



Η Επίπτωση του Σχεδίου Διαχείρισης του ταμιευτήρα της λίμνης Κάρλας στον Υπόγειο Υδροφορέα & Εναλλακτικά Σενάρια Χωροθέτησης των νέων Υδρευτικών Γεωτρήσεων

Αθανάσιος Λουκάς
Καθηγητής Π.Θ.

Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών
Εργαστήριο Υδρολογίας και Ανάλυσης Υδατικών Συστημάτων



Σκοπός

- ☐ Περιγραφή υφιστάμενης κατάστασης του υδρολογικού ισοζυγίου του υπόγειου υδροφορέα της λεκάνης της Κάρλας

- ☐ Επίπτωση της λειτουργίας των 50 νέων υδρευτικών γεωτρήσεων στον υδροφορέα υπό:
 - υφιστάμενες κλιματικές συνθήκες
 - την επίδραση της κλιματικής αλλαγής και μεταβλητότητας
 - της ανθρώπινης παρέμβασης στην ανεξέλεγκτη εκμετάλλευση του υδροφορέα

- ☐ Εναλλακτικά σενάρια χωροθέτησης των 50 νέων υδρευτικών γεωτρήσεων με στόχο την ανάταξη και βιώσιμη διαχείριση του υπόγειου υδροφορέα



Περιοχή Μελέτης

- ✓ Έκταση λεκάνης απορροής (1663 km²)
- ✓ Έκταση υπόγειου υδροφορέα (500 km²)

□ Χαρακτηριστικά

- Πυκνά δάση με τα παραδοσιακά χωριά καταλαμβάνουν την ορεινή περιοχή
- Η πεδιάδα είναι η πιο παραγωγική γεωργική έκταση στην Ελλάδα
- Κλίμα → Τυπικό Μεσογειακό
- Ετήσια μέση θερμοκρασία κυμαίνεται από 16°C έως 17°C και μέση ετήσια βροχόπτωση κυμαίνεται από 500 mm έως 700 mm
- Οι κυριότερες καλλιέργειες είναι το βαμβάκι, το σιτάρι, μηδική, καλαμπόκι, καπνό και οπωρώνες (περιβόλια)



Γεωλογία της Περιοχής Μελέτης

□ Υπέδαφος

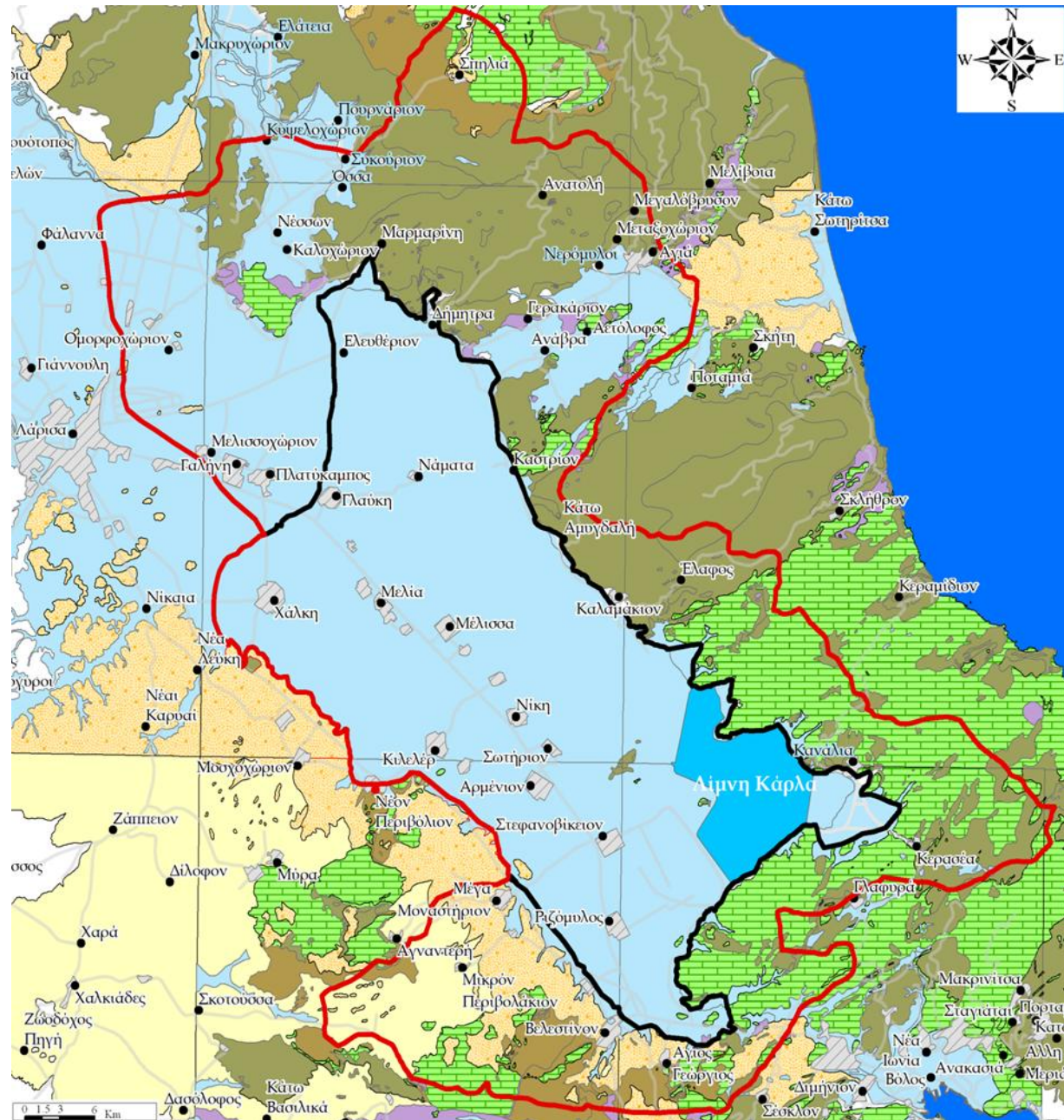
Οι πρόσφατες τεταρτογενείς αποθέσεις καταλαμβάνουν το μεγαλύτερο τμήμα της πεδιάδας, οι οποίες αποτελούνται από υλικά ποικίλης κοκκομετρίας, ποτάμιας ή λιμναίας προέλευσης  

□ Υδροφόροι ορίζοντες

1. Των αργιλοαμμωδών λιμναίων αποθέσεων
2. Των αδρομερών κροκαλοπαγών
3. Των κατά τόπους βαθιών μαρμάρων (καρστικός)

□ Υπόβαθρο

Ποικίλει κατά τόπους αποτελούμενο κυρίως από γνέυσιο, φλύσχη και κατά πολύ λιγότερα μάρμαρα.





Περιοχή Μελέτης

❑ Χαρακτηριστικό παράδειγμα περιβαλλοντικής υποβάθμισης:

- Έλλειψη επιφανειακού νερού, μετά από την αποξήρανση της λίμνης Κάρλας (1962)
- Έλλειψη οργανωμένου αρδευτικού συστήματος
- Η έντονη και η πολυετής καλλιέργεια υδροβόρων καλλιεργειών
- Υπέρ - άντληση των υπόγειων υδάτων από ιδιωτικές γεωτρήσεις → ικανοποίηση αρδευτικών αναγκών

❑ Περιβαλλοντικές επιπτώσεις:

- Η υπερ-εκμετάλλευση των μη ανανεώσιμων υπόγειων υδατικών αποθεμάτων,
- Η αλλαγή του μικροκλίματος της περιοχής,
- Η απώλεια των οικοτόπων του υγρότοπου, η μείωση της βιοποικιλότητας της περιοχής και η απώλεια εισοδήματος από την αλιεία

❑ Ανασύσταση μέρους της λίμνης Κάρλας μέσω της δημιουργίας του ταμιευτήρα → την αναστροφή των αρνητικών συνεπειών των ανωτέρω προβλημάτων

