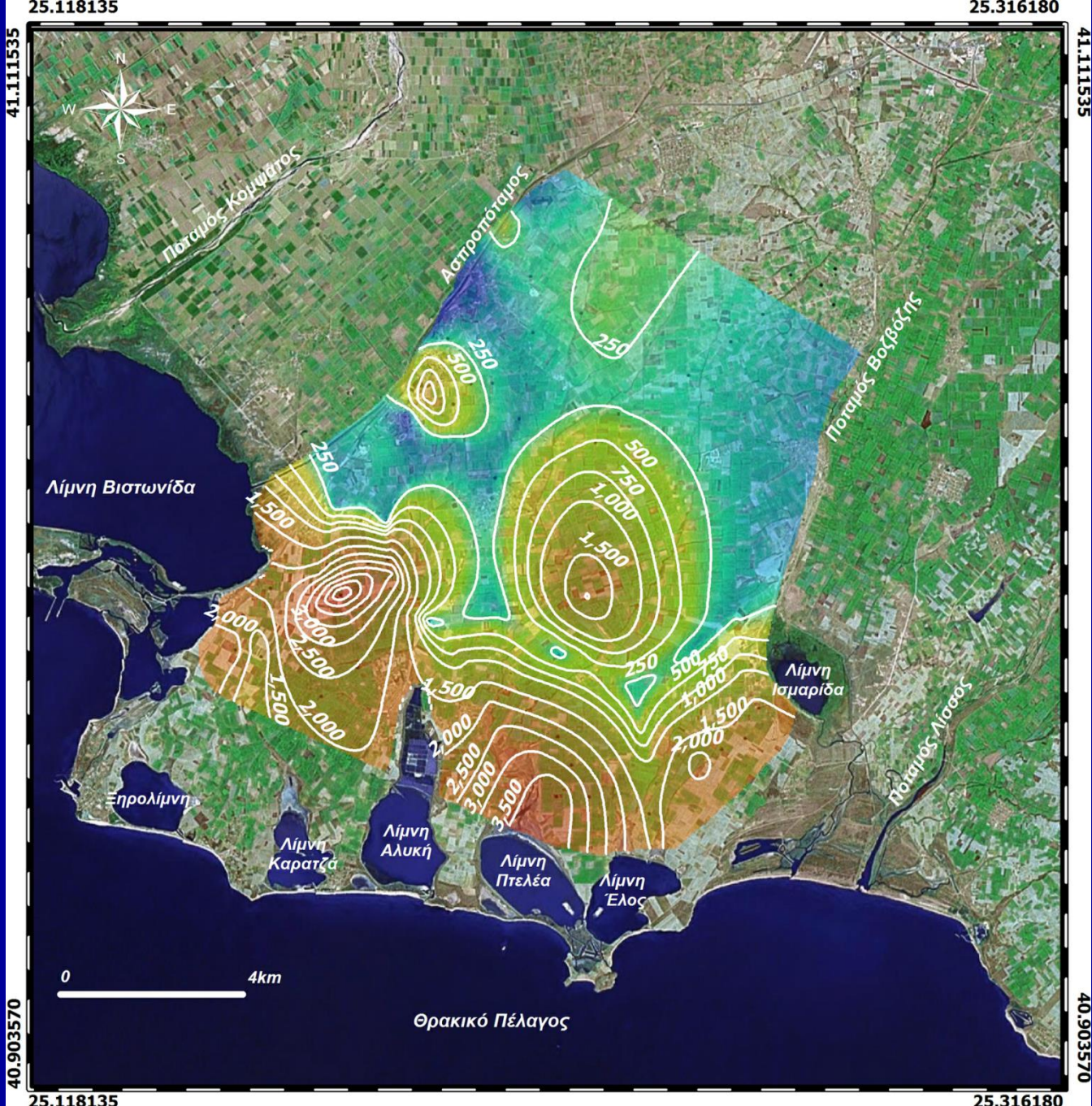


Χωρική κατανομή ειδικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας, SEC ($\mu\text{S}/\text{cm}$) (από 375 σημεία δειγματοληψίας) κατά την περίοδο Ιούλιος 2003



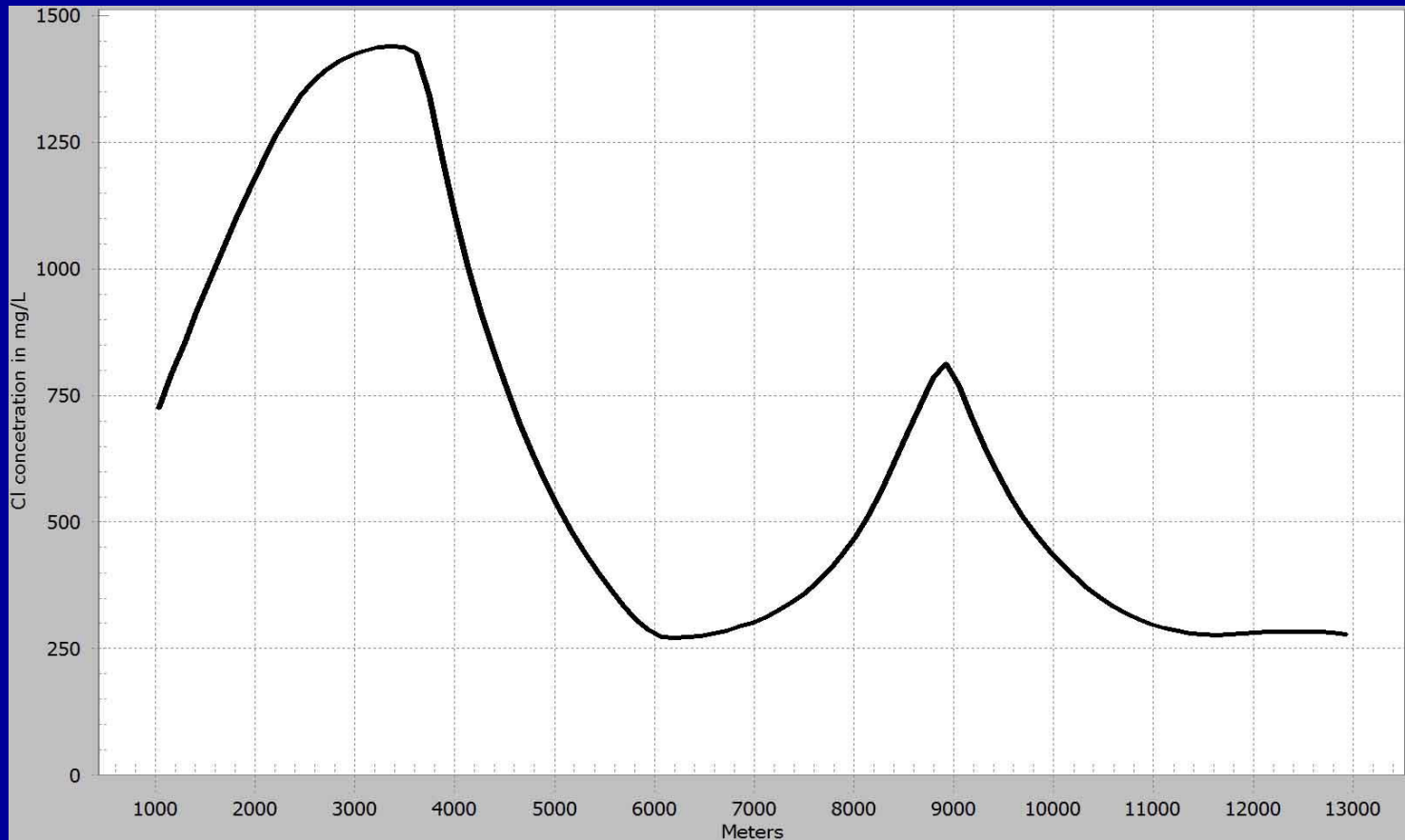
Μεταβολή συγκέντρωσης ιόντων χλωρίου (mg/L) σε επιλεγμένα σημεία της περιοχής (636: περιοχή δυτικά της λίμνης Ισμαρίδας, 570: περιοχή όρμου Βιστωνίδας, 669: κεντρικό τμήμα περιοχής έρευνας)

(Καλλιώρας, 2008)



Κατανομή ιόντων Cl^- της περιοχής έρευνας (2003)

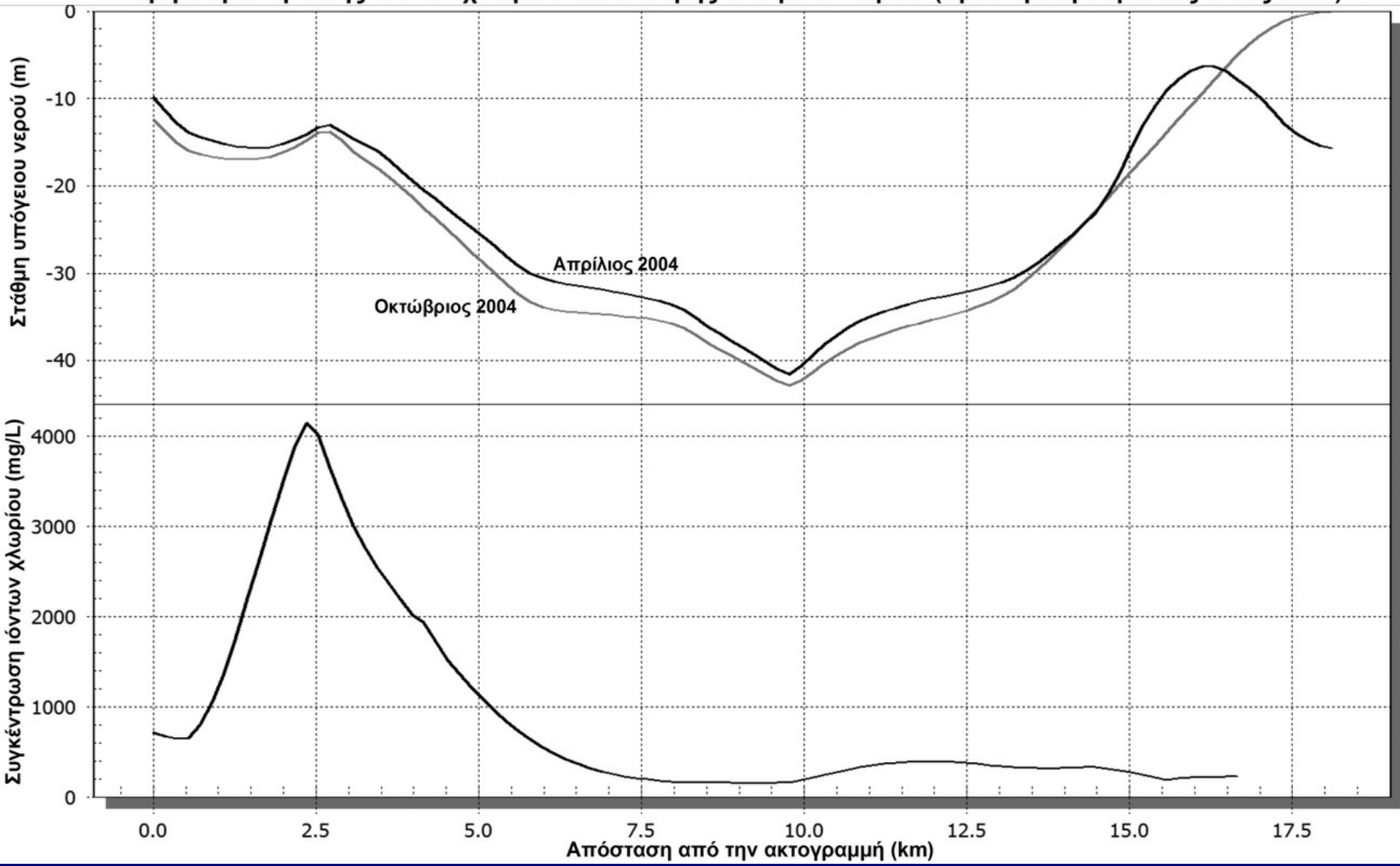
(Καλλιώρας, 2008)



Κατατομή της συγκέντρωσης των ιόντων χλωρίου (σε mg/L) κατά μήκος όλης της περιοχής έρευνας από το στόμιο της Βιστωνίδας έως τον Ποταμό Βοζβόζη (διεύθυνση Δ-Α) (2005)

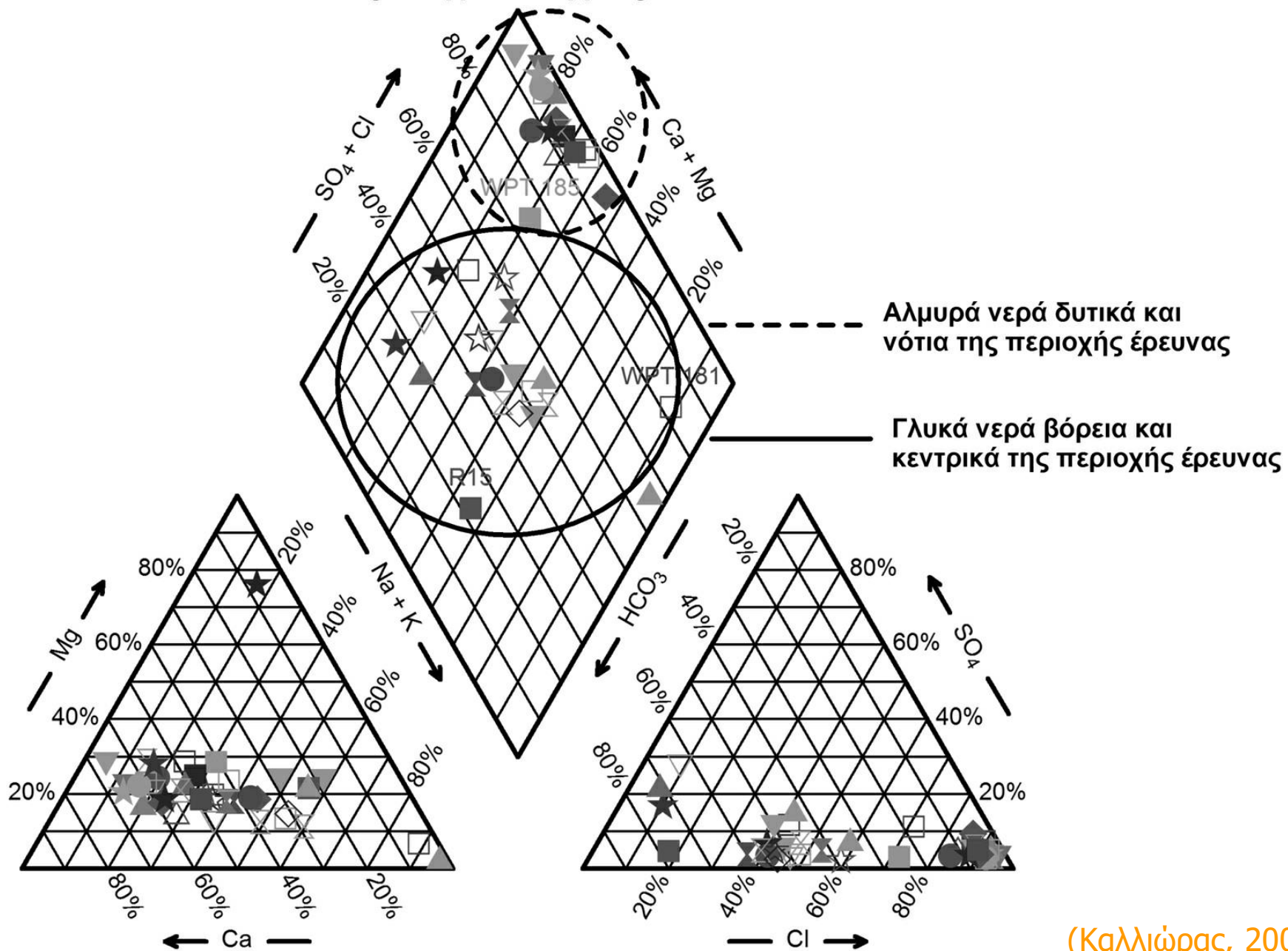
(Καλλιώρας, 2008)

Τομή συγκέντρωσης ιόντων χλωρίου και στάθμης υπόγειων νερών (Ερευνητική περίοδος έτους 2004)



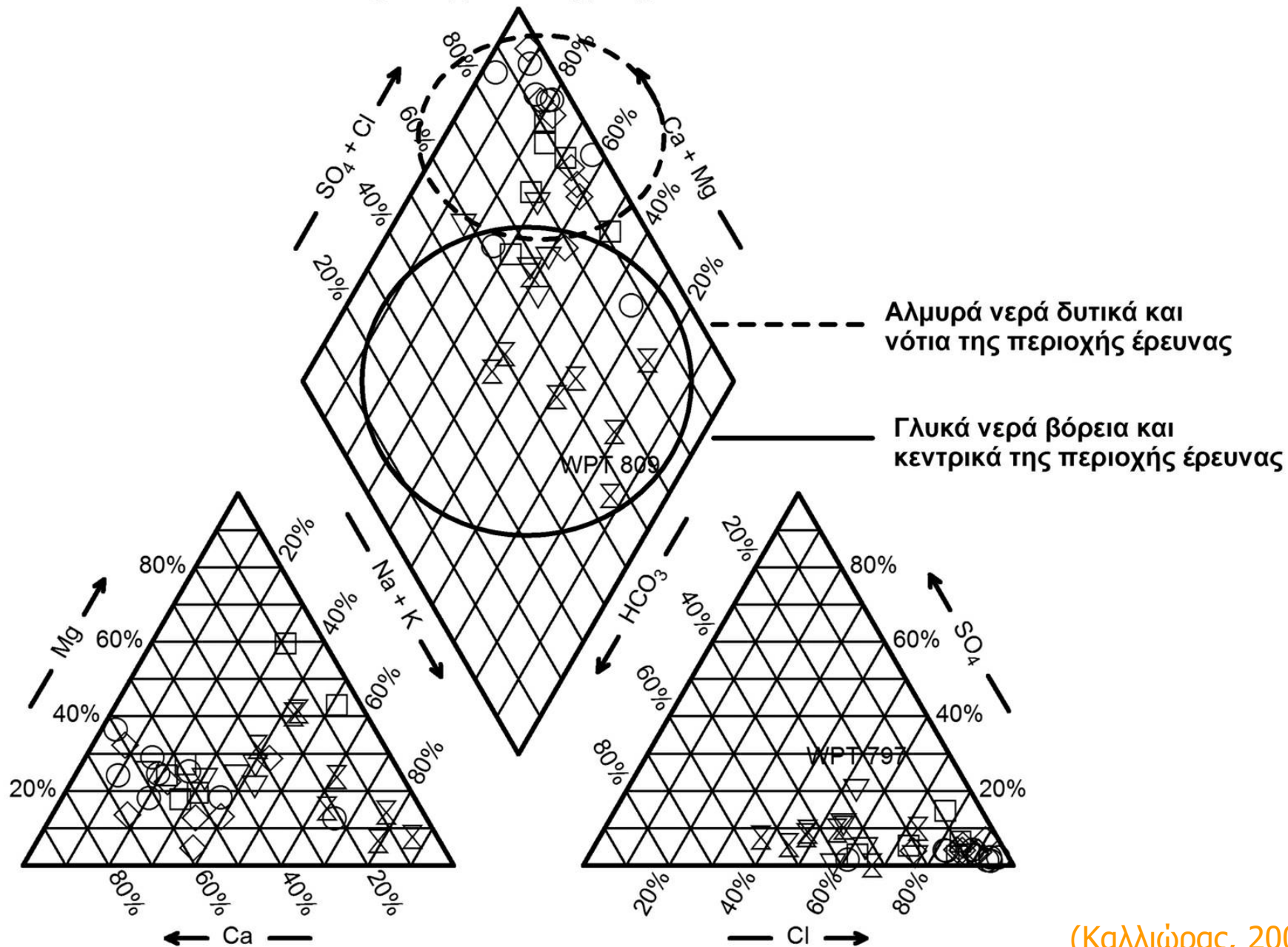
Τριγραμμικό Διάγραμμα Piper

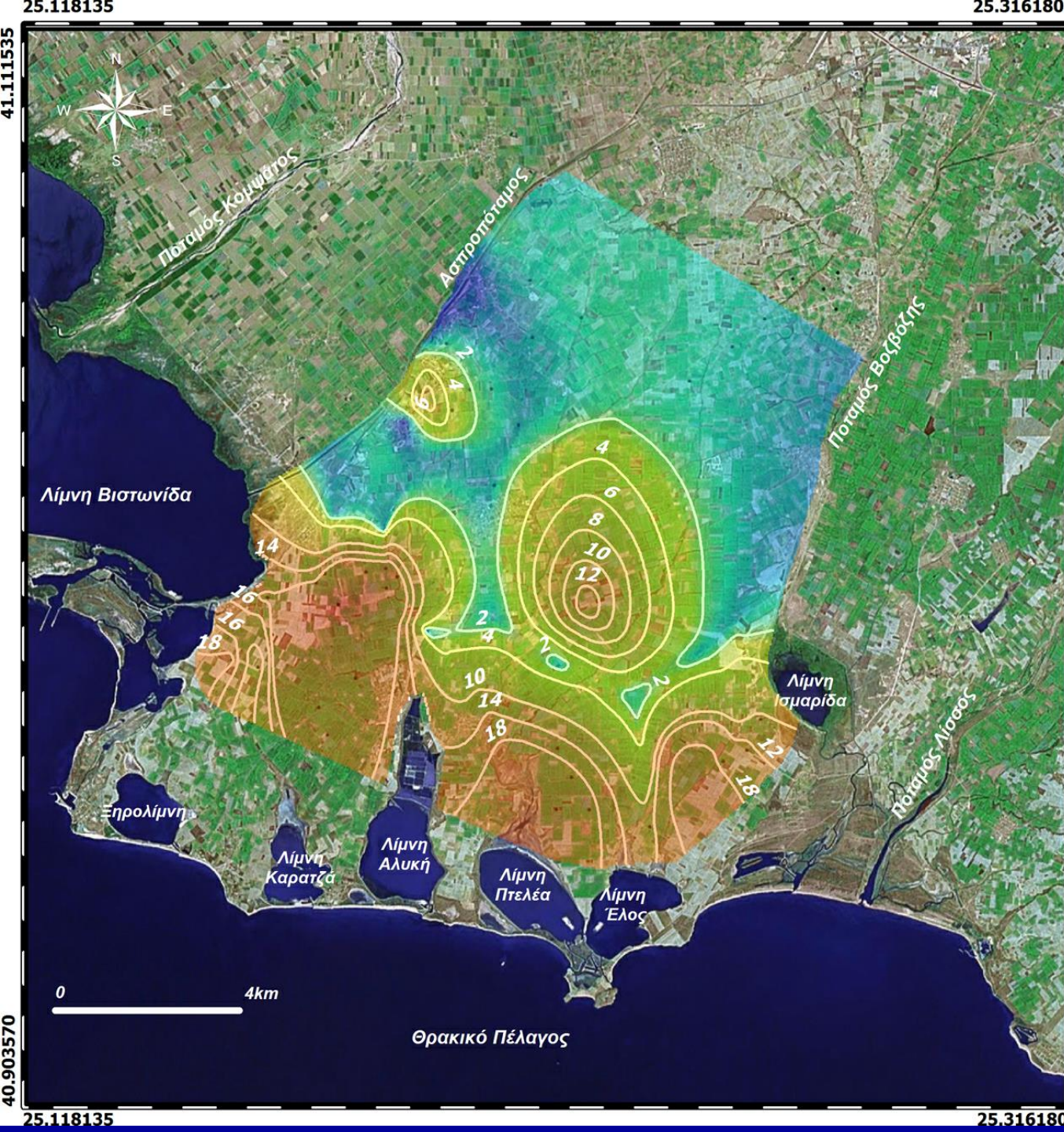
Έτος δειγματοληψίας 2003



Τριγραμμικό Διάγραμμα Piper

Έτος δειγματοληψίας 2004





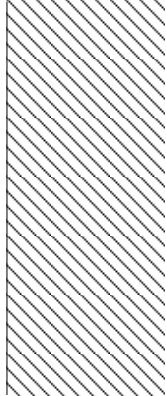
Χωρική κατανομή
 συντελεστή Revelle
 κατά την περίοδο
 Ιούλιος 2003

$$\text{Revelle, } R = \frac{[Cl]}{[CO_3] + [HCO_3]}$$

concentrations in meq/L

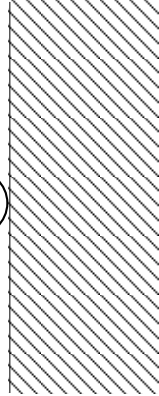
(Καλλιώρας, 2008)

Ⓐ

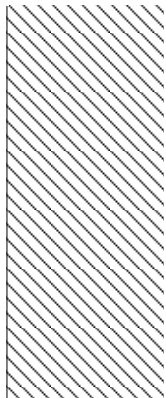


Προσρόφηση

Ⓐ

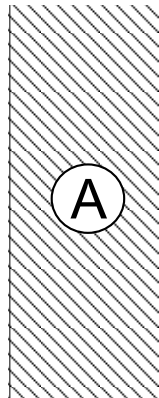


Ⓐ



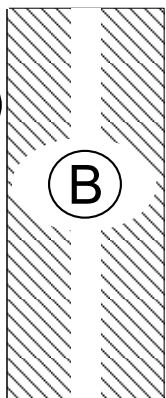
Απορρόφηση

Ⓐ



Ⓑ

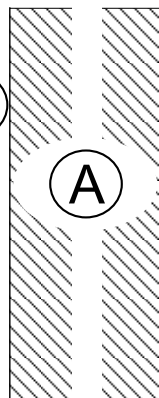
Ⓐ
Ⓐ



**Ανταλλαγή
Ιόντων**

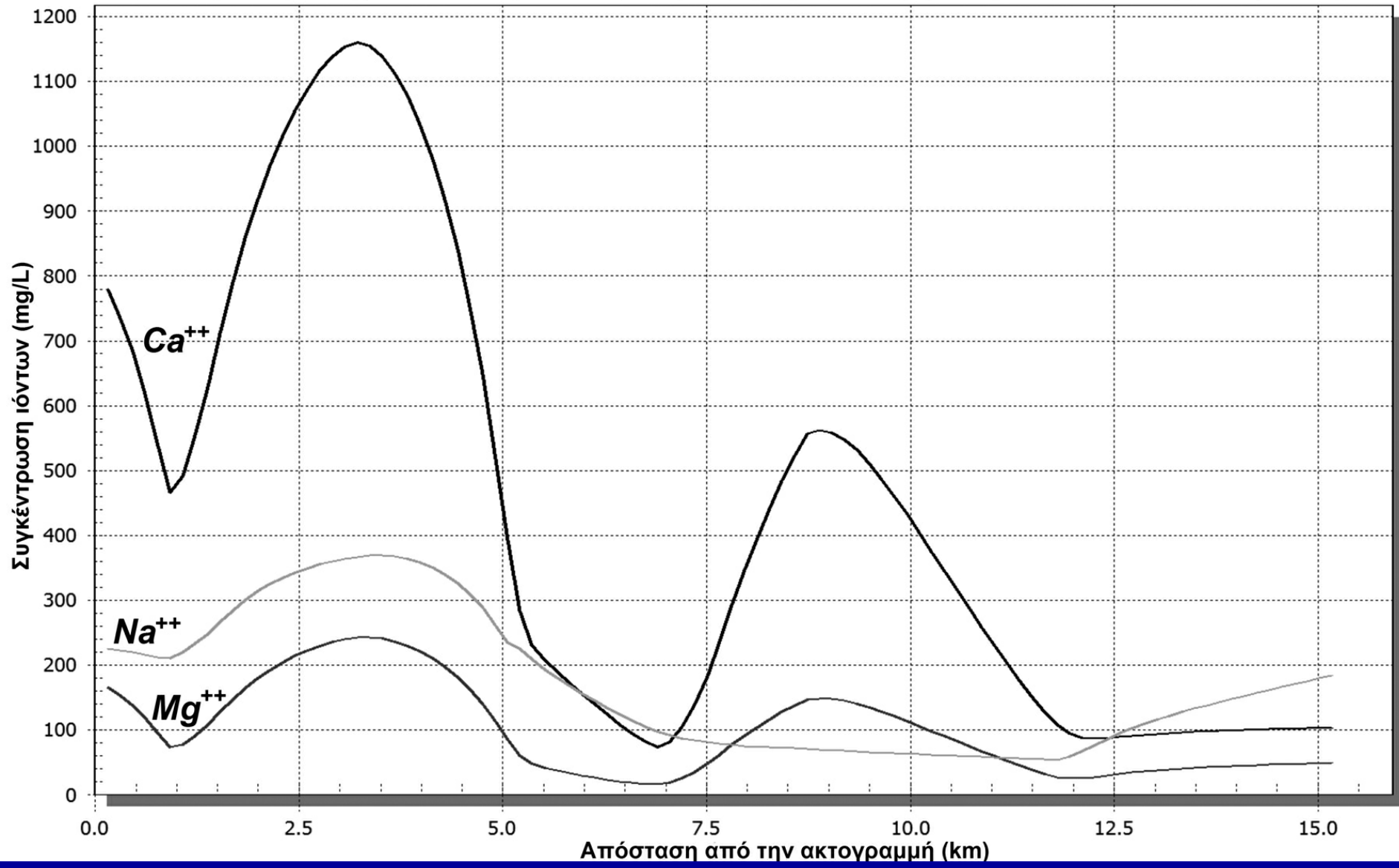
Ⓑ
Ⓑ

Ⓐ



Εικονογραφημένος
ορισμός των διαφόρων
διαδικασιών ρόφησης

Τομή συγκέντρωσης ιόντων ασβεστίου, νατρίου, μαγνησίου (Ερευνητική περίοδος έτους 2003)



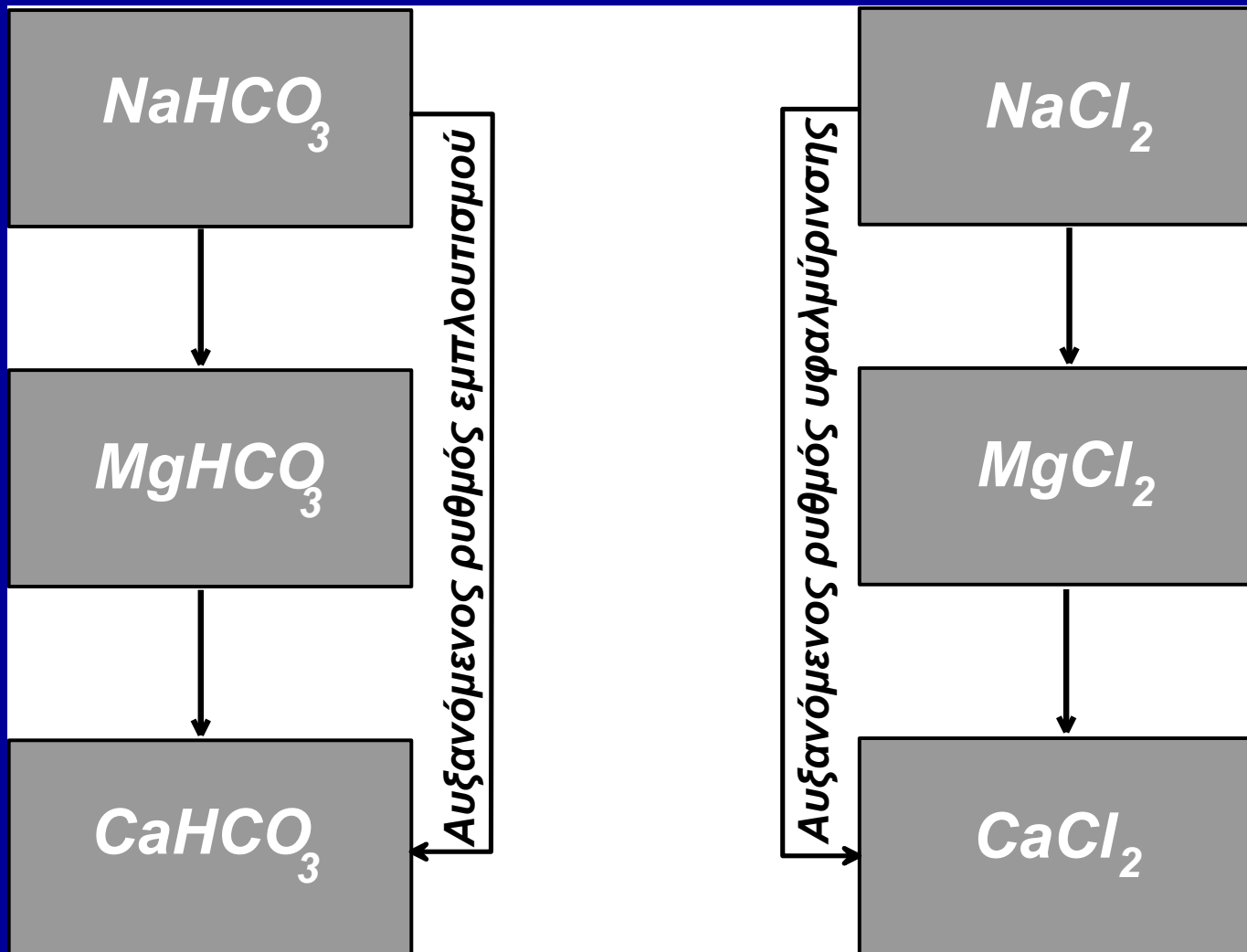


Κατανομή
υδροχημικών
τύπων νερού κατά
την περίοδο
άντλησης του
έτους 2003



Κατανομή υδροχημικών τύπων νερού κατά την περίοδο άντλησης του έτους 2005

(Kallioras et al., 2006, Καλλιώρας, 2008)



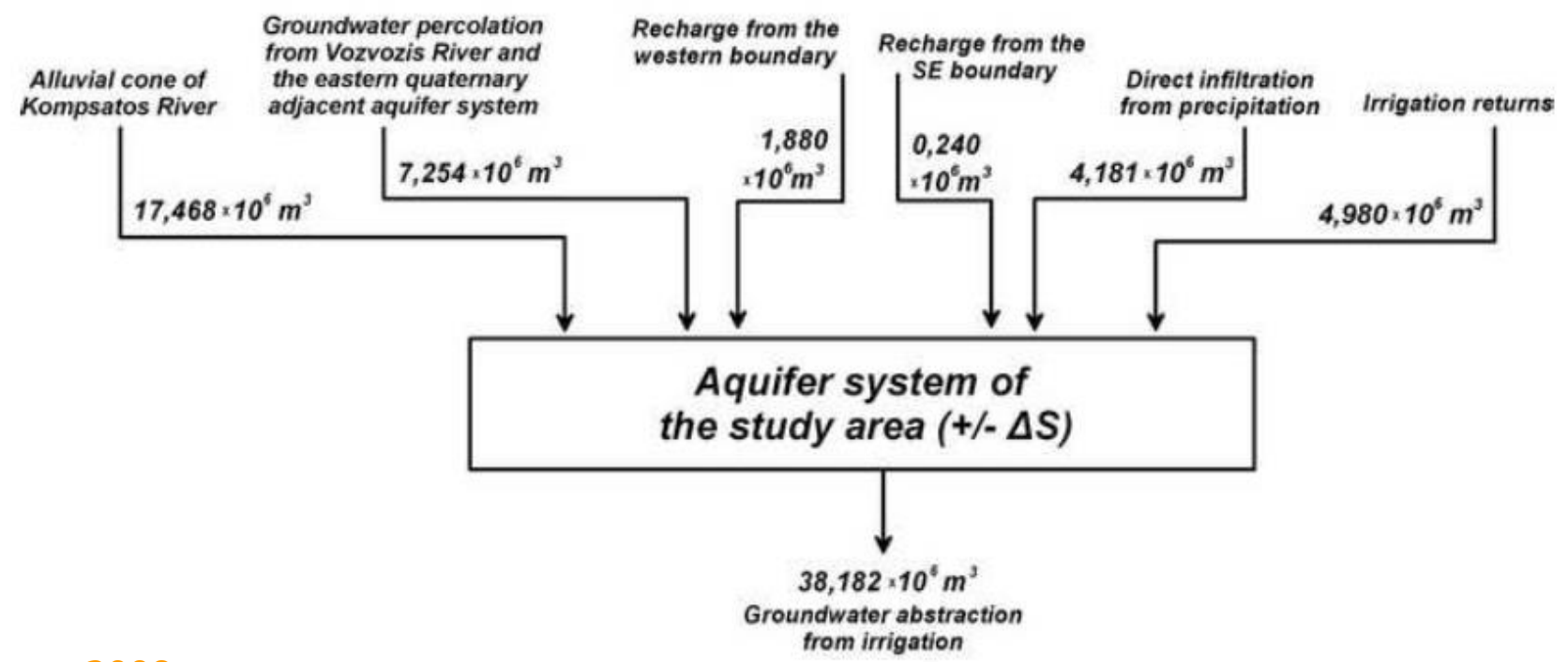
Εναλλαγές υδροχημικών τύπων κατά τη διαδικασία εμπλουτισμού και υφαλμύρισης.

Σχηματικό
υδρολογικό ισοζύγιο
των υπόγειων νερών
της περιοχής έρευνας
μετά τη ρύθμιση του
μοντέλου

Stress Period (SP)	Time Step (TS)	Calendar Period	Root Mean Square Error, RMSE
SP ₁	TS _{1a}	16/04/2003 – 16/07/2003	0.706
	TS _{1b}	17/07/2003 – 13/10/2003	
SP ₂	TS _{2a}	14/10/2003 – 29/01/2004	0.417
	TS _{2b}	30/01/2004 – 29/03/2004	0.517

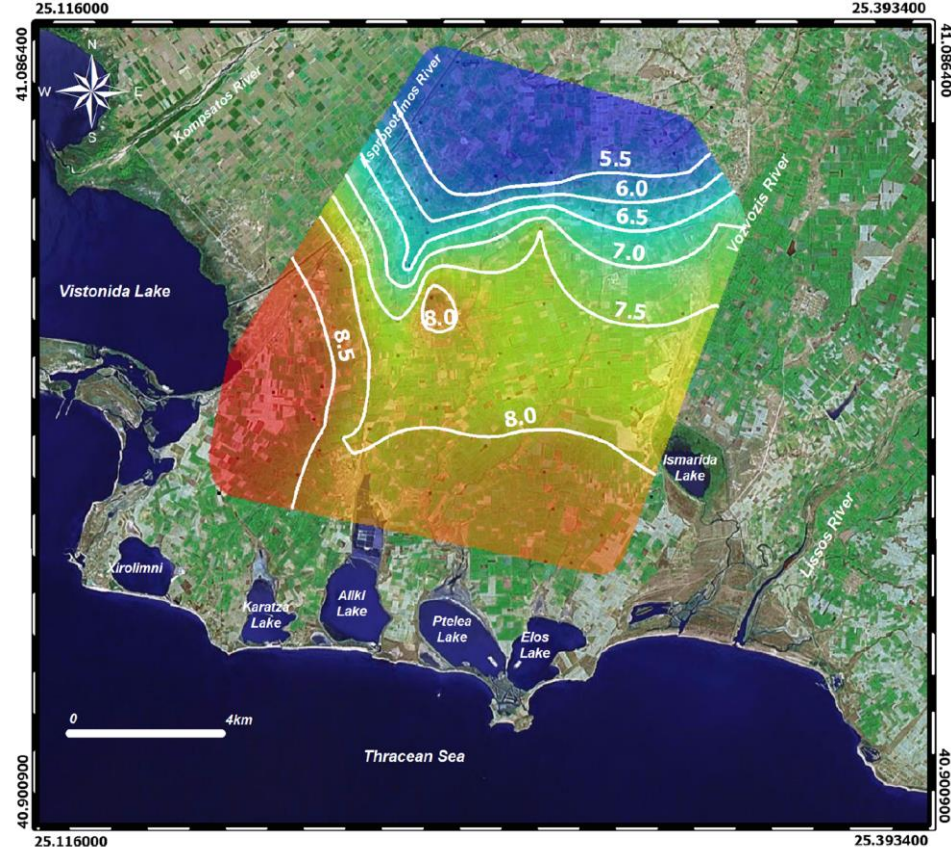
$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (M-C)^2}{N}}$$

INFLOWS

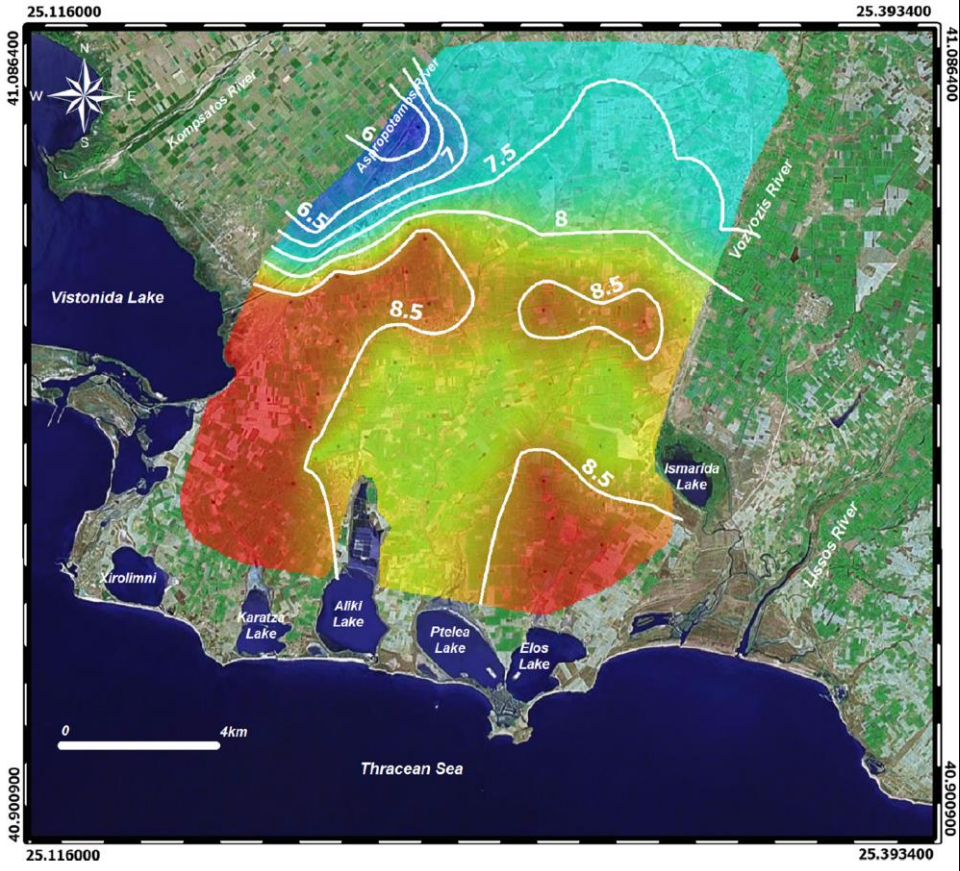


OUTFLOWS

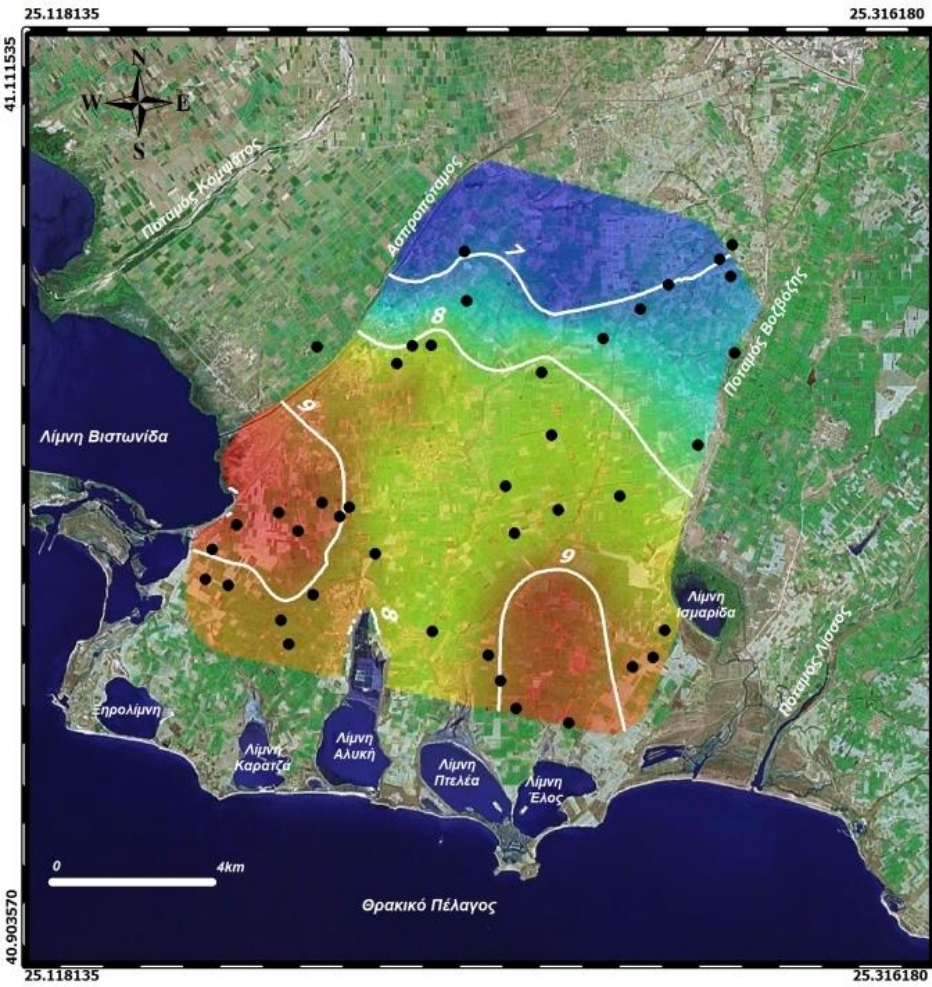
(Καλλιώρας, 2008,
Kallioras et al., 2010)