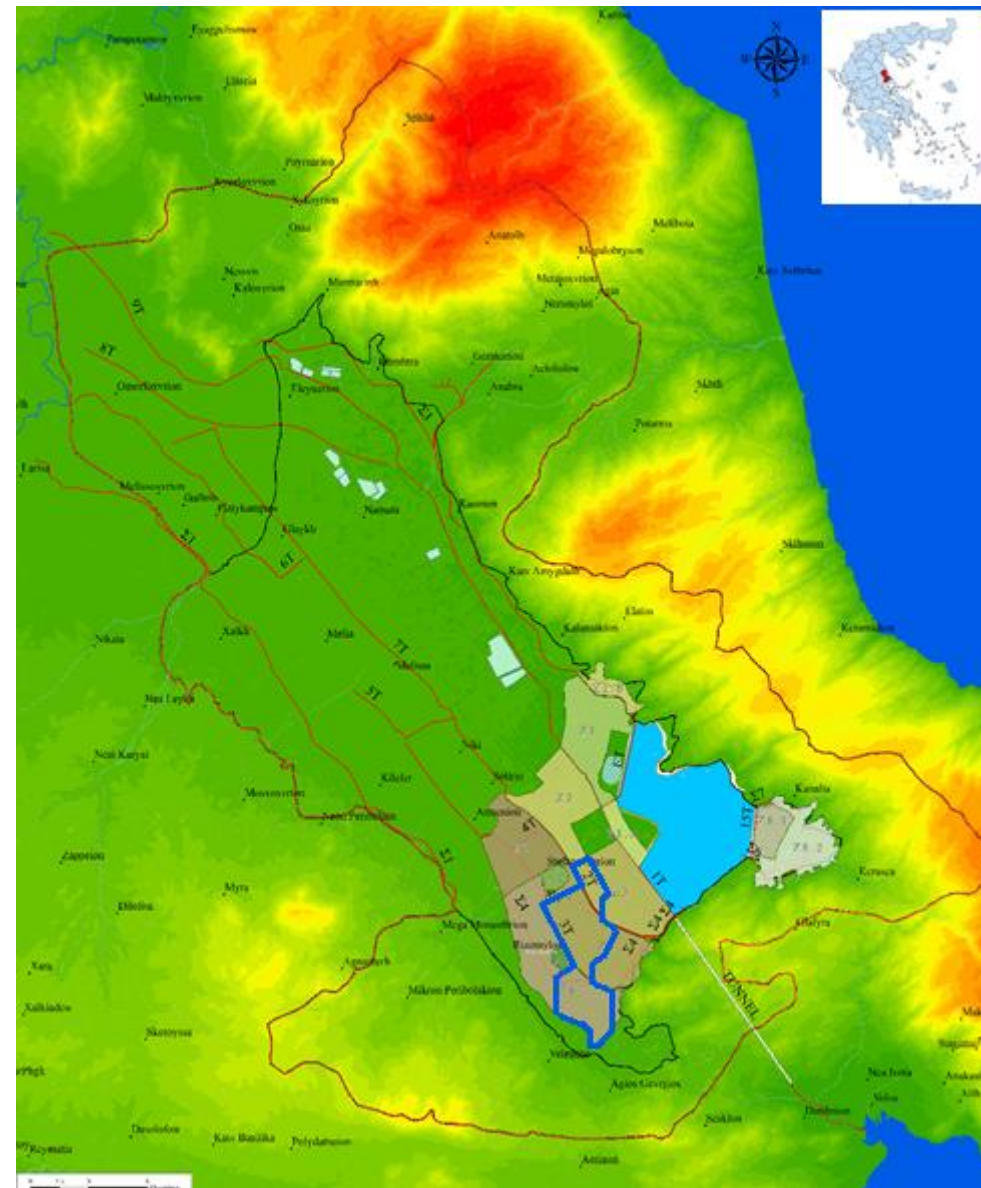




Περιοχή Μελέτης

□ Χαρακτηριστικά της νέας λίμνης Κάρλας

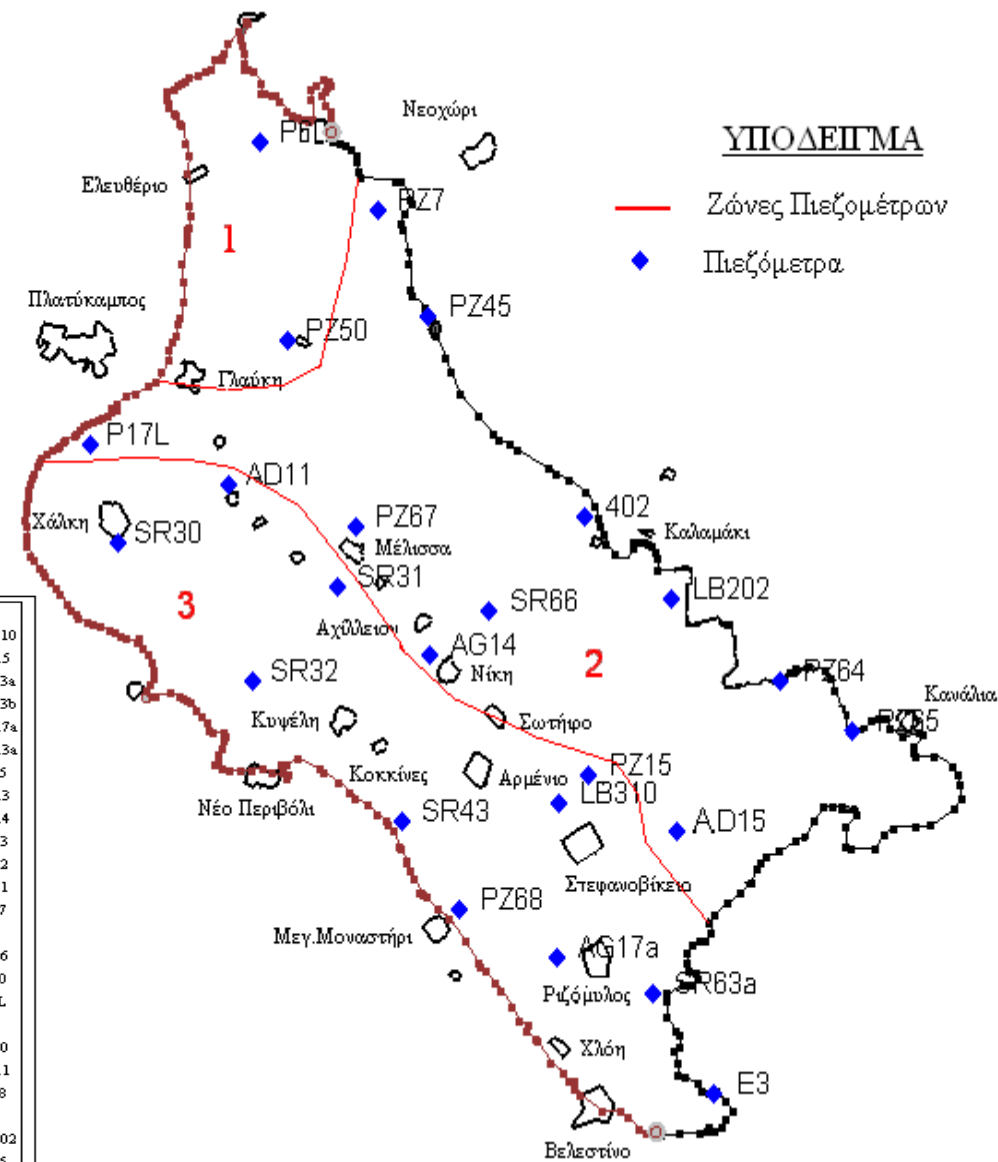
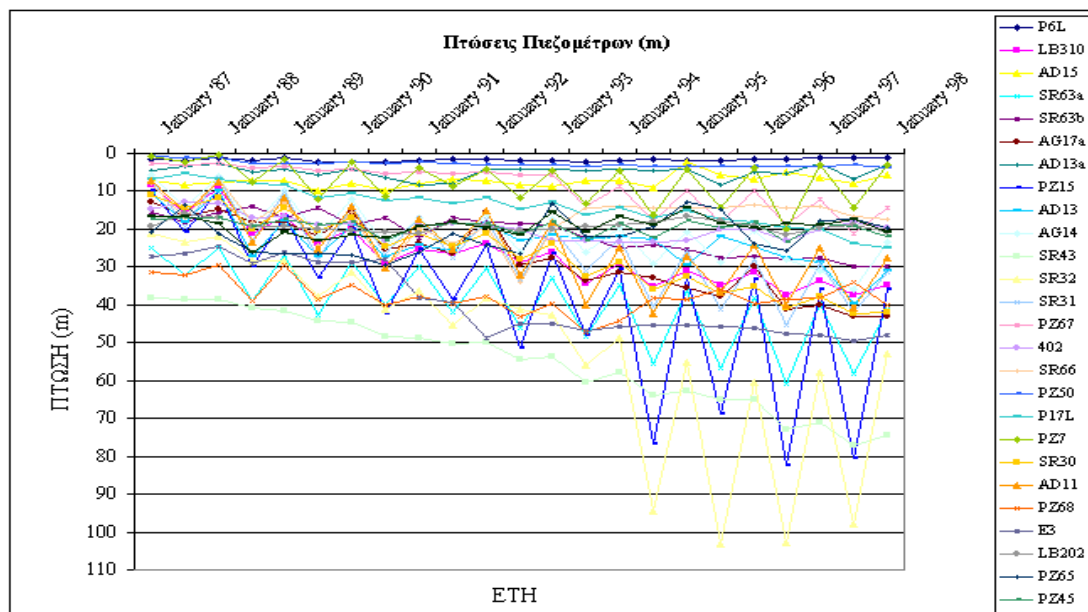
- Τοποθετείται στο κατώτερο μέρος της λεκάνης απορροής της Κάρλας
- Η επιφάνειά της καλύπτει 38 km²
- Μικρό βάθος με το μέγιστο βάθος τα 4,5 m και με μέσο τα 2 m
- Δύο συστήματα τάφρων (2D-7T-2T και 8T & 9T-1T), τα οποία μεταφέρουν την απορροή των πλημμυρών του Πηνειού ποταμού στον ταμιευτήρα, όπως συνέβη και στο παρελθόν με την πρώην Λίμνη Κάρλα
- Τέσσερις συλλεκτήρες (Σ3, Σ4, Σ6, Σ7) συλλέγουν τις επιφανειακές απορροές από τις υψηλότερες ζώνες ανύψωση της λεκάνης και τα προωθούν άμεσα στον ταμιευτήρα.
- Μέγιστο επιτρεπόμενος όγκος ταμιευτήρας μέχρι τα 180 hm³.
- Μόνο το 46 hm³/έτος για την κάλυψη των αρδευτικών αναγκών των γύρω καλλιεργειών (92,5 km²)