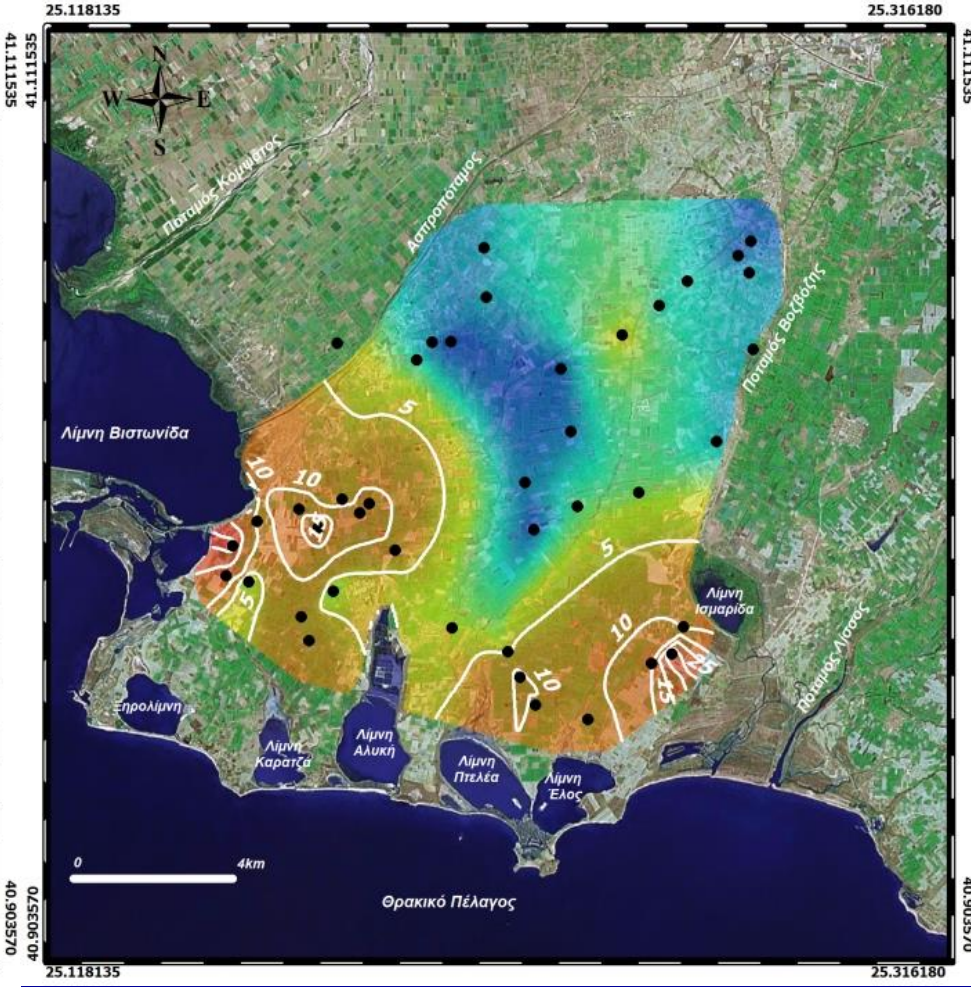
GVI (1992)



GVI (2003-2005)



GVI (2004)

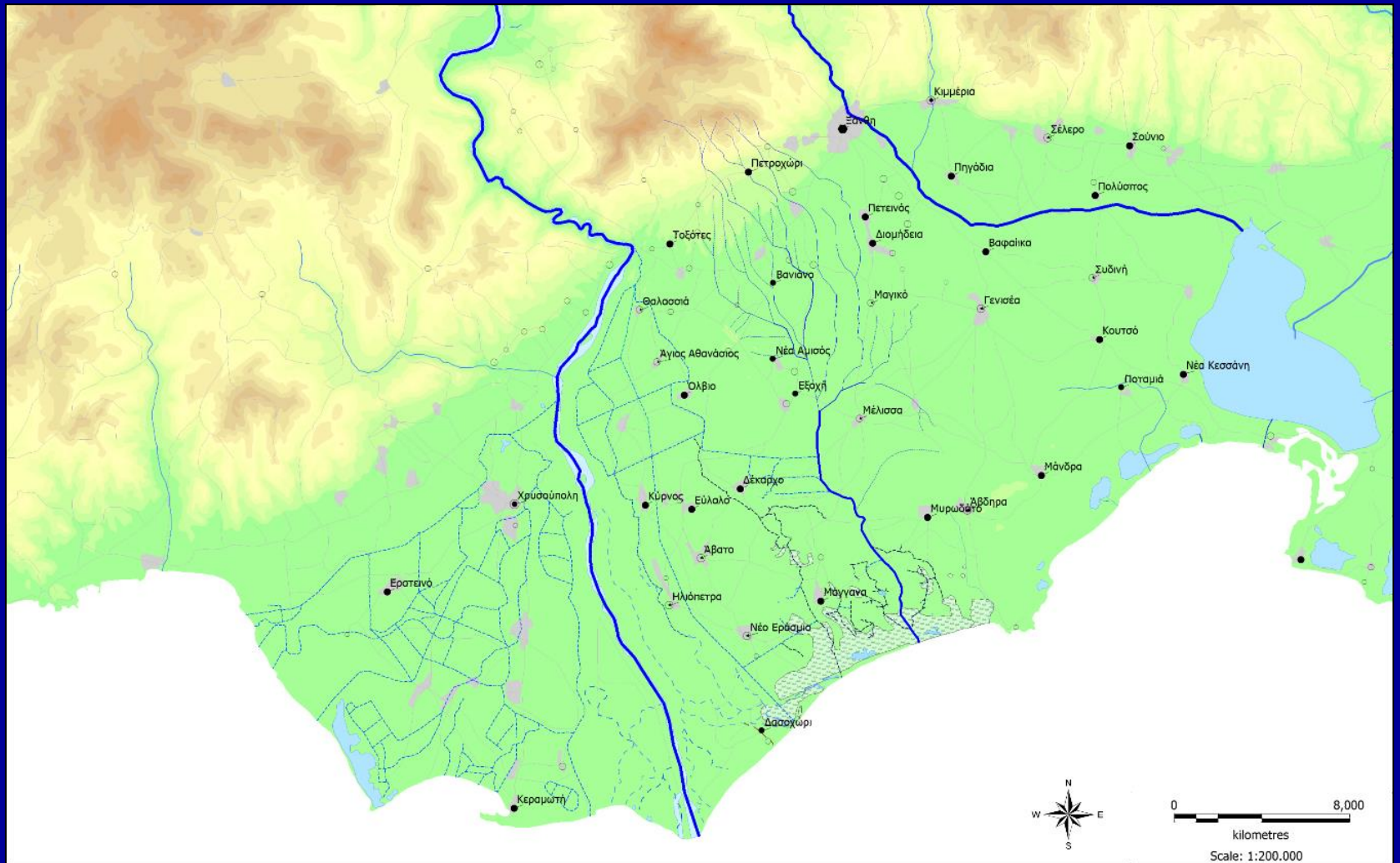


Reville (Ιούλιος 2004)

(Αργυροπούλου, 2012)

ΑΝΑΤΟΛΙΚΟ ΔΕΛΤΑ ΤΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ ΝΕΣΤΟΥ

- Η υποβάθμιση του Δέλτα του Π. Νέστου, όπως και αυτή του Δέλτα του Π. Έβρου, αποτελούν τα πιο χαρακτηριστικά παραδείγματα αλλοίωσης του υδρολογικού καθεστώτος της αλληλεπίδρασης υπόγειων και επιφανειακών νερών, με άμεση συνέπεια την ενεργοποίηση του φαινομένου της διείσδυσης της θάλασσας
- Στο Δέλτα του Π. Νέστου αναπτύσσεται ένα υδροφόρο σύστημα που αποτελείται από ένα φρεάτιο ορίζοντα στις σύγχρονες αποθέσεις του Νέστου και από παλαιότερης ηλικίας επάλληλους υπό πίεση υδροφόρους ορίζοντες που είχαν ως κύρια πηγή τροφοδοσίας τον Ποταμό Νέστο

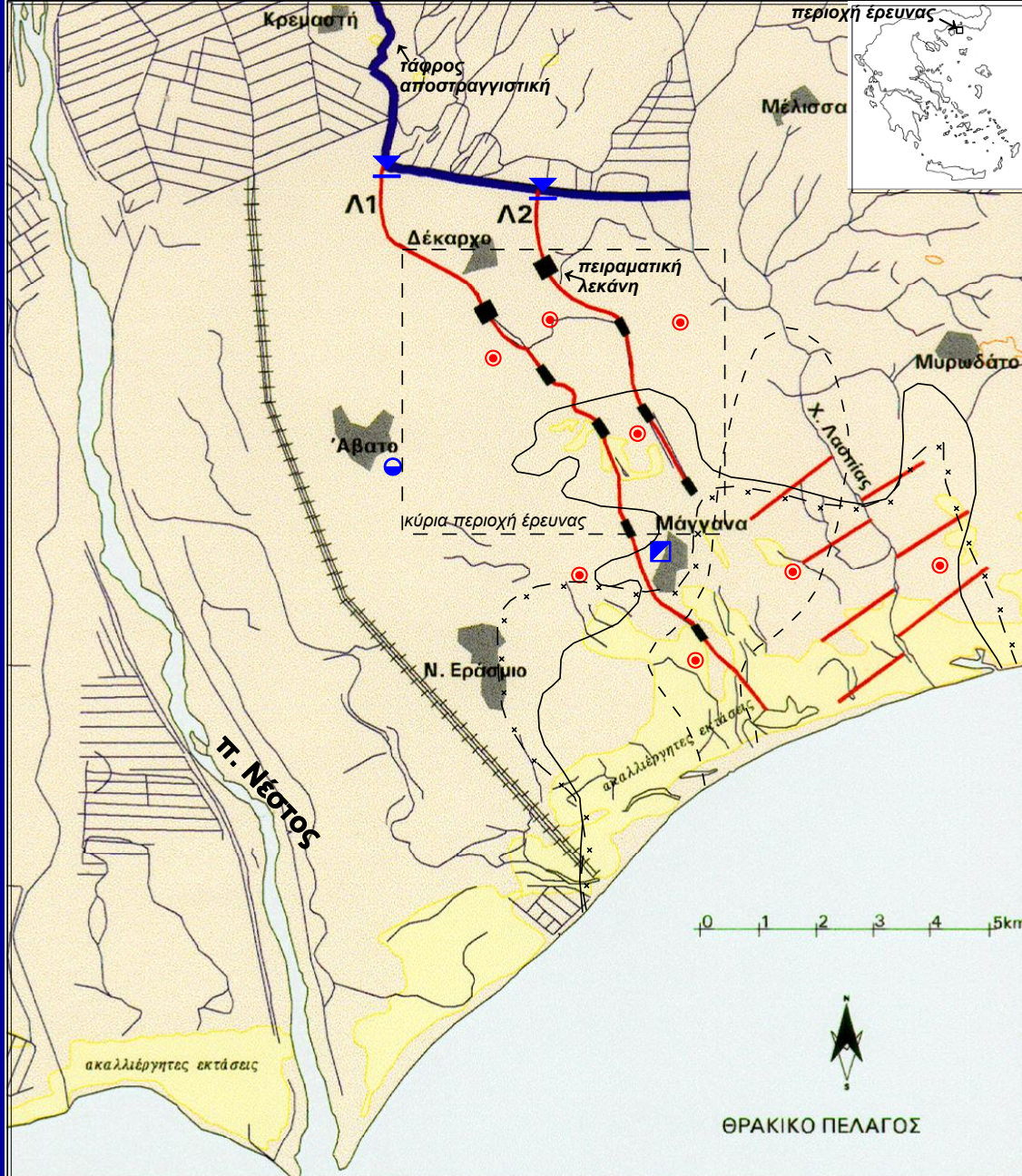


Υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής του Δέλτα του Π. Νέστου

- Οριοθέτηση δυτικά από τον Ποταμό Νέστο και ανατολικά από τον Χείμαρρο Λασπία.
- Η γεωμορφολογική εικόνα κυριαρχείται από ένα πεδινό τμήμα, το οποίο ΒΔ-ΝΑ μετατρέπεται σε ένα λοφώδες – ημιορεινό τμήμα το οποίο ξεκινά από τη περιοχή Τοξοτών και καταλήγει στη περιοχή Αβδήρων μέχρι τη θάλασσα. Βόρεια του λοφώδους – ημιορεινού τμήματος, η περιοχή χαρακτηρίζεται από ένα ήπιο ανάγλυφο με μικρά πεδινά και κυρίως μικρές λοφώδεις εξάρσεις.
- Έκταση περιοχής: 176,4 km²



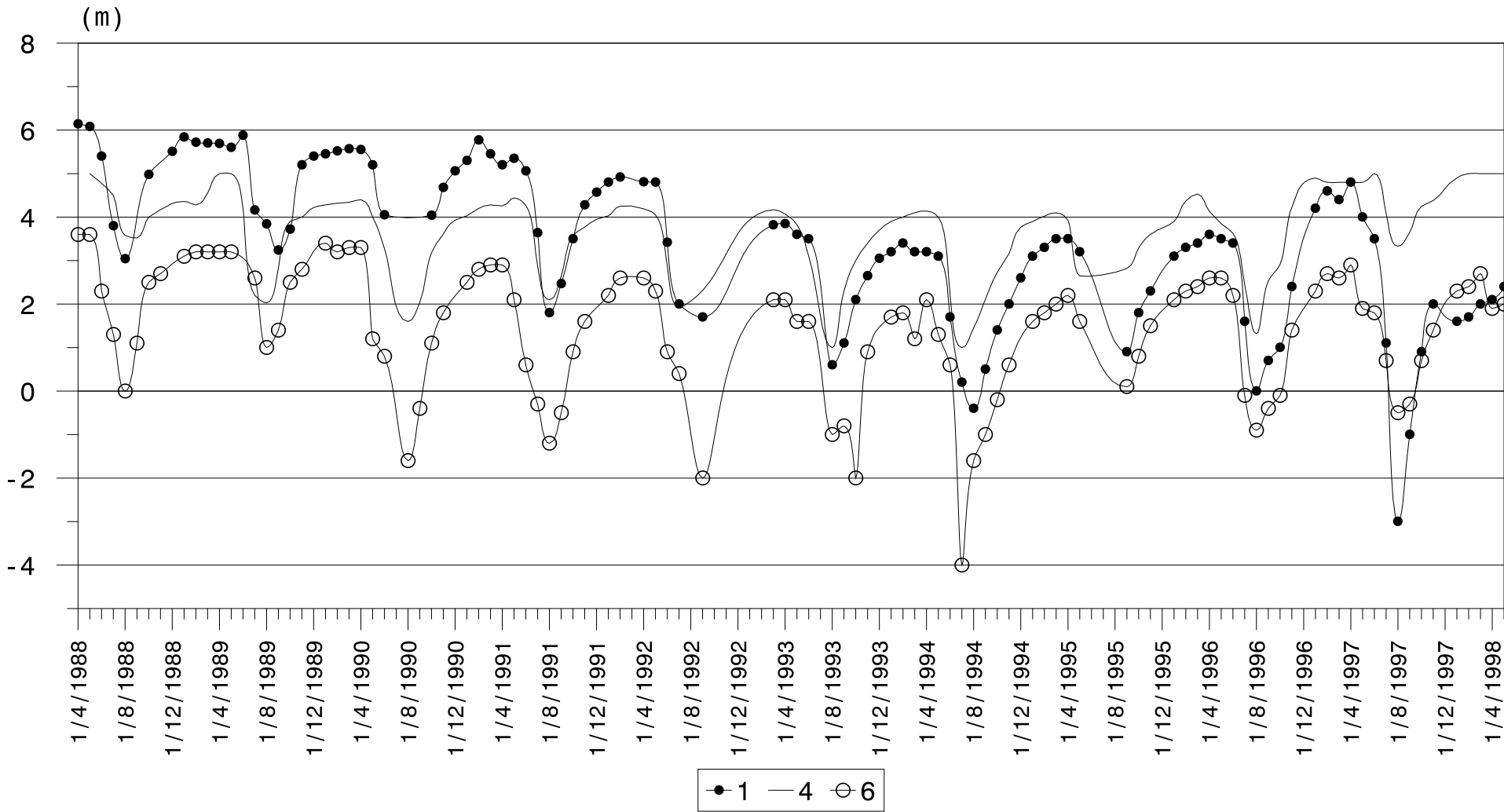
Κατανομή ενδεικτικών τιμών ηλεκτρικής αγωγιμότητας (SEC σε $\mu\text{S}/\text{cm}$) του υπόγειου νερού (Ιούλιος 2008) (ΣΤ: σταθμηγράφος Αβάτου, ΕΕΛ: Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων της Δ.Ε.Υ.Α Ξάνθης, ΜΣ1: μετεωρολογικός σταθμός Γεωργικής Έρευνας και Τομέα Υδραυλικών Έργων του Τμ. Πολ. Μηχ. του Δ.Π.Θ., ΜΣ2: μετεωρολογικός σταθμός Ξάνθης του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών - Ινστιτούτου Ερευνών Περιβάλλοντος) (Πλιάκας κ.ά., 2014).

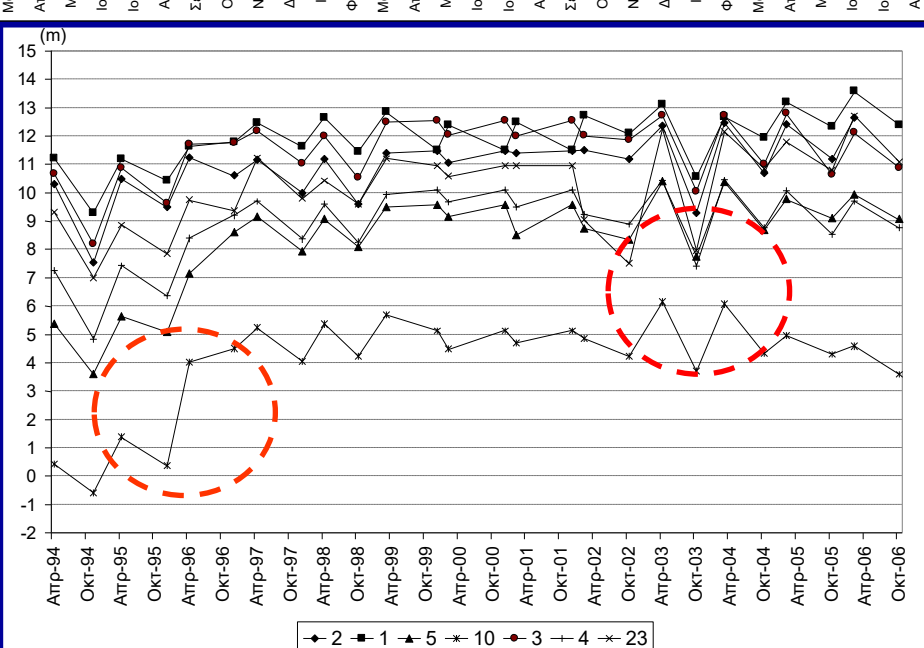
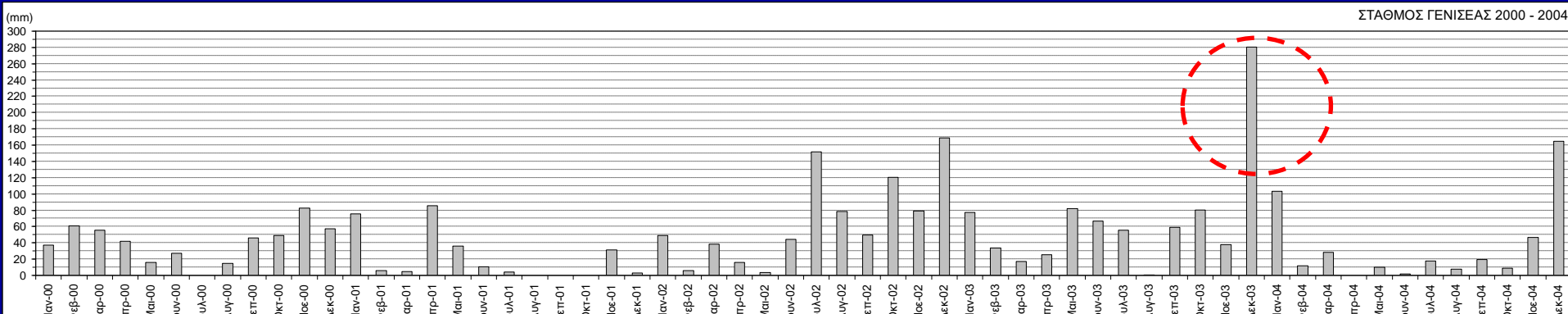
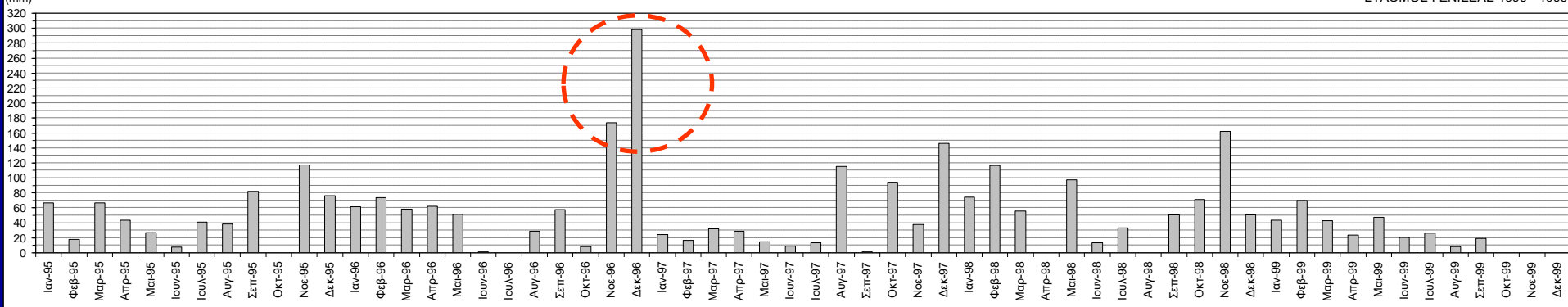


προηγούμενες έρευνες

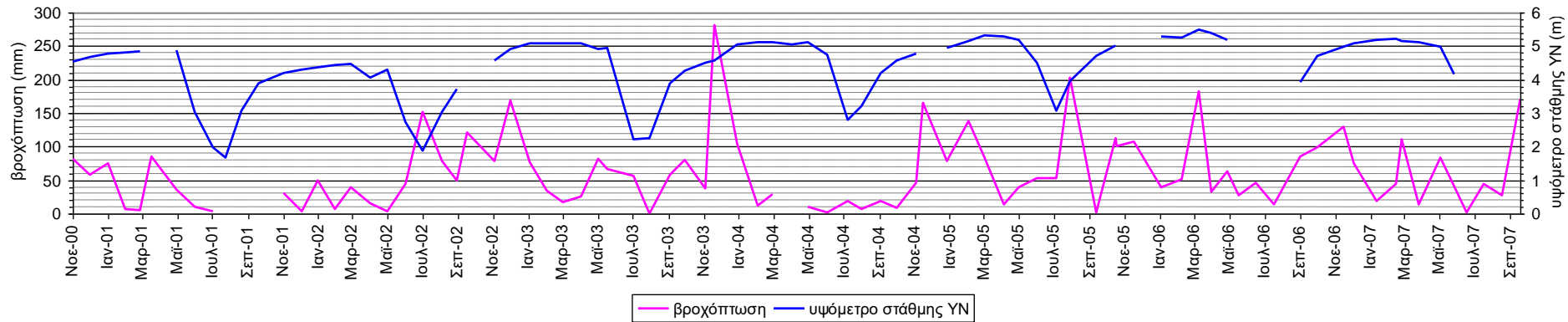
- | | | | | |
|---------------------------------|---------------------------|--|---------------------------------|----------------------------|
| σταθμηγράφος επιφανειακών νερών | πιεζόμετρο + σταθμηγράφος | πιεζόμετρο + σταθμηγράφος + αγωγιμόμετρο | πιεζόμετρο εγκαταστημένο πλήρες | σταθμός βροχομετρικός |
| κανάλια εμπλουτισμού | λεκάνες κατάκλισης | αγωγός μεταφοράς | 2000 μS/cm (Απρίλιος 1974) | 2000 μS/cm (Απρίλιος 1990) |
| | | | 2000 μS/cm (Απρίλιος 1993) | |

παρακολούθηση της μεταβολής της στάθμης γεωτρήσεων

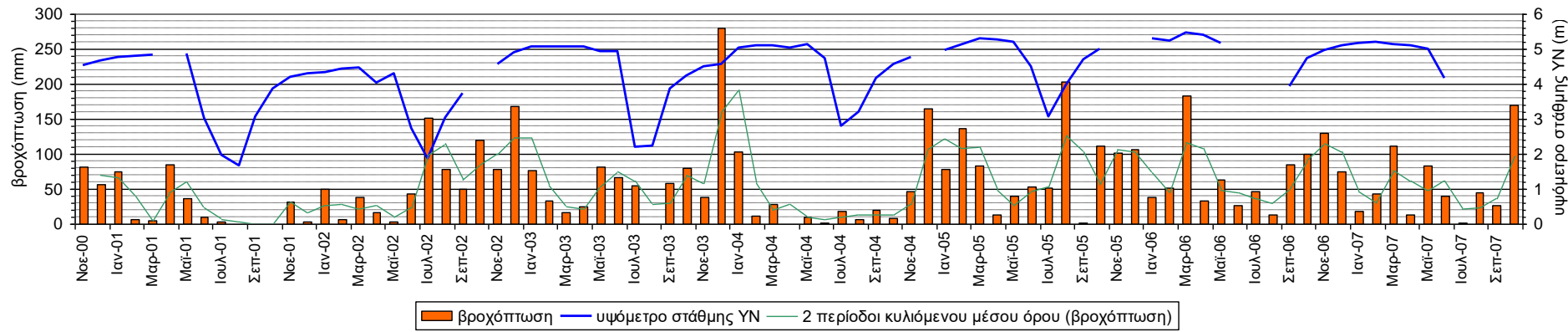




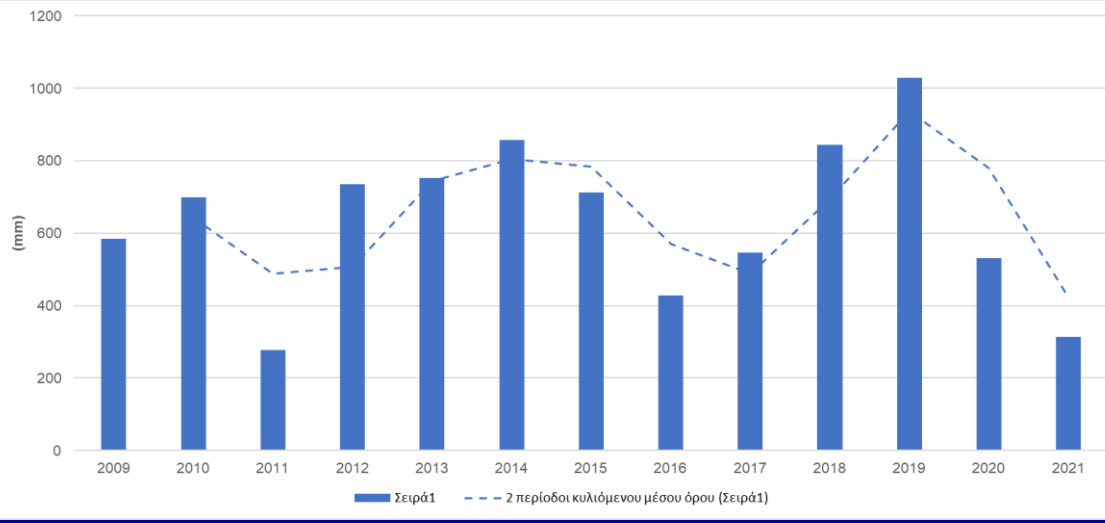
16/11/2000-2/10/2007



16/11/2000-2/10/2007

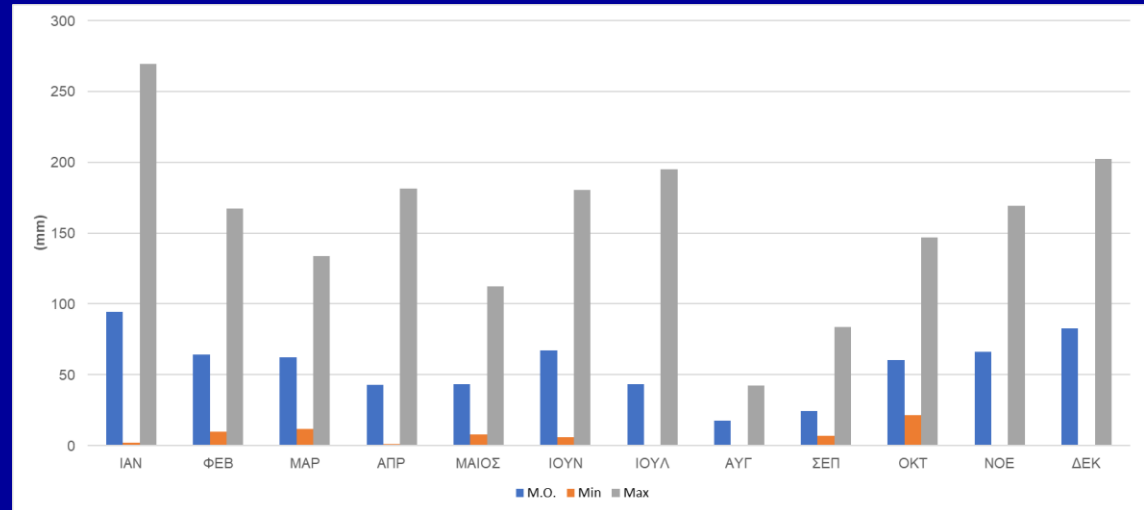


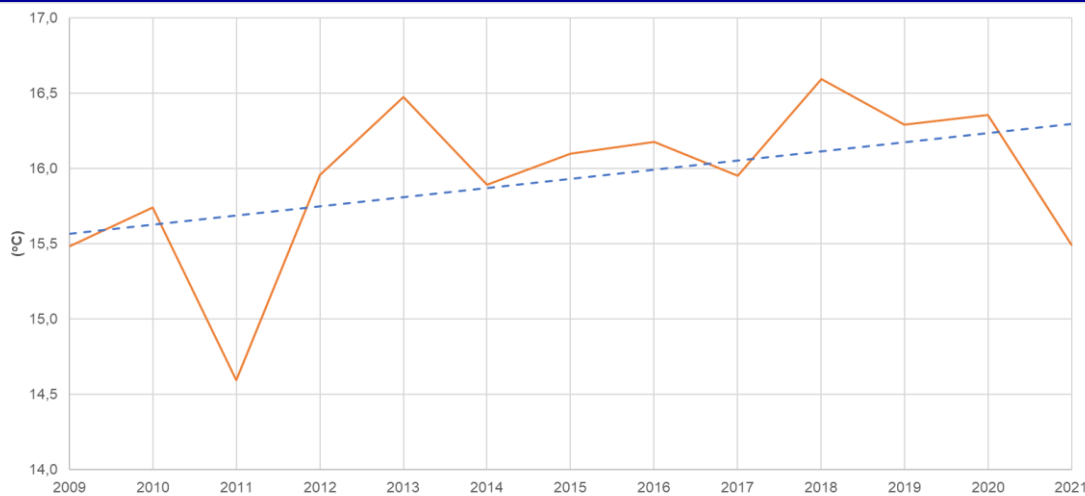
Ενιαίο διάγραμμα μεταβολής μηνιαίων τιμών βροχόπτωσης (από βροχομετρικό σταθμό Γενισέας)-κυλιόμενου μέσου όρου και τιμών του υψόμετρου στάθμης του υπόγειου νερού (από σταθμηγράφο Αβάτου), περίοδος: 16/11/2000–2/10/2007 (υψόμετρο θέσης: 8,6 m).



Διακύμανση των τιμών της ετήσιας βροχόπτωσης (mm) στον μετεωρολογικό σταθμό Ξάνθης για την περίοδο 2009-2021 και κυλιόμενος μέσος 2 περιόδων (διακεκομμένη γραμμή).

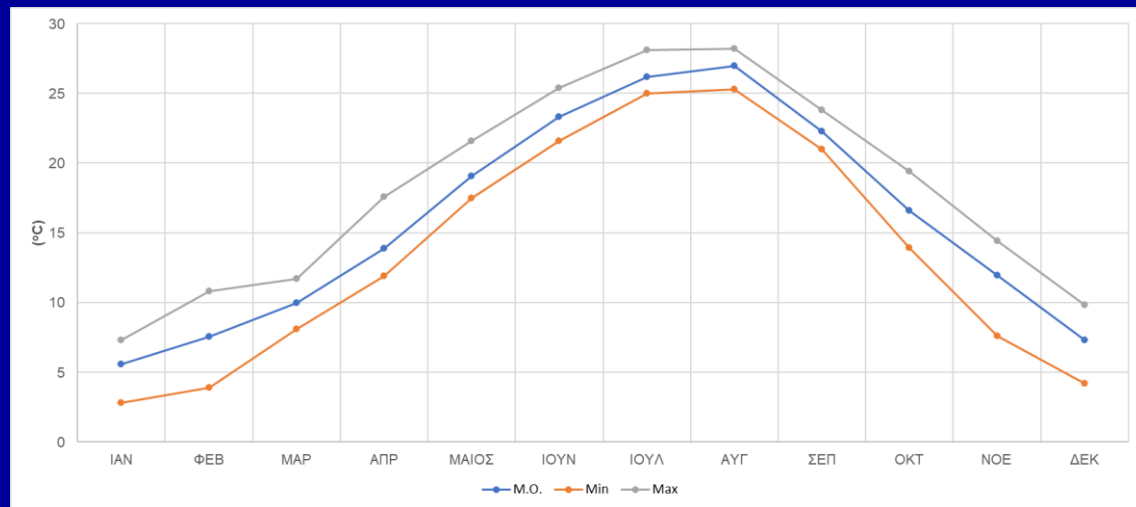
Διακύμανση της μέσης, ελάχιστης και μέγιστης μηνιαίας τιμής ύψους βροχόπτωσης (mm) στον μετεωρολογικό σταθμό Ξάνθης για την περίοδο 2009-2021.





Διακύμανση των τιμών της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας (°C) στον μετεωρολογικό σταθμό Ξάνθης για την περίοδο 2009-2021.

Διακύμανση των τιμών της μέσης, ελάχιστης και μέγιστης μηνιαίας τιμής θερμοκρασίας (°C) στον μετεωρολογικό σταθμό Ξάνθης για την περίοδο 2009-2021.



ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

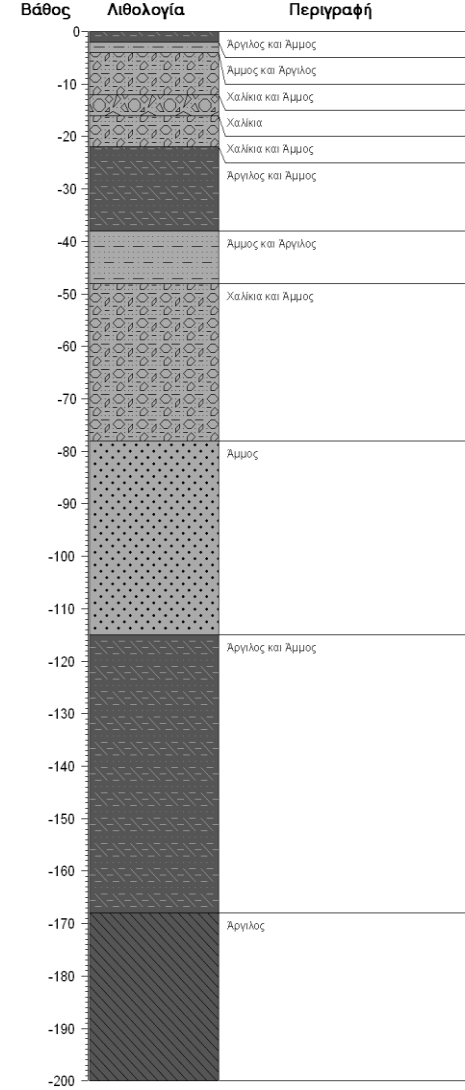
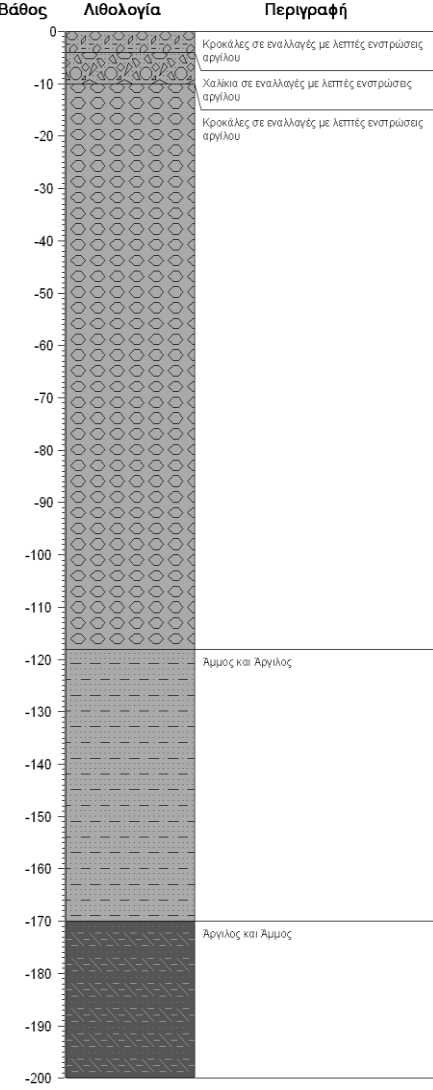
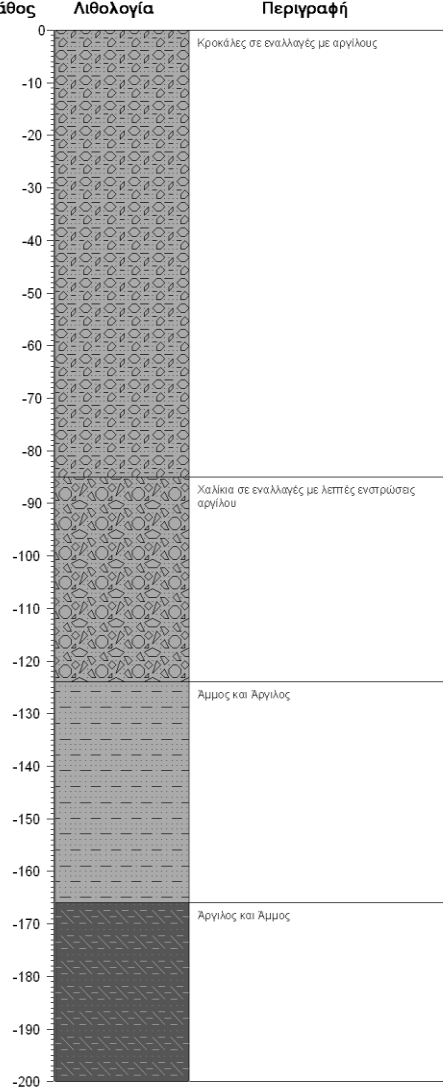
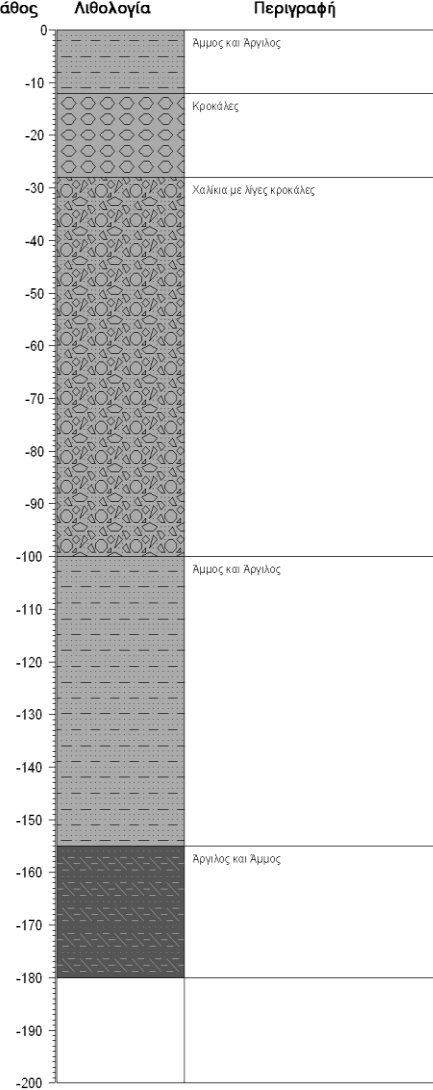
- ✓ Προηγούμενες υδρογεωλογικές και υδροχημικές έρευνες από το Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας του Τομέα Γεωτεχνικής Μηχανικής του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Δ.Π.Θ. (ενδεικτικά: Πλιάκας κ.ά., 2014, Γκιουγκής, 2018, Μπουρογιαννόπουλος, 2019, κλπ).
- ✓ Χημικές αναλύσεις στο πλαίσιο των ερευνών: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} , Fe^{2+} , Mn^{2+} , αλκαλικότητα P, αλκαλικότητα M, σκληρότητα (παροδική, μόνιμη, ολική), pH, ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα (SEC).
- ✓ Σε ό,τι αφορά την καταλληλότητα των δειγμάτων υπόγειου νερού που έχουν εξετασθεί, τα περισσότερα από αυτά κρίνονται ακατάλληλα για πόση και για άρδευση, ως προβληματικά.



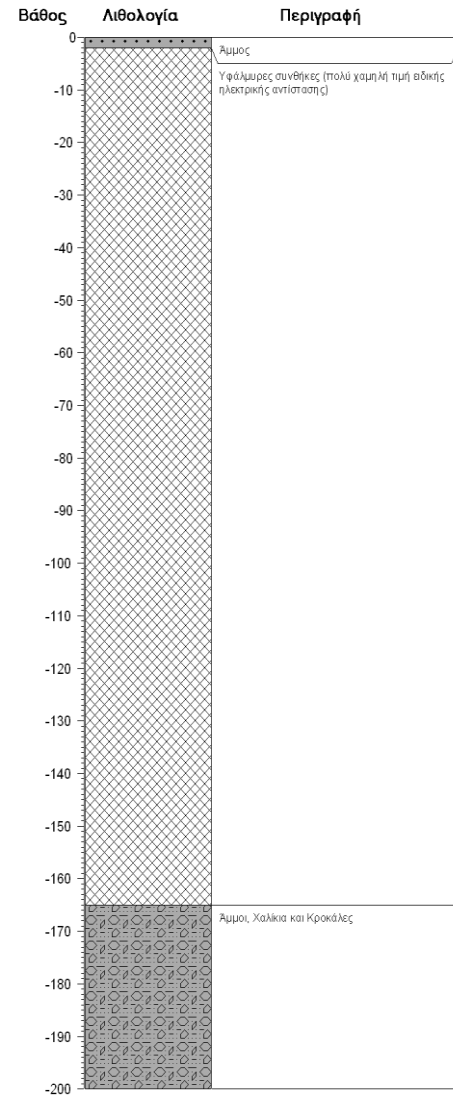
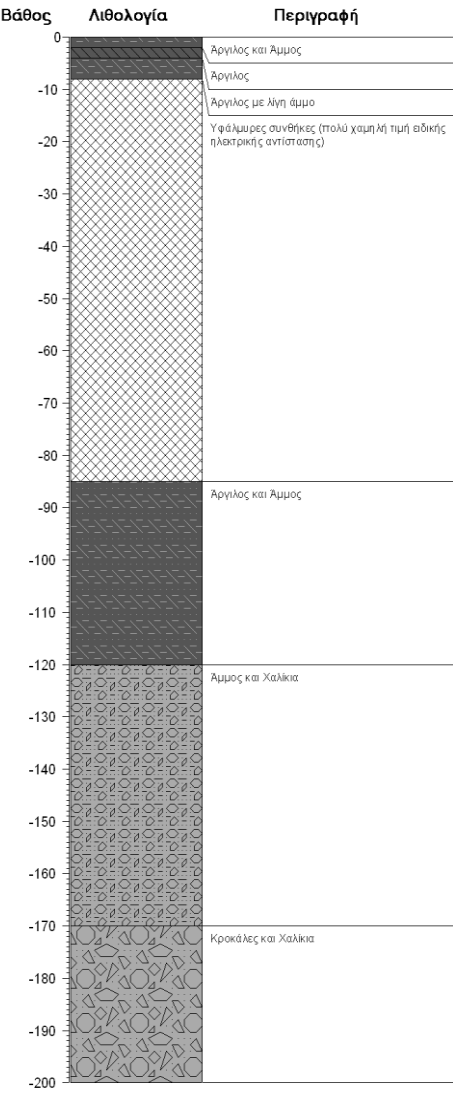
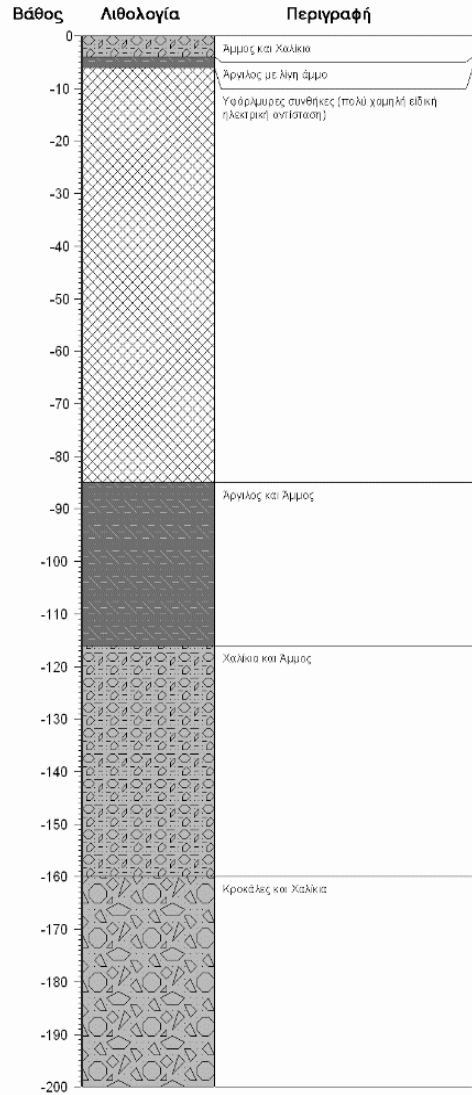
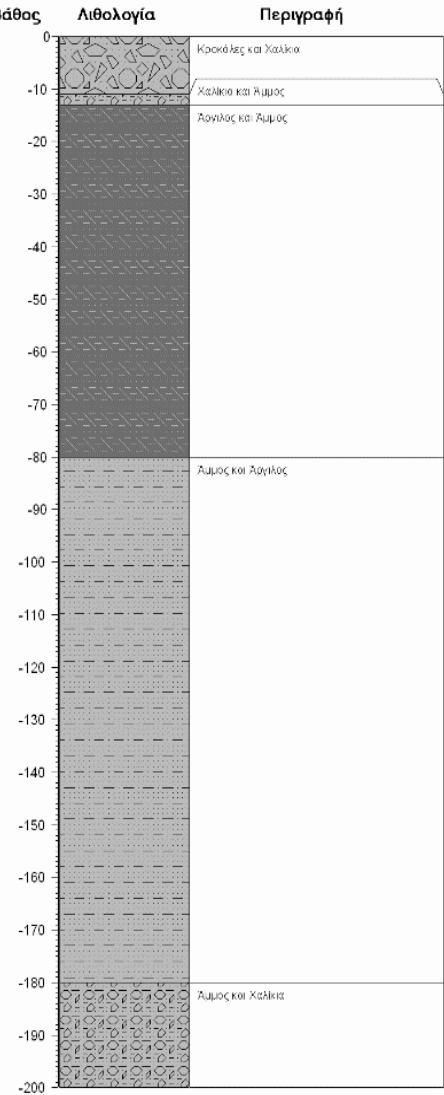
Δίκτυο γεωτρήσεων της περιοχής έρευνας βάσει πραγματικών συντεταγμένων
(απογραφή: Γκιουγκής, 2018)



Θέσεις των γεωηλεκτρικών διασκοπήσεων (Geo 1 – Geo 10)



Γεωηλεκτρικές τομές όπως προέκυψαν από την ερμηνεία επιλεγμένων γεωηλεκτρικών διασκοπήσεων (Δυτικά όρια)

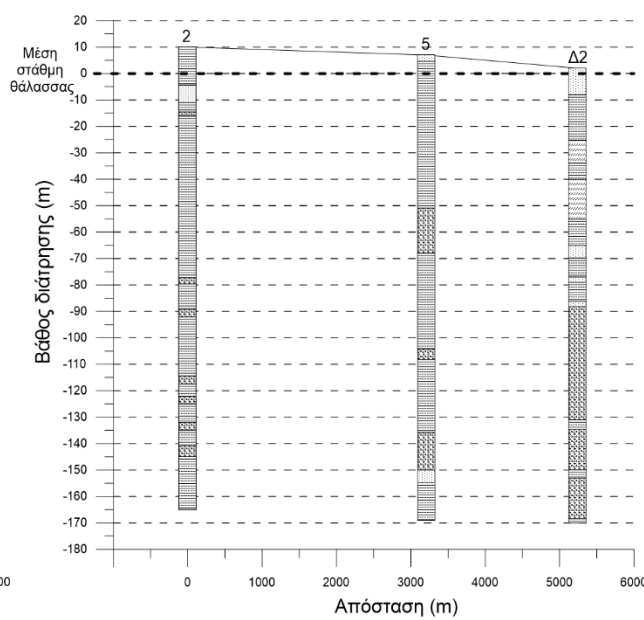
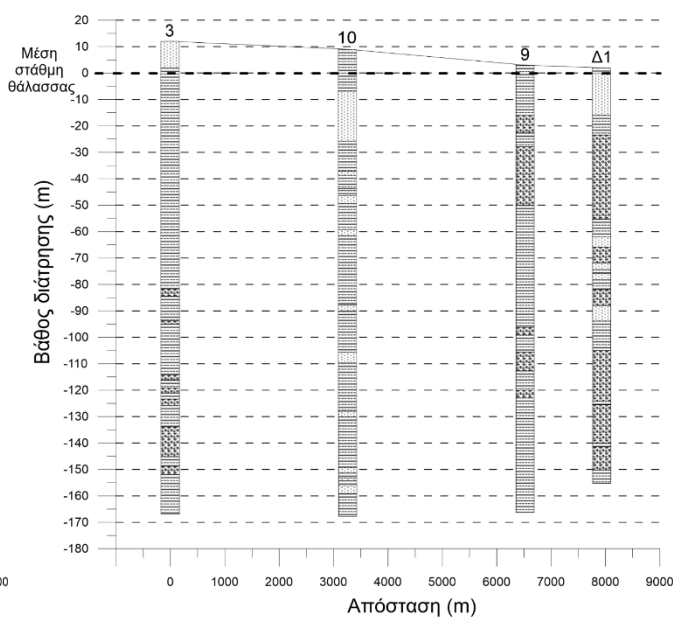
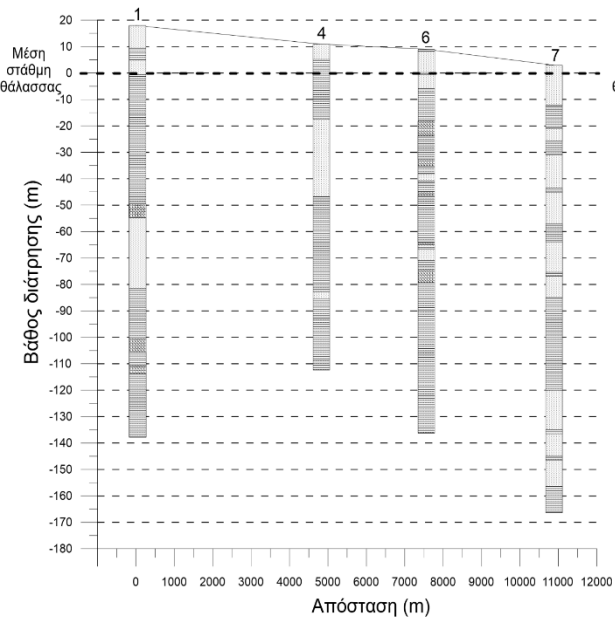


Γεωηλεκτρικές τομές όπως προέκυψαν από την ερμηνεία επιλεγμένων γεωηλεκτρικών διασκοπήσεων (Ανατολικά όρια)

A Τομές γεωτρήσεων κατά μήκος τον άξονα A-A' → A'

B Τομές γεωτρήσεων κατά μήκος τον άξονα B-B' → B'

Γ Τομές γεωτρήσεων κατά μήκος τον άξονα Γ-Γ' → Γ'



Απόσταση (m)
 Αργίλος
 Άμμος
 Χάλικες (με άμμος ή άργιλο)

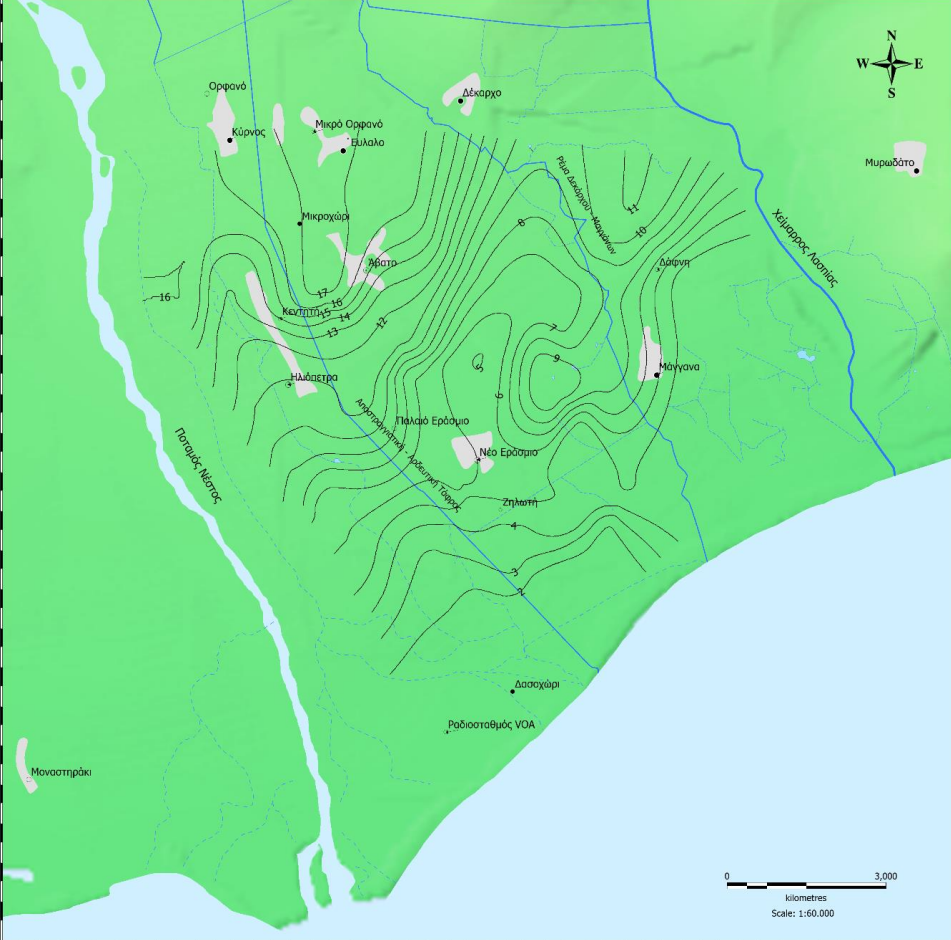
Απόσταση (m)
 Αργίλος
 Άμμος
 Άμμος-Χάλικες

Απόσταση (m)
 Αργίλος
 Άμμος
 Άμμος-Χάλικες
 Ψαμμίτης

Γεωλογικοί σχηματισμοί βάσει γεωλογικών τομών γεωτρήσεων σε συγκεκριμένες θέσεις της περιοχής έρευνας – κατά τους άξονες A-A', B-B' και Γ-Γ'

ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

- ✓ Προηγούμενες υδρογεωλογικές και υδροχημικές έρευνες από το Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας του Τομέα Γεωτεχνικής Μηχανικής του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Δ.Π.Θ. (ενδεικτικά: Πλιάκας κ.ά., 2014, Γκιουγκής, 2018, Μπουρογιαννόπουλος, 2019, κλπ).
- ✓ Χημικές αναλύσεις στο πλαίσιο των ερευνών: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} , Fe^{2+} , Mn^{2+} , αλκαλικότητα P, αλκαλικότητα M, σκληρότητα (παροδική, μόνιμη, ολική), pH, ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα (SEC).
- ✓ Σε ό,τι αφορά την καταλληλότητα των δειγμάτων υπόγειου νερού που έχουν εξετασθεί, τα περισσότερα από αυτά κρίνονται ακατάλληλα για πόση και για άρδευση, ως προβληματικά.



Πιεζομετρικός χάρτης του ελεύθερου υδροφορέα της περιοχής έρευνας (Απρίλιος, 2014)

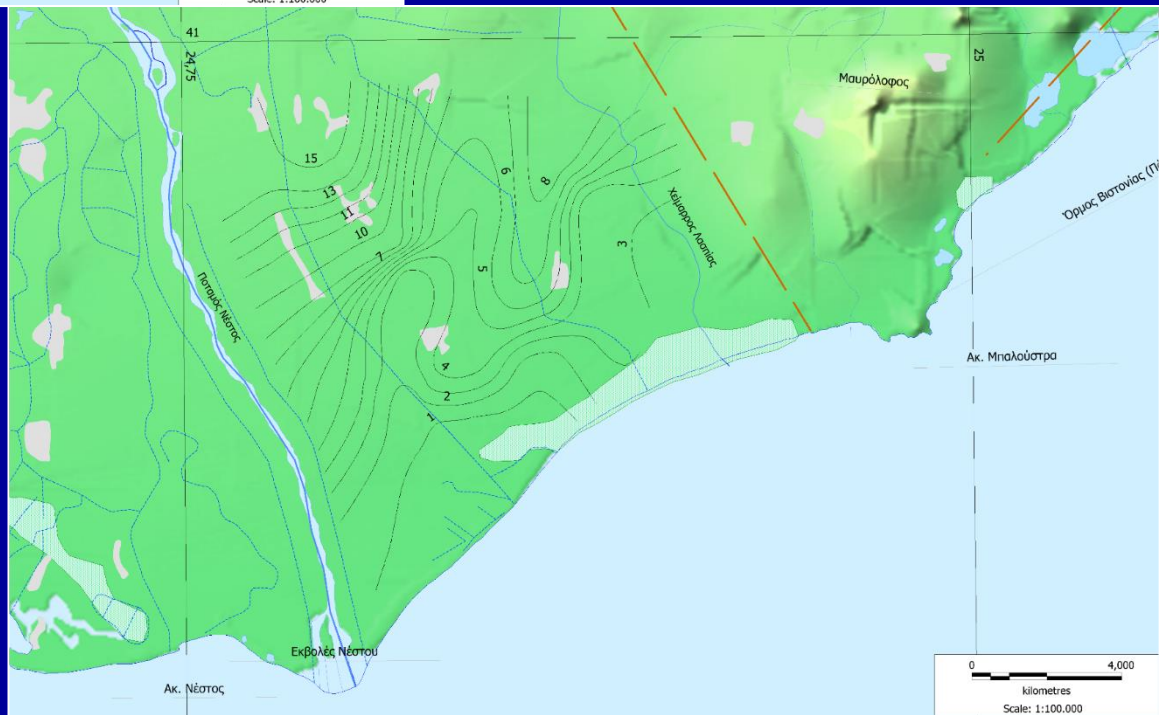


Πιεζομετρικός χάρτης του ελεύθερου υδροφορέα της περιοχής έρευνας (Οκτώβριος 2014)

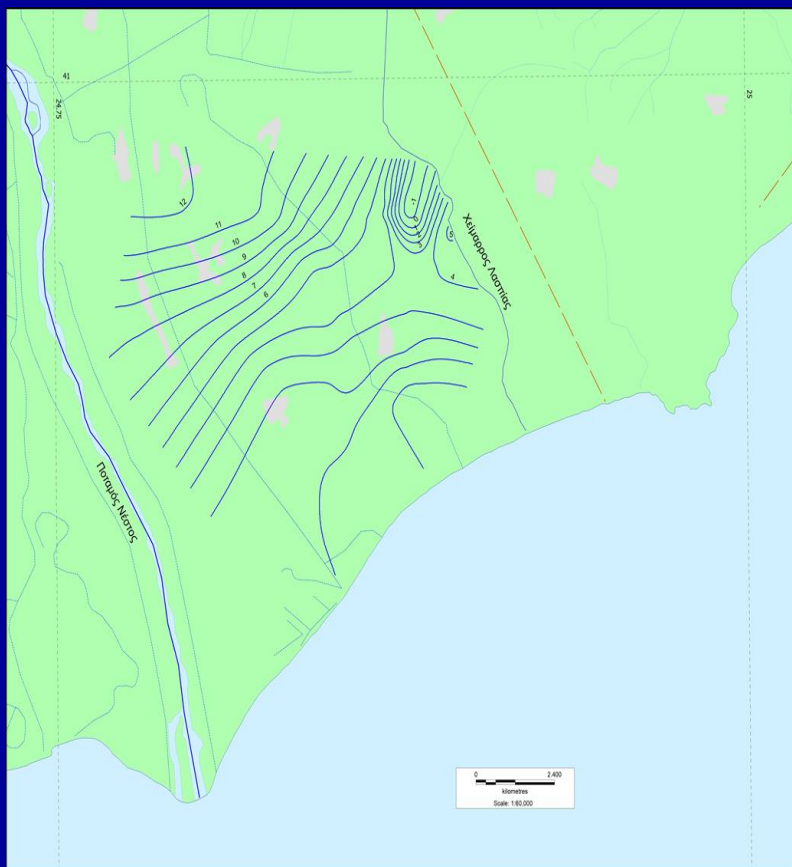
(Γκιουγκής, 2018)



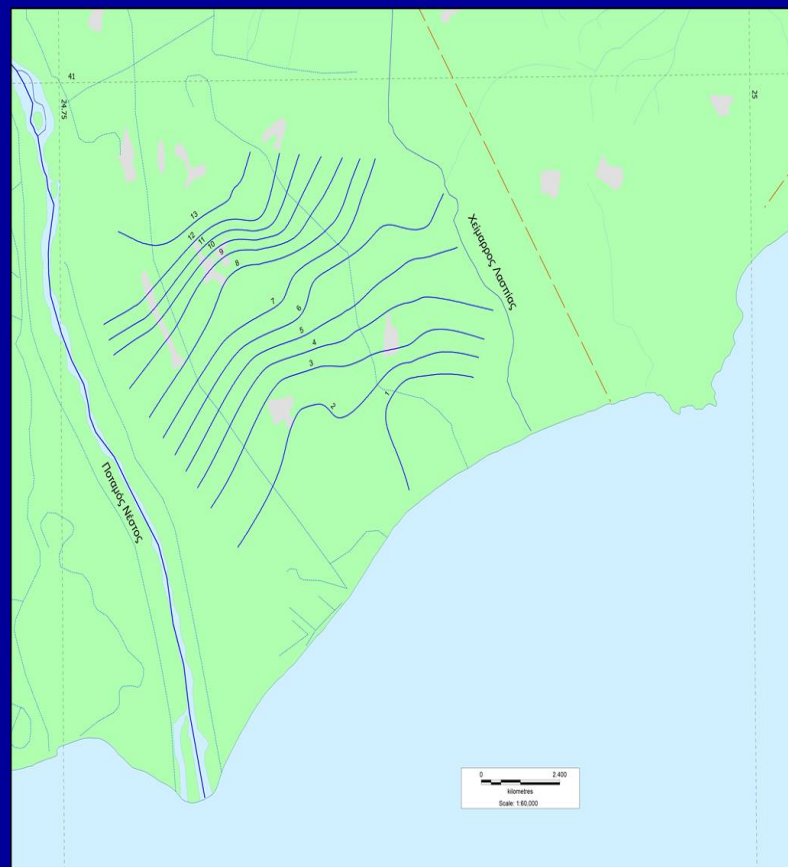
Πιεζομετρικός χάρτης του ελεύθερου υδροφορέα της περιοχής έρευνας (Απρίλιος, 2018) (Μπουρογιαννόπουλος, 2019).



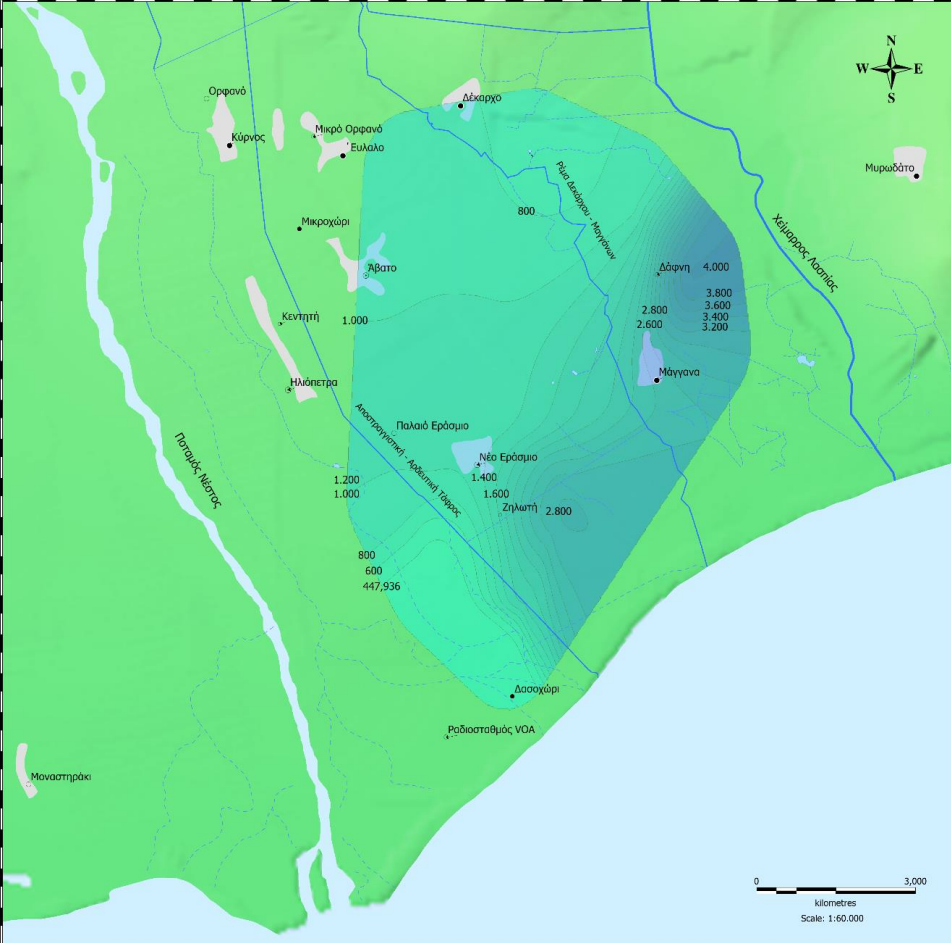
Πιεζομετρικός χάρτης του ελεύθερου υδροφορέα της περιοχής έρευνας (Οκτώβριος, 2018) (Μπουρογιαννόπουλος, 2019).



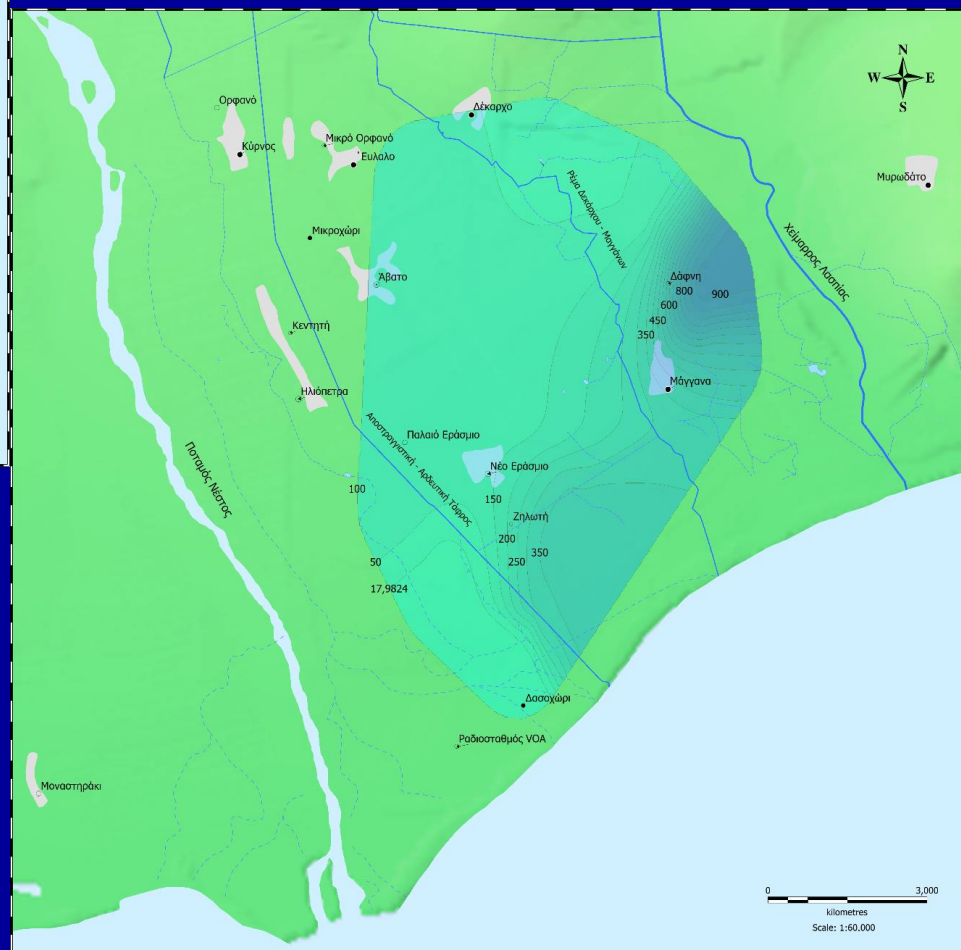
Πιεζομετρικός χάρτης του ελεύθερου υδροφορέα της περιοχής έρευνας (Οκτώβριος 2020) (Γκιουγκής, 2022).



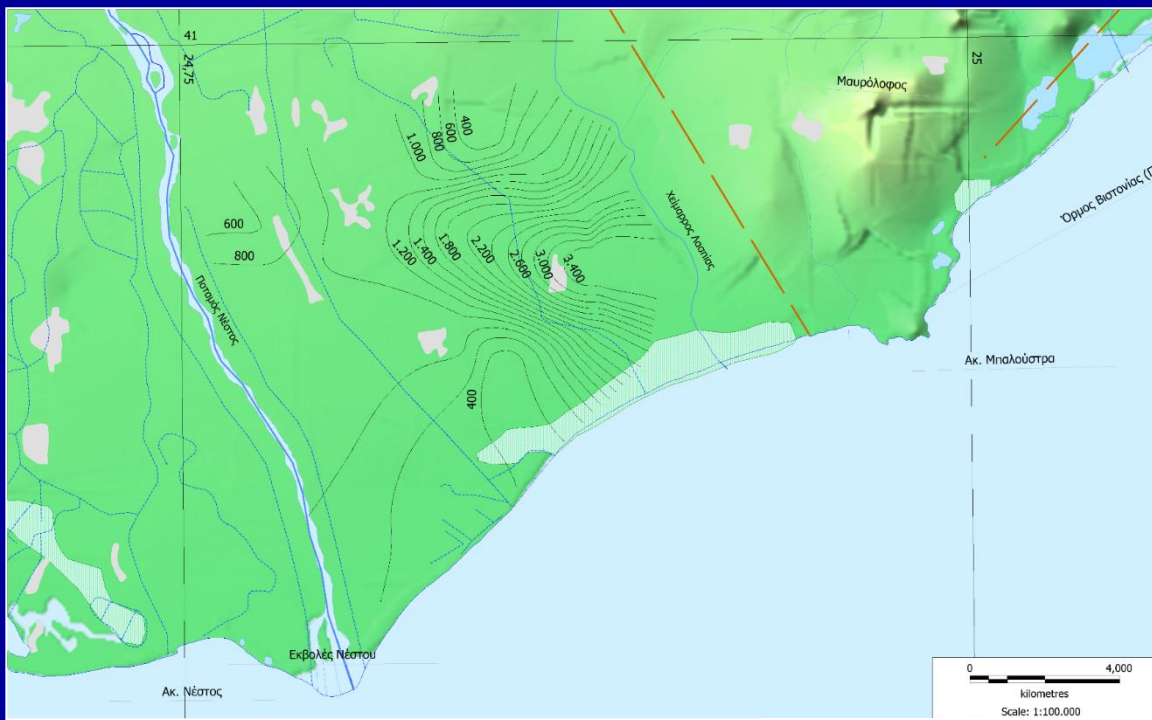
Πιεζομετρικός χάρτης του ελεύθερου υδροφορέα της περιοχής έρευνας (Απρίλιος 2021) (Γκιουγκής, 2022).



Χάρτης με την κατανομή των τιμών της ειδικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας (SEC) του ελεύθερου υδροφορέα της περιοχής έρευνας (μS/cm) – Ιούλιος 2014



Χάρτης με την κατανομή των τιμών συγκέντρωσης ιόντων χλωρίου (Cl⁻) (mg/L) του ελεύθερου υδροφορέα της περιοχής έρευνας – Ιούλιος 2014

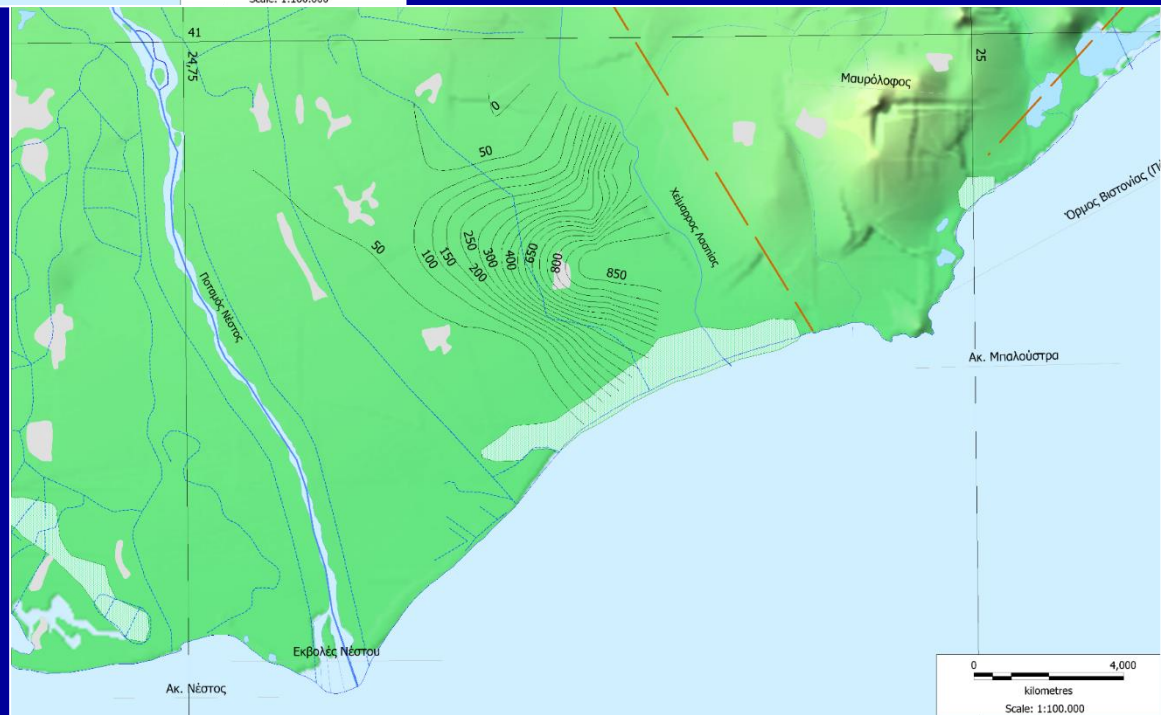


Χάρτης με την κατανομή των τιμών της ειδικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας (SEC) του ελεύθερου υδροφορέα της περιοχής έρευνας ($\mu\text{S}/\text{cm}$) – Ιούλιος 2018 (Μπουρογιαννόπουλος, 2019).

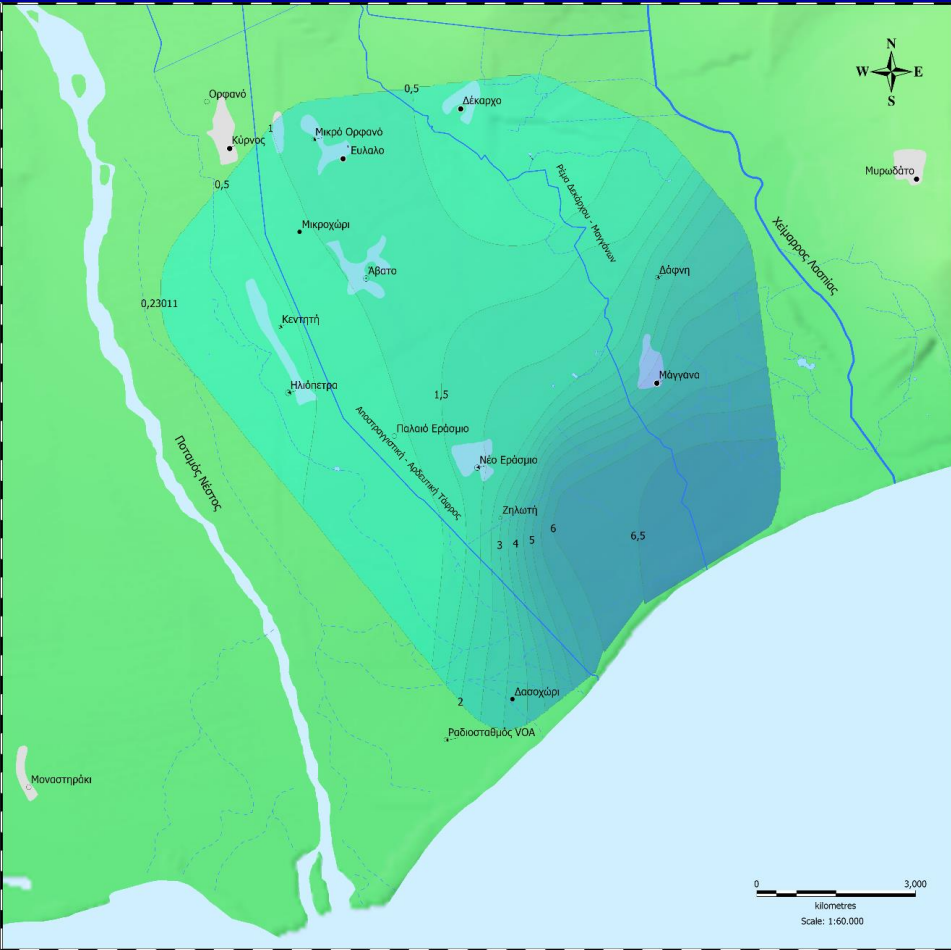
➤ Τιμές SEC: 305 - 3590 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (ανώτατη αποδεκτή τιμή: 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

➤ Συγκεντρώσεις Cl^- : 0 - 886,5 mg/L (ανώτατη αποδεκτή τιμή: 250 mg/L).

Χάρτης με την κατανομή των τιμών συγκέντρωσης ιόντων χλωρίου (Cl^-) (mg/L) του ελεύθερου υδροφορέα της περιοχής έρευνας – Ιούλιος 2018 (Μπουρογιαννόπουλος, 2019).

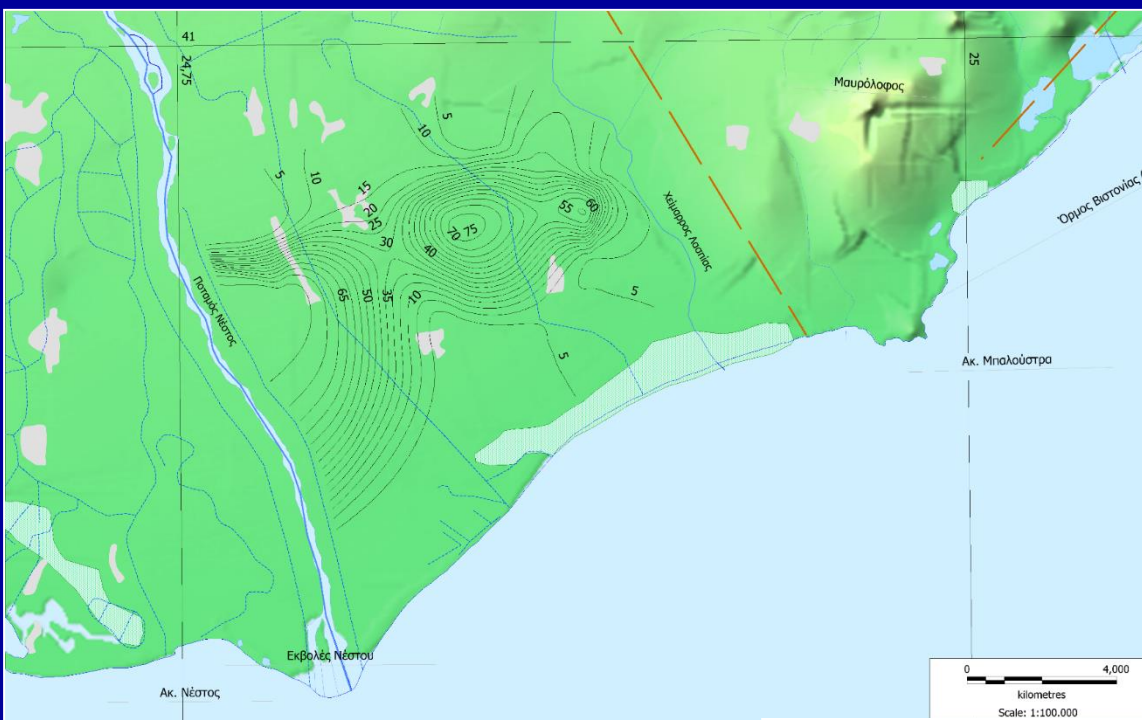


Χωρική κατανομή συντελεστή προσρόφησης νατρίου, SAR, περιόδου Ιουλίου 2013



Χωρική κατανομή συντελεστή Revelle κατά την περίοδο Ιουλίου 2014

(Γκιουγκής, 2018)

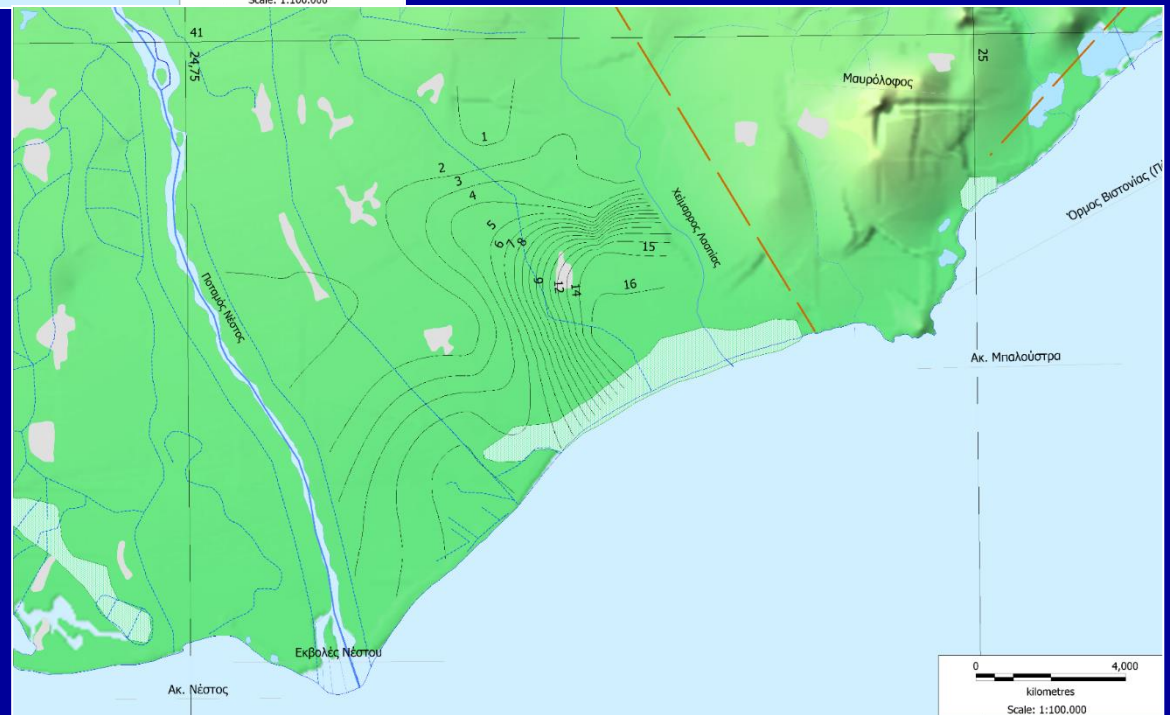


Χάρτης με την κατανομή των τιμών συγκέντρωσης νιτρικών ιόντων (NO_3^-) (mg/L) του ελεύθερου υδροφορέα της περιοχής έρευνας – Ιούλιος 2018 (Μπουρογιαννόπουλος, 2019).

➤ Συγκεντρώσεις NO_3^- : 0 - 78 mg/L (επιτρεπόμενο όριο: 50 mg/L).

➤ Τιμή SAR > 6: αυξημένα ως σοβαρά προβλήματα στη γεωργική απόδοση.

Χάρτης με την κατανομή του συντελεστή προσρόφησης νατρίου (SAR) του ελεύθερου υδροφορέα της περιοχής έρευνας – Ιούλιος 2018.





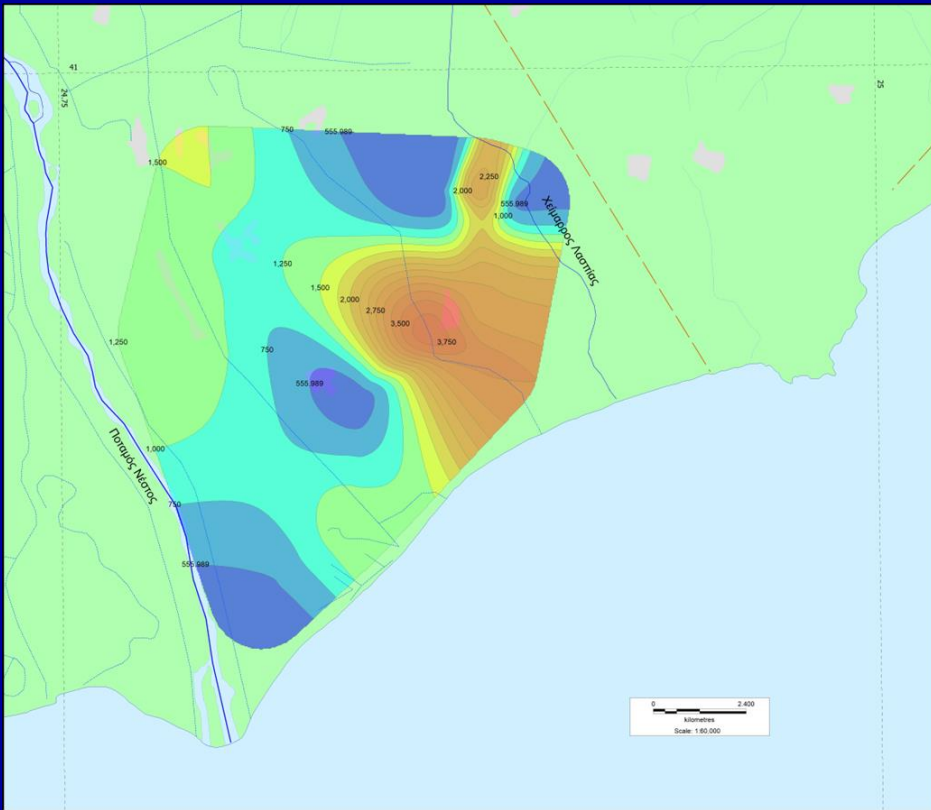
Χάρτης με την κατανομή των τιμών του δείκτη Revelle ($Cl/(CO_3 + HCO_3)$ σε mg/L) του ελεύθερου υδροφορέα της περιοχής έρευνας – Ιούλιος 2018 (Μπουρογιαννόπουλος, 2019).

Χαρακτηρισμός βαθμού ρύπανσης νερού από τη διείσδυση της θάλασσας (Simpson, 1946, Καλλέργης, 2000).