Υδατικό Ισοζύγιο

- ❑ **Πιεζομετρία** : Ο υδροφορέας βρίσκεται σε κατάσταση υπερεκμετάλλευσης από τα τέλη της δεκαετίας του '80. Οι πτώσεις των πιεζόμετρων στο μεγαλύτερο τμήμα είναι σημαντικές.
- ❑ **Τρεις Ομάδες Πιεζόμετρων** :
 1. Μικρές πτώσεις της τάξεως των 10 m.
 2. Πτώσεις της τάξεως των 30 m.
 3. Πολύ μεγάλες πτώσεις που φθάνουν μέχρι και τα 100 m.





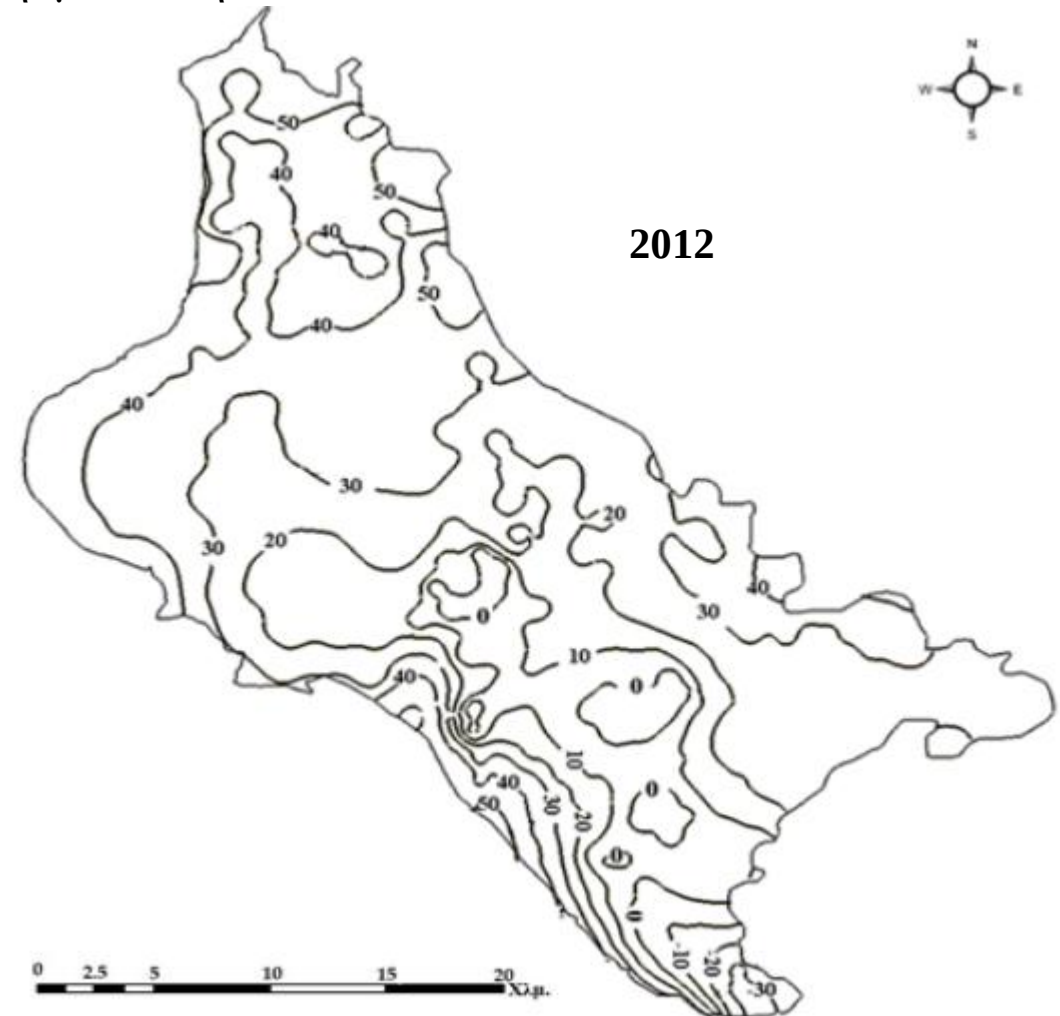
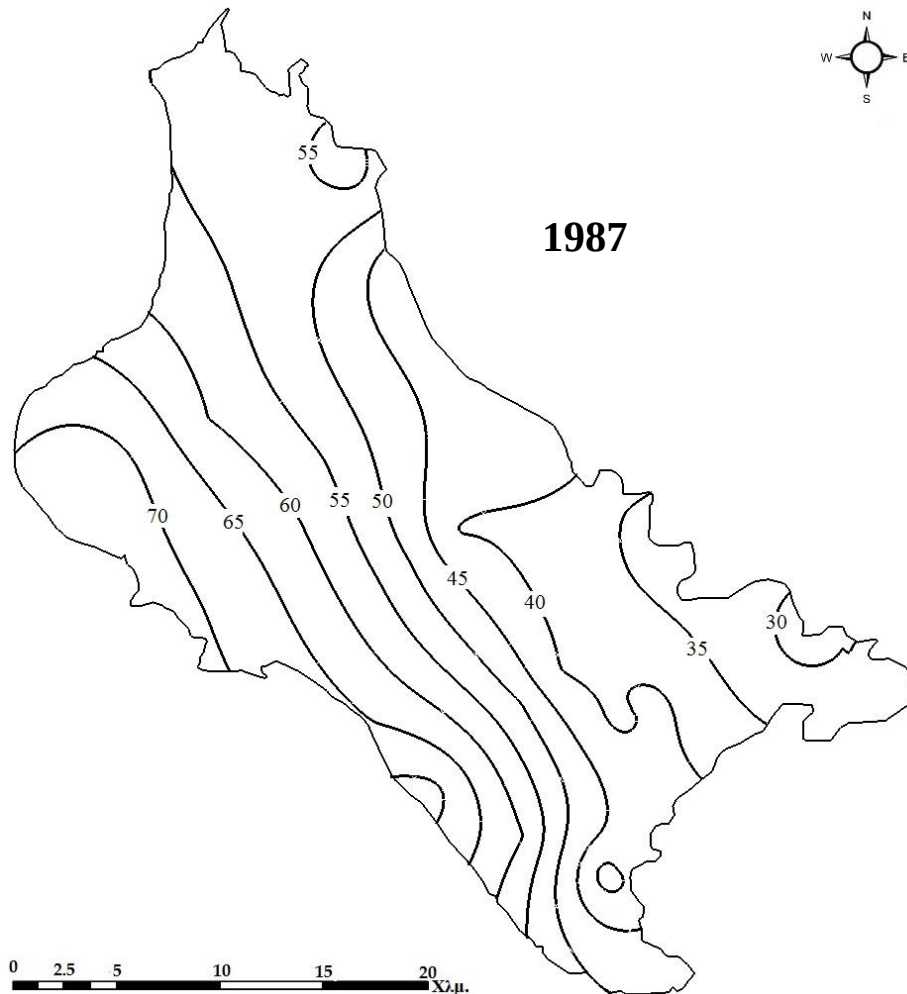
Υδατικό Ισοζύγιο