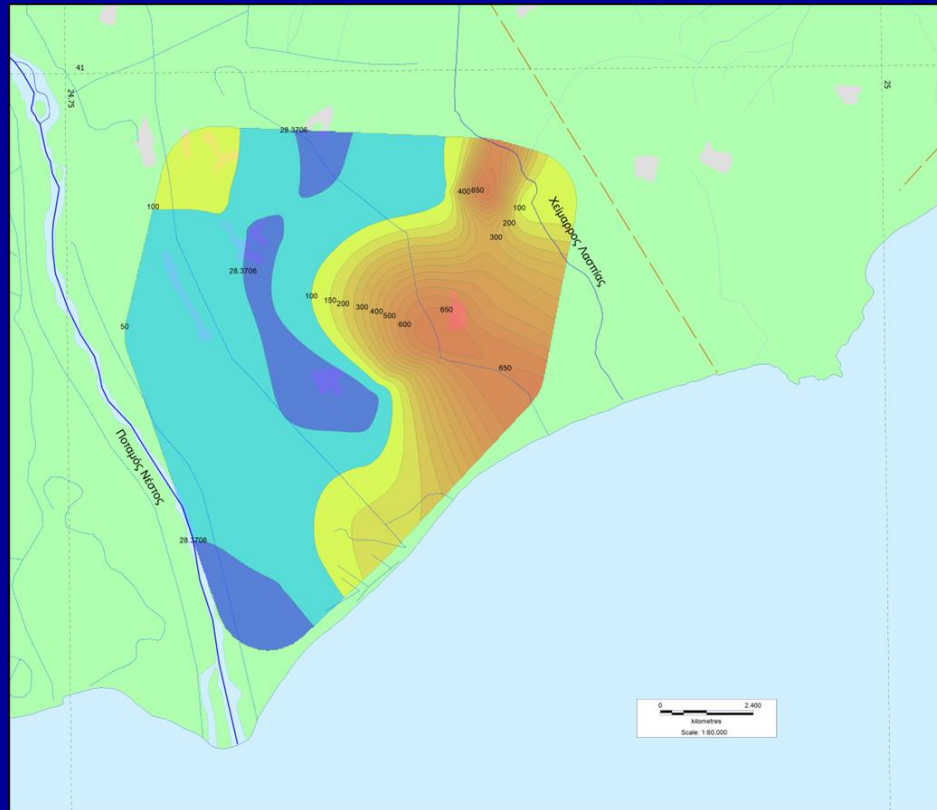
Προτεινόμενο όριο συντελεστή Revelle κατά Καλλέργη (2000)	Προτεινόμενο όριο συντελεστή Revelle κατά Simpson (1946)	Χαρακτηρισμός νερού
< 1	0,5	Καλό υπόγειο νερό χωρίς ρύπανση από τη θάλασσα
1 – 2	1,3	Ελαφρά ρυπασμένο νερό
2 – 6	2,8	Μέτρια ρυπασμένο νερό
6 – 10	6,6	Σοβαρά ρυπασμένο νερό
10 – 150	15,5	Επικίνδυνα ρυπασμένο νερό
> 150	200 ±	Θαλασσινό νερό

Τιμές του δείκτη Revelle: 0,1 - 2,8

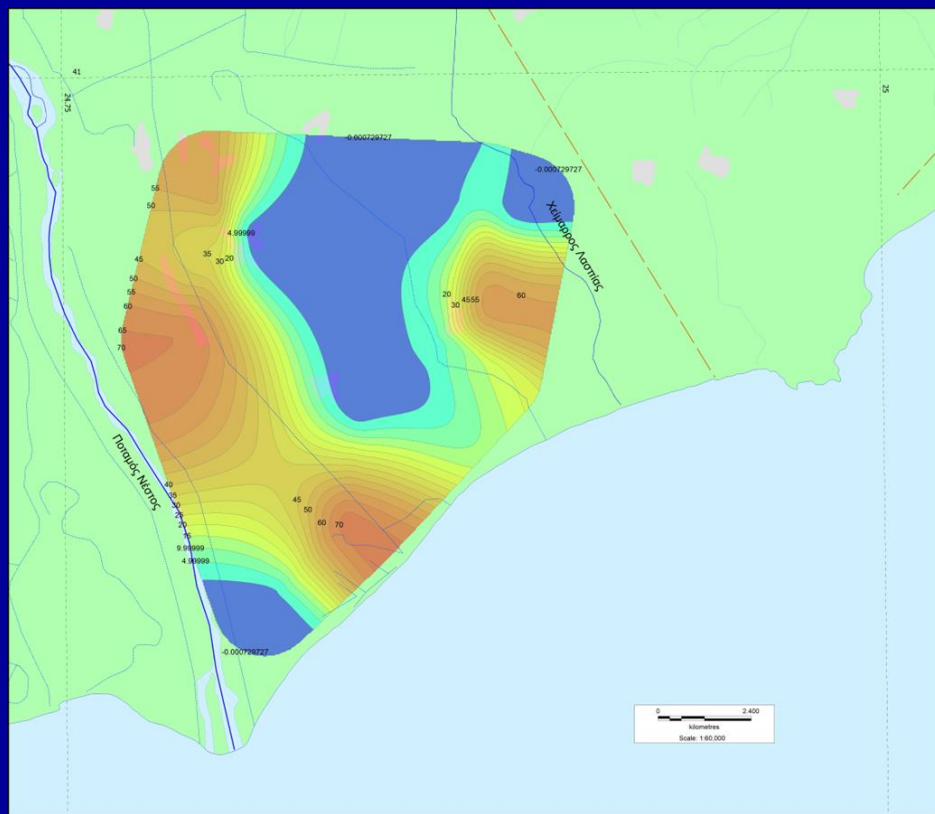
➤ Το υπόγειο νερό μπορεί να χαρακτηριστεί από καλό – χωρίς ρύπανση από θάλασσα έως μέτρια ρυπασμένο.



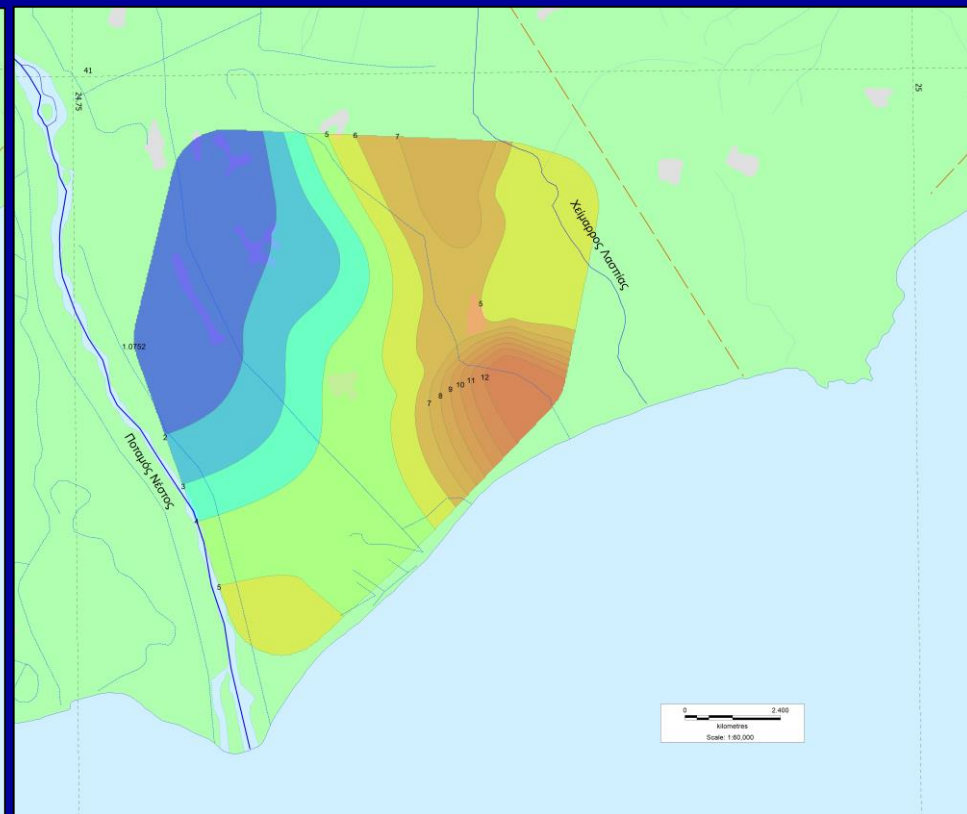
Χάρτης με την κατανομή των τιμών της ειδικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας (SEC) του ελεύθερου υδροφορέα της περιοχής έρευνας ($\mu\text{S}/\text{cm}$) – Ιούλιος 2020 (Γκιουγκής, 2022).



Χάρτης με την κατανομή των τιμών συγκέντρωσης χλωρίου ιόντων (Cl^-) (mg/L) του ελεύθερου υδροφορέα της περιοχής έρευνας – Ιούλιος 2020 (Γκιουγκής, 2022).



Χάρτης με την κατανομή των τιμών συγκέντρωσης νιτρικών ιόντων (NO_3^-) (mg/L) του ελεύθερου υδροφόρου της περιοχής έρευνας – Ιούλιος 2020 (Γκιουγκής, 2022).



Χάρτης με την κατανομή των τιμών του δείκτη SAR του ελεύθερου υδροφόρου της περιοχής έρευνας – Ιούλιος 2020 (Γκιουγκής, 2022).

ΙΟΝΤΙΚΟΙ ΛΟΓΟΙ

Οι ιοντικοί λόγοι αποτελούν σημαντικότερες παραμέτρους, που βοηθούν στην αναγνώριση της προέλευσης των υπόγειων νερών. Οι τιμές της συγκέντρωσης των ιόντων, που χρησιμοποιούνται στον εκάστοτε ιοντικό λόγο για τον προσδιορισμό αυτού, είναι πάντα εκφρασμένες σε meq/L. Στην παρούσα διατριβή εξετάστηκαν οι ιοντικοί λόγοι:

- Mg^{2+}/Ca^{2+} ,
- Na^+/K^+ ,
- Na^+/Cl^- ,
- SO_4^{2-}/Cl^- και
- $(Ca^{2+}+Mg^{2+})/(K^++Na^+)$.

➤ **Br⁻**
<0,01 mg/L (fgw)
65-67 mg/L (sw)

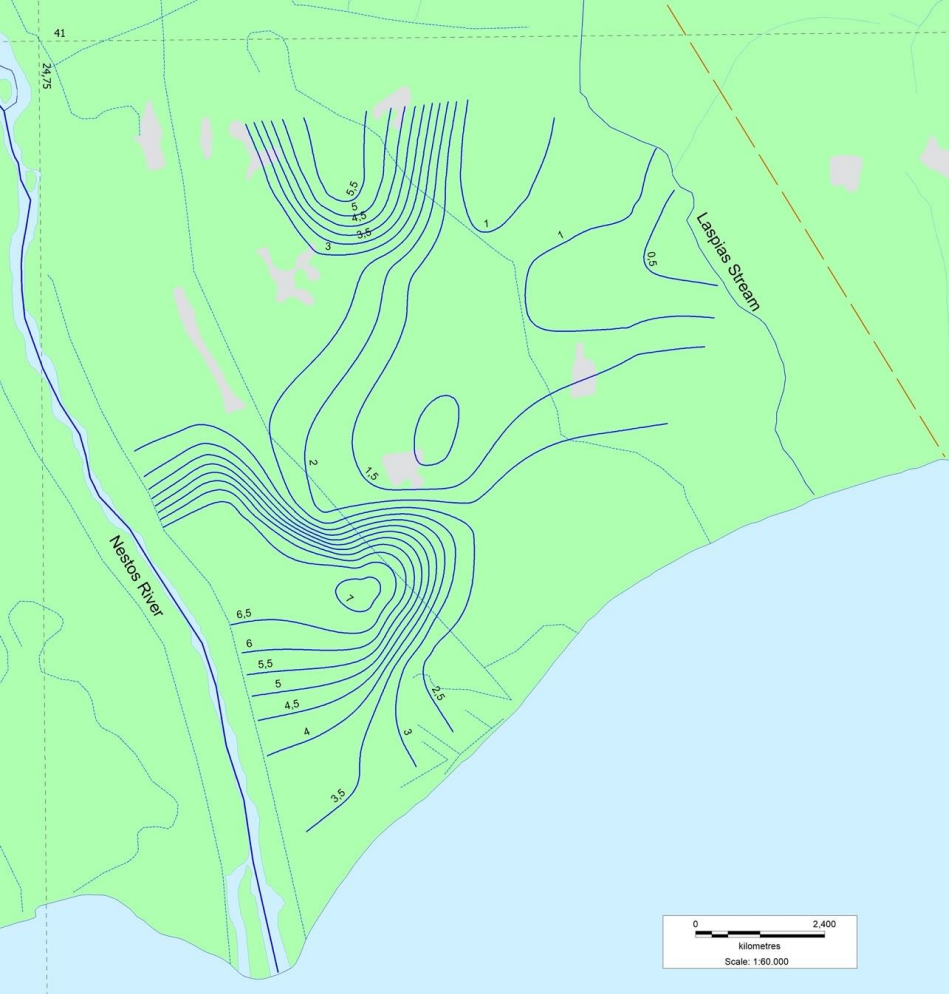
➤ **Na⁺/Cl⁻**
= 0,876 ± 10% (fgw)
< 0,876 ± 10% (salinization)

➤ **Mg²⁺/Ca²⁺**
0,2-1,5 (fgw)
≈5 (sw)

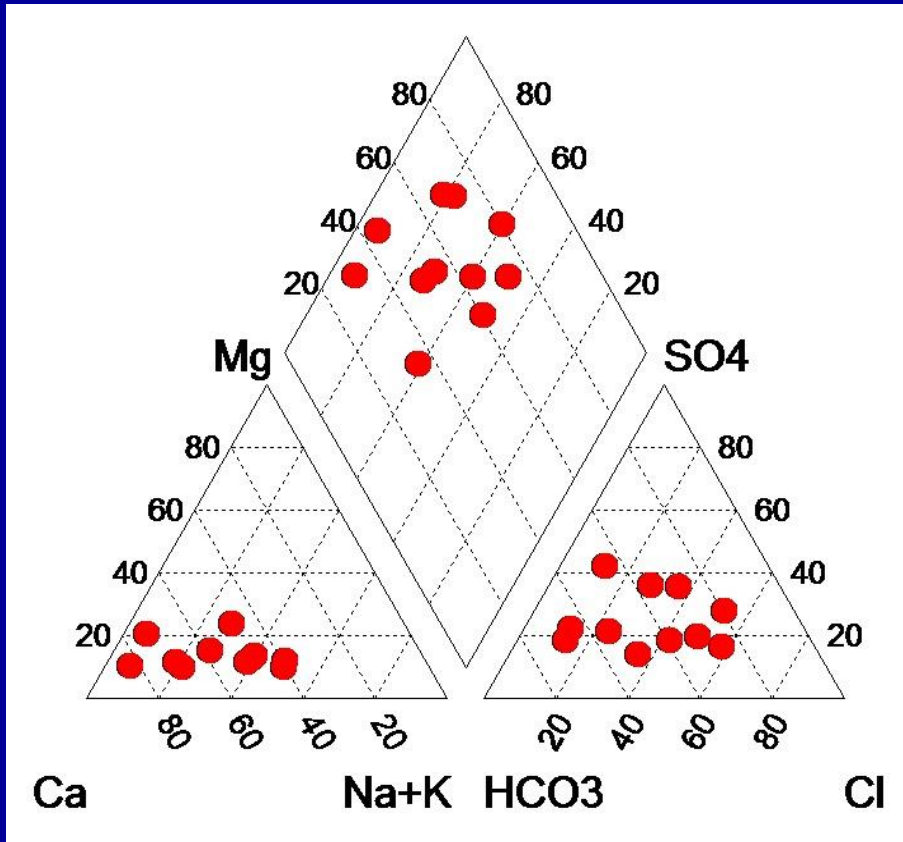
➤ **SO₄²⁻/Cl⁻**
0,07-0,1 (sw)

➤ Συγκεντρώσεις σε (meq/L)

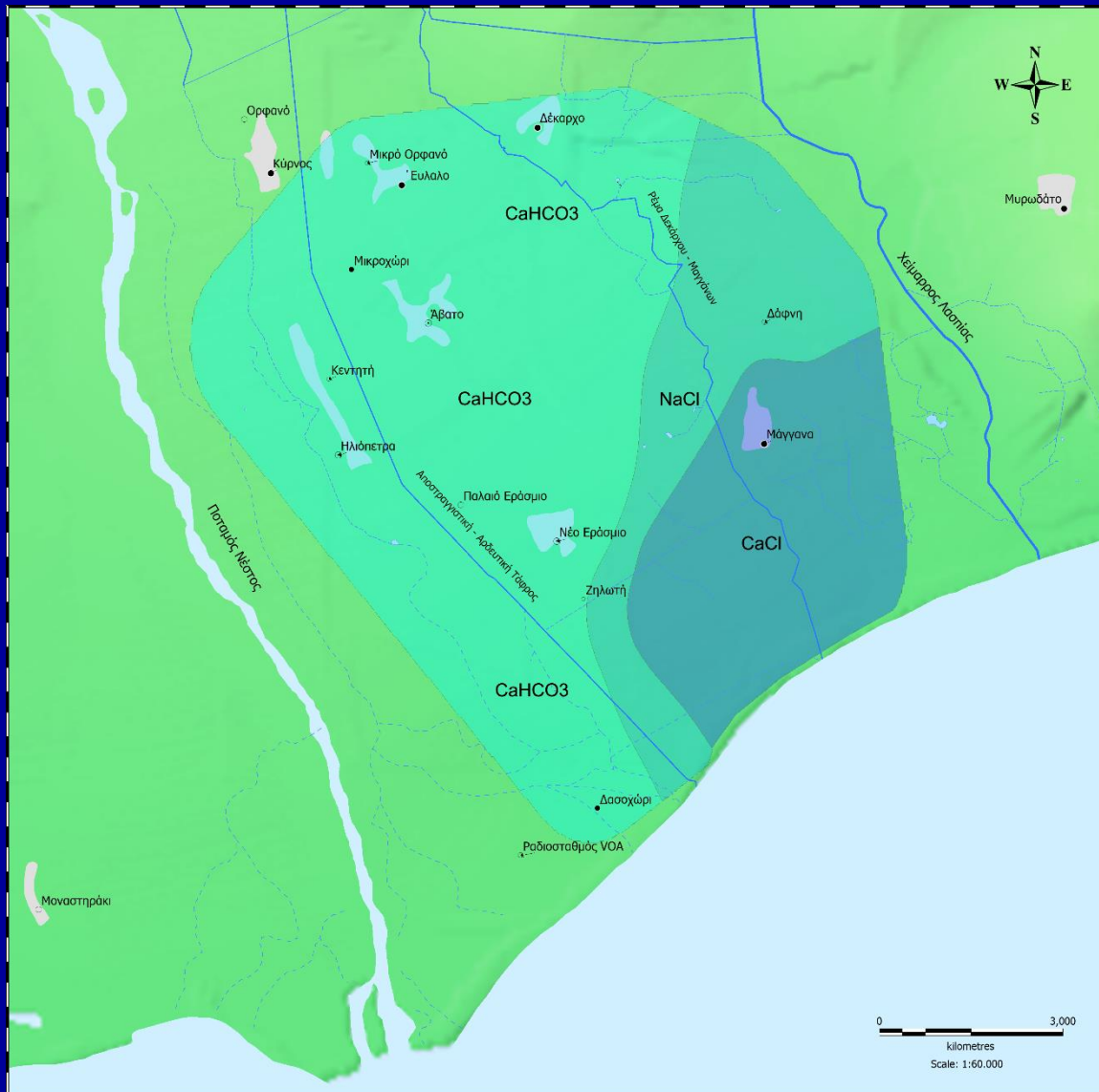
Χωρική κατανομή του
ιοντικού λόγου Na^+/Cl^- κατά
την περίοδο Ιουλίου 2019
(Λυμπεριάδου, 2021)



Χωρική κατανομή του
ιοντικού λόγου $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$
κατά την περίοδο Ιουλίου
2019 (Λυμπεριάδου, 2021)



Τριγωνικό διάγραμμα κατά Ritter (1944) με τα δείγματα των υπόγειων νερών του φρεάτιου υδροφορέα της περιοχής έρευνας από τις χημικές αναλύσεις του Ιουλίου 2013



Χωρική κατανομή
 κυριότερων υδροχημικών
 τύπων των υπόγειων νερών
 του φρεάτιου υδροφορέα
 της περιοχής έρευνας
 (Ιούλιος 2013)

Γεώτρηση	SEC (μS/cm)	TDS (mg/L)	Τάξη	Γεώτρηση	SEC (μS/cm)	TDS (mg/L)	Τάξη
64	1728	1123.2	C ₃	241	928	603.2	C ₃
237	1098	713.7	C ₃	223	778	505.7	C ₃
236	1443	937.9	C ₃	248	2670	1735.5	C ₄
228	1613	1048.4	C ₃	229	5100	3315	C ₄
234	1147	745.5	C ₃	53	3440	2236	C ₄
220	948	616.2	C ₃	225	999	649.3	C ₃
17	833	541.4	C ₃	246	965	627.3	C ₃
235	1165	757.2	C ₃	245	417	271.1	C ₂
239	568	369.2	C ₂	23D	1289	837.8	C ₃
227	2440	1586	C ₄	222	669	434.8	C ₂
240	593	385.4	C ₂	242	456	296.4	C ₂
32	4470	2905.5	C ₄	243	983	638.9	C ₃
23S	1839	1195.3	C ₃	244	898	583.7	C ₃
226	1926	1251.9	C ₃	238	727	472.5	C ₂
233	1440	936	C ₃	221	1181	767.6	C ₃

Κατάταξη κατά Richards

(Πρέκα, 2009)

- **Τάξη C₂:** (TDS:200-500, EC:250-750). Μέτρια αλατότητα. Απαιτείται μέτρια απόπλυση των αρδευόμενων εδαφών.
- **Τάξη C₃:** (TDS:500-1500, EC:750-2250). Νερό υψηλής αλατότητας ακατάλληλο για άρδευση σε εδάφη περιορισμένης στράγγισης. Απαιτούνται μέτρα ελέγχου της αλατότητας και καλλιέργεια μόνο αλατοανθεκτικών φυτών.
- **Τάξη C₄:** (TDS:1500-3000, EC:2250-5000). Νερό πολύ υψηλής αλατότητας. Ακατάλληλο για άρδευση κάτω από συνηθισμένες συνθήκες, χρησιμοποιήσιμο σε ειδικές συνθήκες (εδάφη πολύ περατά, στράγγιση πολύ καλή). Συνιστάται η χρησιμοποίηση πλεονάσματος νερού, ώστε να επιτευχθεί η απόπλυση του εδάφους και η καλλιέργεια πολύ ανθεκτικών στην αλατότητα φυτών.

Κατάταξη κατά Ayers

Γεώτρηση	HCO ₃ (mg/L)	Cl (mg/L)	Na (mg/L)	Γεώτρηση	HCO ₃ (mg/L)	Cl (mg/L)	Na (mg/L)
64	367.22	316.30	164	64	Αυξανόμενα	Αυξανόμενα	Αυξανόμενα
237	355.02	121.27	116	237	Αυξανόμενα	Κανένα	Αυξανόμενα
236	427.61	168.08	148	236	Αυξανόμενα	Αυξανόμενα	Αυξανόμενα
228	301.34	289.35	130	228	Αυξανόμενα	Αυξανόμενα	Αυξανόμενα
234	364.17	119.86	90	234	Αυξανόμενα	Κανένα	Αυξανόμενα
220	181.17	117.73	104	220	Αυξανόμενα	Κανένα	Αυξανόμενα
17	325.74	86.52	104	17	Αυξανόμενα	Κανένα	Αυξανόμενα
235	314.76	115.60	96	235	Αυξανόμενα	Κανένα	Αυξανόμενα
239	141.52	29.79	31	239	Αυξανόμενα	Κανένα	Κανένα
227	425.78	448.21	440	227	Αυξανόμενα	Κανένα	Αυξανόμενα
240	311.10	24.11	30	240	Αυξανόμενα	Κανένα	Κανένα
32	800.32	946.07	880	32	Σοβαρά	Σοβαρά	Αυξανόμενα
23S	414.80	168.08	142	23S	Αυξανόμενα	Αυξανόμενα	Αυξανόμενα
226	444.08	228.36	206	226	Αυξανόμενα	Αυξανόμενα	Αυξανόμενα
233	472.14	78.72	80	233	Αυξανόμενα	Κανένα	Αυξανόμενα
241	375.76	45.74	102	241	Αυξανόμενα	Κανένα	Αυξανόμενα
223	162.26	90.78	74	223	Αυξανόμενα	Κανένα	Αυξανόμενα
248	1024.8	370.91	555	248	Σοβαρά	Σοβαρά	Αυξανόμενα
229	240.34	1320.2	560	229	Αυξανόμενα	Σοβαρά	Αυξανόμενα
53	579.5	773.03	515	53	Σοβαρά	Σοβαρά	Αυξανόμενα
225	148	169.50	122	225	Αυξανόμενα	Αυξανόμενα	Αυξανόμενα
246	390.40	35.46	26	246	Αυξανόμενα	Κανένα	Κανένα
245	187.88	15.602	19	245	Αυξανόμενα	Κανένα	Κανένα
23D	374.54	194.32	178	23D	Αυξανόμενα	Αυξανόμενα	Αυξανόμενα
222	336.72	54.963	94	222	Αυξανόμενα	Κανένα	Αυξανόμενα
242	268.40	20.567	45	242	Αυξανόμενα	Κανένα	Κανένα
243	422.12	23.758	26	243	Αυξανόμενα	Κανένα	Κανένα
244	447.74	26.949	44	244	Αυξανόμενα	Κανένα	Κανένα
238	240.34	34.751	42	238	Αυξανόμενα	Κανένα	Κανένα
221	564.86	64.537	146	221	Σοβαρά	Κανένα	Αυξανόμενα

Κατάταξη κατά Wilcox

Γεώτρηση	Ca (meq/L)	Mg (meq/L)	Na (meq/L)	K (meq/L)	% E.sp	SEC (μS/cm)	Ποιότητα ύδατος
64	30.16	2.16	7.13	4.36	69.09	1728	Αμφίβολη
237	25.29	6.20	5.04	1.51	33.90	1098	Καλή
236	86.78	7.88	6.43	1.77	34.94	1443	Καλή
228	165.75	4.88	5.65	2.41	41.09	1613	Αποδεκτή
234	111.8	6.48	3.91	1.31	25.08	1147	Καλή
220	32.47	5.20	4.52	2.64	37.44	948	Καλή
17	31.37	3.96	4.52	0.51	37.29	833	Καλή
235	13.56	7.16	4.17	1.36	27.30	1165	Καλή
239	41.89	4.60	1.35	0.49	14.60	568	Εξαιρετική
227	21.74	5.92	19.13	1.28	59.89	2440	Αποδεκτή
240	14.82	5.08	1.30	1.05	16.37	593	Εξαιρετική
32	31.95	8.68	38.26	5.13	71.67	4470	Αμφίβολη
23S	29.19	13.84	6.17	1.10	26.04	1839	Καλή
226	23.63	9.16	8.96	1.59	37.07	1926	Καλή
233	38.38	10.72	3.48	1.69	16.23	1440	Εξαιρετική
241	7.96	5.24	4.43	1.49	31.00	928	Καλή
223	6.69	4.92	3.22	0.90	26.19	778	Καλή
248	3.98	3.96	24.13	3.85	77.92	2670	Αμφίβολη
229	43.75	30.44	24.35	4.87	28.28	5100	Καλή
53	10.49	10.88	22.39	5.64	56.78	3440	Αποδεκτή
225	7.50	4.84	5.30	2.33	38.25	999	Καλή
246	14.28	9.12	1.13	1.10	8.71	965	Εξαιρετική
245	6.33	3.80	0.83	0.56	12.08	417	Εξαιρετική
23D	6.96	5.68	7.74	0.28	38.86	1289	Καλή
222	1.99	2.88	4.09	5.13	65.43	669	Αμφίβολη
242	3.53	3.44	1.96	1.87	35.48	456	Καλή
243	15.19	9.60	1.13	2.15	11.70	983	Εξαιρετική
244	7.64	6.88	1.91	1.13	17.33	898	Εξαιρετική
238	5.02	3.74	1.83	5.13	44.26	727	Αποδεκτή
221	6.60	4.48	6.35	1.67	42.01	1181	Αποδεκτή

Χαρακτηρισμός δειγμάτων νερού με βάση τις τιμές του Βαθμού Περιορισμού στη Χρήση DRU (Degree of Restriction on Use) (Asano and Pettygrove, 1987, Roscoe Moss Company, 1990).

Πιθανά Προβλήματα Άρδευσης εκφρασμένα ως DRU								
Γεώτρηση	Αλμυρότητα		Διαπερατότητα	Ειδική Ιοντική Τοξικότητα				
	Με βάση τις τιμές SEC (μS/cm)	Με βάση τις τιμές TDS (mg/L)	Με βάση τις τιμές SAR & SEC (mg/L)	Με βάση τις τιμές Na ⁺ (mg/L)		Με βάση τις τιμές Cl ⁻ (mg/L)		Με βάση τις τιμές HCO ₃ ⁻ (mg/L)
				Επιφανειακή Άρδευση (SAR)	Άρδευση με καταιονισμό	Επιφανειακή Άρδευση	Στάγδην Άρδευση	Στάγδην Άρδευση
12	SM	SM	N	SM	SM	SM	SM	SM
13	SM	SM	SM	N	SM	N	N	SM
1	N	N	SM	SM	SM	N	N	SM
8	SM	SM	SM	S	SM	S	SM	SM
221	N	N	S	SM	SM	N	N	SM
222	N	N	SM	SM	SM	N	N	SM
223	SM	SM	N	N	SM	N	SM	SM
225	SM	SM	N	N	SM	S	SM	N
226	SM	SM	N	SM	SM	S	SM	SM
229	S	S	N	S	SM	S	SM	S
230	SM	N	SM	N	N	N	N	SM
236	SM	SM	N	N	N	N	N	SM
244	SM	SM	N	N	N	N	N	SM
245	N	N	SM	N	N	N	N	SM






DRU = Degree of Restriction on Use (Βαθμός Περιορισμού στη Χρήση)

N: None (Μηδαμινός Βαθμός)

SM: Slight to Moderate (Βαθμός Μικρός έως Μέσος)

S: Severe (Βαθμός Σοβαρός)

Χαρακτηρισμός της τρωτότητας ανάλογα με το δείκτη DVI.

DVI	Τρωτότητα	
>160	πολύ υψηλή	
140-160	υψηλή	
120-140	μέτρια	
100-120	χαμηλή	
<100	πολύ χαμηλή	

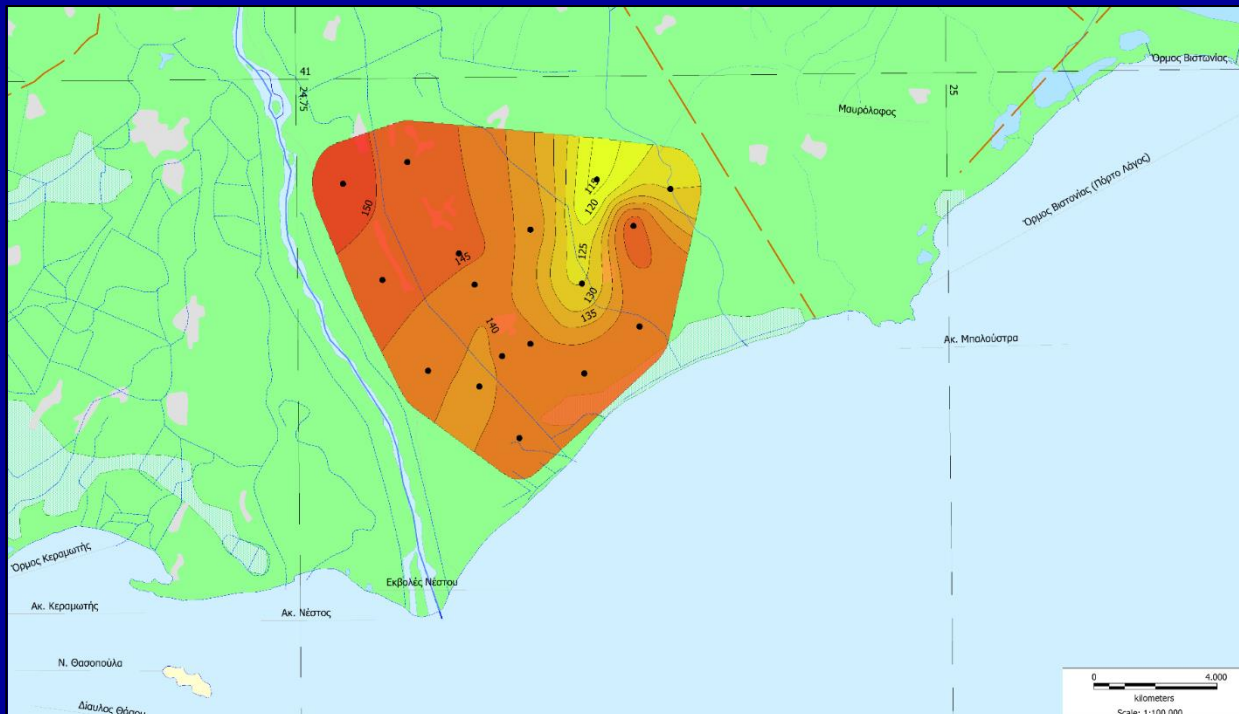
➤ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΕΙΚΤΗ DRASTIC

$$DI = DrDw + RrRw + ArAw + SrSw + TrTw + Irlw + CrCw$$

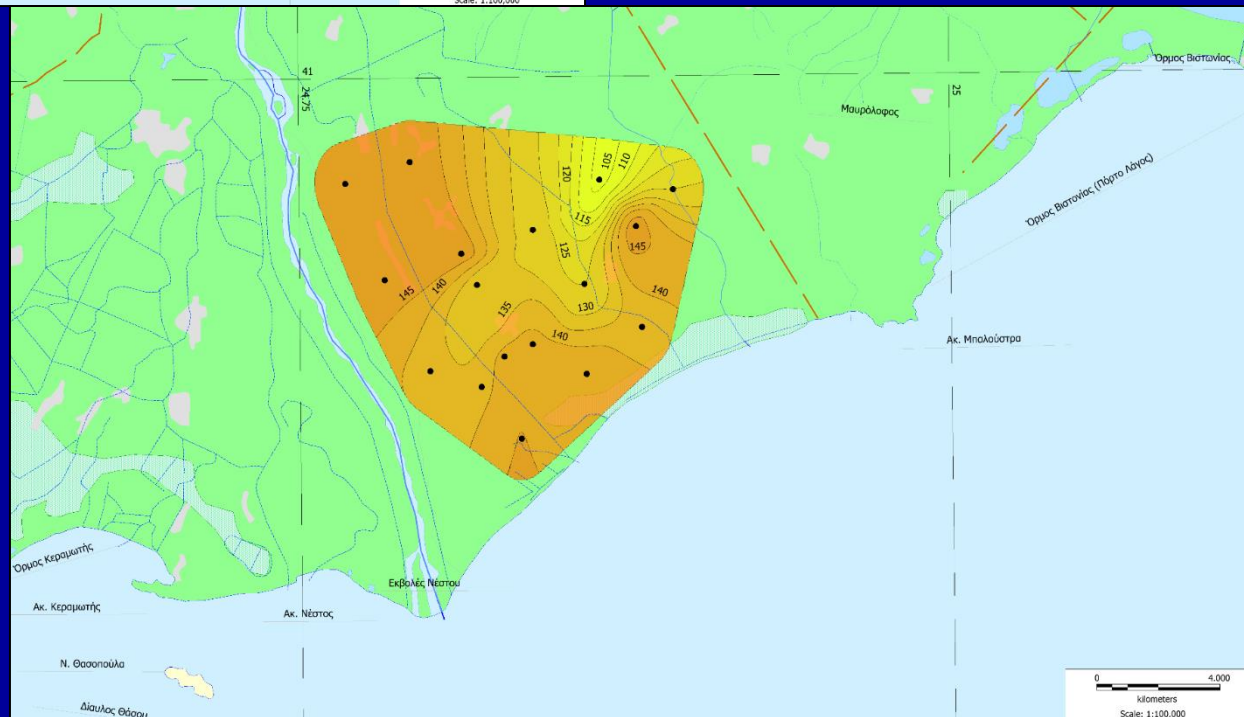
Γεώτρηση	ΔΕΙΚΤΗΣ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ DRASTIC		ΔΕΙΚΤΗΣ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ DRASTIC	
	DVI Typical	DVI Pesticide	DVI Typical	DVI Pesticide
50	143	182	138	177
99	141	179	141	179
104	125	156	125	156
108	147	183	147	183
118	141	179	131	169
122	114	137	104	127
129	138	177	128	167
142	125	156	125	154
144	147	183	147	183
147	147	183	147	183
153	141	179	141	179
175	152	188	147	183
185	147	183	147	183
190	143	182	138	177
194	138	177	138	177
195	145	186	145	186
248	143	182	143	182

Τιμές του δείκτη DRASTIC (Τρωτότητα Γενική-Typical, Τρωτότητα Ειδική-Pesticide) για κάθε γεώτρηση για την περίοδο Απριλίου 2018 (αριστερά) και για την περίοδο Οκτωβρίου 2018 (δεξιά).

Κατανομή του δείκτη Γενικής Τρωτότητας DRASTIC (Απρίλιος 2018) (Typical DVI) στην περιοχή έρευνας.

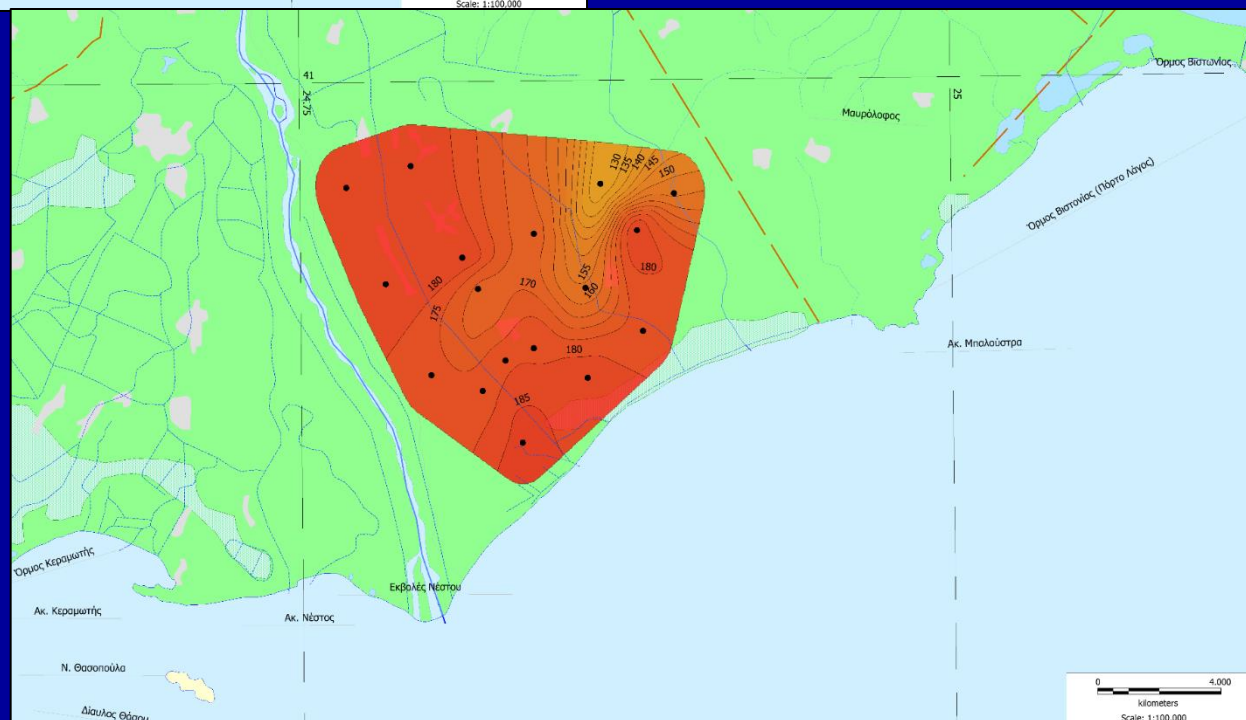
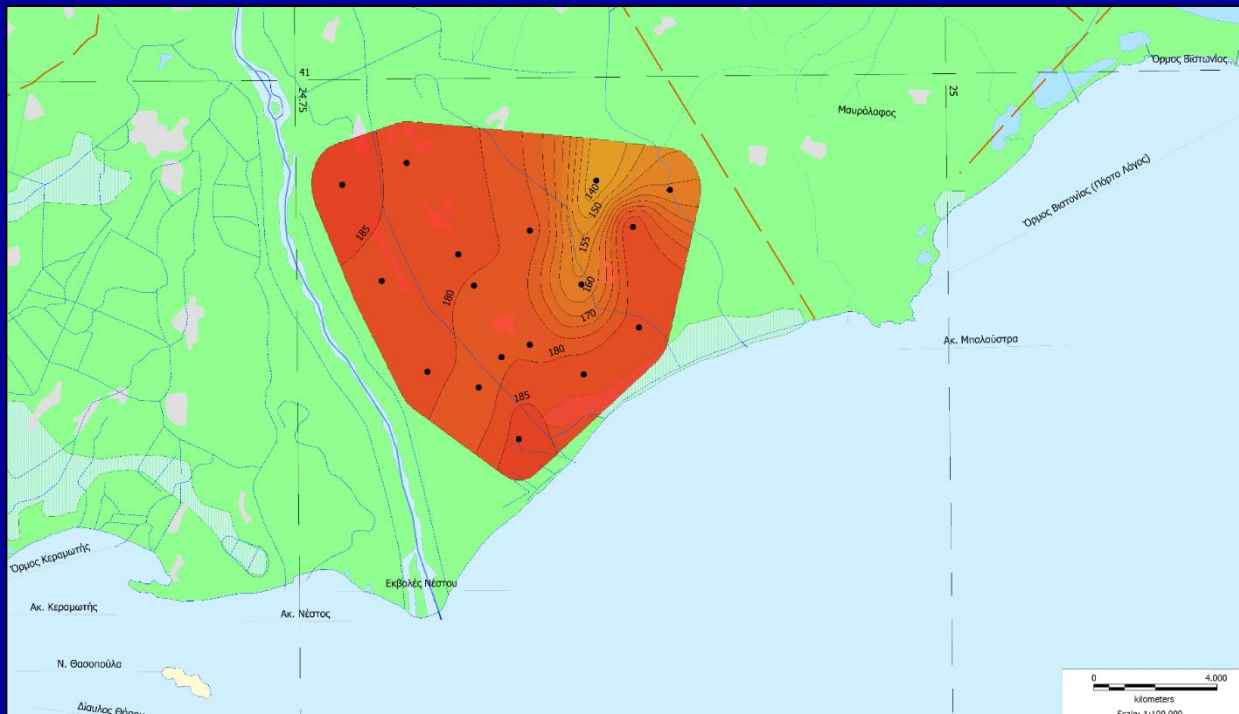


Κατανομή του δείκτη Γενικής Τρωτότητας DRASTIC (Οκτώβριος 2018) (Typical DVI) στην περιοχή έρευνας.



- ✓ Η διακύμανση των τιμών του δείκτη DRASTIC για τη Γενική Τρωτότητα (Typical Vulnerability) είναι ίδια σε 11 από τις 17 γεωτρήσεις και για τον Απρίλιο και τον Οκτώβριο του 2018, ενώ στις υπόλοιπες, οι τιμές του Οκτωβρίου 2018 είναι ελαφρώς μικρότερες (τιμές DVI Typical: 114 έως 152 για τον Απρίλιο του 2018 και 104 έως 147 για τον Οκτώβριο του 2018).
- ✓ Η ζώνη χαμηλής έως μέτριας Τυπικής Τρωτότητας (τιμές DVI: 100 - 140) εκτείνεται κυρίως προς το ΒΑ τμήμα της περιοχής έρευνας, ενώ η ζώνη υψηλής Τυπικής Τρωτότητας (τιμές DVI: >140) εκτείνεται κυρίως προς το Δ-ΒΔ τμήμα, προς τον Π. Νέστο, αλλά και προς νότια και δυτικά.

Κατανομή του δείκτη Ειδικής Τρωτότητας DRASTIC (Απρίλιος 2018) (Pesticide DVI) στην περιοχή έρευνας.

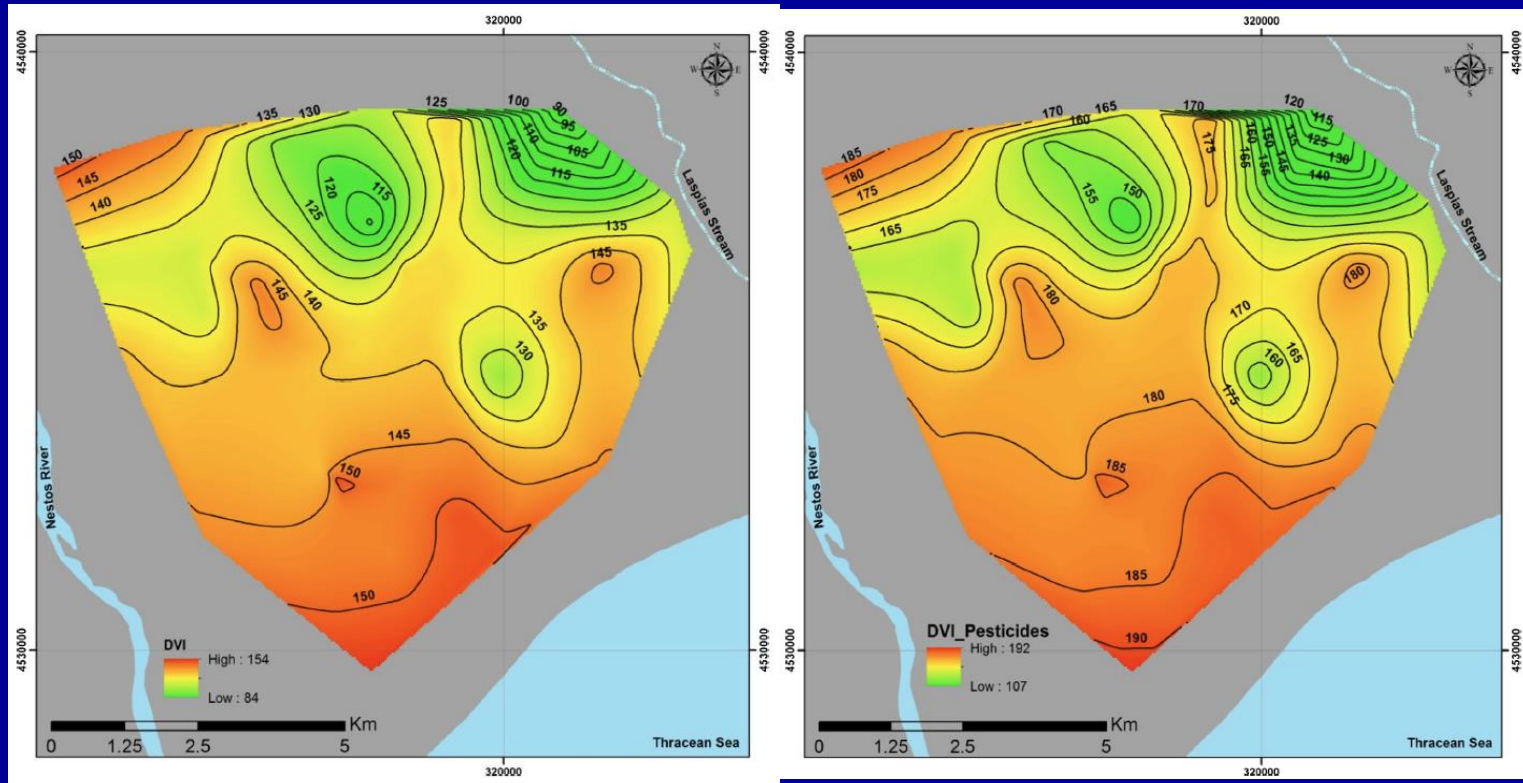


Κατανομή του δείκτη Ειδικής Τρωτότητας DRASTIC (Οκτώβριος 2018) (Pesticide DVI) στην περιοχή έρευνας.