☐ Υδατικό Ισοζύγιο του υδροφορέα → 1987-2012

Ανανεώσιμα → 932.47 hm^3 ή μέσο ετήσιο 37.29 hm^3

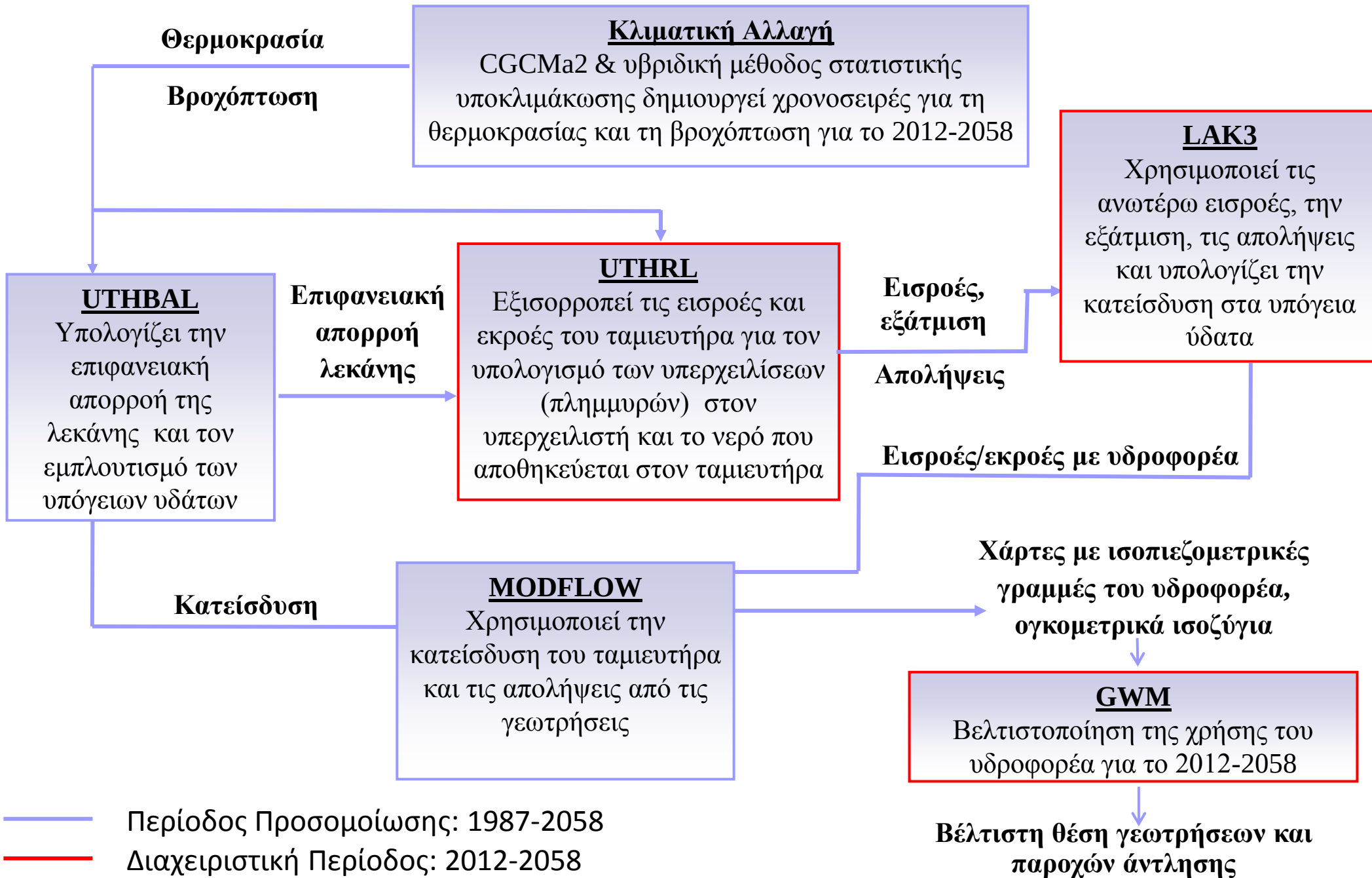
Αντλούμενο → 3277.5 hm^3 ή μέσο ετήσιο 131.1 hm^3

Μη ανανεώσιμο υπόγειο νερό → 2345.03 hm^3 ή μέσο ετήσιο 93.82 hm^3





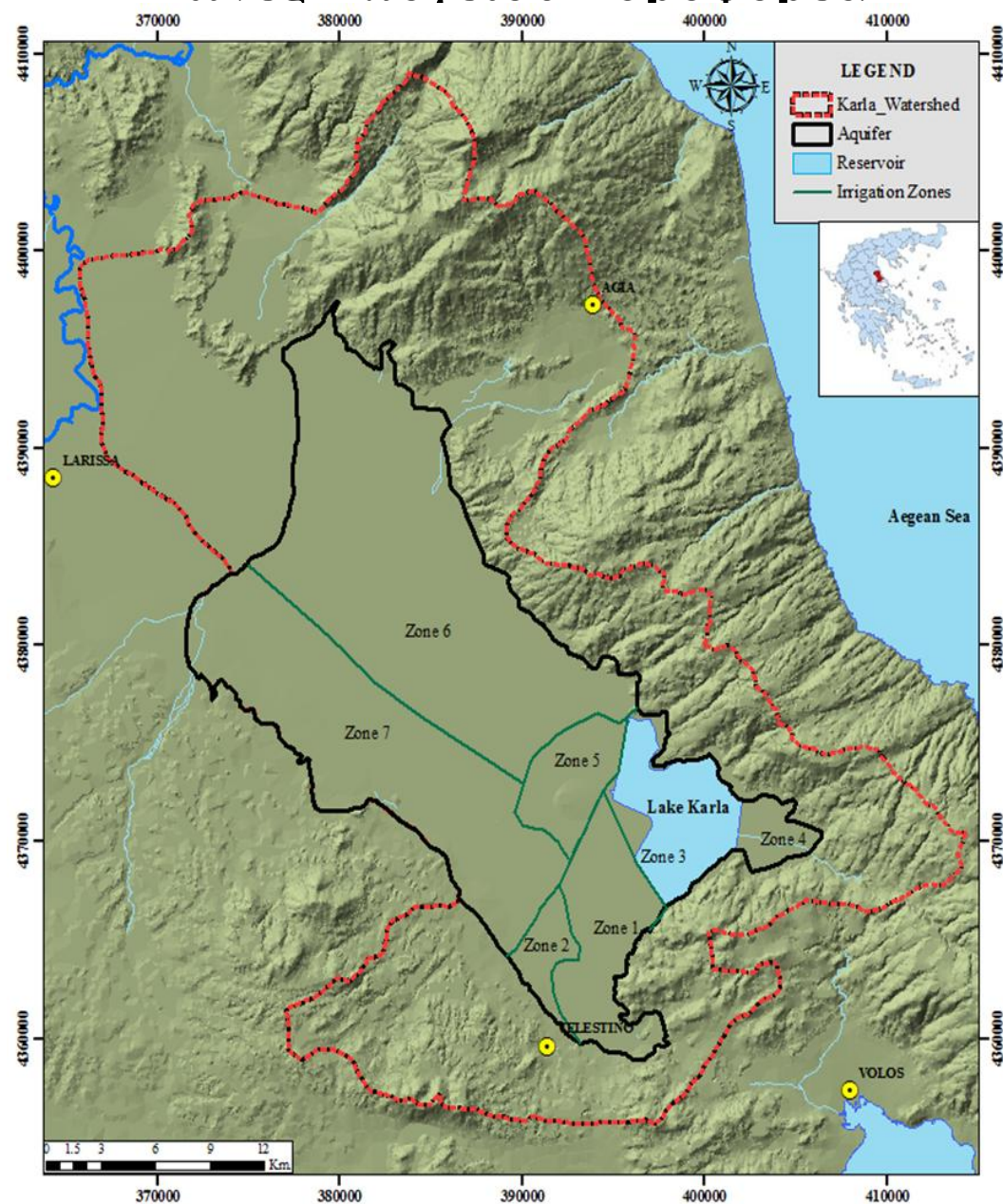
Σύστημα Προσομοίωσης- Μεθοδολογία





Προγραμματισμός Έργου

Ζώνες Υπόγειου Υδροφορέα





Προγραμματισμός Έργου

Πίνακας 1: Ετήσιος Προγραμματισμός εκμετάλλευσης των ζωνών του υπόγειου υδροφορέα

			Ζώνη 1	Ζώνη 2	Ζώνη 3	Ζώνη 4	Ζώνη 5	Ζώνη 6	Ζώνη 7
Σημερινή άντληση υπόγειου νερού (hm³/y)	Άρδευση		20	3.6	5.9	2.3	1.2	28.5	45.7
	Υδρευση	ΔΕΥΑΜΒ	2.1	0	0	0	0	0	0
		Τοπ. Οικισμοί	0.3	0	0	0.2	0.3	0	0
	Σύνολο		22.4	3.6	5.9	2.5	1.5	28.5	45.7
Μελλοντική άντληση υπόγειου νερού 2012 -2044 (hm³/y)	Άρδευση		0	3	1	2	0.4	19.95	32
	Υδρευση	ΔΕΥΑΜΒ	13.7	0	0	0	0	0	0
		Τοπ. Οικισμοί	2	0	0	0.2	0.3	0	0
	Σύνολο		15.7	3	1	2.2	0.7	19.95	32

Πίνακας 2: Προγραμματισμός γεωτρήσεων για τη **Ζώνη 1** του υπόγειου υδροφορέα.

			Α΄ ΦΑΣΗ				Β΄ ΦΑΣΗ	
Αντλήσεις (hm³/y)			2012	1 ^ο Στάδιο	2022	2 ^ο Στάδιο	2030	2044
Άρδευση				3.9		3.9		0
Υδρευση	Οικισμοί			1		2		2
	ΔΕΥΑΜΒ	Υπάρχουσες		10 γεωτρήσεις --> 2.1		10 γεωτρήσεις --> 2.1		10 γεωτρήσεις --> 2.1
		Νέες		14 γεωτρήσεις --> 3.5		31 γεωτρήσεις --> 6.8		40 γεωτρήσεις --> 11.6
Σύνολο				10.5		14.8		15.7



Σενάρια Άντλησης Υπόγειων Υδάτων - Προγραμματισμός

- ❑ **Σενάριο 1: Φυσικός Υδροφορέας**
- ❑ **Σενάριο 2: Ανθρωπογενής παρέμβαση (προσομοίωση λειτουργίας και διαχείρισης του ταμιευτήρα) χωρίς άντληση υπόγειων υδάτων για ύδρευση και άρδευση στη Ζώνη 1**

	Ζώνες	1	2	3	4	5	6	7
Μέσος ετήσιος όγκος άντλησης υπόγειων υδάτων για την ιστορική περίοδο 1987-2012 (hm ³ /y)	Άρδευση	20.0	3.6	5.9	2.3	1.2	28.5	45.7
	Υδρευση	2.4	0	0	0.2	0.3	0	0
	Σύνολο	22.4	3.6	5.9	2.5	1.5	28.5	45.7
Μέσος ετήσιος όγκος άντλησης υπόγειων υδάτων για την μελλοντική περίοδο 2012-2044 (hm ³ /y)	Άρδευση	0	3	1	2	0.4	19.95	32
	Υδρευση	2.4	0	0	0.2	0.3	0	0
	Σύνολο	2.4	3	1	2.2	0.7	19.95	32

- ❑ **Σενάριο 3: Ανθρωπογενής παρέμβαση (προσομοίωση λειτουργίας και διαχείρισης του ταμιευτήρα) με άντληση υπόγειων υδάτων μόνο για την κάλυψη υδρευτικών αναγκών (Ζώνη 1) – Προγραμματισμός Έργου**

	Ζώνες	1	2	3	4	5	6	7
Μέσος ετήσιος όγκος άντλησης υπόγειων υδάτων για την ιστορική περίοδο 1987-2012 (hm ³ /y)	Άρδευση	20.0	3.6	5.9	2.3	1.2	28.5	45.7
	Υδρευση	2.4	0	0	0.2	0.3	0	0
	Σύνολο	22.4	3.6	5.9	2.5	1.5	28.5	45.7
Μέσος ετήσιος όγκος άντλησης υπόγειων υδάτων για την μελλοντική περίοδο 2012-2044 (hm ³ /y)	Άρδευση	0	3	1	2	0.4	19.95	32
	Υδρευση	15.7	0	0	0.2	0.3	0	0
	Σύνολο	15.7	3	1	2.2	0.7	19.95	32



Σενάρια Κλιματικής Αλλαγής

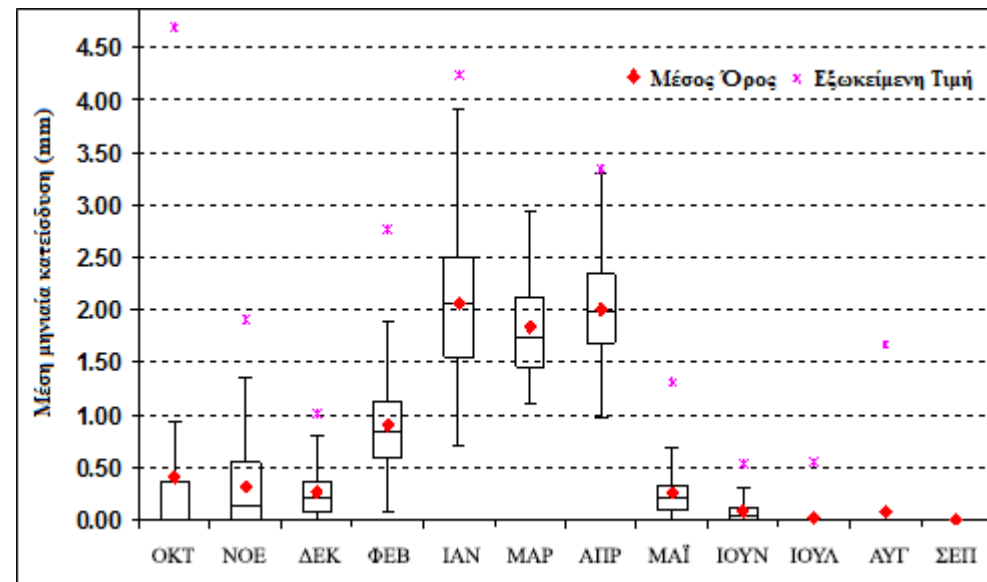
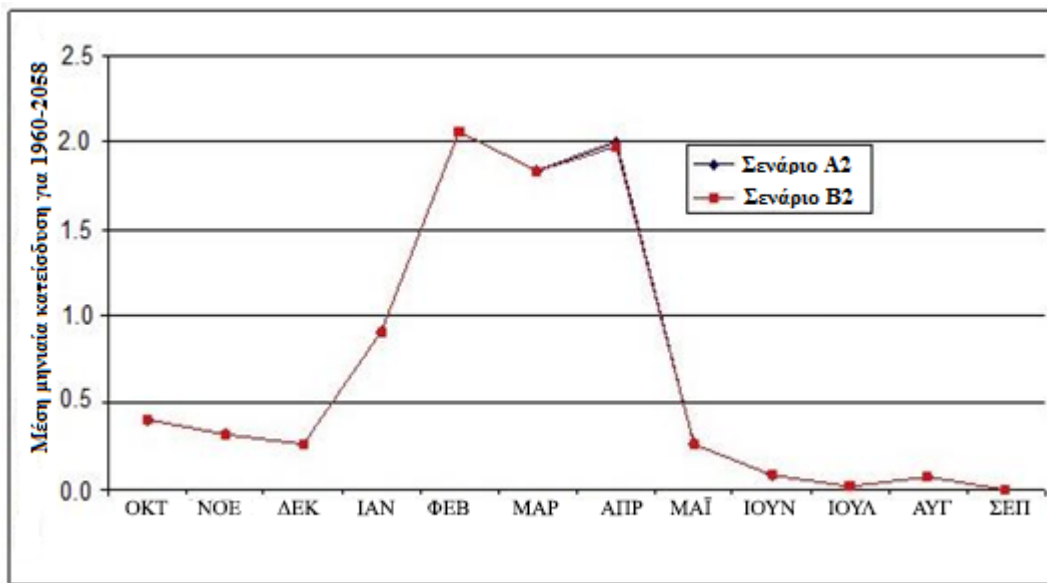
□ Κοινωνικοοικονομικά σενάρια κλιματικής αλλαγής :