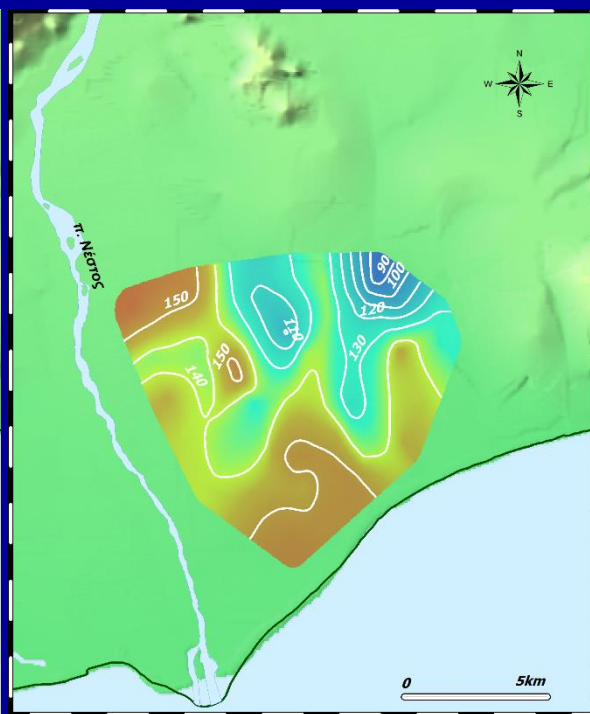
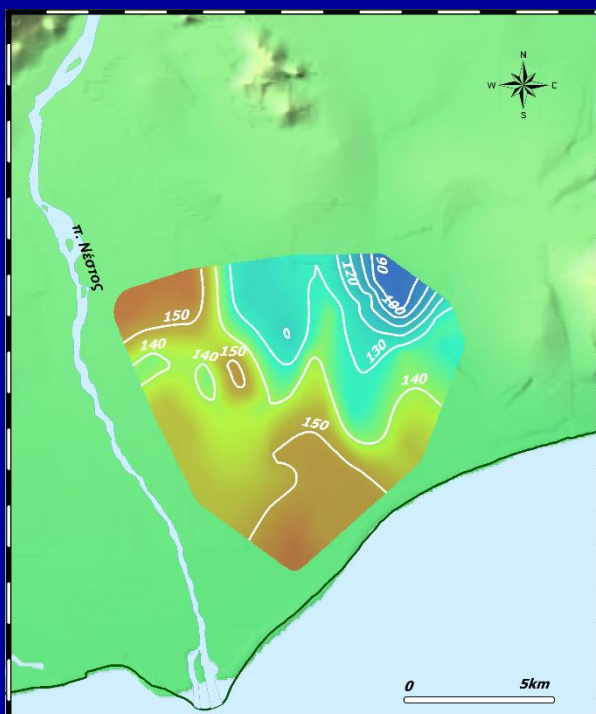
(Πλιάκα, 2019)

- ✓ Η διακύμανση των τιμών του δείκτη DRASTIC για την Ειδική Τρωτότητα (Pesticide Vulnerability) είναι ίδια σε 10 από τις 17 γεωτρήσεις και για τον Απρίλιο και τον Οκτώβριο του 2018, ενώ στις υπόλοιπες, οι τιμές του Οκτωβρίου 2018 είναι ελαφρώς μικρότερες (DVI Pesticide: 137 έως 1188 για τον Απρίλιο του 2018 και 127 έως 186 για τον Οκτώβριο του 2018).
- ✓ Διαπιστώνεται, όπως και στην περίπτωση της Τυπικής Τρωτότητας, ότι και στους δύο χάρτες, η ζώνη χαμηλής έως μέτριας Ειδικής Τρωτότητας (τιμές DVI: 100 - 140) εκτείνεται κυρίως προς το ΒΑ τμήμα της περιοχής έρευνας, ενώ η ζώνη υψηλής Ειδικής Τρωτότητας (τιμές DVI: >140) εκτείνεται κυρίως προς το Δ-ΒΔ τμήμα, προς τον Π. Νέστο, αλλά και προς νότια και δυτικά.
- ✓ Επισημαίνεται, επίσης, ότι οι τιμές DVI Pesticide και για τις δύο περιόδους, Απρίλιο και Οκτώβριο του 2018, είναι μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες τιμές DVI Typical κατά 20-28% περίπου. Η αιτία της αύξησης αυτής των τιμών τρωτότητας μπορεί να αποδοθεί στην ενδεχόμενη αυξημένη κατακόρυφη ρύπανση του υπόγειου υδατικού συστήματος μελέτης μέσω της ακόρεστης ζώνης από την εντατικοποίηση της γεωργικής δραστηριότητας κατά την περίοδο των μηνών που μεσολαβούν μεταξύ του Απριλίου και του Οκτωβρίου.

- ✓ Συγκρίνοντας τους χάρτες τρωτότητας με τον χάρτη του σχήματος με την κατανομή των τιμών συγκέντρωσης νιτρικών ιόντων (NO_3^-) (η κύρια πηγή προέλευσης αυτών των ιόντων είναι τα λιπάσματα και τα ζωικά απόβλητα) κατά τον μήνα Ιούλιο 2018, διαπιστώνεται μια **σχετική ταύτιση** των τμημάτων υψηλής τρωτότητας της περιοχής έρευνας με εκείνα όπου καταγράφονται υψηλές τιμές συγκέντρωσης νιτρικών, δηλαδή το Δ-ΒΔ τμήμα και μια μερική ταύτιση προς το δυτικό τμήμα της περιοχής έρευνας.
- ✓ Οι παρατηρήσεις αυτές αποτελούν ένα ισχυρό αποδεικτικό στοιχείο στην ανάδειξη της **αξιοπιστίας** της προσπάθειας αποτίμησης της τρωτότητας - διακινδύνευσης ρύπανσης των υπόγειων νερών της περιοχής έρευνας κυρίως από το έδαφος προς τον υδροφορέα μελέτης και μέσω της ακόρεστης ζώνης με τη μέθοδο DRASTIC, ενώ διαπιστώνεται η ανάγκη διερεύνησης ή/και βελτίωσης της εφαρμογής της διαδικασίας DRASTIC κυρίως στο κεντρικό της περιοχής έρευνας.



Κατανόμη του δείκτη Γενικής Τρωτότητας (Typical DVI) (αριστερά) και του δείκτη Ειδικής Τρωτότητας DRASTIC (Pesticide DVI) (δεξιά) στην περιοχή έρευνας, Απρίλιος 2009 (Pedreira, 2015).

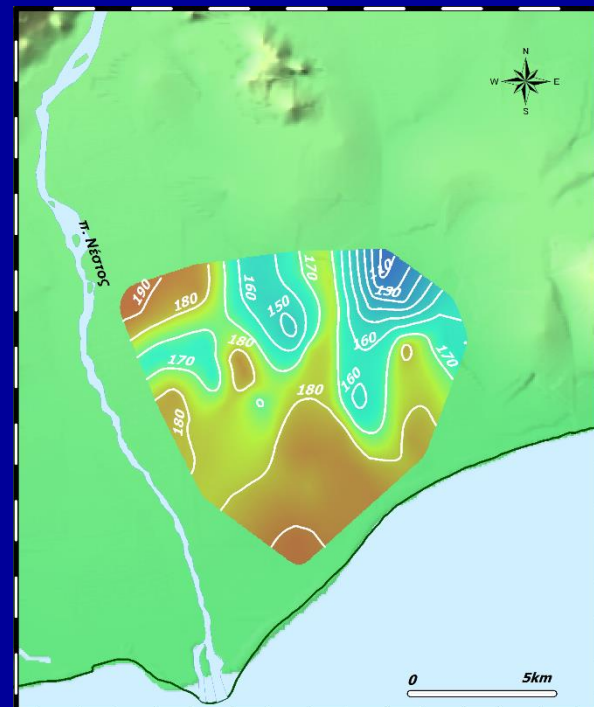
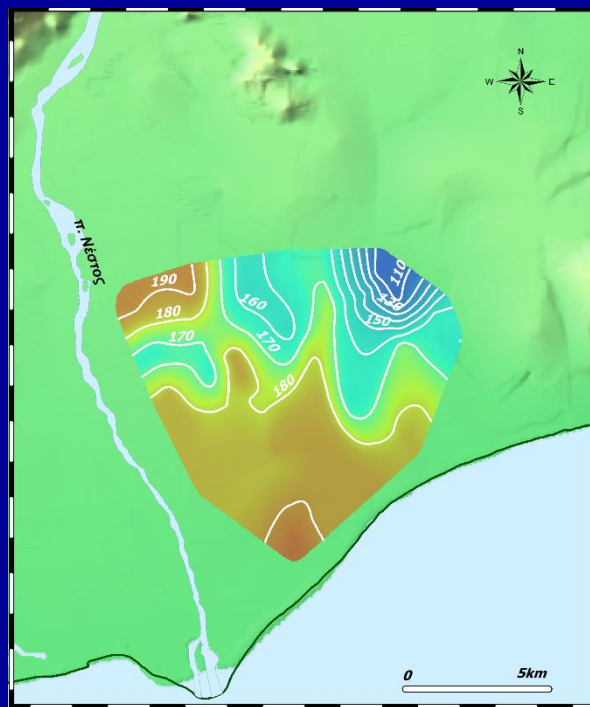


Κατανομή του δείκτη Γενικής Τρωτότητας (Typical DVI),

- αριστερά: Μάιος 2014,
- δεξιά: Οκτώβριος 2014 (Καρατσώρη, 2015).





Κατανομή του δείκτη Ειδικής Τρωτότητας DRASTIC (Pesticide DVI),

- αριστερά: Μάιος 2014,
- δεξιά: Οκτώβριος 2014 (Καρατσώρη, 2015).



- ✓ Τέλος, από τη σύγκριση των χαρτών τρωτότητας με τους αντίστοιχους χάρτες τρωτότητας, που αναφέρονται στον Απρίλιο του 2009 και στον Μάιο και τον Οκτώβριο του 2014, όπως σχεδιάστηκαν σε προηγούμενες σχετικές έρευνες στην περιοχή έρευνας, και στο πλαίσιο της αξιόπιστης εκτίμησης της εξέλιξης των τρωτότητας του υδροφορέα μελέτης, διαπιστώνεται ότι:
 - Η ζώνη χαμηλής έως μέτριας τρωτότητας παραμένει στο ΒΑ τμήμα, όπως και οι ζώνες υψηλής τρωτότητας συνεχίζουν να εντοπίζονται κυρίως στο ΒΔ τμήμα και το νότιο τμήμα.
 - Στους χάρτες του 2009 και 2014, εντοπίζεται στο ΒΑ τμήμα και η ζώνη της χαμηλής Τυπικής Τρωτότητας με τιμές DVI μικρότερες τιμές των 100, κάτι που δεν συμβαίνει στους χάρτες του 2018, γεγονός που μπορεί να οφείλεται στην πιθανή αυξημένη καλλιεργητική δραστηριότητα στο τμήμα αυτό προς τον χείμαρρο Λασπία.

Χαρακτηρισμός της τρωτότητας ανάλογα με το δείκτη GALDIT (GVI).

GVI	Τρωτότητα	
>7,5	υψηλή	
6,5-7,5	μέση	
5-6,5	μέτρια	
<5	χαμηλή	

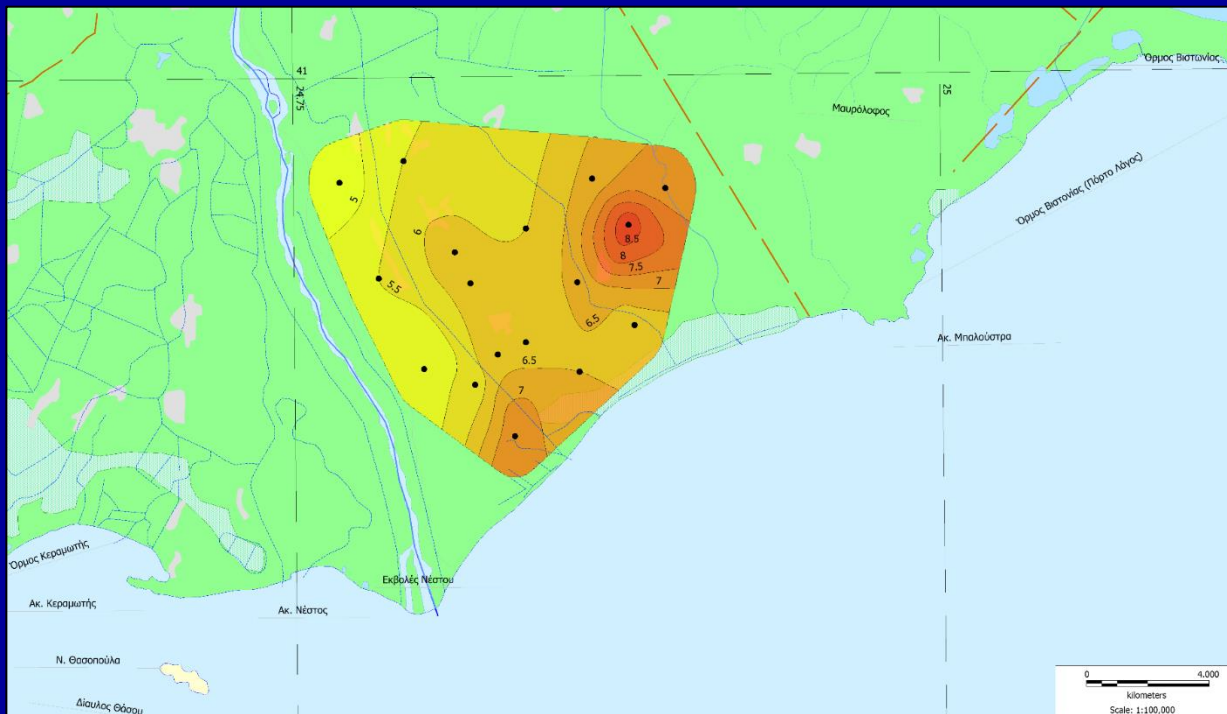
➤ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΕΙΚΤΗ GALDIT

$$GVI = \frac{\sum(W_i R_i)}{\sum W_i} = \frac{(W_1 R_1 + W_2 R_2 + W_3 R_3 + W_4 R_4 + W_5 R_5 + W_6 R_6)}{(W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5 + W_6)}$$

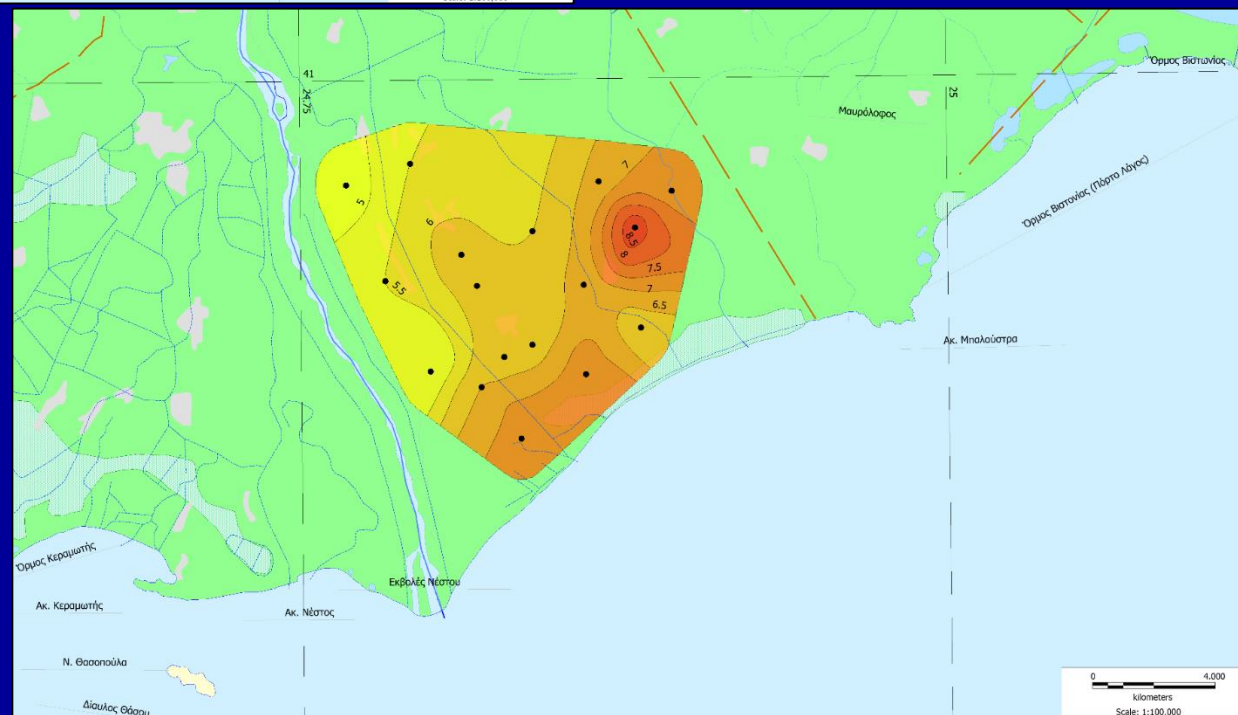
Γεώτρηση	GVI Μάιος 2014	GVI Οκτώβριος 2014	Revelle 2014	GVI Απρίλιος 2018	GVI Οκτώβριος 2018	Revelle 2018
50	6,8	6,8	2,3	6,3	6,3	2,1
99	7	7	1,3	6,3	6,3	0,2
108	6,5	6,5	1,3	6,7	6,7	1,8
118	6,2	6,2	0,8	6,2	6,2	0,3
122	5,8	5,8	1,1	6,2	6,2	0,2
129	6,7	6,7	1,6	6,7	6,7	1,8
142	6	6	1,4	6	6	1
144	7,3	7,3	2,1	7,2	7,2	2
147	8,3	7	1,0	8,7	8,7	2,8
153	5,5	5,5	0,2	5,5	5,5	0,5
175	6,8	6,8	0,6	6,3	6,3	0,2
177	4,8	4,8	0,1	4,8	4,8	0,4
185	5	5	0,1	5,5	5,5	0,2
190	5,7	5,7	0,1	5,2	5,2	0,1
194	6,8	6,8	0,1	5,8	6,5	0,2
195	7,5	8,2	0,4	7,2	7,2	0,1
248	7,7	8,3	1,4	6,5	7,2	0,2

Τιμές του δείκτη GALDIT (GVI) σε σχέση με τις τιμές του δείκτη Revelle για κάθε γεώτρηση για τις αντίστοιχες περιόδους των ετών 2014 και 2018.

Κατανομή του δείκτη τρωτότητας GALDIT (GVI) στην περιοχή έρευνας (Απρίλιος 2018).

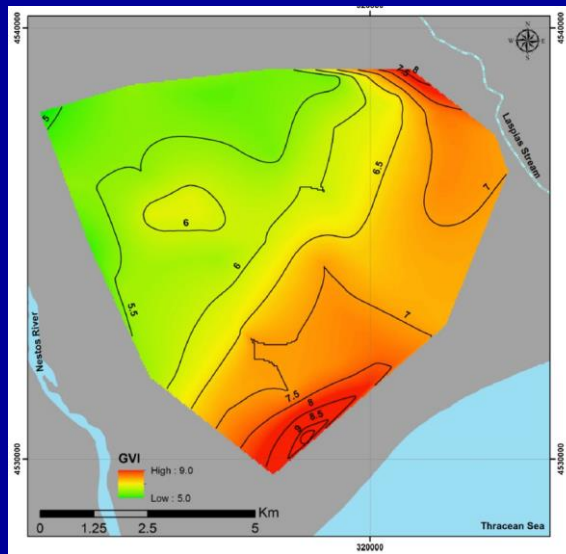


Κατανομή του δείκτη τρωτότητας GALDIT (GVI) στην περιοχή έρευνας (Οκτώβριος 2018).



- ✓ Η διακύμανση των τιμών του δείκτη GVI είναι ίδια σε 15 από τις 17 γεωτρήσεις και για τις δύο περιόδους υπολογισμού, Απρίλιο και τον Οκτώβριο του 2018. Και για τις δύο περιόδους, ο δείκτης παρουσιάζει τιμές από 4,8 έως 8,7, ενώ για τους αντίστοιχους μήνες του 2014 είχαν υπολογισθεί για τον Μάιο σε 4,8 έως 8,8 και για τον Οκτώβριο από 4,8 έως 9,0 (από Καρατσώρη (2015)).
- ✓ Από τους χάρτες τρωτότητας διαπιστώνεται ότι οι περιοχές υψηλής τρωτότητας παραμένουν ίδιες. Δηλαδή, οι μεγαλύτερες τιμές του δείκτη εμφανίζονται στα ανατολικά και νότια της περιοχής μελέτης.

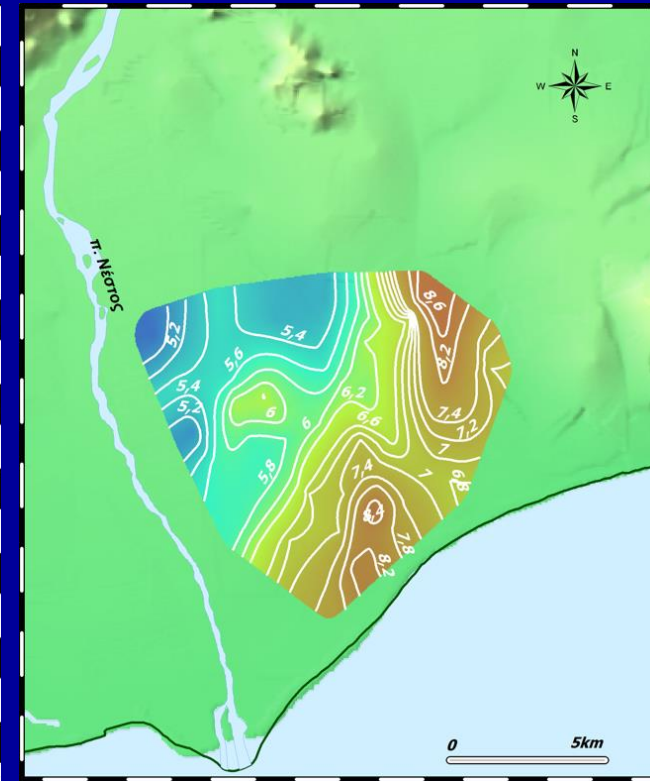
- ✓ Από τη σύγκριση των χαρτών κατανομής του δείκτη GALDIT και για τις δύο περιόδους μελέτης με τον χάρτη κατανομής του δείκτη Revelle, όπως και με τον χάρτη κατανομής συγκέντρωσης χλωριόντων, παρατηρείται **σχετική ταύτιση** των περιοχών υψηλής τρωτότητας με τις περιοχές μέτριας ρύπανσης από θαλάσσια διείσδυση και αντίστοιχα με τις περιοχές με αυξημένες τιμές συγκέντρωσης χλωριόντων.
- ✓ Αυτό αποτελεί ένα ισχυρό αποδεικτικό στοιχείο στην ανάδειξη της **αξιοπιστίας** της προσπάθειας αποτίμησης της τρωτότητας - διακινδύνευσης ρύπανσης των υπόγειων νερών της περιοχής έρευνας από θαλάσσια διείσδυση με τη μέθοδο GALDIT.



[1]



[2]



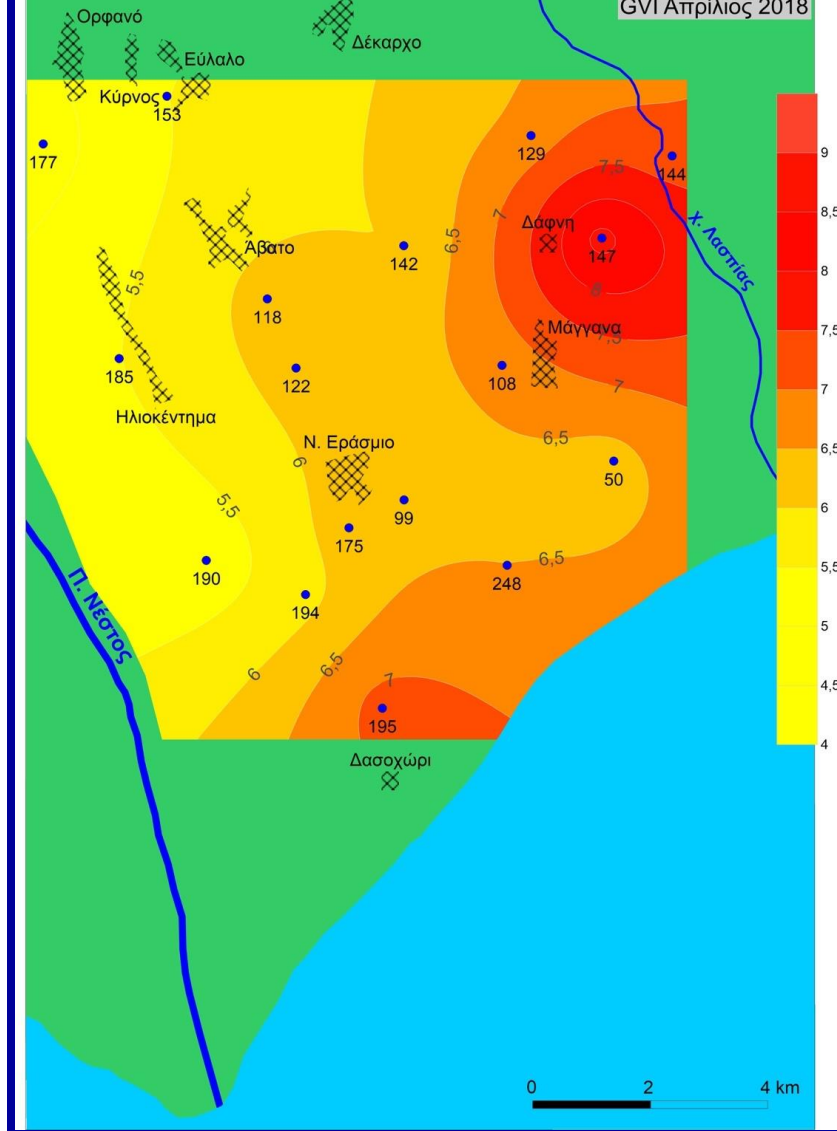
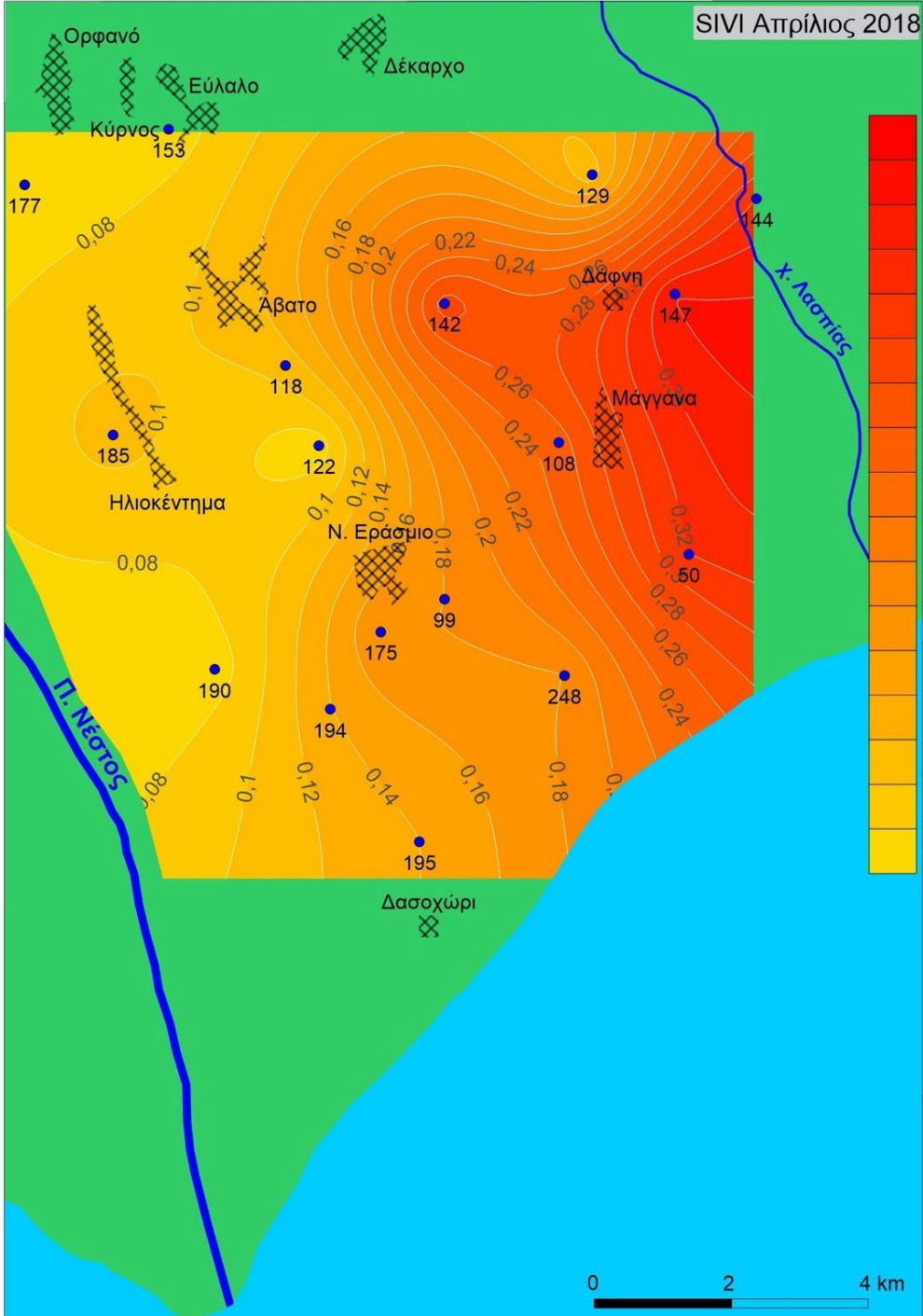
[3]

Χάρτες κατανομής του δείκτη τρωτότητας GALDIT (GVI) στην περιοχή έρευνας: [1] Ιούλιος 2009 (Pedreira, 2015), [2] και [3] Μάιος και Οκτώβριος 2014 αντίστοιχα (Καρατσώρη, 2015).

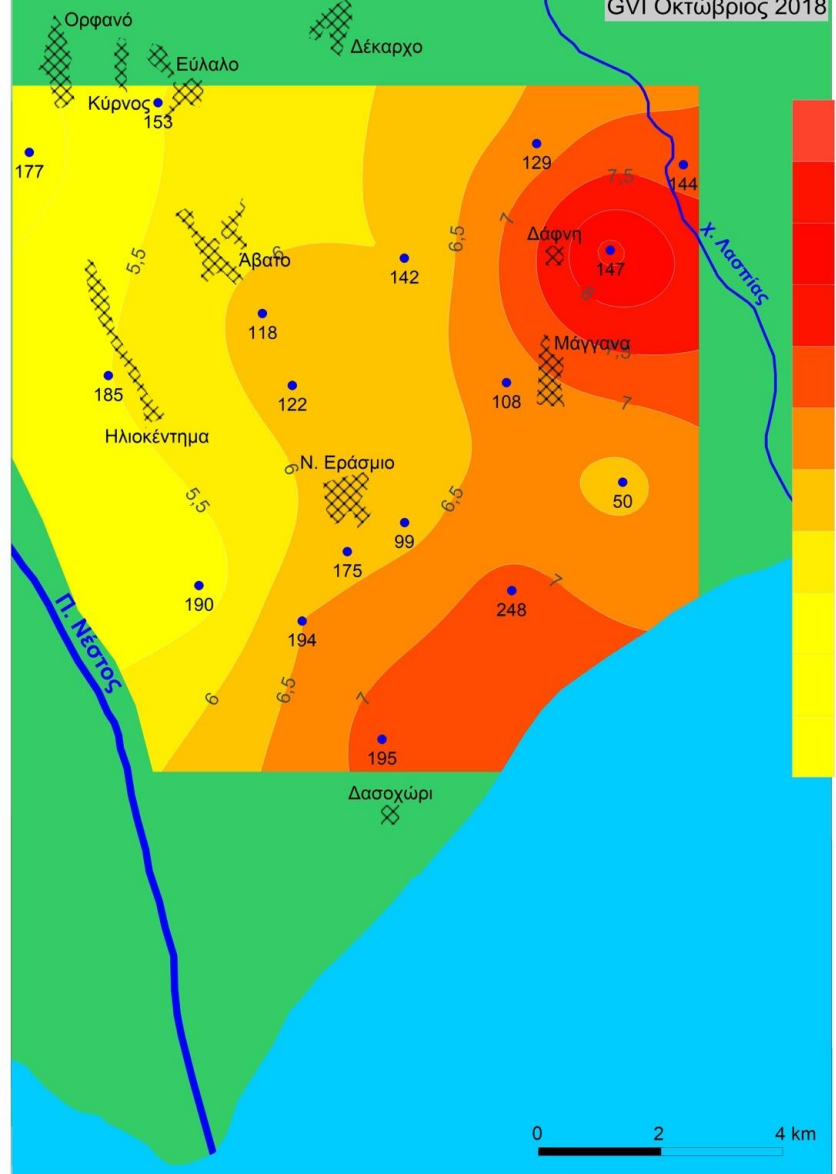
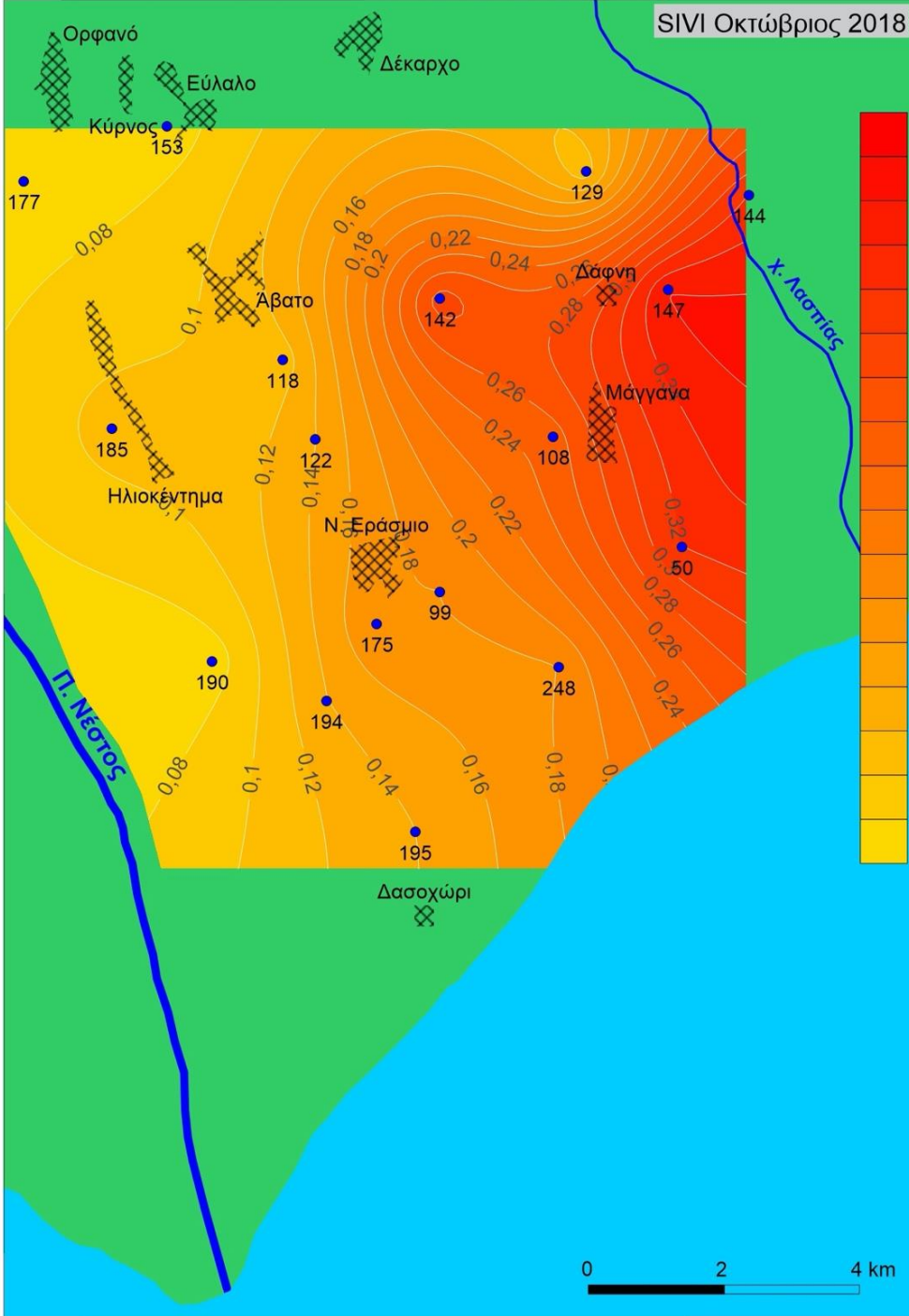
- ✓ Τέλος, από τη σύγκριση των χαρτών με την κατανομή των τιμών του δείκτη τρωτότητας GALDIT (GVI) στην περιοχή έρευνας από προηγούμενες έρευνες στην περιοχή έρευνας για τους μήνες Ιούλιο του 2009, όπως και τον Μάιο και τον Οκτώβριο του 2014, διαπιστώνεται η **ταύτιση** των τμημάτων με υψηλή τρωτότητα, που εκτείνονται κυρίως ανατολικά προς τον χείμαρρο Λασπία, αλλά και νότια προς την ακτογραμμή.

Υπολογισμός των τιμών των δεικτών SITE και SIVI για την περιοχή έρευνας (2018).

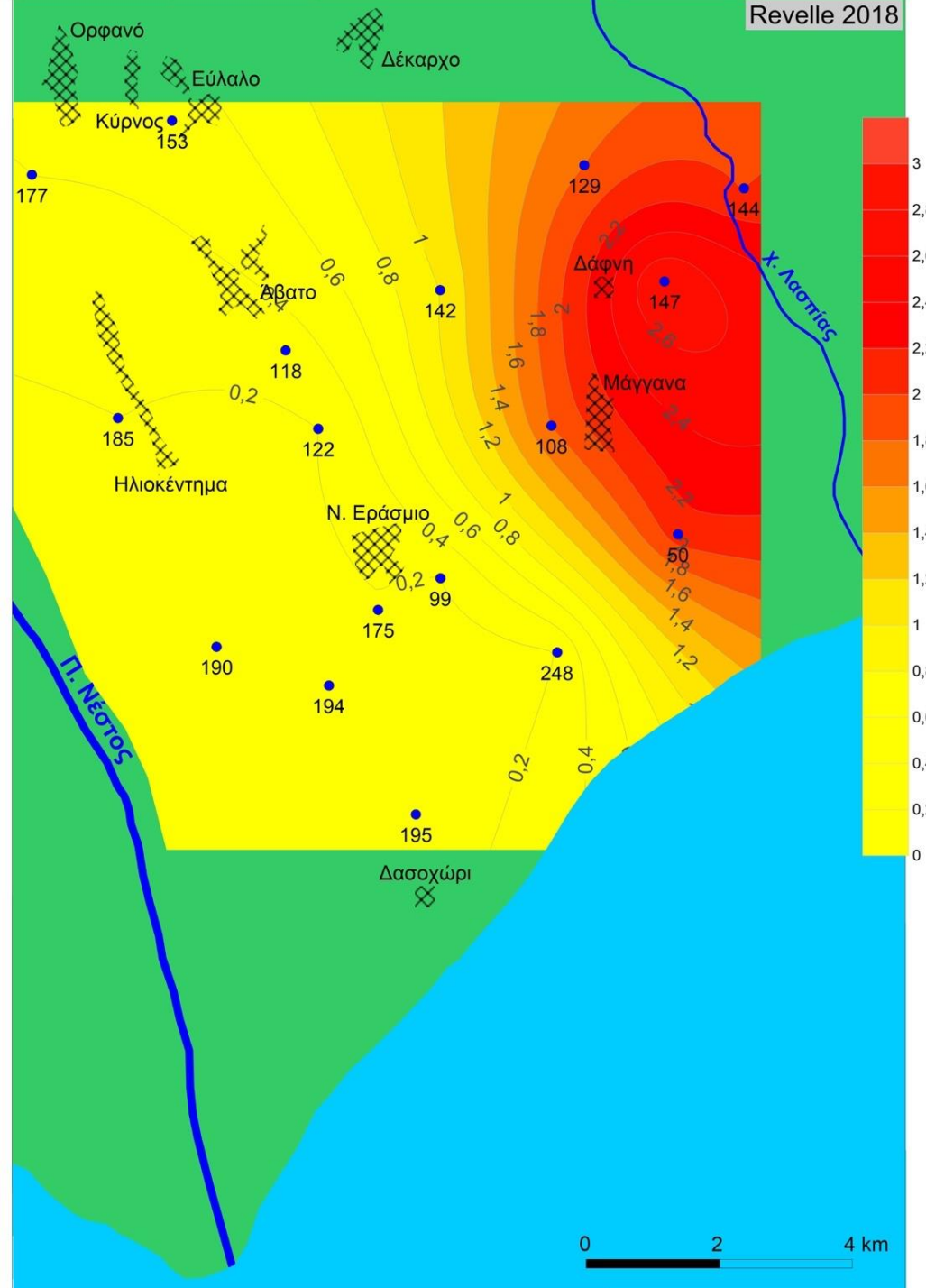
	Υπολογισμένη τιμή (Calculated value)	Αντιστοιχισμένη τιμή (Assigned value)	Χαρακτηρισμός
S	0,274	2	Moderate
I	536,50	2	Moderate
T	0,131	1	Low
E	0,864	-1	Moderate recovery
A	Ελεύθερος υδροφορέας	3	High
C	0,133	1	Low
H (Απρίλιος 2018)	0,284	2	Moderate
H (Οκτώβριος 2018)	0,340	2	Moderate
D	0,155	-1	Small
SITE value		0,30	Moderate
SIVI Index		0,32	



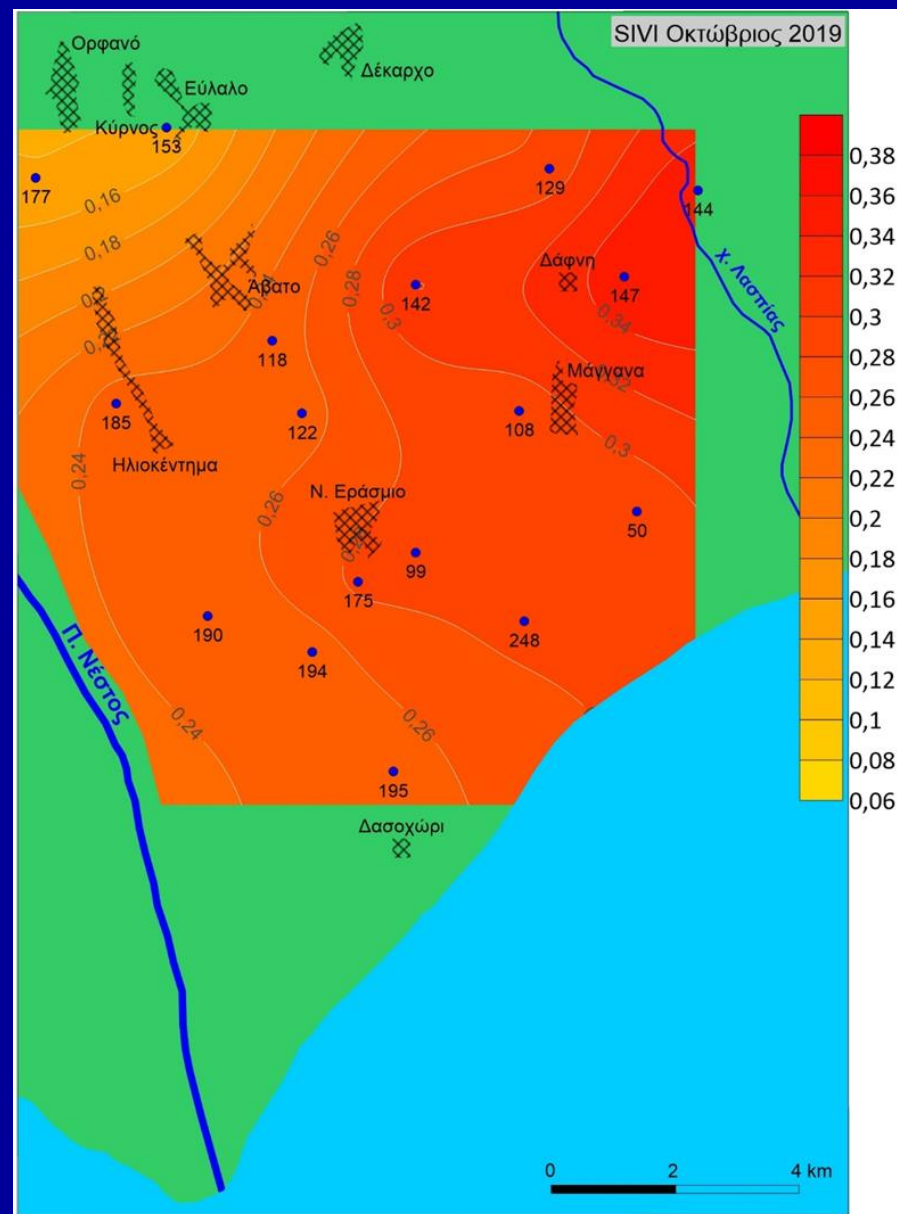
Κατανομή των τιμών του δείκτη τρωτότητας SIVI στην περιοχή έρευνας (Απρίλιος 2018) (Γεωργίου, 2020).