- Η προσομοίωση της επιφανειακής υδρολογίας (UTHBAL) πραγματοποιήθηκε για δύο κοινωνικοοικονομικά σενάρια κλιματικής αλλαγής **SRESA2** και **SRESB2**.
- Αναπτύχθηκαν από το Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2001).
- **SRESA2** : Θεωρεί μια ισχυρή, αλλά περιφερειακή, οικονομική ανάπτυξη και κατακερματισμένη τεχνολογική αλλαγή υψηλής → εκπομπές αέριων ρύπων.
- **SRESB2** : δίνει έμφαση στη προστασία του περιβάλλοντος και στην κοινωνική ισότητα, αλλά ταυτόχρονα στηρίζεται σε τοπικές λύσεις για την οικονομική, κοινωνική και περιβαλλοντική βιωσιμότητα → χαμηλές εκπομπές αέριων ρύπων.
- Ο καταβιβασμός της χρονοσειράς (2012 – 2058), από το φατνίο του Μοντέλου Παγκόσμιας Κυκλοφορίας CGCM2 στη λεκάνη της Κάρλας, επιτεύχθηκε με ένα μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης.



Αποτελέσματα Κλιματικής Αλλαγής

- ❑ Σύγκριση των μέσων μηνιαίων τιμών της κατείδυσης μεταξύ των σεναρίων SRESA2 και SRESB2, οι οποίες προέκυψαν από την εφαρμογή του μοντέλου UTHBAL στην λεκάνη απορροής της λίμνης Κάρλας και θηκογράμματα των 100 μηνιαίων χρονοσειρών κατείδυσης.



- ❑ Δεν υπάρχει σημαντική διαφορά, με το σενάριο SRESA2 να παρουσιάζει ελαφρώς πιο έντονη μεταβλητότητα από ότι το SRESB2, όπως ήταν αναμενόμενο, επειδή εξαρτάται κυρίως από την ελαφρά μείωση της βροχόπτωσης για την επόμενη περίοδο.
- ❑ Για το λόγο αυτό, τα επιχειρησιακά σενάρια εφαρμόστηκαν μόνο για την κλιματική κατάσταση SRESA2 της περιόδου 2012 – 2058.



Αποτελέσματα - Υδροφορέας

- Σύγκριση των υδραυλικών υψών του υδροφορέα του 1987 και του 2058 για το Σενάριο 1

Αρχικά Ύψη - 1987



Σενάριο 1 (2058) – Φυσικός Υδροφορέας
χωρίς άντληση





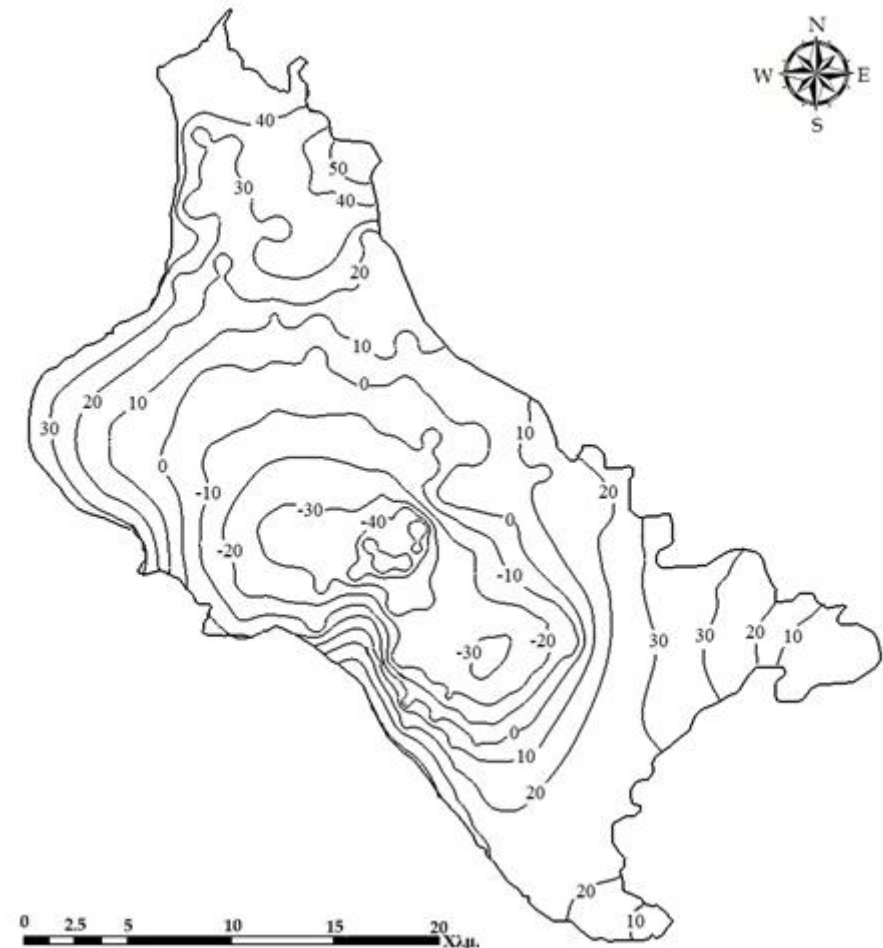
Αποτελέσματα - Υδροφορέας

- Σύγκριση των υδραυλικών υψών του υδροφορέα για το 2058 για τα Σενάρια 1 και 2

**Σενάριο 1 (2058) – Φυσικός Υδροφορέας
χωρίς άντληση**



**Σενάριο 2 (2058) – Λειτουργία
ταμιευτήρα χωρίς ύδρευση**





Αποτελέσματα - Υδροφορέας

- Σύγκριση των υδραυλικών υψών του υδροφορέα για το 2058 για τα Σενάρια 1 και 3

**Σενάριο 1 (2058) – Φυσικός Υδροφορέας
χωρίς άντληση**



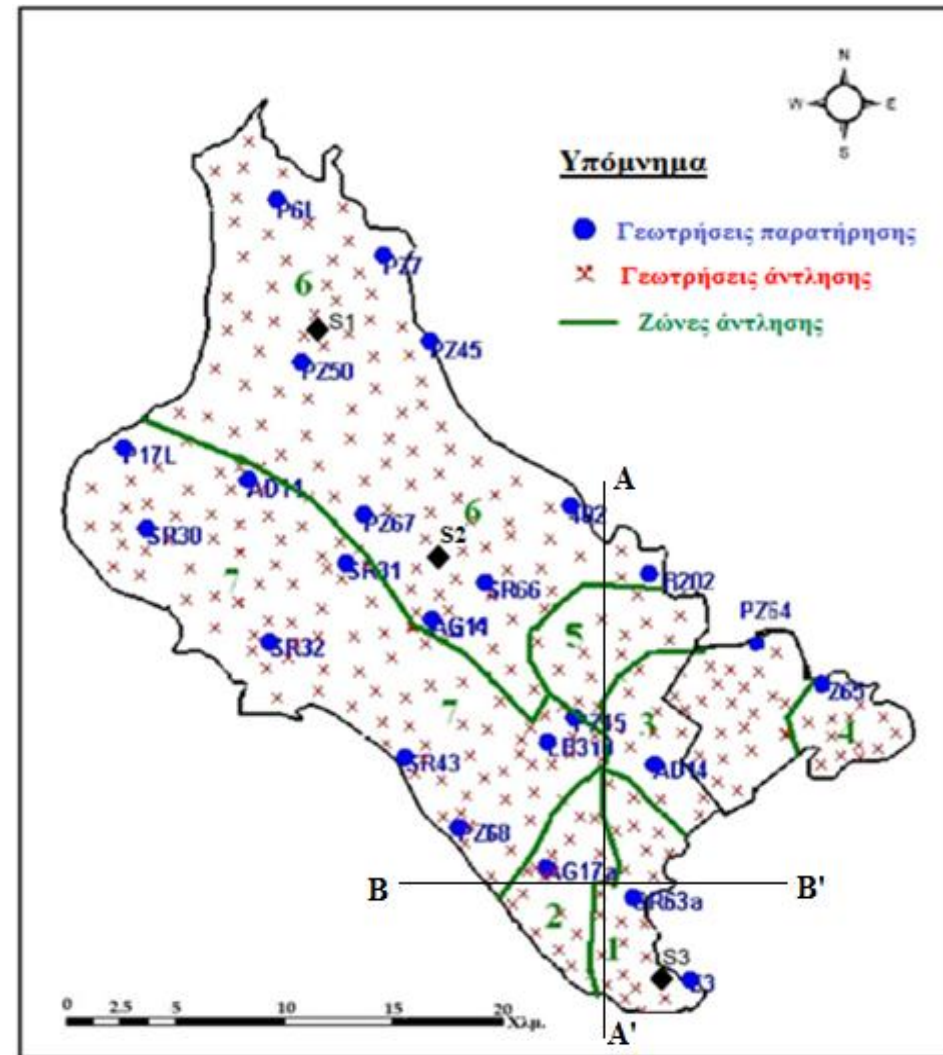
**Σενάριο 3 (2058) – Λειτουργία
ταμιευτήρα με ύδρευση**





Αποτελέσματα - Υδροφορέας

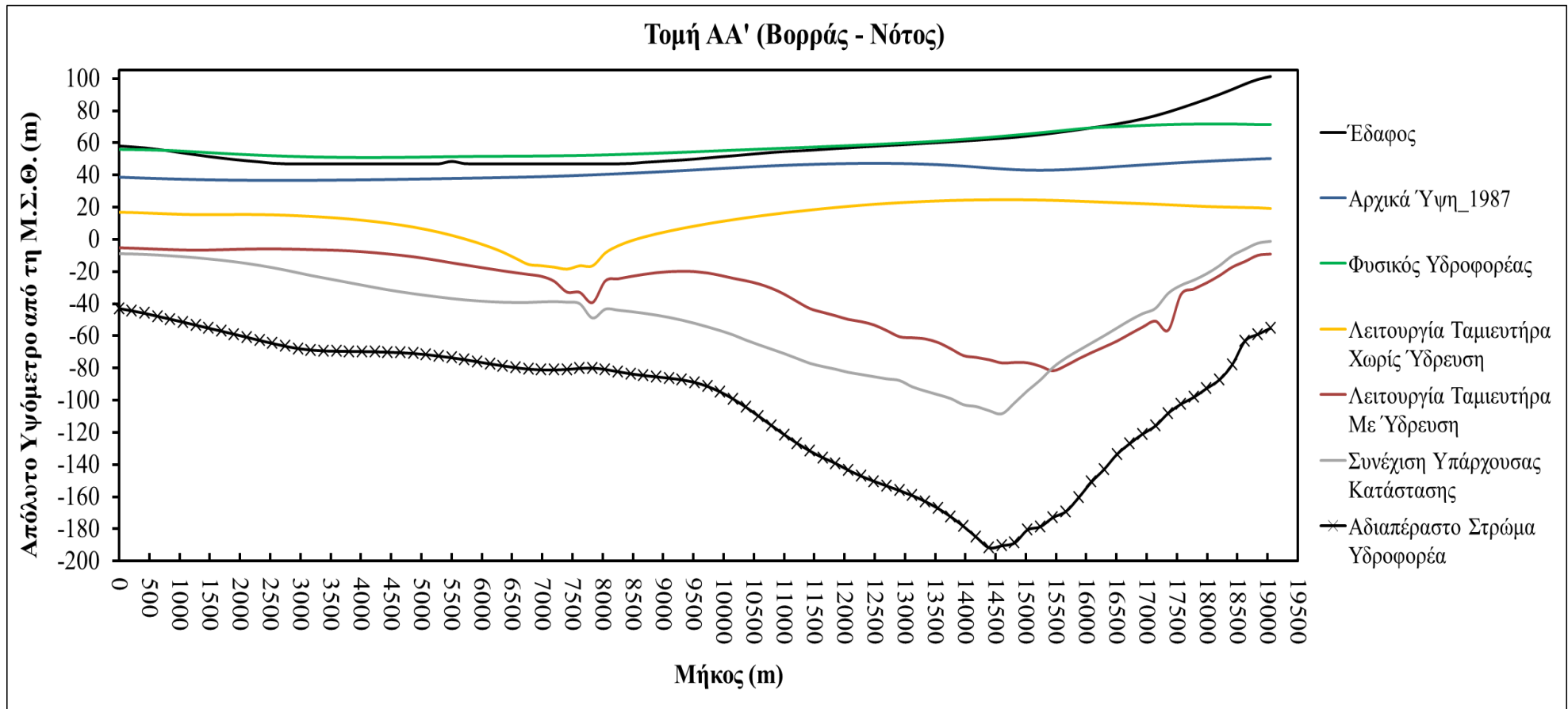
- Δύο τομές και τρία σημεία του μοντέλου της υπόγειας υδρολογίας επιλέχθηκαν για να παρουσιαστούν οι διαφορές της κλιματικής αλλαγής και μεταβλητότητας και της ανθρώπινης παρέμβασης:
- Το **Σημείο S1** βρίσκεται στο βόρειο τμήμα του υδροφορέα και ανήκει στη ζώνη με τη χαμηλότερη πτώση του υδροφόρου ορίζοντα
- Το **Σημείο S2** βρίσκεται στο κέντρο του υδροφορέα
- Το **Σημείο S3** βρίσκεται στο νότιο τμήμα του υδροφορέα και ανήκει στη ζώνη με την υψηλότερη πτώση του υδροφορέα. Επιπλέον κρίνεται αναγκαίο να σημειωθεί, ότι η επιλογή του σημείου S3 έγινε, και για να καταδείξει την επίδραση της ανθρώπινης εκμετάλλευσης στους υπόγειους υδατικούς πόρους, επειδή ανήκει στην αρδευτική Ζώνη 1, όπου βρίσκονται όλες οι αρδευτικές γεωτρήσεις που προγραμματίζεται να σταματήσουν την λειτουργία τους.





Αποτελέσματα - Υδροφορέας

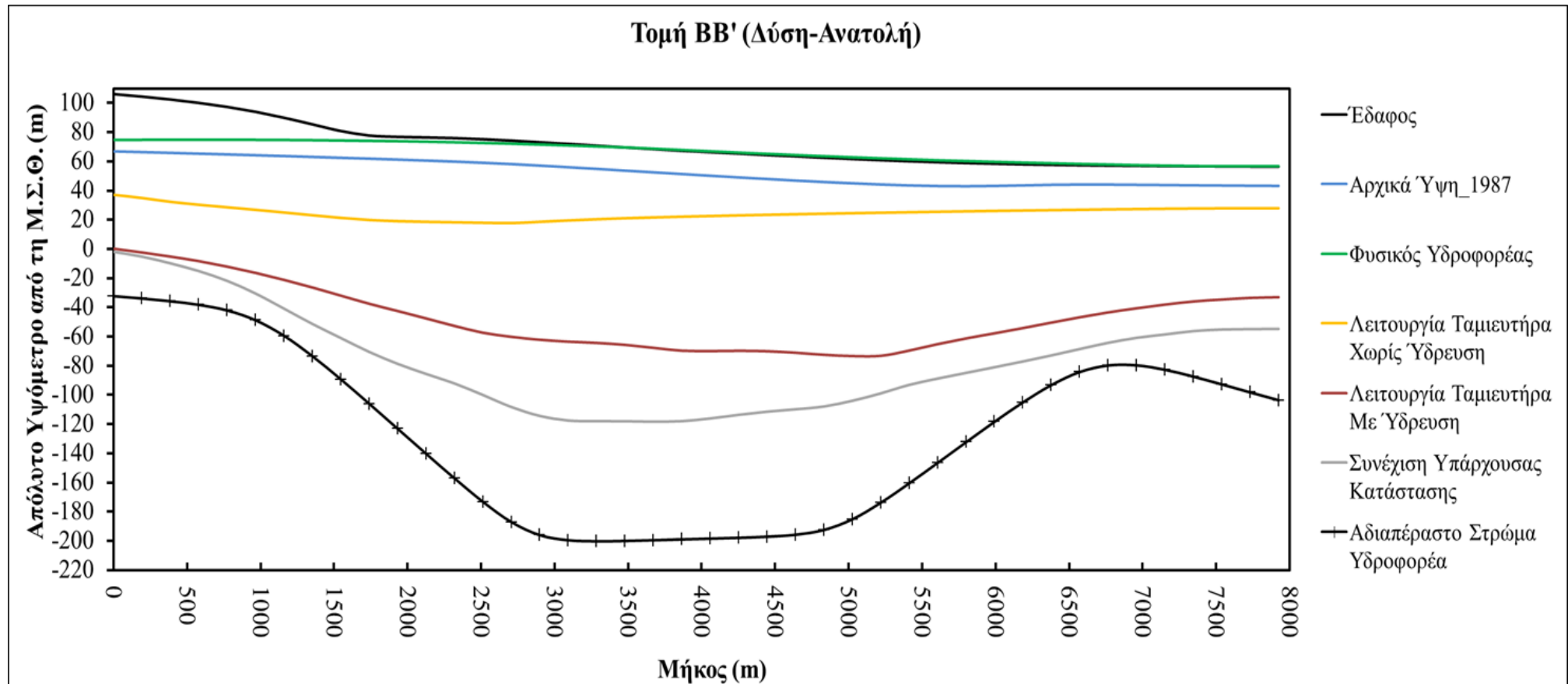
□ Απόλυτα υδραυλικά ύψη του υδροφορέα στην Τομή ΑΑ' (Βορράς – Νότος) για το 2058