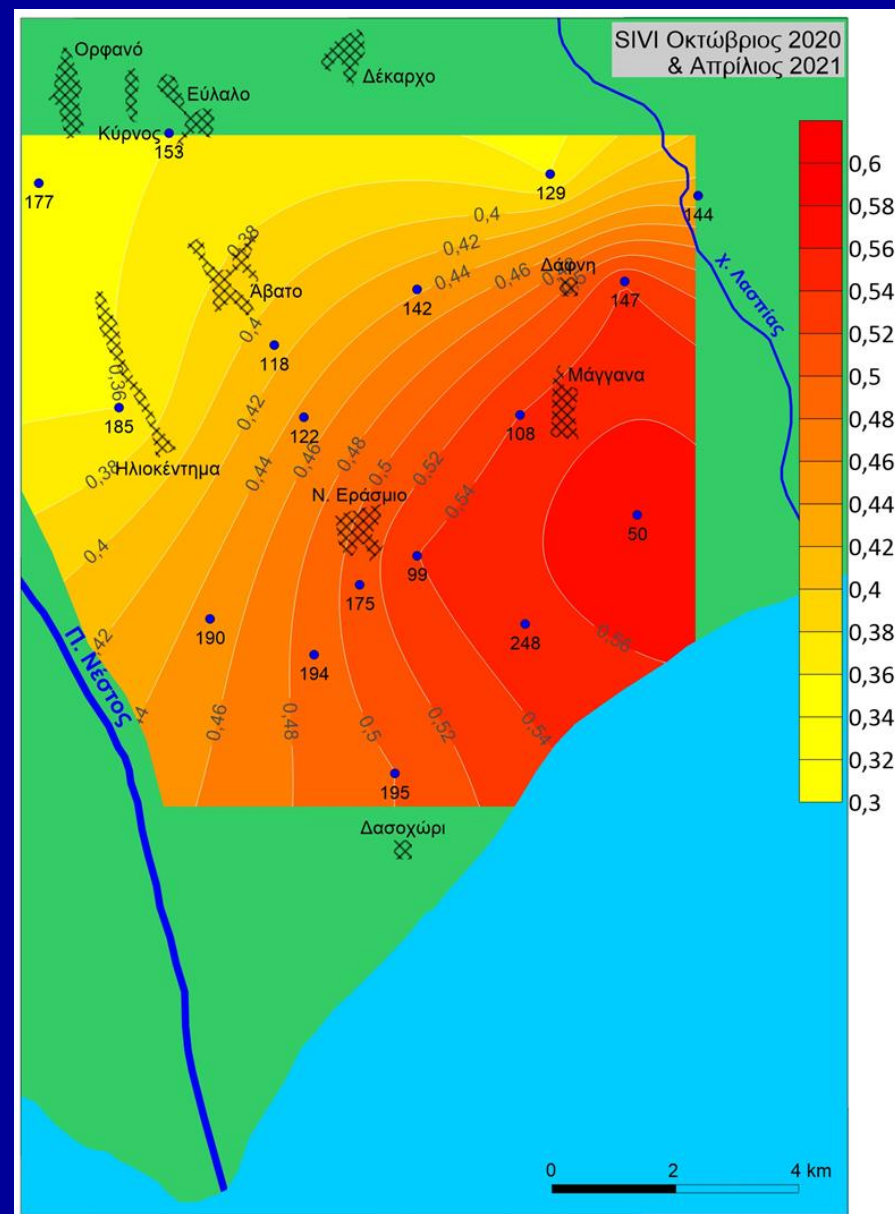
Κατανομή των τιμών του δείκτη τρωτότητας SIVI στην περιοχή έρευνας (Οκτώβριος 2018) (Γεωργίου, 2020).



Χάρτης με την κατανομή των τιμών του δείκτη Revelle του ελεύθερου υδροφορέα της περιοχής έρευνας – Ιούλιος 2018 (Σαχπάζης, 2019).



Κατανομή των τιμών του δείκτη τρωτότητας SIVI στην περιοχή έρευνας (Οκτώβριος 2019) (Παναγιωτίδης, 2022).



Κατανομή των τιμών του δείκτη τρωτότητας SIVI στην περιοχή έρευνας (Οκτώβριος 2020 και Απρίλιος 2021).

ΠΑΡΑΚΤΙΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΤΟΥ ΔΗΜΟΥ ΠΑΓΓΑΙΟΥ ΤΟΥ Ν. ΚΑΒΑΛΑΣ



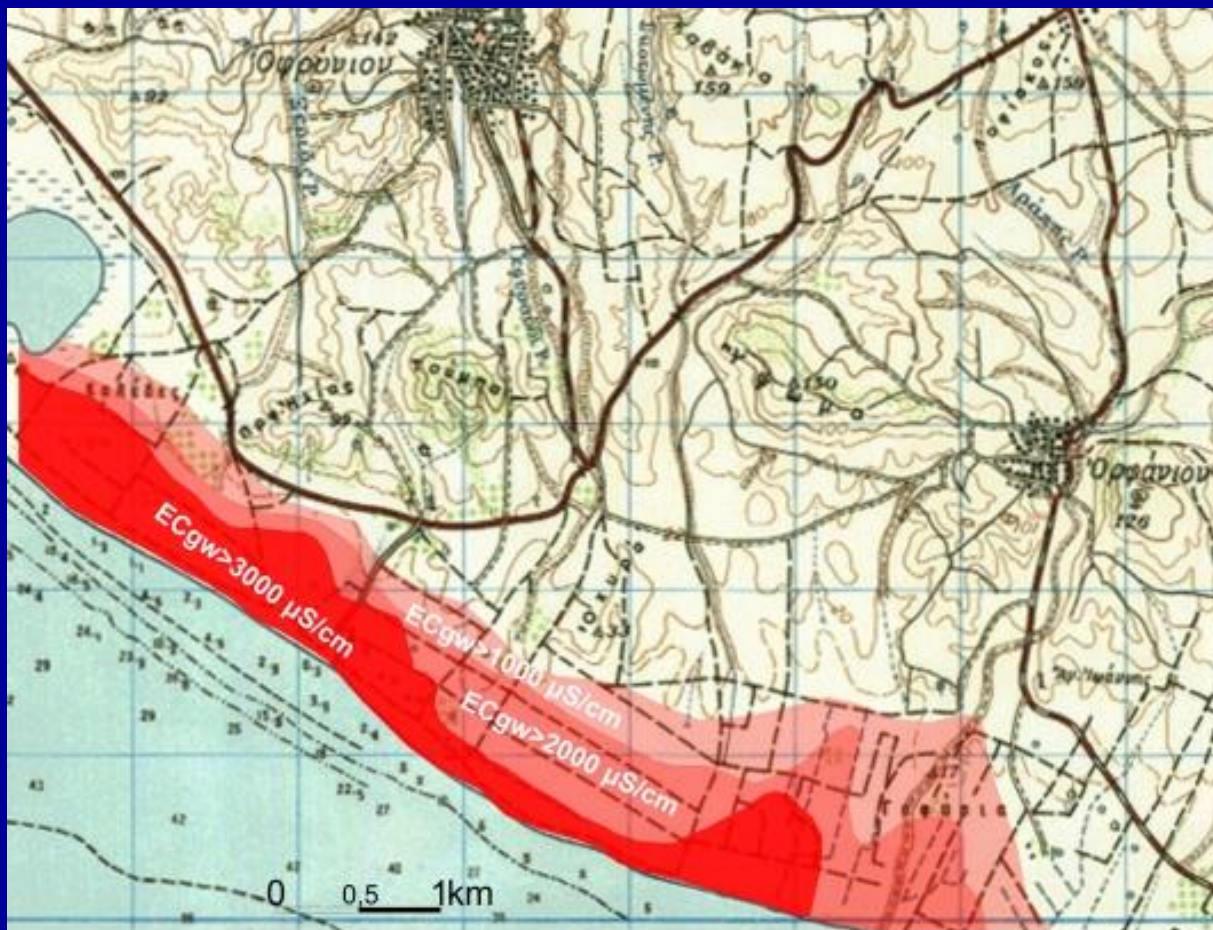
Περιοχές μελέτης
του Δήμου
Παγγαίου στο Ν.
Καβάλας:

[1] παράκτια
περιοχή της ΔΕ
Ορφανού,

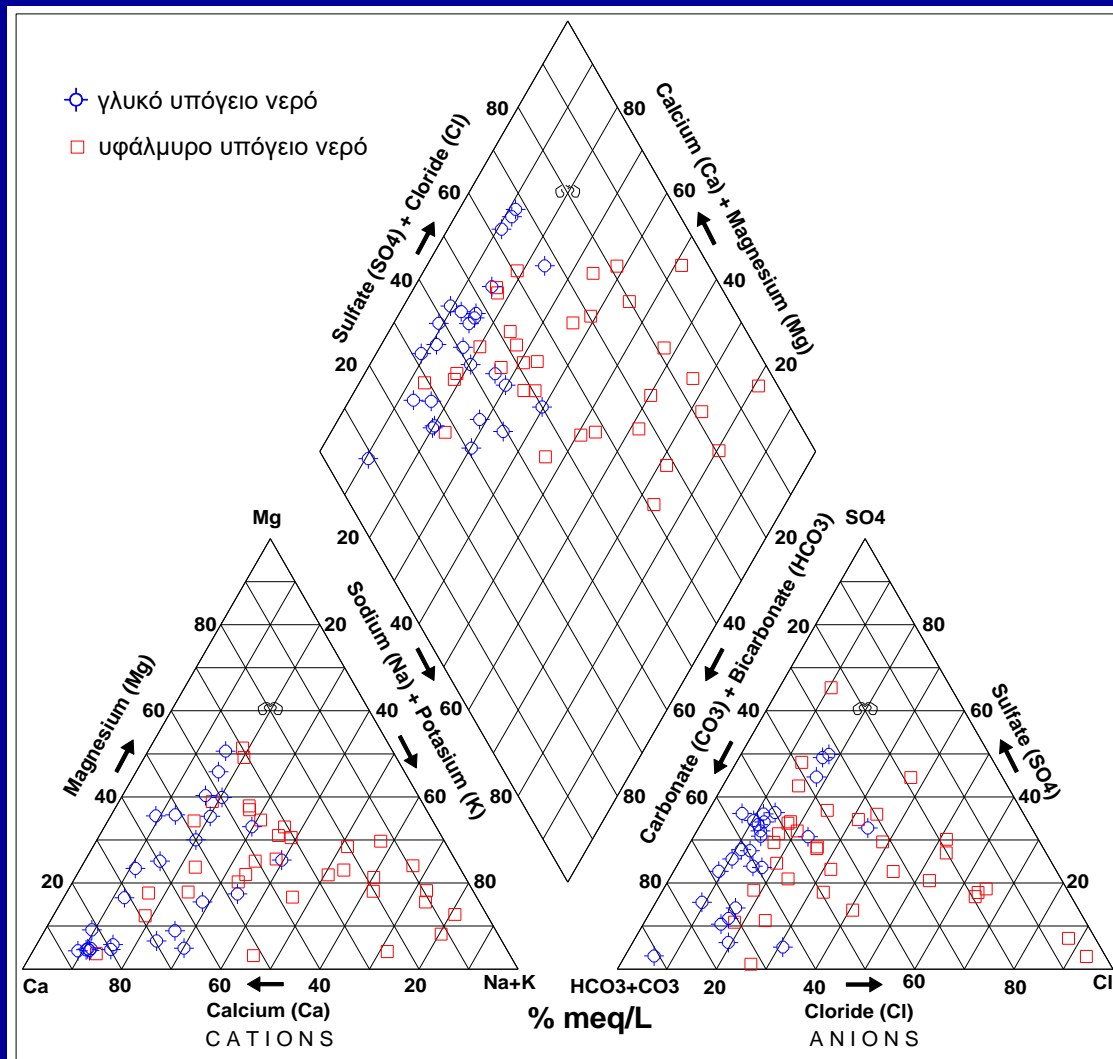
[2] παράκτια
περιοχή Ν. Περάμου
της ΔΕ Ελευθερών.

1. Παράκτια περιοχή ΔΕ Ορφανού

- Παράκτια πεδία Ορφανίου και Οφρυνίου
- Η φρεάτια έως μερικώς υπό πίεση υδροφορία της περιοχής του Δήμου Ορφανού έχει υποστεί τη διαδικασία της διείσδυσης της θάλασσας μετά το καθεστώς υπερεκμετάλλευσης που επιβλήθηκε μέσω της ανόρυξης και λειτουργίας πολυάριθμων γεωτρήσεων για την κάλυψη των αρδευτικών αναγκών της περιοχής τις δύο τελευταίες δεκαετίες



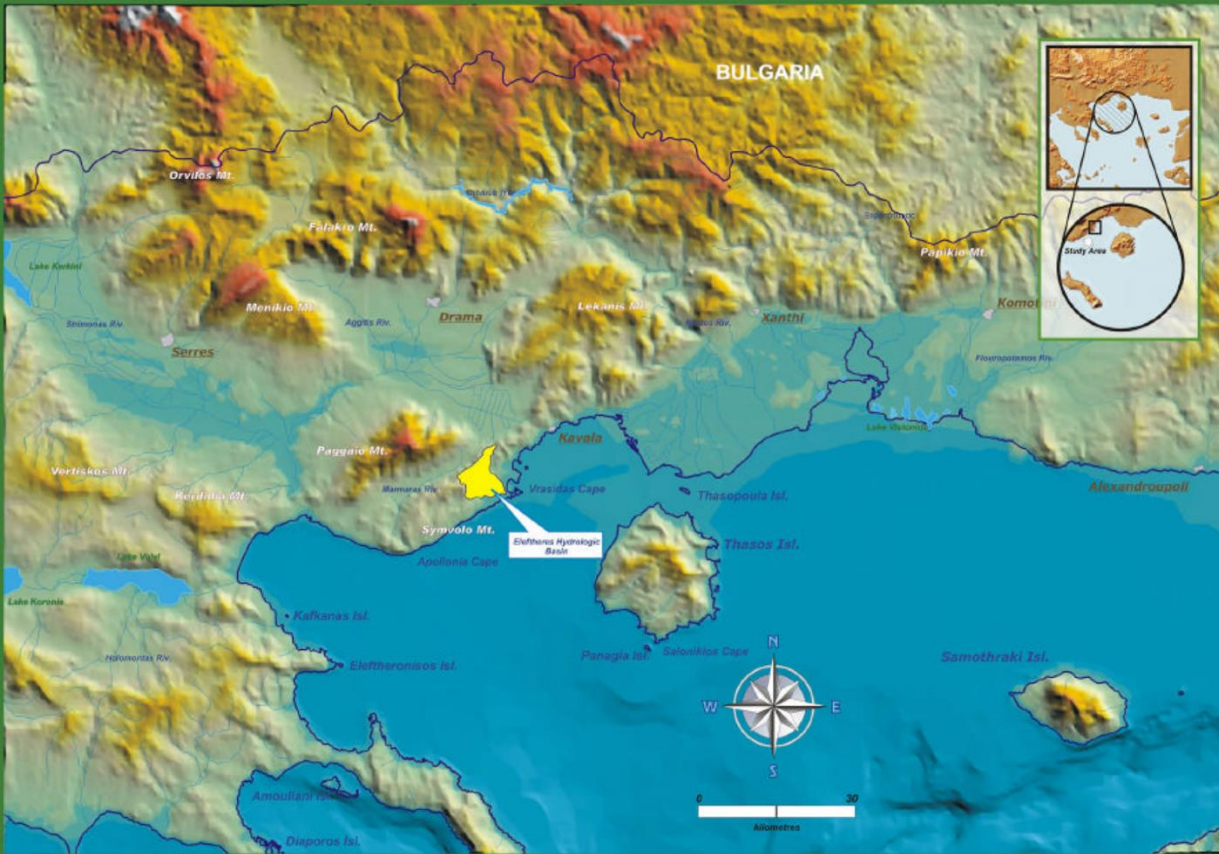
Κατανομή ενδεικτικών τιμών ηλεκτρικής αγωγιμότητας (ECgw) του ελεύθερου έως μερικώς υπό πίεση υδροφόρου της παράκτιας περιοχής της ΔΕ Ορφανού (Ιούλιος 1998)



Διάγραμμα Piper βασισμένο σε χημικές αναλύσεις 42 δειγμάτων υπόγειου νερού της περιοχής έρευνας

2. Παράκτια περιοχή ΔΕ Ελευθερών

- Η υδρολογική λεκάνη των Ελευθερών βρίσκεται 15 km ΝΔ από την Καβάλα
- Περιβάλλεται από το Όρος Σύμβολο και νότια επικοινωνεί με τη θάλασσα (Θρακικό πέλαγος)
- Περιοχή με έντονη τουριστική ανάπτυξη
- Κύρια καλλιέργεια είναι τα αμπέλια



Γεωγραφική θέση της περιοχής έρευνας της λεκάνης Ελευθρών



Γεωλογία της περιοχής

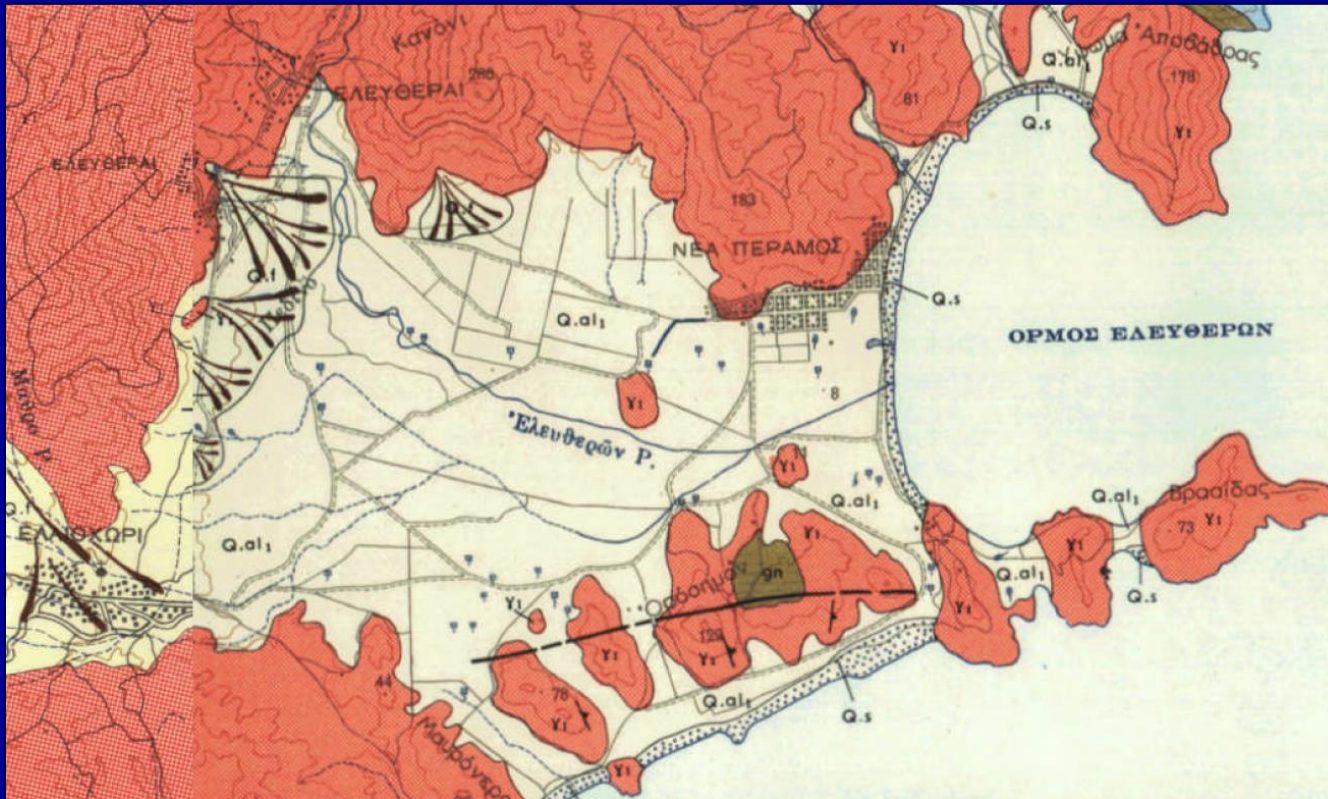
ΙΖΗΜΑΤΟΓΕΝΗ

- Κροκαλοπαγή, λεπτόκοκκα και ερυθρά αργιλικά
- Αμμώδη
- Αλλουβιακά

ΣΚΛΗΡΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ


- Γνεύσιοι, σχιστόλιθοι
- μάρμαρα


Γεωλογικός χάρτης (πηγή ΙΓΜΕ, 1983)




**ΥΠΟΜΝΗΜΑ
ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΙ ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ**


Τεταρτογενείς


 Παράκτιο άμμοι


 Χερσαίες αποθέσεις : ογκόλιθοι, χαλαρά κροκαλοπαγή, κροκάδες, λεπτοακκώδεις υλικό και ερυθροί πηλοί. Σε τοπογραφικά χαμηλότερα μέρη, κατά τόπους εμφανίζονται αναβράθιδες.


 Αλλοβιακά ρητidia γρανιτικής προελεύσεως


**Μάζα της Ροδότης
Ενότητα Παγγαίου**


 Μάρμαρα : α) επικρατούν τα ανακτιότερου και σκοτεινότερου φαιού χρώματος μάρμαρα καλώς ή εν μέρει λεπτοστρωματώδη, σε στρώματα ή φακούς. Κατά θέσεις εναλλάσσονται μετά μαρμαρυγακών σχιστολίθων ή παρατηρείται πλευρική μετάβαση των μεν προς τα δε. Τα τεφρά μάρμαρα δεικνύουν, τοπικώς, ποικίλα μερών χαλαζιού και μωσχόβιτου, ως απίσης και βιοήτου και αβήτου. Το μέγεθος των κόκκων είναι, γενικώς, μεταξύ 0.3 mm και 1mm. β) πτωχής στρώσης ή συμπαγή λευκά μάρμαρα.


 Γενέσιοι και γενευσικοί σχιστόλιθοι : λεπτό- έως μεσοκοκκώδεις γενευσικοί σχιστόλιθοι ποικιλώντες σε χρώμα, από τεφρού έως σαρκώδους και φαιού και υψής γενευσικής, κοκκώδους έως σχιστώδους, συμφώνως προς την ιδιαίτερα ορυκτολογική σύσταση. Κύρια ορυκτά : χαλαζίας, αβήτης, μωσχόβιτης, επιδόσο, βιοήτης. Βαθμός μεταμορφωσιμού, υποφάσεις χαλαζιού - αβήτου-επιδόσου-βιοήτου της προκωσμοτολιθικής φάσεως. Δεν υπάρχει ένδειξη πολυμεταμορφωσιμού.


 Γρανίτης (Συμβόλου ή Γρανίτης Καβάλα) : ο γρανίτης Συμβόλου είναι γρανοδορίτης. Επικρατούντα κύρια ορυκτά, καλούχοι άστρια (μήκους έως 5cm), πλαγκόκλαστο, χαλαζίας, βιοήτης, κερροσίλβη. Τα εξωπερικά μέρη του γρανίτου Συμβόλου δεικνύουν ισχυρή σχιστότητα ή ακόμη μολοντοποίηση. Παρατηρείται, ασθενής μόνον ορυκτογένεση επαφής, τοπικώς με γρανήτη, επίδοτο και διομωδίο. Πολυάριθμες απλιτικές φλέβες έχουν εισάσει στους παραγενέσιους του γρανίτου Συμβόλου. Ο γρανίτης Συμβόλου σχηματίζει τον παρτήνα ανκίλινου, το οποίο συνεχίζεται επί 50km περίπου, με γενική διεύθυνση 40 - 60° ΒΑ. Ο άξωνας του ανκίλινου βυθίζεται ελαφρώς προς ΒΑ.


 Γεωλογικό όριο ορατό


 Ρήγμα ορατό και πιθανή προέκταση αυτού

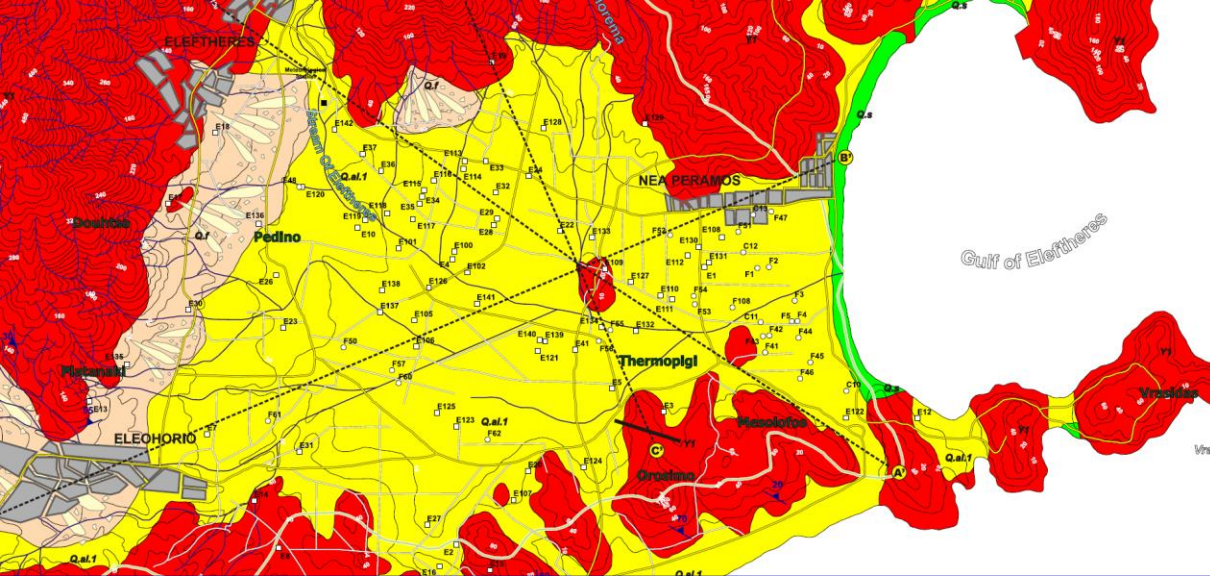
 Ρήγμα πθανό

 Άξωνας ανκίλινου

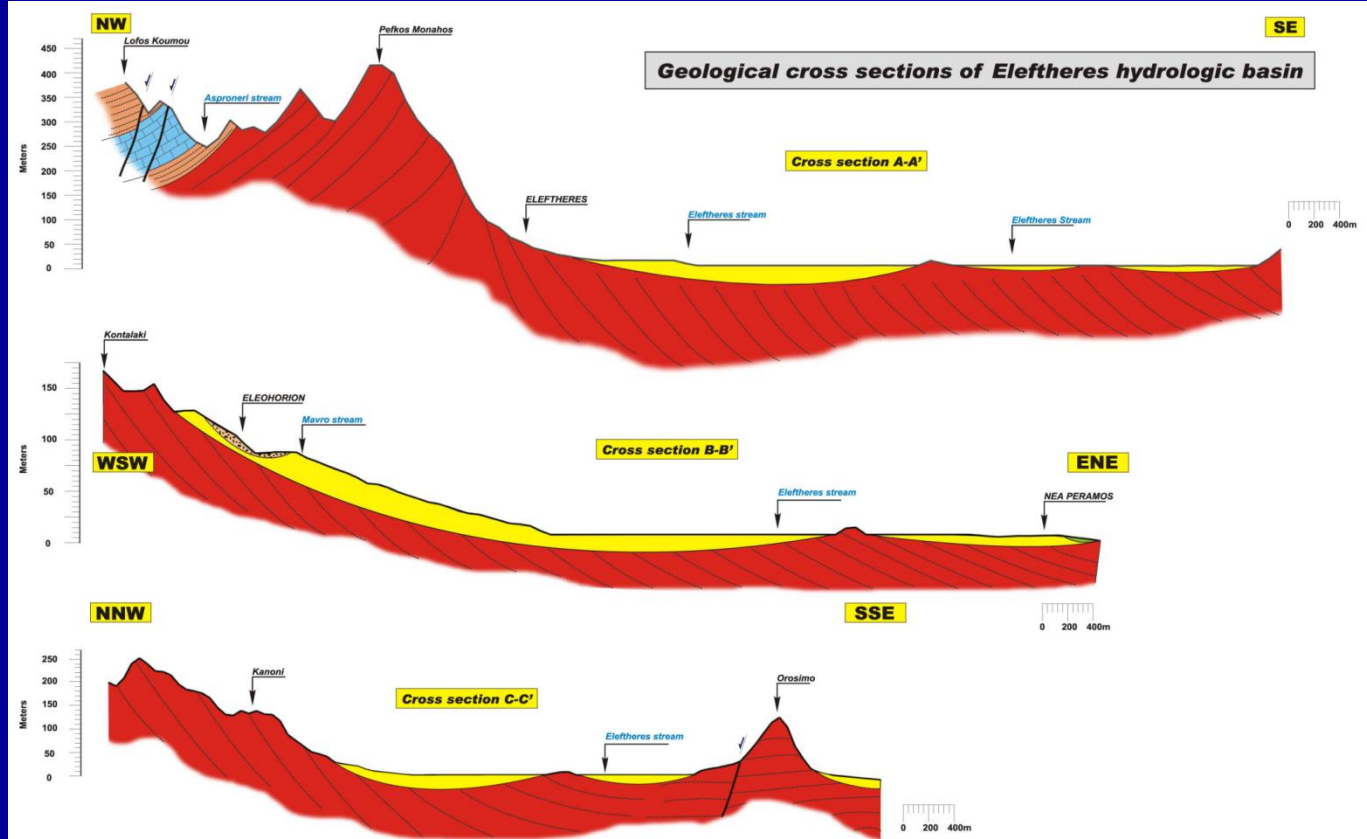
 Παράταξη στρωμάτων μετρηθείσα

 Παράταξη στρωμάτων κατ' εκτίμηση

 Διεύθυνση και κλίση σχιστότητας



Γεωλογικές τομές
 βάσει γεωηλεκτρικών
 διασκοπήσεων στην
 περιοχή έρευνας



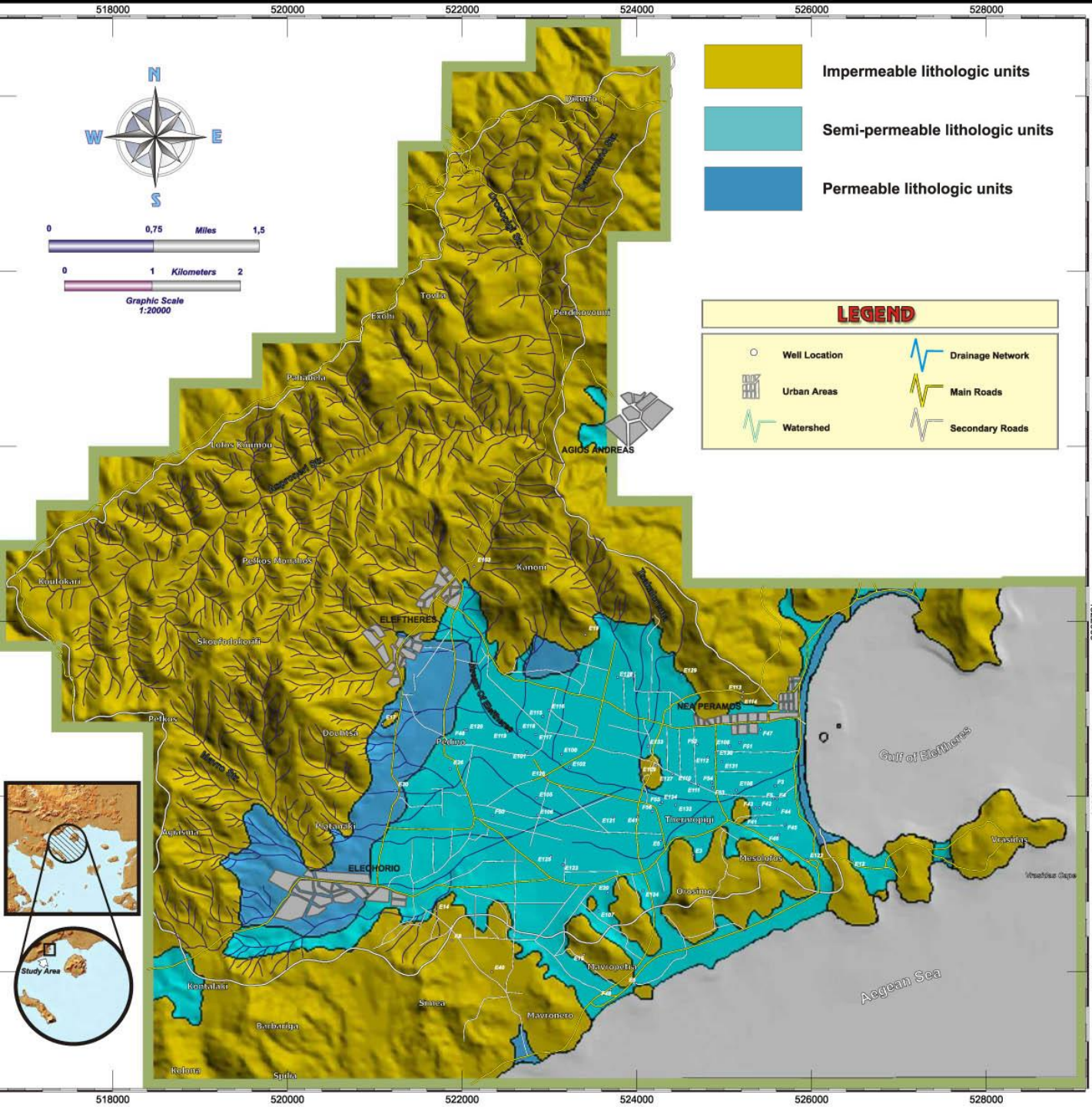


Τυπικοί
γρανοδιορίτες της
περιοχής έρευνας, οι
οποίοι σχηματίζουν
και τη βάση των
τεταρτογενών και
γενικά των
ιζηματογενών
πετρωμάτων της
λεκάνης των
Ελευθερών

Γεωλογικές μονάδες

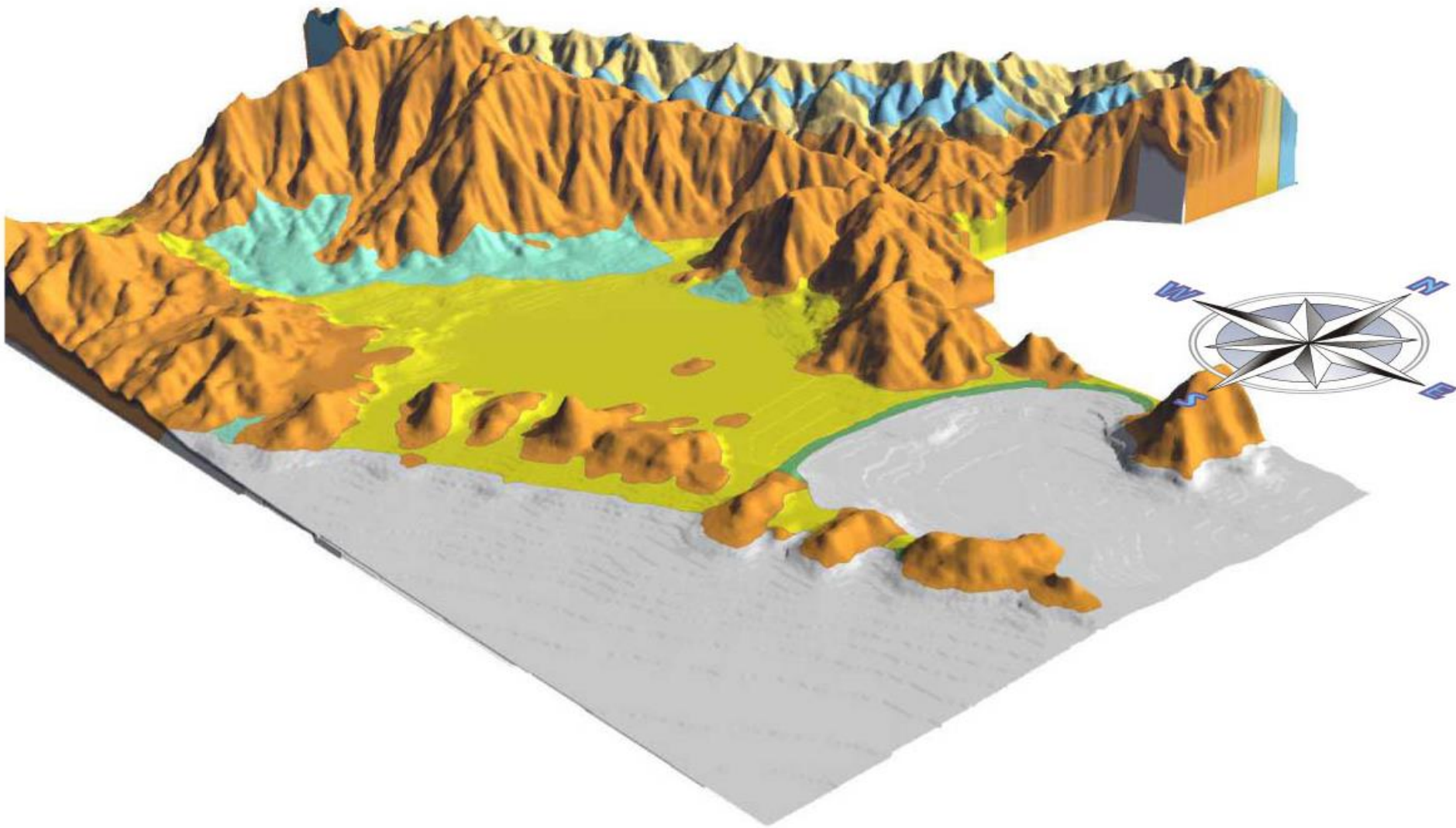
Τρεις διακριτές υδρολιθολογικές μονάδες:

- Περατή υδρολιθολογική μονάδα από αλλουβιακά υλικά και άμμους
- Ημι-περατή μονάδα – επικάλυμμα τεταρτογενών
- Αδιαπέρατη μονάδα γνεύσιων, σχιστολίθων και μαρμάρων



Κύριες υδρολιθολογικές μονάδες

(GEOSERVICE, 2000)



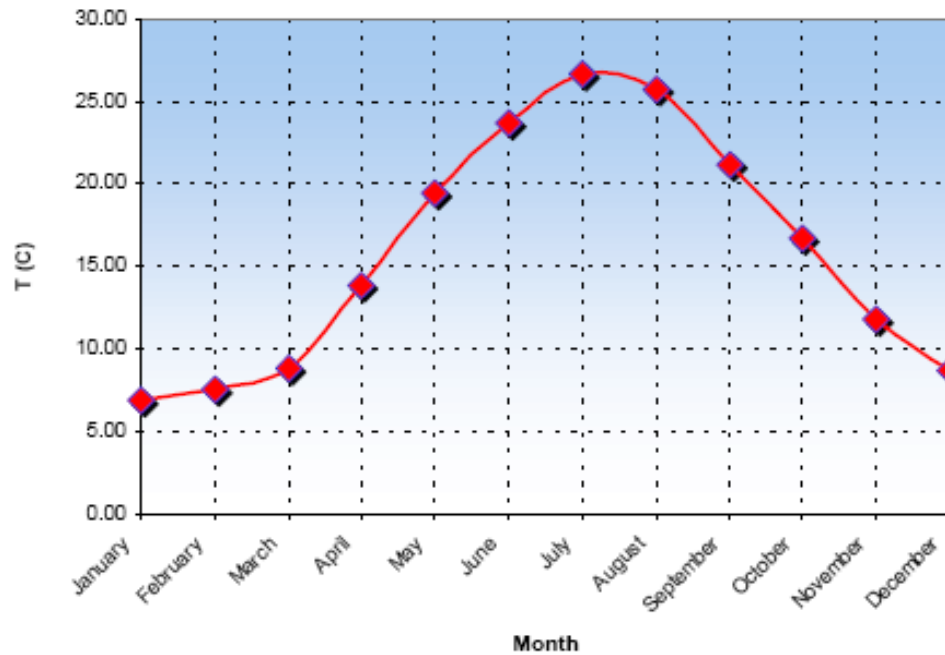
Τρισδιάστατος γεωλογικός χάρτης περιοχής έρευνας

(GEOSERVICE, 2000)

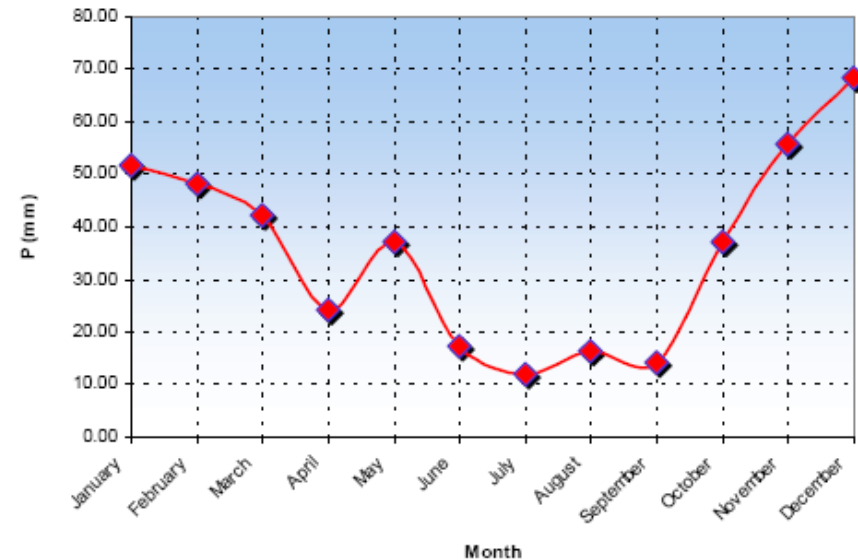
Υδρολογικά στοιχεία

- Ετήσια βροχόπτωση: $P=424,8$ mm
($P=20,5 \times 10^6$ m³/έτος)
- Ετήσια Απορροή: $Q=16,19$ mm
($Q=0,78 \times P=20,5 \times 10^6$ m³/έτος)
- Ετήσια Δυνητική Εξατμισοδιαπνοή: $E_1=381,7$ mm
($E_1= 18,4 \times 10^6$ m³/έτος) [Turk]
- Ετήσια Δυνητική Εξατμισοδιαπνοή: $E_2=350,9$ mm
($E_2= 16,9 \times 10^6$ m³/έτος) [Thornwaite]
- Ετήσια κατείσδυση: $I_1=26,91$ mm
($I_1= 1,3 \times 10^6$ m³/έτος)
[βάσει E_1]
- Ετήσια κατείσδυση: $I_2=36,51$ mm
($I_2= 1,76 \times 10^6$ m³/έτος) [βάσει E_2]

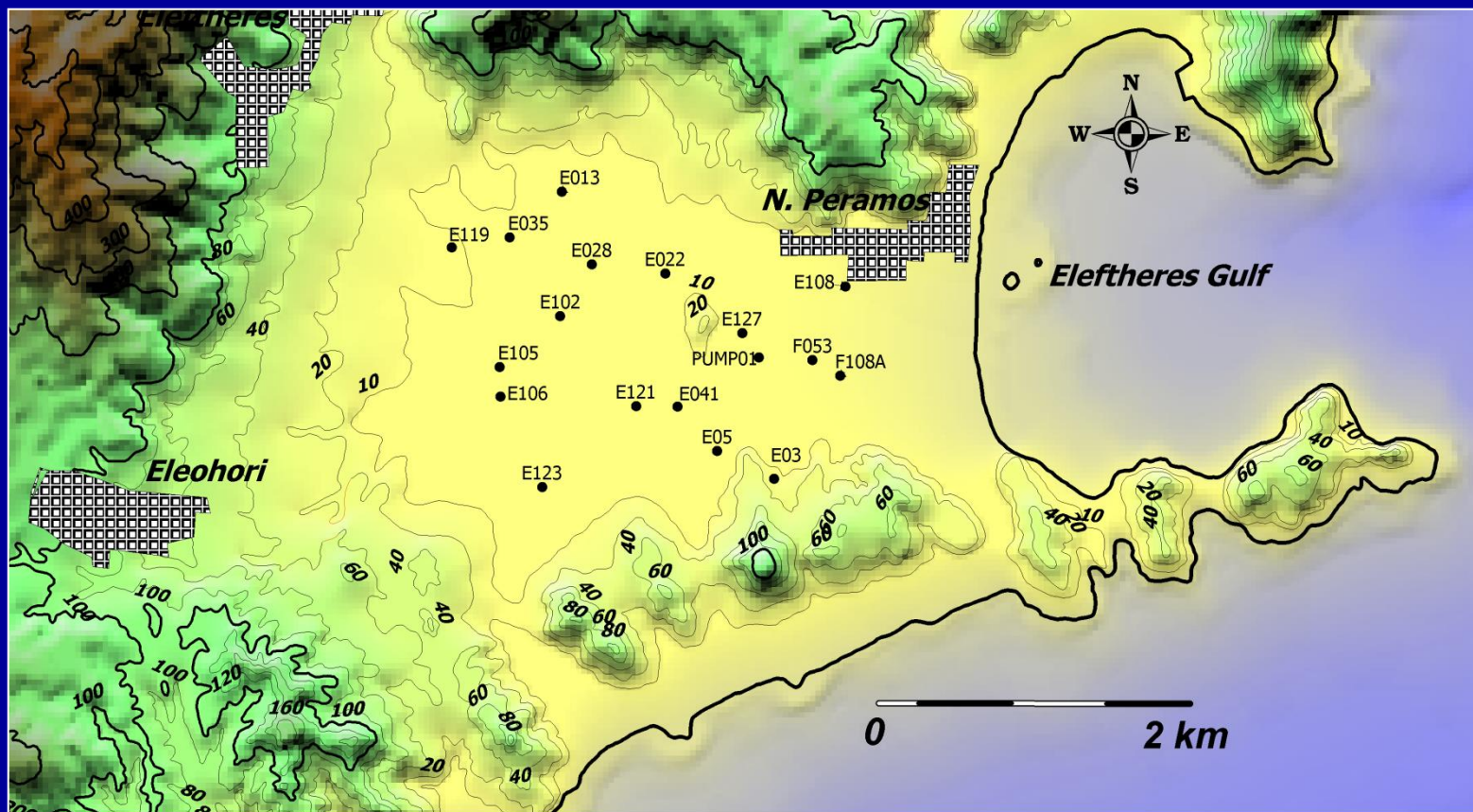
Μέση μηνιαία θερμοκρασία για την περίοδο 1995 - 2001



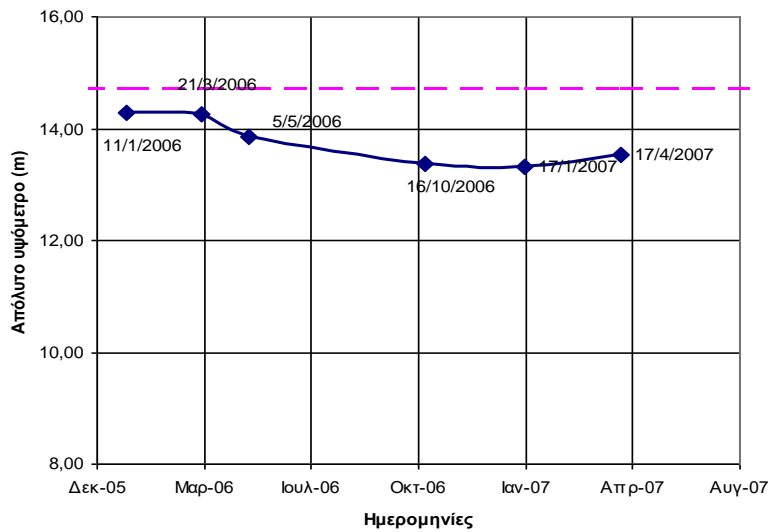
Μέση μηνιαία βροχόπτωση για την περίοδο 1995 - 2001



(Ευαγγέλου, 2008)

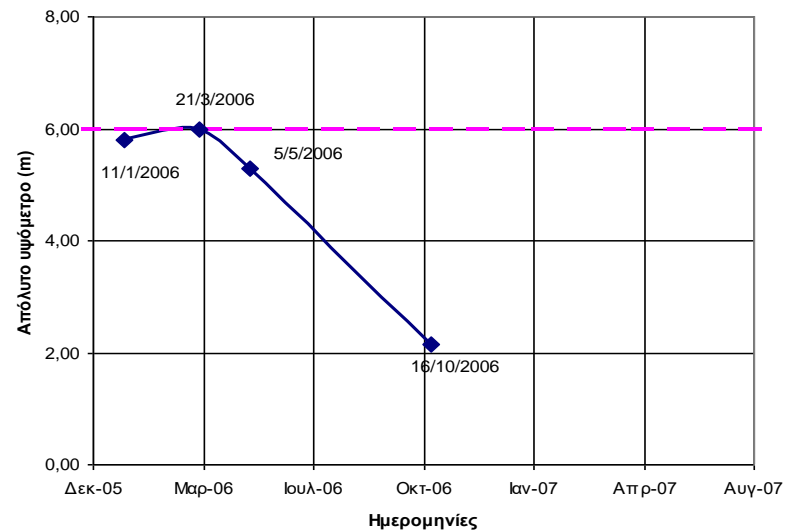


Δίκτυο γεωτρήσεων παρακολούθησης και δειγματοληψίας



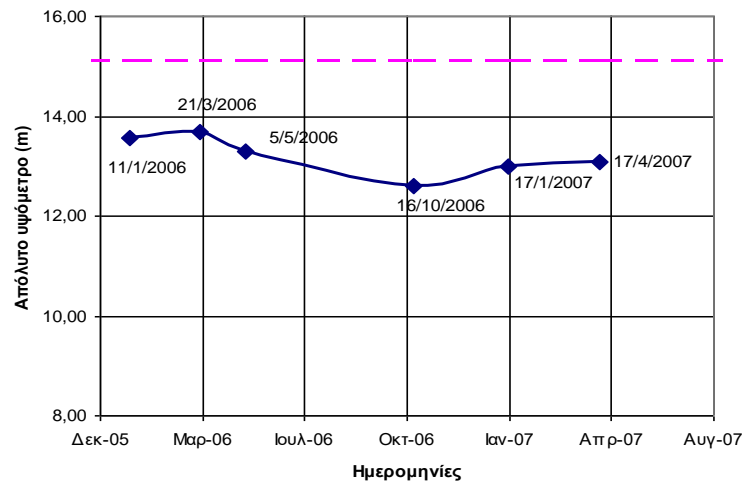
Υπόμνημα ΣΥΟ : Στάθμη Υδροφόρου Ορίζοντα
ΥΚΓ : Υψόμετρο Κεφαλής Γεώτρησης

Σχέδιο 5.9 Γεώτρηση E105. Διακύμανση στάθμης



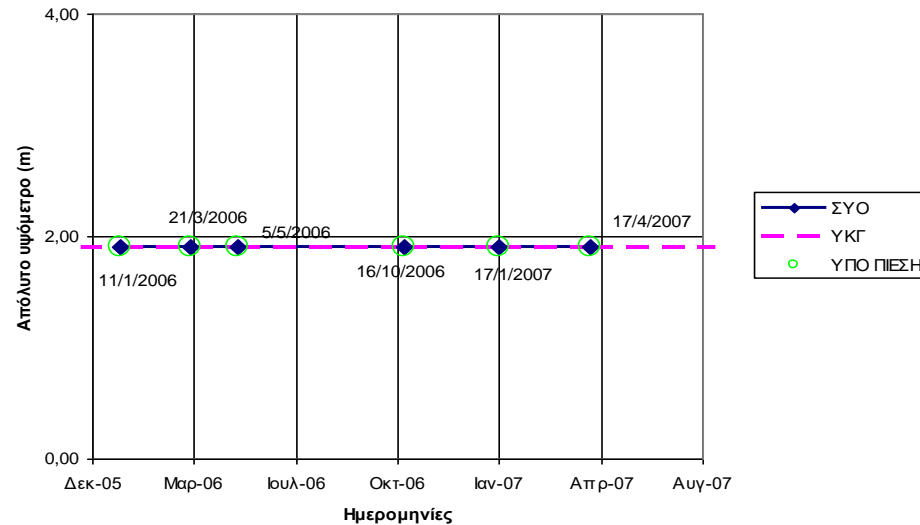
Υπόμνημα ΣΥΟ : Στάθμη Υδροφόρου Ορίζοντα
ΥΚΓ : Υψόμετρο Κεφαλής Γεώτρησης

Σχέδιο 5.13 Γεώτρηση E41. Διακύμανση στάθμης



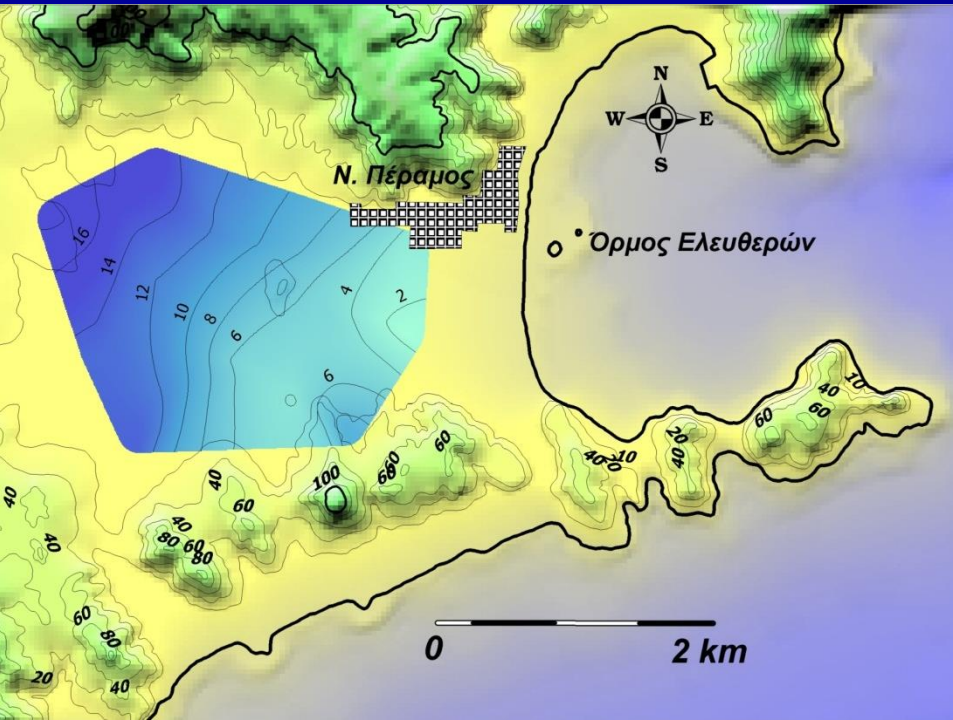
Υπόμνημα ΣΥΟ : Στάθμη Υδροφόρου Ορίζοντα
ΥΚΓ : Υψόμετρο Κεφαλής Γεώτρησης

Σχέδιο 5.10 Γεώτρηση E106. Διακύμανση στάθμης

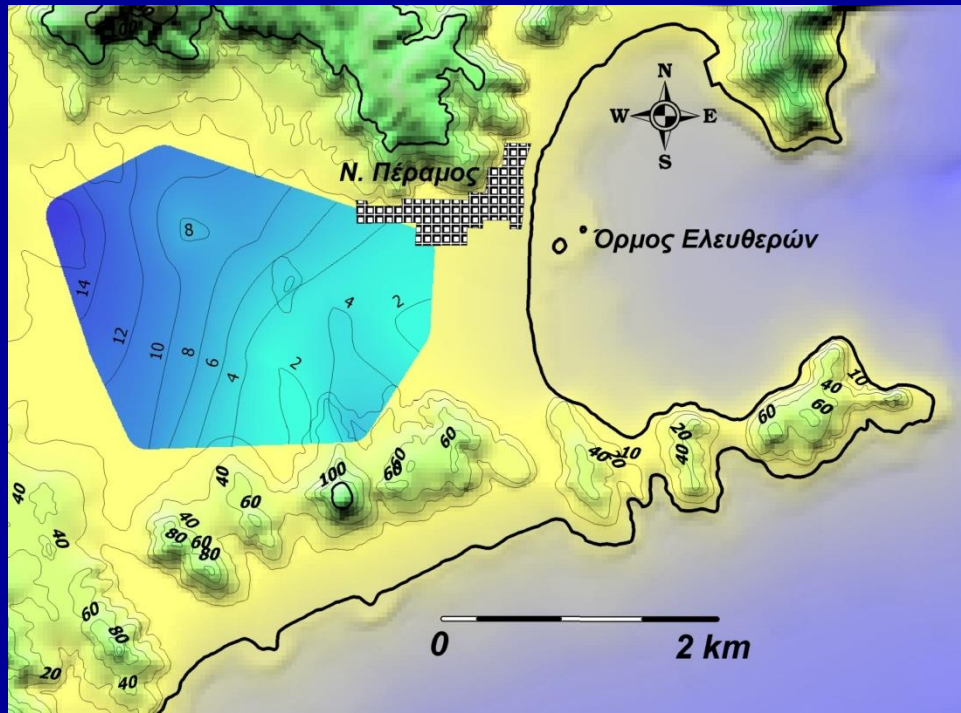


Υπόμνημα ΣΥΟ : Στάθμη Υδροφόρου Ορίζοντα
ΥΚΓ : Υψόμετρο Κεφαλής Γεώτρησης

Σχέδιο 5.14 Γεώτρηση E109. Διακύμανση στάθμης



Πιεζομετρικός χάρτης
(Μάιος 2006)

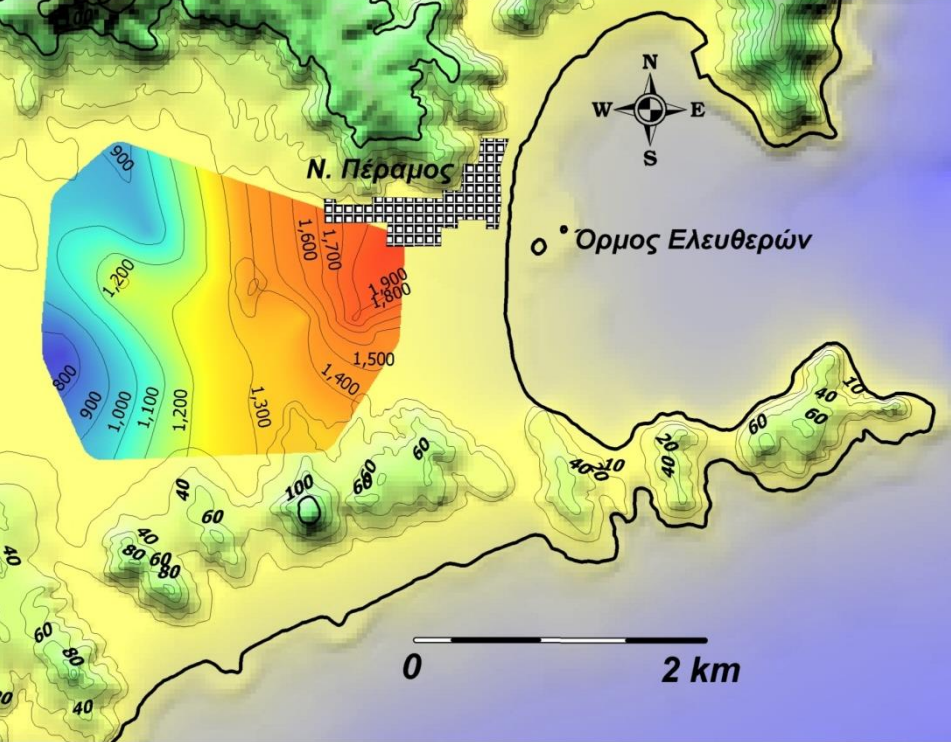


Πιεζομετρικός χάρτης
(Οκτώβριος 2006)

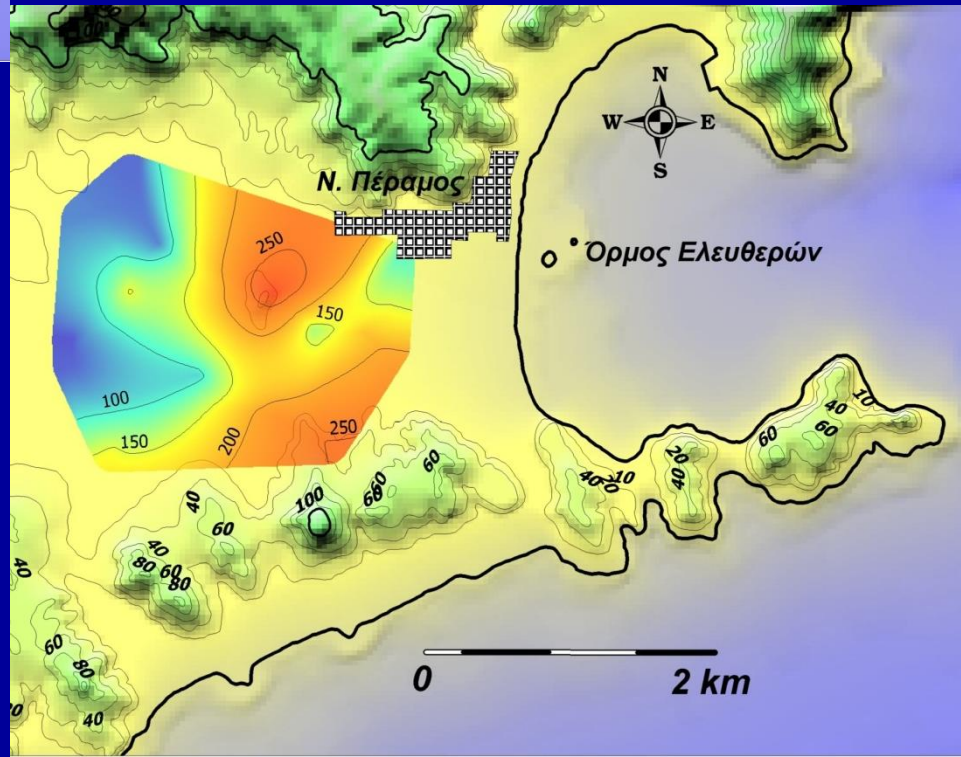
(Pliakas et al., 2007a, Pliakas et al., 2011)

Χημικές
αναλύσεις
(15/07/2006)

well	Ca ²⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	Na ⁺ (mg/L)	K ⁺ (mg/L)	NH ₄ ⁺ (mg/L)	HCO ₃ ⁻ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)
E28	82.56	3.89	53	3.1	0.882	242.78	65.60	212.5	45.0
E102	75.35	14.09	84	3.0	0.345	235.46	154.25	130.0	14.0
E105	84.97	25.76	50	6.5	0.427	256.2	51.42	192.5	14.0
E106	64.93	34.02	53	1.6	0.393	218.38	56.74	318.5	7.0
E123	57.72	18.95	105	3.5	0.243	241.56	156.02	69.7	1.0
E121	89.78	58.32	65	2.0	0.652	301.34	92.20	279.5	23.0
E035	71.34	50.54	46	3.8	0.196	235.46	67.37	193.5	65.0
E113	92.99	35.48	42	4.2	0.223	172.02	58.51	182.0	75.0
F53	87.37	61.72	103	1.7	1.910	417.24	187.94	421.0	21.0
F108A	68.14	46.66	155	3.7	0.598	326.96	198.58	308.0	2.0
PUMP01	165.93	18.95	86	2.5	0.43	279.38	129.43	278.0	80.0
E109	59.32	15.55	200	9.8	0.221	281.82	289.00	3.0	1.0
E05	64.93	28.19	170	7.5	0.192	281.82	223.40	16.0	4.0
E03	52.91	18.47	180	8.3	0.202	291.58	251.77	1.0	3.0
E108	108.22	51.03	210	3.8	0.292	196.42	111.70	57.5	15.0
well	Mn ²⁺ (mg/L)	PO ₄ ³⁻ (mg/L)	Fe ²⁺ (mg/L)	T (°C)	pH	EC (μS/cm)	Alkalinity M	Total Hardness (°F)	Revelle
E28	2.4	0.32	0.304	17.1	8.03	908	3.98	22.2	0.465
E102	0.5	0.58	0.46	18.1	7.32	1234	3.86	24.6	1.128
E105	0.3	1.32	0.045	16.2	7.43	824	4.2	31.8	0.345
E106	1.4	0.68	0.66	17.6	7.25	738	3.58	2.2	0.447
E123	0.3	0.86	0.422	20.5	7.34	947	3.96	22.2	1.112
E121	0.6	0.57	0.098	18.3	8.18	1205	4.94	46.4	0.527
E035	0.1	0.92	0.023	17.8	7.25	945	3.86	38.6	0.492
E113	0.4	0.9	0.09	16.2	6.66	895	2.82	37.8	0.585
F53	0.4	1.29	0.019	18.4	7.26	1920	6.84	47.2	0.775
F108A	1.1	0.45	0.127	18	7.3	1550	5.36	36.2	1.045
PUMP01	0.3	0.7	0.023	18.2	6.78	1330	4.58	33.6	0.797
E109	0.4	0.96	0.027	25.4	7.27	1435	4.62	21.2	1.765
E05	0.2	0.76	0.091	23.2	7.75	1310	4.62	27.8	1.364
E03	0.4	0.67	0.043	23.9	7.34	1305	4.78	20.8	1.486
E108	0.5	0.54	0.121	20	7.11	2050	3.22	48.0	0.979



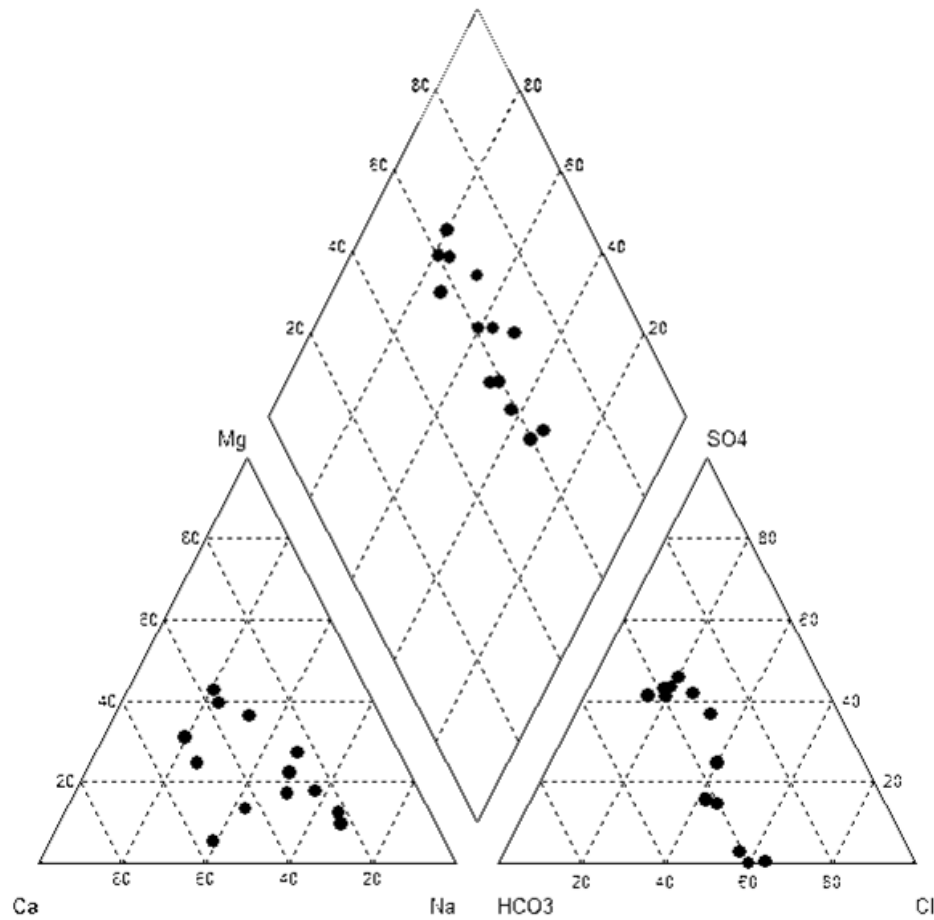
SEC - $\mu\text{S}/\text{cm}$
(15/07/2006)



Cl^- (mg/L)
(15/07/2006)

(Pliakas et al., 2007a, Pliakas et al., 2011)

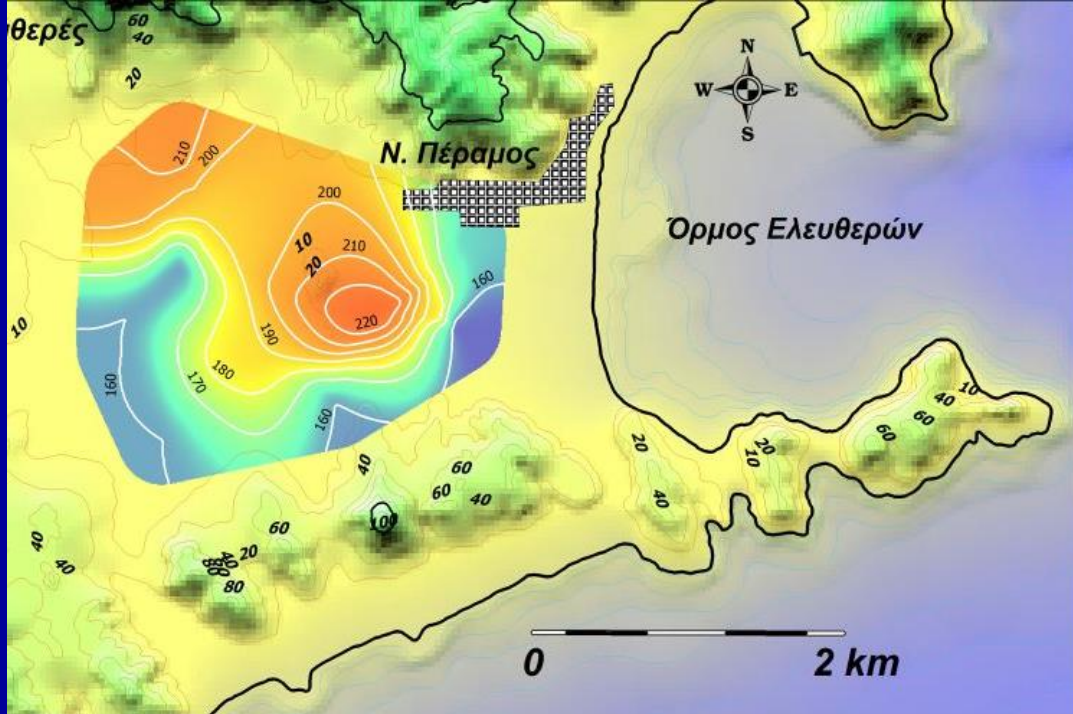
Διαγράμματα Piper και Durov
για τα υπόγεια νερά κατά το
έτος 2001 (15/07/2006)



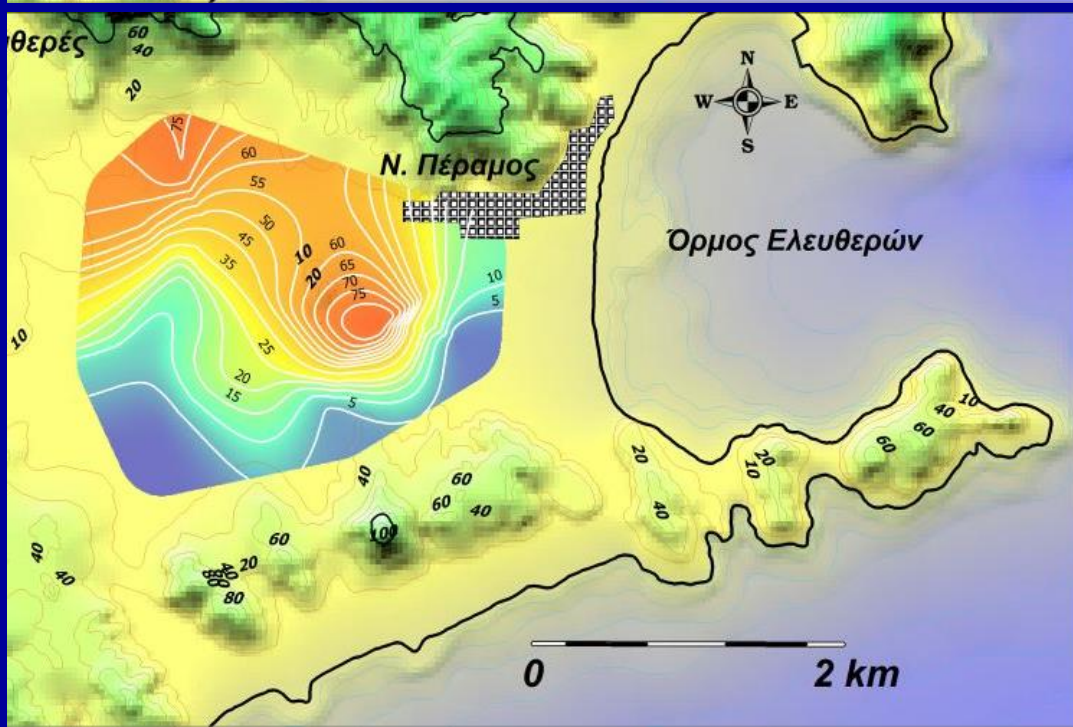
ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ

Η ποιότητα των υπόγειων νερών της περιοχής όσον αφορά τα αποτελέσματα των υδροχημικών αναλύσεων καταδεικνύει ότι:

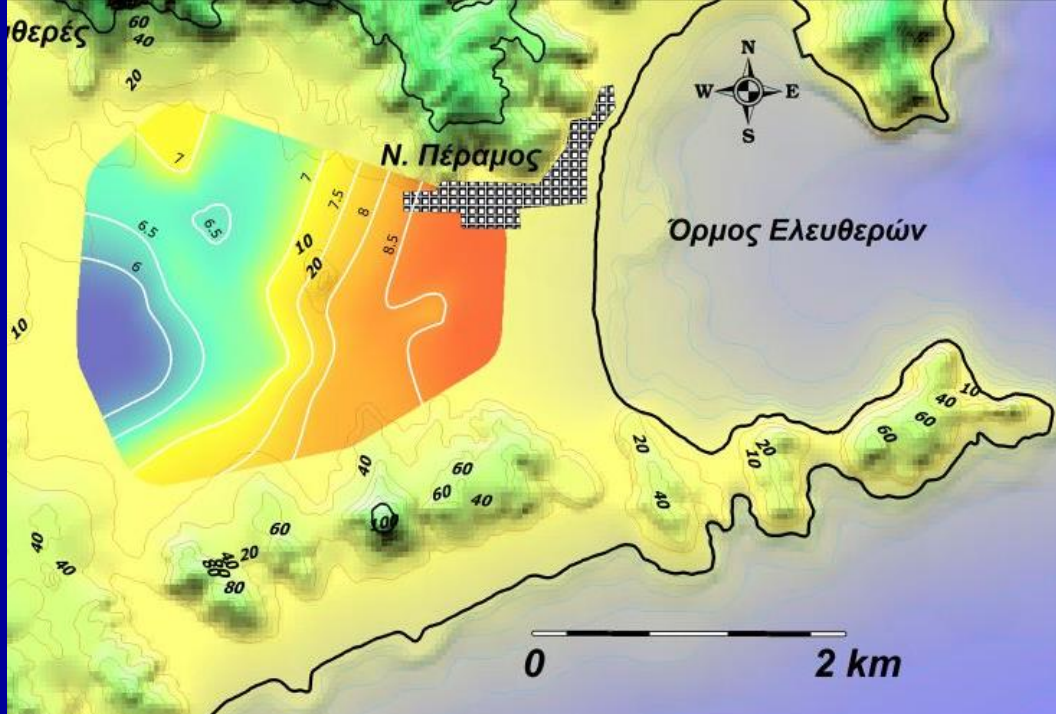
- Σε όλες τις περιπτώσεις τα νερά κρίνονται ακατάλληλα με βάση τα κριτήρια ποσιμότητας
- Βάσει του συντελεστή SAR τα υπόγεια νερά της περιοχής έρευνας ενδείκνυνται για χρήση μόνο σε περιοχές με εδάφη υψηλής στράγγισης και για αλατοανθεκτικές καλλιέργειες



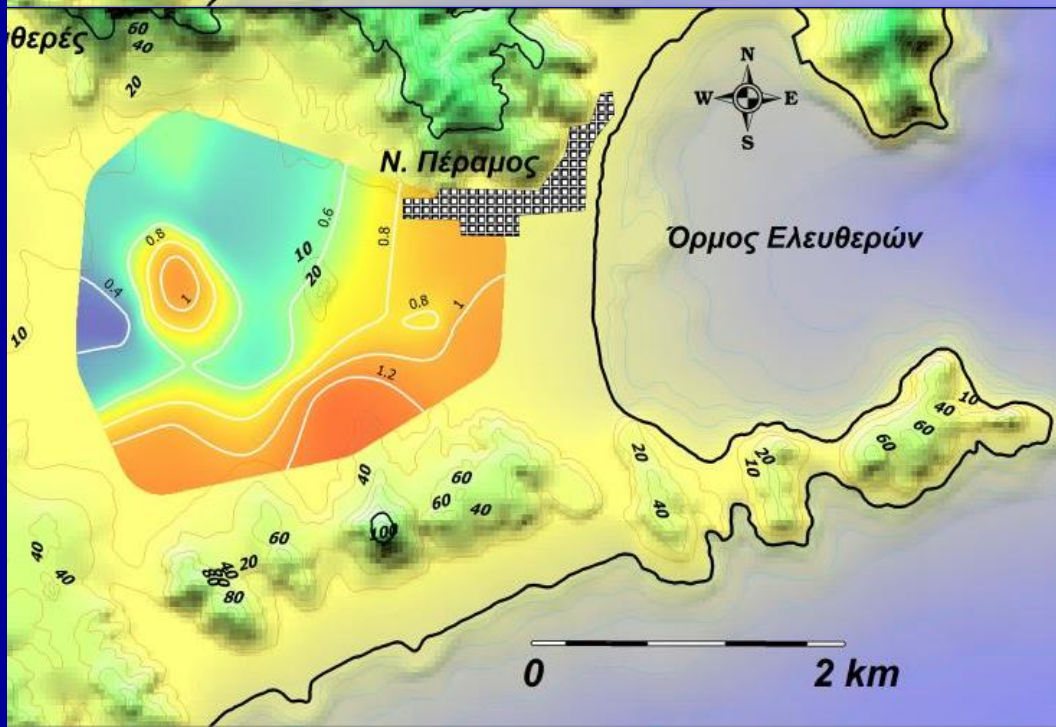
Κατανομή του δείκτη τρωτότητας
DRASTIC Vulnerability Index DVI
(2006-2007)



Κατανομή της συγκέντρωσης των
νιτρικών ιόντων (NO_3^-) σε mg/L
(2006)

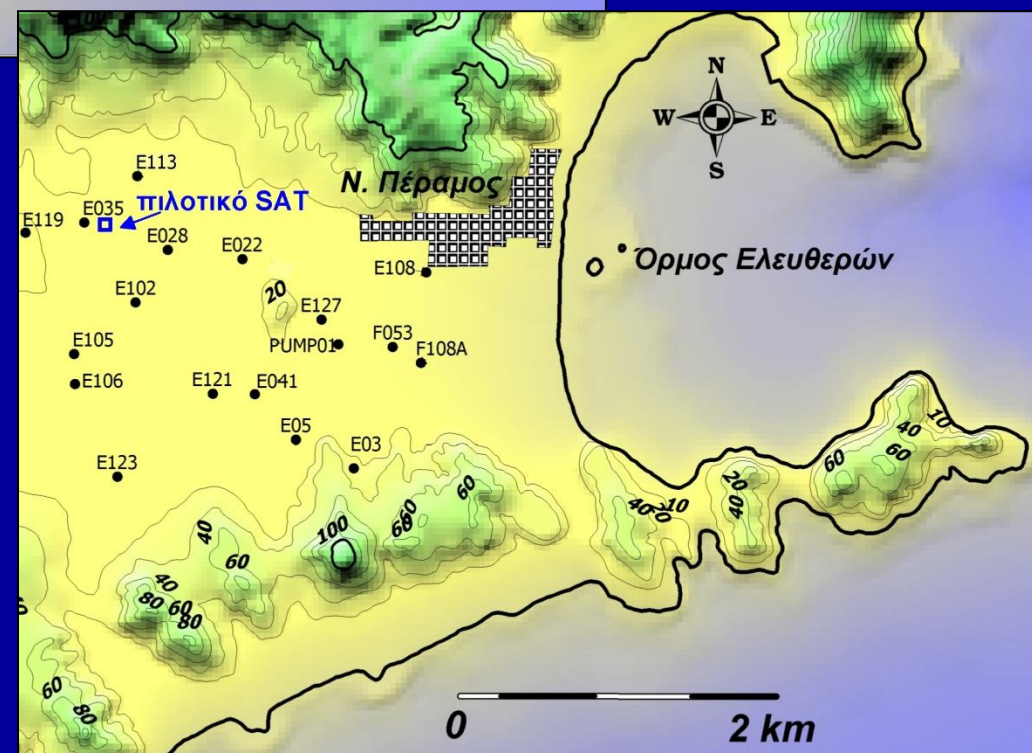
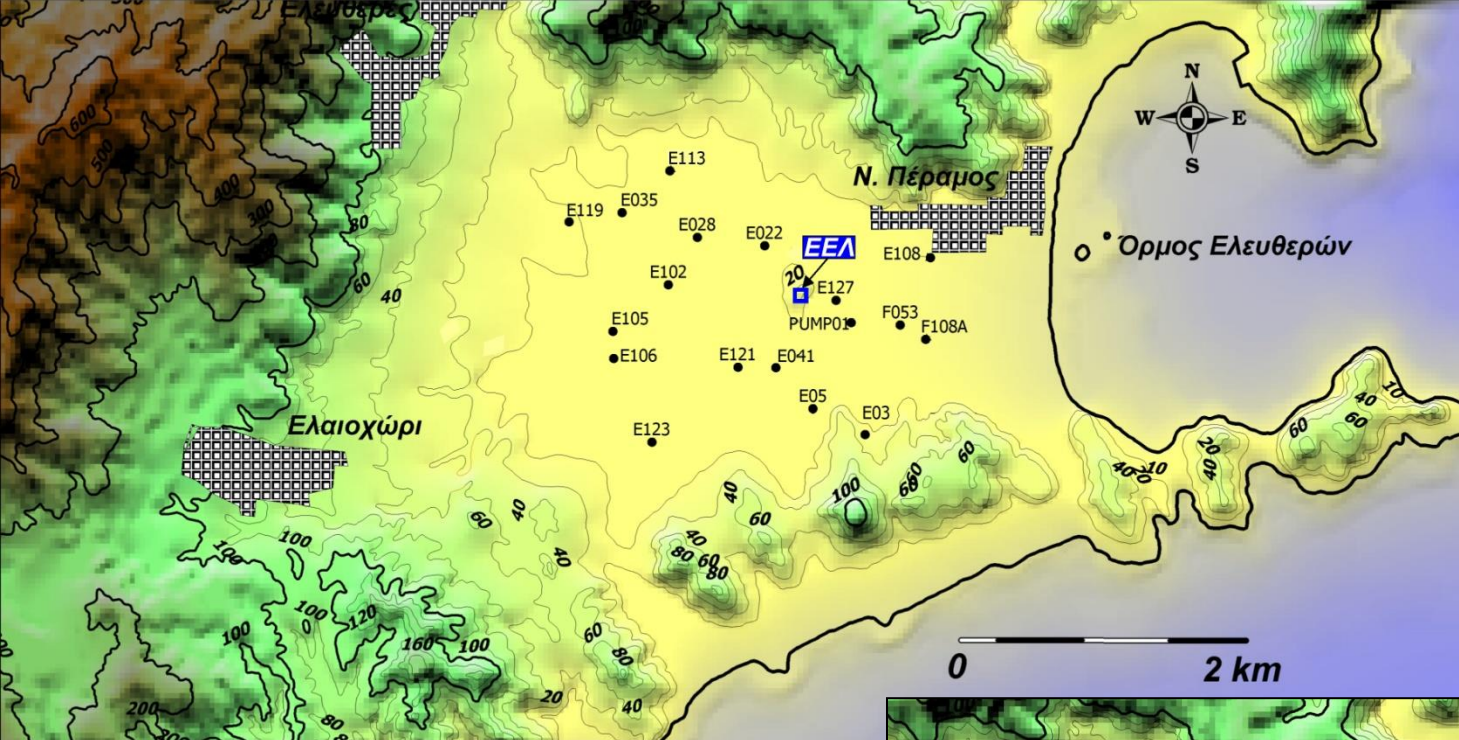


Κατανομή του δείκτη τρωτότητας
GALDIT Vulnerability Index GVI
(2006-2007)



Κατανομή των τιμών του
δείκτη Revelle
(2006)

Η θέση της
Εγκατάστασης
Επεξεργασίας
Λυμάτων (Ε.Ε.Λ.)
του Δήμου
Ελευθερών



Ενδεικτική θέση των λεκανών
εμπλουτισμού στο πλαίσιο εφαρμογής
πυλοτικού συστήματος SAT (Soil Aquifer
Treatment) στην περιοχή έρευνας

ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ

Με βάση τον επηρεασμό των νερών εξαιτίας της θαλάσσιας διείσδυσης:

- Εντοπίζονται τρεις κύριες υδροχημικές κατηγορίες:
 - Γλυκά νερά με προέλευση το υποκείμενο υδροφόρο γρανιτικό στρώμα
 - Νερά επιβαρυμένα από τη διείσδυση της θάλασσας, τα οποία παρουσιάζουν περίσσεια ιόντων χλωρίου και νατρίου.
 - Νερά που παρουσιάζουν περίσσεια χλωριούχων – θειικών ιόντων και ιόντων ασβεστίου
- Η πλειοψηφία των δειγμάτων του στενού παράκτιου τμήματος της περιοχής (φρεάτιος υδροφόρος), εκεί όπου η διείσδυση της θάλασσας είναι εξακριβωμένη καταδεικνύουν ανάμιξη γλυκού και αλμυρού νερού

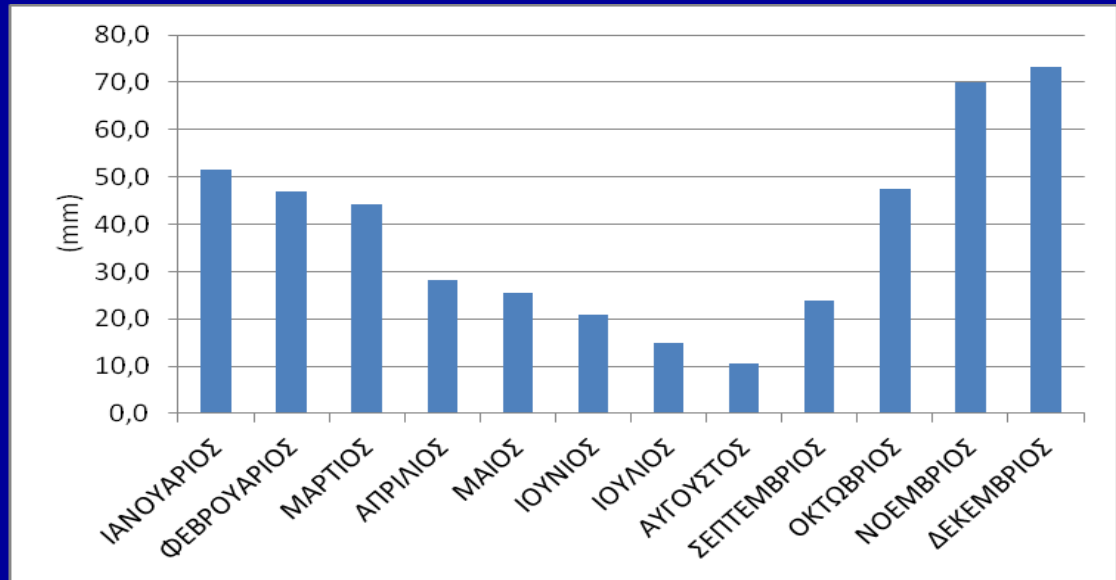
Ανατολικό παράκτιο τμήμα του Δήμου Αλεξανδρούπολης



Η περιοχή έρευνας έχει έκταση περίπου 30 km² - Πρόκειται για παράκτια γεωργική ζώνη.

ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Μέσο μηνιαίο ύψος
βροχής σταθμού
Αλεξανδρούπολης για τα
έτη 1950 ως 2010: 549,6
mm

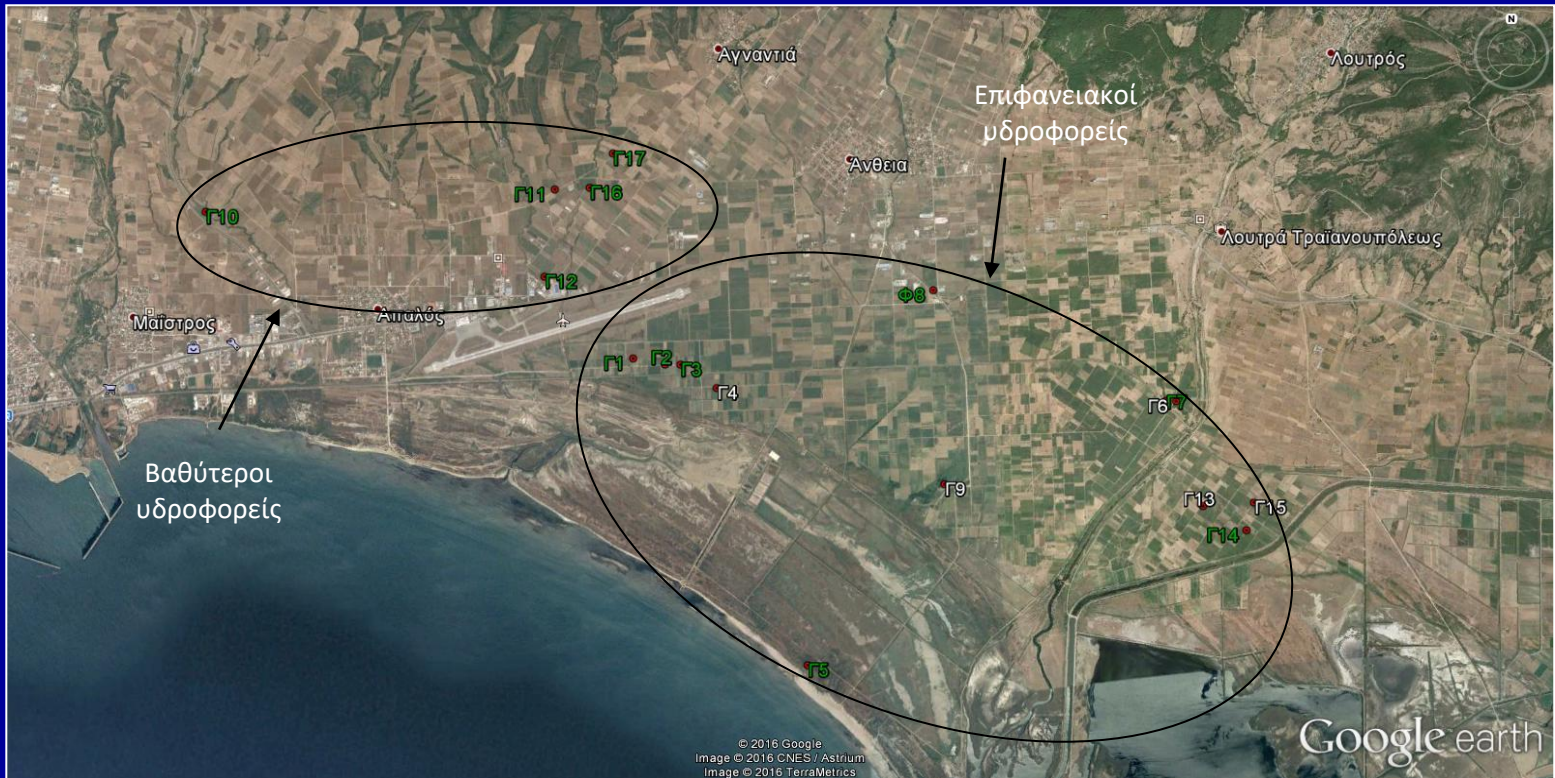


ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

- Κοκκώδης υδροφορία μέσα στις Πλειο-Τεταρτογενείς αποθέσεις.
- Φρεάτιος επιφανειακός υδροφορέας και επάλληλα βαθύτερα υδροφόρα στρώματα υπό πίεση ή μερικώς υπό πίεση.
- Πλήθος αβαθών και βαθιών γεωτρήσεων με παροχές που κυμαίνονται $Q=30-150 \text{ m}^3/\text{h}$ και αυξάνονται προς ανατολικά.
- Το σημαντικότερο υδροφόρο πεδίο, είναι αυτό στις αποθέσεις του χειμάρρου Λουτρού. Έπεται το πεδίο της Άνθειας. Το μικρότερο δυναμικό εμφανίζεται στο πεδίο του Απαλού.

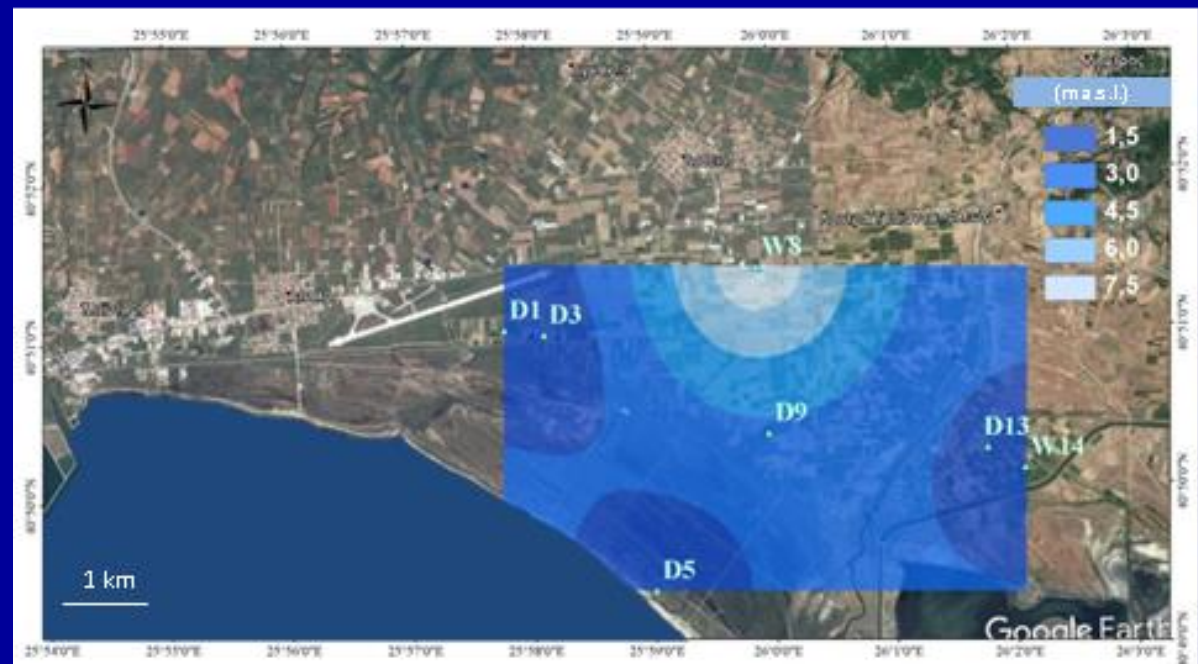
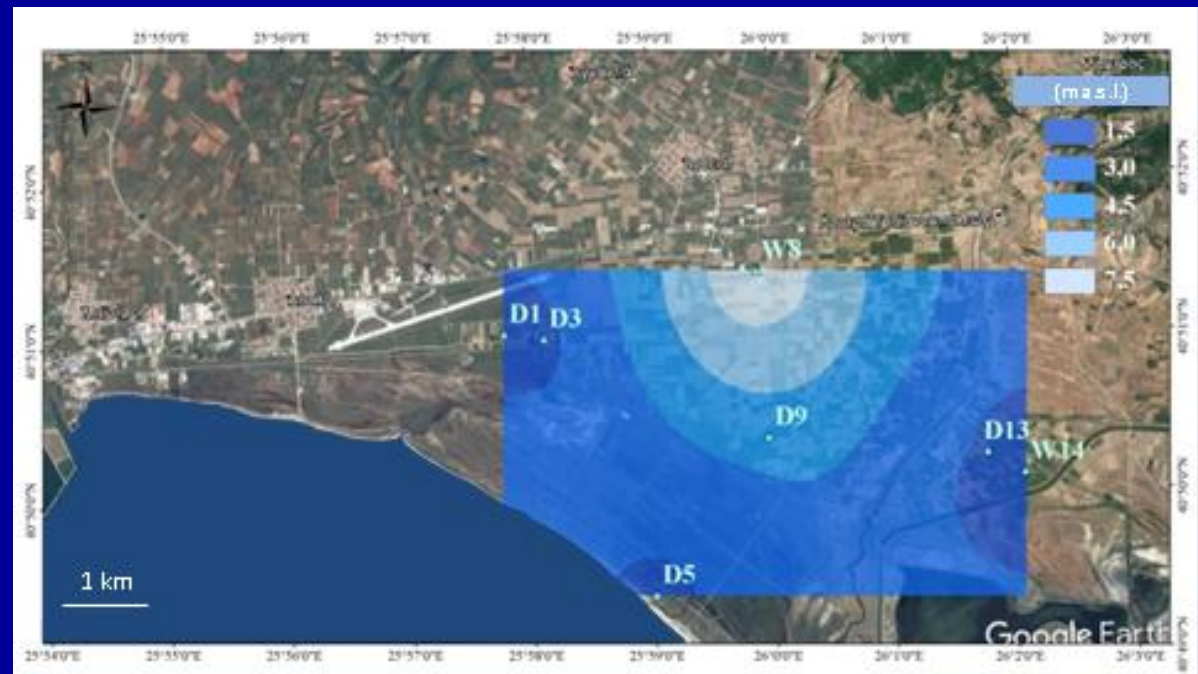
ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΚΑΙ ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΕΣ ΕΡΕΥΝΕΣ

- Δημιουργία δικτύου παρακολούθησης 15 γεωτρήσεων και 2 φρεάτων.
- Επί τόπου μετρήσεις EC, T και στάθμης υπόγειου νερού. Δύο σειρές μετρήσεων: Ιούνιος, Ιούλιος και Σεπτέμβριος, Οκτώβριος 2015.
- Συλλογή 12 δειγμάτων νερού για γενικές χημικές αναλύσεις (Ιούλιος 2015).
- Σχεδιασμός φυσικοχημικών και υδροχημικών χαρτών.
- Υπολογισμός Συντελεστή Προσρόφησης Νατρίου (SAR), Revelle και ιοντικών λόγων (Mg/Ca, Na/Cl και Na/K).
- Κατασκευή υδροχημικών διαγραμμάτων Piper και Durov.
- Καταλληλότητα υπόγειου νερού για άρδευση.



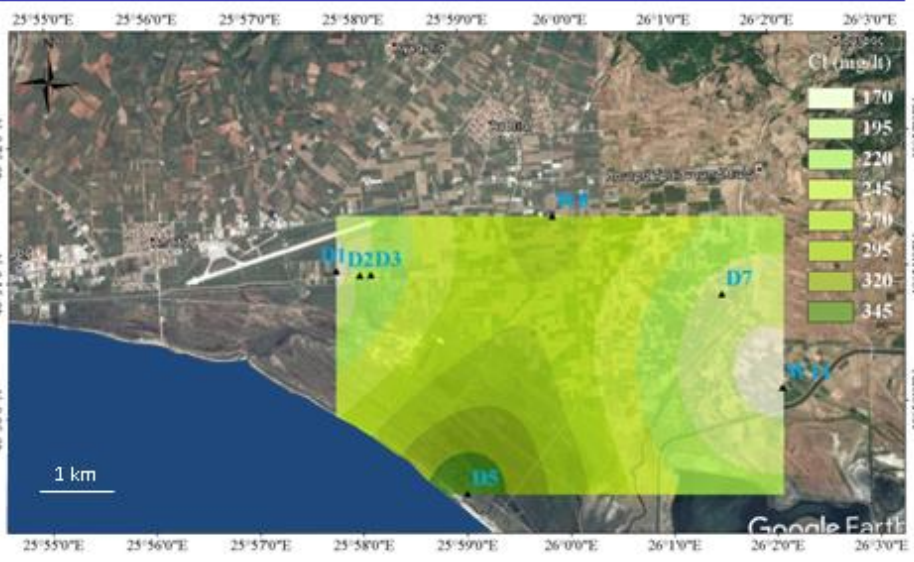
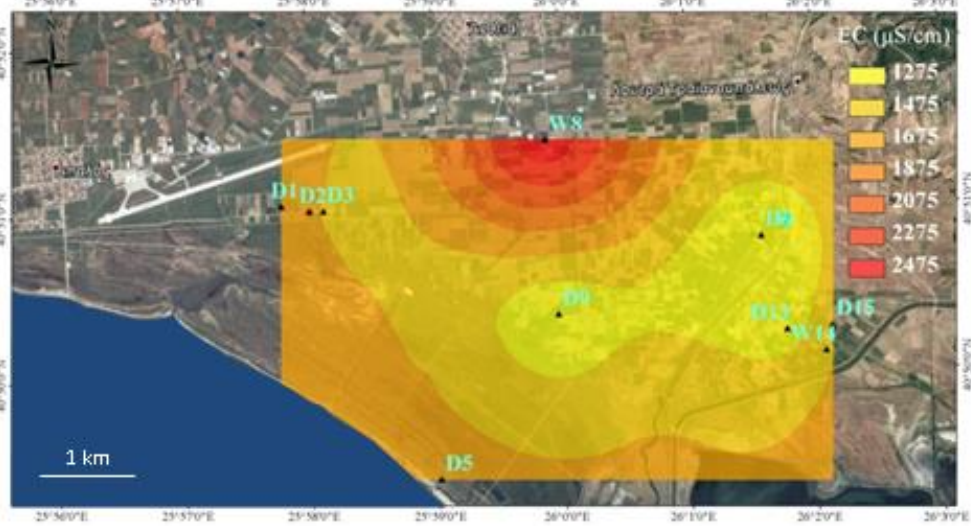
Οι επιφανειακοί υδροφορείς εντοπίζονται στο N-NA πεδινό τμήμα της περιοχής. Πάνω από την εθνική οδό, Β του Απαλού, οι γεωτρήσεις αντλούν από βαθύτερα επάλληλα υπόγεια υδροφόρα στρώματα.

Πιεζομετρικοί χάρτες (επάνω: Ιούνιος 2015,
κάτω: Οκτώβριος 2015)



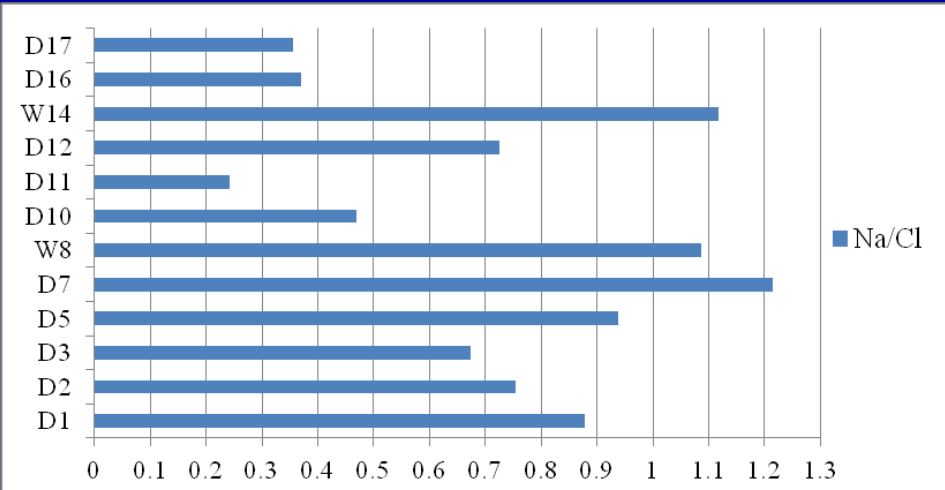
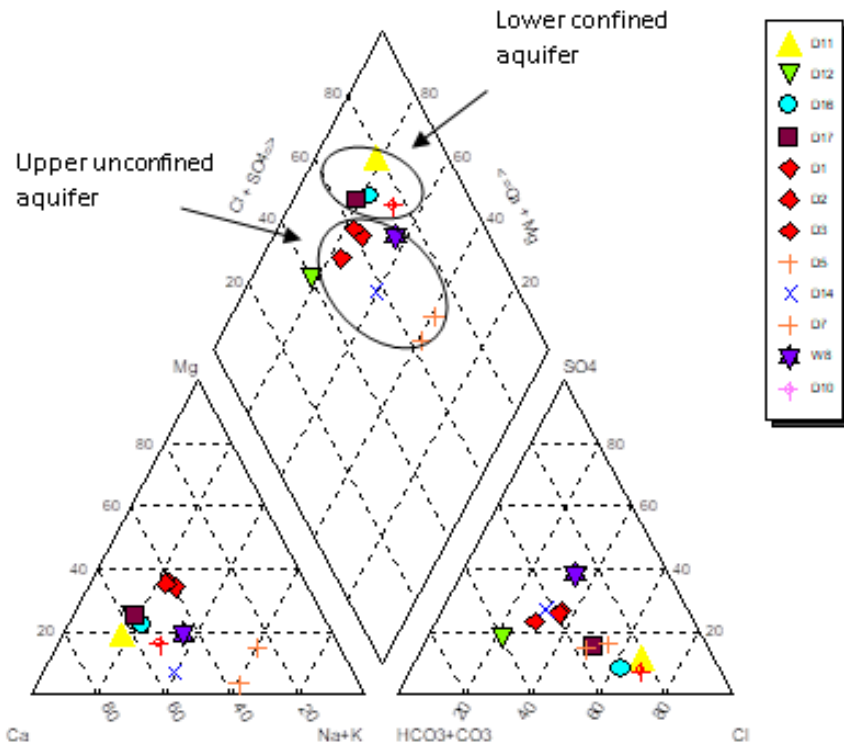
Ποιοτικοί χαρακτήρες του υπόγειου νερού

Κατανομή τιμών Ηλεκτρική Αγωγιμότητας (EC) values ($\mu\text{S}/\text{cm}$) (Ιούλιος 2015) του ελεύθερου υδροφορέα (επάνω) και του υπό πίεση υδροφορέα (κάτω)

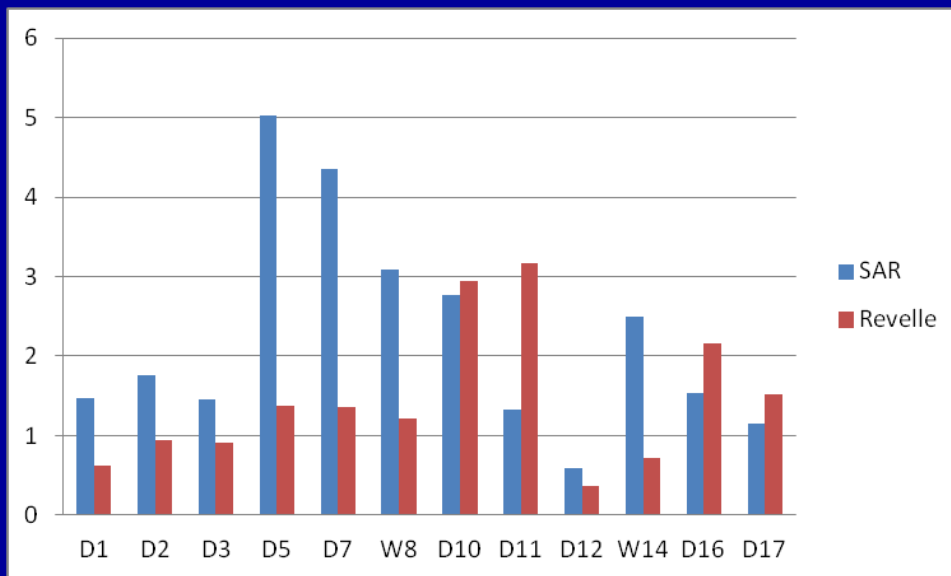


Κατανομή τιμών συγκέντρωσης Cl⁻ (mg/L) (Ιούλιος 2015)

Διάγραμμα Piper



Ιοντικοί λόγοι: (α) $Na^+/Cl^- = 0,876 \pm 10\%$: κανονικό υπόγειο νερό, (β) $Na^+/Cl^- < 0,876 \pm 10\%$: υφαλμύριση υπόγειου νερού (Καλλέργης, 2000).



Τιμές SAR και Revelle (R) (Ιούλιος 2015)

(Papadopoulos et al., 2017)

Επισημάνσεις

- Οι υψηλές τιμές EC και Cl στις βαθιές γεωτρήσεις θα πρέπει να οφείλονται σε παλιά εγκλωβισμένα υφάλμυρα νερά.
- Οι τιμές EC και Cl γενικά αναμένονταν υψηλότερες. Ίσως οι μειωμένες αρδεύσεις στην περιοχή N του Απαλού και η παρουσία καναλιού/τάφρου στην περιοχή N των Λουτρών έχει παίξει κατασταλτικό παράγοντα.
- Τα νερά σχετικά με την καταλληλότητά τους στην άρδευση, σύμφωνα με σημαντικούς ερευνητές κατατάσσονται σε νερά με αυξανόμενα προβλήματα, αποδεκτής-μέσης ποιότητας για άρδευση, όπου κατά θέσεις απαιτείται να χρησιμοποιηθούν με περιορισμούς σε καλά στραγγισμένα εδάφη λόγω υψηλής αλατότητας.

...καταλήγοντας:

- Η διείσδυση της θάλασσας σε παράκτιους υδροφόρους της Ελλάδας προβάλλει τα τελευταία χρόνια ως ένα ιδιαίτερα σοβαρό πρόβλημα που απειλεί να περιορίσει τη χρήση σημαντικού μέρους των διαθέσιμων υπόγειων υδατικών πόρων.
- Σε ορισμένες περιπτώσεις μάλιστα, όπου τα υπόγεια νερά αποτελούν το μοναδικό διαθέσιμο υδατικό πόρο (όπως π.χ. στη νήσο Χίο κ.α.), η διείσδυση της θάλασσας μπορεί να οδηγήσει σε ολοκληρωτική έλλειψη γλυκού νερού.
- Τα υπόγεια νερά συντηρούν, τόσο τους παράκτιους υγροτόπους, όσο και τις ευεργετικές για τους οργανισμούς του αβαθούς θαλασσίου περιβάλλοντος ιδιότητες.

... επίσης:

- Η διείσδυση της θάλασσας σε λίγες μόνο περιπτώσεις έχει μελετηθεί επαρκώς. Η επιστημονική προσέγγιση του φαινομένου περικλείει σημαντικές δυσκολίες, που αναφέρονται ιδιαίτερα στο χαρακτηρισμό της διαδικασίας υφαλμύρισης και τη διάκριση των διαφορετικών πηγών που την προκαλούν. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί ο παράκτιος υδροφορέας στην περιοχή Oxnard Plain, Ventura County στην California, όπου παρατηρήθηκε διείσδυση της θάλασσας από τη δεκαετία του 1930 και η οποία απετέλεσε ένα σοβαρό πρόβλημα στα μέσα της δεκαετίας 1950. Πολλά χρόνια μετά, πρόσφατη έρευνα έδειξε ότι και άλλες πηγές νερού υψηλής περιεκτικότητας σε χλώριο (Cl^-) τροφοδοτούν τις γεωτρήσεις και ότι η επίδραση της θαλάσσιας διείσδυσης υπερεκτιμήθηκε.

Ανατολική Μακεδονία & Θράκη

- ☑ Σήμερα είναι πλέον διαπιστωμένο ότι διείσδυση της θάλασσας συμβαίνει στις περιοχές των Δέλτα των ποταμών Έβρου, Λίσσου και Νέστου, την παράκτια περιοχή Ν. Ροδόπης μεταξύ Λιμνών Ισμαρίδας και Βιστωνίδας, την περιοχή του γεωθερμικού πεδίου της Νέας Κεσσάνης και τις περιοχές Νέας Περάμου, Δήμου Ορφανού και τη Νήσο Θάσο του Νομού Καβάλας.

Αναφορές

- Aller L., Bennett T., Lehr J.H., Petty R.J., Hackett G., (1987). DRASTIC: a standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeologic settings. EPA-600/2-87-035, EPA, Washington, DC.
- Appelo C.A.J., and D. Postma, (1993). *Geochemistry, groundwater and pollution*, A. A. Balkema, Rotterdam.
- Asano, T., and G. S. Pettygrove, 1987. Using reclaimed municipal wastewater for irrigation. *California Agriculture* (March – April).
- Ayers, R., S., (1975). Quality of water for irrigation. Proceeding of the Irrigation and Drainage Division, Specialty Conference, ASCE, 13-15/8/1975, Logan, Utah, pp. 24-56.
- Ballesteros B.J., I. Morell, O. García-Menéndez, A. Renau-Pruñonosa, (2016). A Standardized Index for Assessing Seawater Intrusion in Coastal Aquifers: The SITE Index. *Water Resources Management* (30), pp. 4513–4527.
- Eminoglou G., I. Gkiougkis, A. Kallioras, F.-K. Pliakas, (2017). Updated groundwater vulnerability evaluation at a coastal aquifer system in NE Greece. *European Water*, E.W. Publications, V. 57, pp. 423-428.
- GEOSERVICE, (2000). Cystallization technologies for prevention of saline water intrusion. CRYSTECHSALIN (EVK1-2000-631): Geological-hydrogeological and geochemical survey of the Greek test site in Eleftheres basin, Greece. Report 1, Research Directorates, 5th Framework Program, Energy, Environment and Sustainable Development, European Commission, 64p.
- Gkiougkis I., Mwila G., Pliakas F., Kallioras A., Diamantis I., (2010). Hydrogeological assessment of groundwater degradation at the eastern Nestos River Delta, N.E. Greece. 12th International Conference of the Geological Society of Greece, Patras, Greece, 19-22/5/2010, 4, 1697-1706.
- Gkiougkis I., T. Tzevelekis, F. Pliakas, I. Diamantis, A. Pechtelidis, (2011). Geophysical research of groundwater degradation at the eastern Nestos River Delta, NE Greece. *Advances in the Research of Aquatic Environment, Environmental Earth Sciences*, Springer, Vol. 1, pp. 259-266.
- Kallioras A., F. Pliakas, and I. Diamantis, (2006). Conceptual model of a coastal aquifer system in northern Greece and assessment of saline vulnerability due to seawater intrusion conditions. *Environmental Geology*, Springer, Vol. 51, No 3, pp. 349-361.

Αναφορές (συνέχεια)

- Kallioras A., F. Pliakas, and I. Diamantis, (2010). Simulation of groundwater flow in a sedimentary aquifer system, subjected to overexploitation. *Water, Air, & Soil Pollution*, Springer, Vol. 211, Numbers 1-4, pp. 177-201.
- Kallioras A., F. Pliakas, S. Skias, I. Gkiougkis, (2011). Groundwater vulnerability assessment at SW Rhodope aquifer system in NE Greece. *Advances in the Research of Aquatic Environment, Environmental Earth Sciences*, Springer, Vol. 2, pp. 351-358.
- Lobo Ferreira J. P., Chachadi A. G., Catarina Diamantino, Henriques M. J., (2005a). Assessing aquifer vulnerability to seawater intrusion using GALDIT method: Part 1 – Application to the Portuguese Aquifer of Monte Gordo. *Proceedings of the 4th InterCeltic Colloquium on Hydrology and Management of Water "Water in Celtic Countries: Quantity, Quality and Climate Variability"*, eds. J.P. Lobo Ferreira and José M. P. Vieira, held at Universidade do Minho, Guimarães, Portugal, July 11- 13, 2005, <http://www.iahs.info/>, IAHS (International Association of Hydrological Sciences), (<http://www.aprh.pt/celtico/PAPERS/25.PDF>), Publication 310, pp. 161-171.
- Lobo Ferreira J. P., Chachadi A. G., Diamantino C., Henriques M. J., (2005b). Assessing aquifer vulnerability to seawater intrusion using GALDIT method: Part 1 – Application to the Portuguese Aquifer of Monte Gordo. *Proceedings of the 4th InterCeltic Colloquium on Hydrology and Management of Water "Water in Celtic Countries: Quantity, Quality and Climate Variability"*, eds. J.P. Lobo Ferreira and José M. P. Vieira, held at Universidade do Minho, Guimarães, Portugal, July 11- 13, 2005, <http://www.iahs.info/>, IAHS (International Association of Hydrological Sciences), (<http://www.aprh.pt/celtico/PAPERS/25.PDF>), Publication 310, pp. 161-171.
- Mwila G., (2009). Groundwater quality degradation due to seawater intrusion conditions in a coastal unconfined aquifer in Northern Greece. Master Thesis, Technical University of Darmstadt, Institute of Applied Geosciences, Tropical Hydrogeology, Engineering Geology and Environmental Management (MSc-Trophee), Darmstadt, Germany, 60 p.
- Panagopoulos G. P., Antonakos A. K., Lambrakis N. J., (2006). Optimization of the DRASTIC method for groundwater vulnerability assessment via the use of simple statistical methods and GIS. *Hydrogeology Journal* 14, pp. 894–911.

Αναφορές (συνέχεια)

- Pliakas F., I. Diamantis, and C. Petalas, (2001). Saline water intrusion and groundwater artificial recharge in east delta of Nestos River. Proceedings of the 7th International Conference on Environmental Science and Technology, University of the Aegean, Dept. of Environmental Studies, and Global Nest, Ermoupolis, Syros, Greece, 3-6/9/2001, Vol. 2, pp. 719-726.
- Pliakas F, Kallioras A, Diamantis I, Giougis I (2007a) Seawater intrusion in a coastal phreatic aquifer of Kavala Prefecture, Northern Greece. Proceedings of the 10th International Conference on the Environmental Science and Technology (CEST2007), University of the Aegean, Dept. of Environmental Studies, and Global Nest, 5-7/9/2007, Cos Island, Greece, Vol. B, 626-633.
- Pliakas F, Mouzaliotis A, Kallioras A, Diamantis I (2007b) Hydrogeological assessment of the salinization problem of Xilagani – Imeros aquifer system in SW plain area of Rhodope Prefecture, Greece. Proceedings of the 11th International Conference of the Geological Society of Greece, Athens, Greece, 24-26/5/2007, Vol. 2, pp. 536-547.
- Pliakas F, A. Kallioras, I. Diamantis, M. Stergiou, (2011). Groundwater recharge using a Soil Aquifer Treatment (SAT) system in NE Greece. Advances in the Research of Aquatic Environment, Environmental Earth Sciences, Springer, Vol. 1, pp. 291-298.
- Pedreira R., A. Kallioras, F. Pliakas, I. Gkioungkis I., C. Schuth, (2015). Groundwater vulnerability assessment of a coastal aquifer system at River Nestos eastern Delta, NE Greece, Environmental Earth Sciences, Springer, Vol. 73, pp. 6387–6415
- Recinos, N., (2010). Groundwater Vulnerability Assessment using DRASTIC and GALDIT methods in the area of Rhodope, Northeastern Greece. Master Thesis, Technical University of Darmstadt, Institute of Applied Geosciences, Tropical Hydrogeology, Engineering Geology and Environmental Management (MSc-Trophee), Darmstadt, Germany, 125p.
- Richards, I., A., (ed), (1954). Diagnosis and improvement of saline and alkali soils, Agric Handbook 60, U.S. Dept. Agric., Washington, D.C., 160 p.

Αναφορές (συνέχεια)

- Roscoe Moss Company, 1990. Handbook of ground water development. Published by John Wiley & Sons, USA, 493 p.
- Wilcox L.V., (1955). Classification and use of irrigation waters, U.S. Dept. Agric. Circ. 969.
- Zeynolabedin A., R. Ghiass, (2019). The SIVI index: a comprehensive approach for investigating seawater intrusion vulnerability for island and coastal aquifers. Environmental Earth Sciences (78), 666, <https://doi.org/10.1007/s12665-019-8651-z>.
- Αργυροπούλου Ε., (2012). Διερεύνηση της τρωτότητας υπόγειου υδροφόρου συστήματος του δυτικού παράκτιου τμήματος του Νομού Ροδόπης. Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Δ.Π.Θ., Ξάνθη.
- Βουδούρης Κ. (2009). Υδρογεωλογία περιβάλλοντος. Υπόγεια νερά και περιβάλλον. Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.
- Γαβριηλίδου Μ., (2022). Επικαιροποιημένη έρευνα εφαρμογής των μεθόδων τρωτότητας υπόγειου νερού SITE και SIVI στο παράκτιο τμήμα του Νομού Ξάνθης για την περίοδο 2020-2021. Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Δ.Π.Θ., Ξάνθη.
- Γεωργίου Α., (2020). Διερεύνηση της τρωτότητας παράκτιου υπόγειου υδατικού συστήματος στο ανατολικό Δέλτα του Ποταμού Νέστου. Εφαρμογή των μεθόδων SITE και SIVI. Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Δ.Π.Θ., Ξάνθη.
- Γκεμιτζή, Α., Πεταλάς, Χ., Τσιχριντζής, Β., Πισινάρας, Β., Γεωργιάδης, Π. (2005): Εκτίμηση της τρωτότητας στη ρύπανση των υπόγειων υδροφορέων της Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης με τη χρήση GIS, πολυκριτηριακής ανάλυσης και ασαφούς λογικής. Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας, Τόμος XXXVII, 102-126.
- Γκιουγκής Ι., Φ. Πλιάκας, και Ι. Διαμαντής, (2009). Διερεύνηση της ποιοτικής υποβάθμισης υπόγειου υδροφόρου συστήματος του Ανατολικού Δέλτα του Ποταμού Νέστου. Πρακτικά Κοινού Συνεδρίου, 11ου της Ελληνικής Υδροτεχνικής Ένωσης (ΕΥΕ) και 7ου της Ελληνικής Επιτροπής Διαχείρισης Υδατικών Πόρων (ΕΕΔΥΠ) με θέμα: Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Πόρων σε Συνθήκες Κλιματικών Αλλαγών. Βόλος, 27-30/5/2009, σελ. 107-114.

Αναφορές (συνέχεια)

- Γκιουγκής Ι., (2022). Ολοκληρωμένη υδρογεωλογική έρευνα του ανατολικού Δέλτα του Ποταμού Νέστου με τη χρήση σύγχρονων εργαλείων προσομοίωσης υπόγειων υδατικών συστημάτων. Μεταδιδακτορική έρευνα, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, Ξάνθη (σε εξέλιξη).
- Δαμιανίδης Π., Φ. Πλιάκας, Α. Καλλιώρας, (2012). Εκτίμηση της επίδρασης της βροχόπτωσης στη διακύμανση της στάθμης του υπόγειου νερού στο πεδινό τμήμα του Ν. Ξάνθης. Πρακτικά 2ου Κοινού Συνέδριου, 12ου της Ελληνικής Υδροτεχνικής Ένωσης (ΕΥΕ) και 8ου της Ελληνικής Επιτροπής Διαχείρισης Υδατικών Πόρων (ΕΕΔΥΠ) με θέμα: Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Πόρων προς την Αειφόρο Ανάπτυξη. Πάτρα, 11-13/10/2012, σελ. 908-919.
- ΕΓΥ, Ειδική Γραμματεία Υδάτων, (2013α). Σχέδιο Διαχείρισης των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Θράκης. Παράρτημα Α10: Αξιολόγηση και ταξινόμηση της ποιοτικής (χημικής) και ποσοτικής κατάστασης των υπόγειων υδατικών συστημάτων. Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής, Σεπτέμβριος 2013.
- Εμίνογλου Γ., (2015). Διερεύνηση της τρωτότητας υπόγειου υδροφόρου συστήματος του πεδινού τμήματος Ξυλαγανής – Ιμέρου του Νομού Ροδόπης – Επικαιροποιημένη προσέγγιση. Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Δ.Π.Θ., Ξάνθη.
- Ευαγγέλου Ε., (2008). Υδρογεωλογική θεώρηση ενός κλειστού και περιορισμένου παράκτιου πεδίου. Περίπτωση πεδινού τμήματος Νέας Περάμου Καβάλα. Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών του Δ.Π.Θ., Ξάνθη.
- Ζάχαρης Δ., (2021). Τρωτότητα του παράκτιου υπόγειου υδατικού συστήματος του Δέλτα του Ποταμού Λίτσου. Εφαρμογή των μεθόδων SITE και SIVI. Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Δ.Π.Θ., Ξάνθη.
- ΙΓΜΕ, (1983). Γεωλογικός Χάρτης Ελλάδας 1:500,000, 2η έκδοση, Αθήνα.
- Καλιγέρη Σ., (2010). Διερεύνηση της τρωτότητας υπόγειου υδροφόρου συστήματος του πεδινού παράκτιου τμήματος της Ν. Περάμου του Ν. Καβάλας. Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών του Δ.Π.Θ., Ξάνθη, 124 σελ.

Αναφορές (συνέχεια)

- Καλλέργης Γ., (2000). Εφαρμοσμένη – Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία. Τόμος Β'. Έκδοση Τ.Ε.Ε., Αθήνα.
- Καλλέργης Γ., (2001). Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη ρύπανση νερών και εδαφών. Πρακτικά Ημερίδας: Υδρογεωλογία και Περιβάλλον. Ελληνική Επιτροπή Υδρογεωλογίας, Αθήνα.
- Καλλιώρας Α., (2008). Διαχείριση υπόγειων υδατικών πόρων σε υδροφόρους που υπόκεινται σε καθεστώς θαλάσσιας διείσδυσης. Η περίπτωση του δυτικού παράκτιου τμήματος του Νομού Ροδόπης. Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πολυτεχνική Σχολή Δ.Π.Θ., Ξάνθη, 285 σελ.
- Καρατσώρη Θ., (2015). Διερεύνηση της τρωτότητας υπόγειου υδροφόρου συστήματος του Ανατολικού Δέλτα του Ποταμού Νέστου. Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Ξάνθη, 206 σελ.
- Καραχοντζίτης Β., (2019). Έρευνες για την αξιοποίηση και διαχείριση υδροφορέων του νοτιοδυτικού παράκτιου τμήματος του υπόγειου υδατικού συστήματος του Ποταμού Λίσσου του Νομού Ροδόπης. Διδακτορική διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Δ.Π.Θ., Ξάνθη (σε εξέλιξη).
- Λάππα Μ., (2022). Διερεύνηση της τρωτότητας σε θαλάσσια διείσδυση του υπόγειου υδατικού συστήματος του Δέλτα του Ποταμού Λίσσου κατά το έτος 2021. Μεταπτυχιακή Διατριβή. Μ.Π.Σ. Υδραυλική Μηχανική και Περιβάλλον. Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Δ.Π.Θ., Ξάνθη
- Λυμπεριάδου Γ., (2021). Έρευνες για την επικαιροποίηση του εννοιολογικού μοντέλου του υπόγειου υδατικού συστήματος του ανατολικούς Δέλτα του Ποταμού Νέστου. Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Δ.Π.Θ., Ξάνθη.
- Μήτσου Ε., (2019). Τρωτότητα του παράκτιου υπόγειου υδατικού συστήματος του Δέλτα του Ποταμού Λίσσου. Επικαιροποιημένη εφαρμογή της μεθόδου GALDIT. Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Δ.Π.Θ., Ξάνθη.
- Μπουρογιαννόπουλος Α., (2019). Επικαιροποιημένες έρευνες στο πλαίσιο της αξιοποίησης και διαχείρισης του υπόγειου υδατικού συστήματος του ανατολικού Δέλτα του Ποταμού Νέστου. Διπλωματική Εργασία, Τομέας Γεωτεχνικής Μηχανικής, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Δ.Π.Θ., Ξάνθη.

Αναφορές (συνέχεια)

- Παναγιωτίδης Ε., (2022). Επικαιροποιημένη εφαρμογή των μεθόδων τρωτότητας υπόγειων νερών SITE και SITE στο ανατολικό Δέλτα του Ποταμού Νέστου. Διπλωματική, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Δ.Π.Θ., Ξάνθη.
- Παπαδόπουλος Χ., (2016). Διερεύνηση του υδρογεωλογικού καθεστώτος υπόγειου υδροφόρου συστήματος του ανατολικού παράκτιου τμήματος του Δήμου Αλεξανδρούπολης. Μεταπτυχιακή Διατριβή, ΔΠΜΣ «ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ», Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Δ.Π.Θ., Ξάνθη.
- Papadopoulos C., I. Gkioungkis, F. Pliakas, I. Diamantis, (2017). Hydrogeological assessment of groundwater qualitative degradation at a coastal aquifer system of Alexandroupolis, NE Greece. Proceedings of the 11th International Hydrogeological Congress of Greece, 4-6/10/2017, Athens, Greece, pp. 383-392.
- Πεταλάς Χ., Φ. Πλιάκας, και Ι. Διαμαντής, (2002a). Το πρόβλημα της διείσδυσης της θάλασσας σε παράκτιους υδροφορείς της Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης και μέθοδοι αντιμετώπισής του. Τεχνικά Χρονικά, Επιστημονική Έκδοση του Τ.Ε.Ε., σειρά Ι, τόμος 22, τεύχος 1-2, 2002, σελ. 31-43.
- Πεταλάς Χ., Φ. Πλιάκας, Α. Καλλιώρας, Ι. Διαμαντής, (2002b). Τεχνικά, διαχειριστικά και οικονομοτεχνικά στοιχεία σύγχρονων τάσεων αντιμετώπισης της διείσδυσης του αλμυρού νερού σε παράκτιες περιοχές στο διεθνή χώρο". Πρακτικά 6ου Υδρογεωλογικού Συνεδρίου της Ελληνικής Επιτροπής Υδρογεωλογίας της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας (Ε.Γ.Ε.) και του Συνδέσμου Γεωλόγων και Μεταλλειολόγων Κύπρου, 8-10/11/2002, Ξάνθη, σελ. 23-34.
- Πλιάκα Χ., (2019). Επικαιροποιημένη διερεύνηση της τρωτότητας υπόγειου υδατικού συστήματος στο ανατολικό Δέλτα του Ποταμού Νέστου. Διπλωματική εργασία. Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Δ.Π.Θ., Ξάνθη.
- Πλιάκας Φ., Ι. Διαμαντής, Χ. Πεταλάς, (1999). Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την προτεινόμενη εφαρμογή τεχνητού εμπλουτισμού υπόγειων υδροφορέων περιοχής Ορφανού Καβάλας. 6ο Διεθνές Συνέδριο Περιβαλλοντικής Επιστήμης & Τεχνολογίας – Πυθαγόρειο Σάμου, 30/8 - 2/9/1999, σελ. 381-390.
- Pliakas F., I. Diamantis, C. Petalas, (2001). Saline water intrusion and groundwater artificial recharge in east delta of Nestos River. Proceedings of the 7th International Conference on Environmental Science and Technology, University of the Aegean, Dept. of Environmental Studies, and Global Nest, Ermoupolis, Syros, Greece, 3-6/9/2001, Vol. 2, pp. 719-726.

Αναφορές (συνέχεια)

- Πλιάκας Φ., Ι. Διαμαντής, Ι. Γκιουγκής, Κ. Μιμίδης, Θ. Τζεβελέκης, Κ. Μπέλλος, (2014). Διαχείριση επιφανειακών νερών της ευρύτερης περιοχής του Ανατολικού Δέλτα του Ποταμού Νέστου για τη βέλτιστη ικανοποίηση αρδευτικών αναγκών και τη βελτίωση της ποιότητας των υπόγειων νερών Ερευνητική Έκθεση για λογαριασμό της Περιφέρειας Ανατολικής Μακεδονίας-Θράκης, Περιφερειακή Ενότητα Ξάνθης, 182 σελ.
- Πλιάκας Φ.-Κ., (2022). Παρακολούθηση υπογείων υδατικών συστημάτων. Ημερίδα «Ορθολογική διαχείριση νερού & οι δράσεις του έργου Eye4Water», 27-1-2022, Ξάνθη. ΕΡΓΟ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΑΡΙΣΤΕΙΑΣ - «Ενίσχυση της ορθολογικής διαχείρισης του νερού (στην Π-ΑΜΘ) μέσω ανάπτυξης καινοτόμων μεθοδολογιών ΤΠΕ και βελτίωσης ερευνητικών υποδομών» (<https://eye4water.com/>).
- Πρέκα Ι., (2009). Διερεύνηση του υδρογεωλογικού καθεστώτος υπόγειου υδροφόρου συστήματος του ανατολικού Δέλτα του Ποταμού Νέστου. Μεταπτυχιακή Διατριβή. ΠΜΣ: Υδραυλική Μηχανική. Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Δ.Π.Θ., Ξάνθη, 102 σελ.
- Σαλτερή Ε., (2011). Διερεύνηση του προβλήματος της ερημοποίησης στο ανατολικό Δέλτα του Ποταμού Νέστου. Διπλωματική εργασία. Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Δ.Π.Θ., Ξάνθη, 122 σελ.
- Σαχπάζης Χ., (2019). Εφαρμογή της μεθόδου τρωτότητας GALDIT σε παράκτιο υδροφορέα του Νομού Ξάνθης. Διπλωματική, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Δ.Π.Θ., Ξάνθη.
- Στουρνάρας Γ., (2007). Νερό: περιβαλλοντική διάσταση και διαδρομή. Έκδοση Τζιόλας, Αθήνα.
- Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων (ΥΠΑΑΤ) (2007). Μελέτη για τη μεταφορά και διανομή νερού από τον Ποταμό Νέστο στις πεδιάδες Ξάνθης και Κομοτηνής για την αποκατάσταση των υπόγειων υδροφορέων. Μελέτη για τη μεταφορά και σχέδιο διαχείρισης επιφανειακών και υπογείων υδάτων της προστατευόμενης περιοχής του Δέλτα Νέστου, του συμπλέγματος λιμνών Βιστωνίδας και Ισμαρίδας και της ευρύτερης περιοχής τους. Τελική Έκθεση, Μάρτιος 2007, 179 σελ.
- Χρυσικόπουλος-Αδάμος Θ., (2022). Διερεύνηση της τρωτότητας του υπόγειου νερού στο ανατολικό Δέλτα του Ποταμού Νέστου με τη μέθοδο DRASTIC για την περίοδο 2009-2021. Διπλωματική, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Δ.Π.Θ., Ξάνθη.