Αποτελέσματα - Υδροφορέας

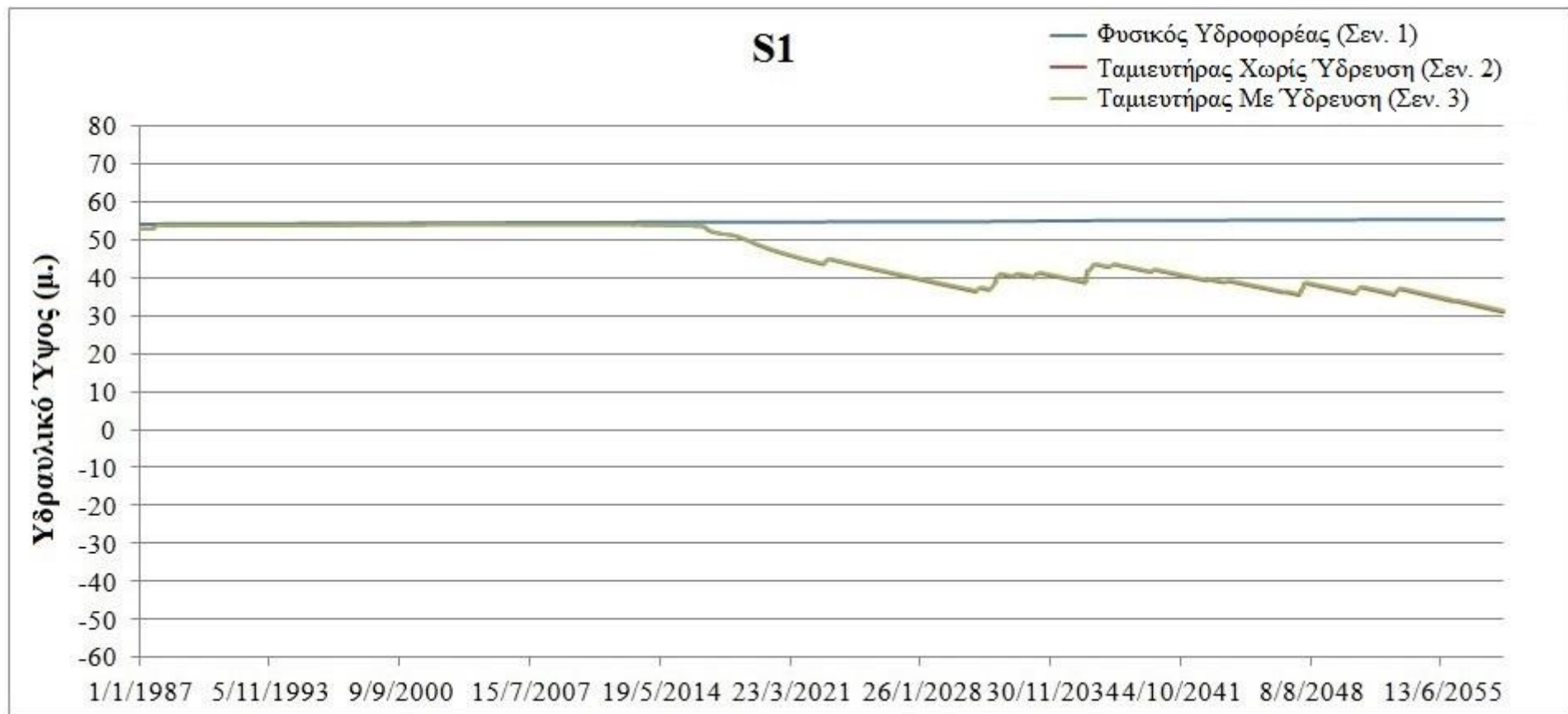
□ Απόλυτα υδραυλικά ύψη του υδροφορέα στην Τομή BB' (Δύση - Ανατολή) για το 2058





Αποτελέσματα - Υδροφορέας

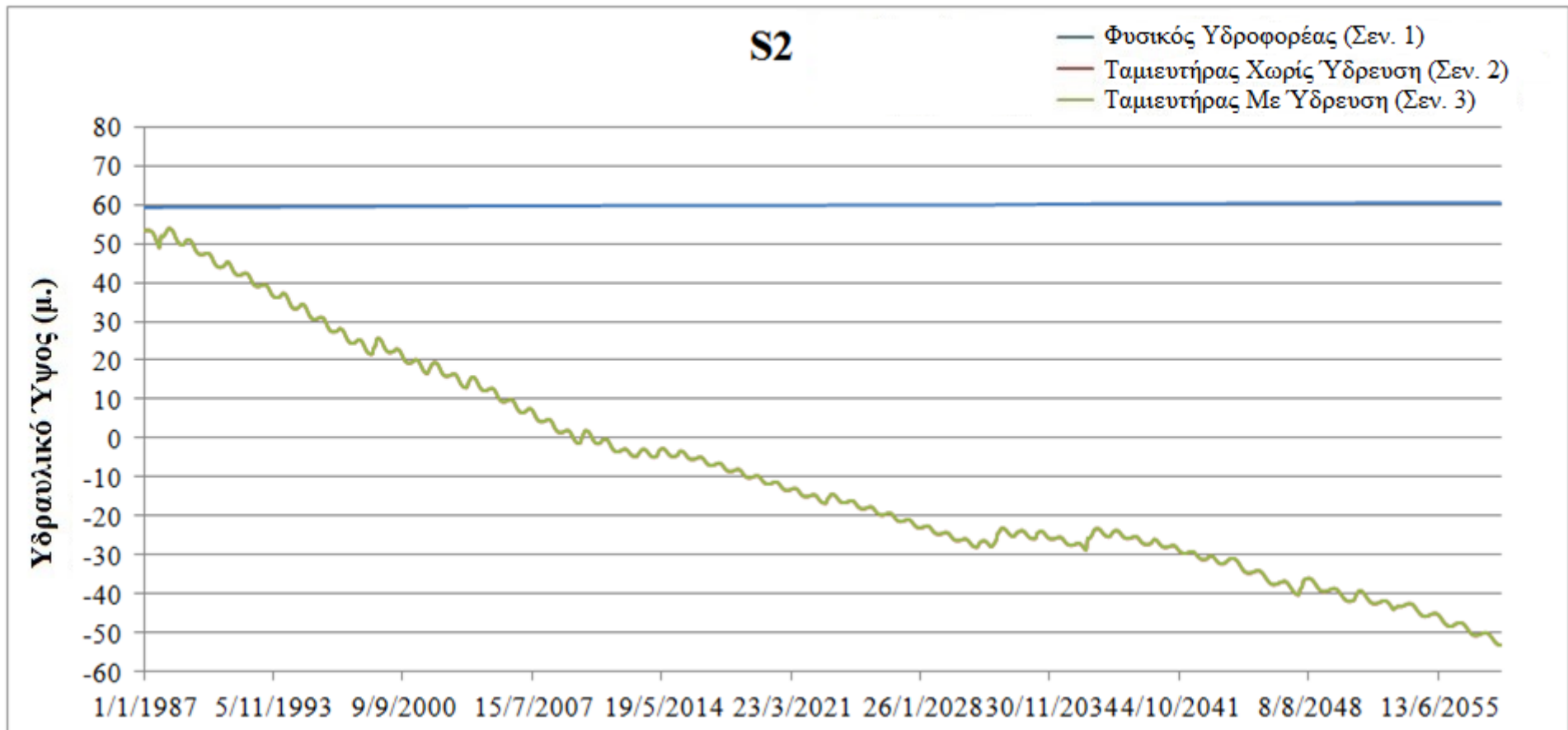
- ❑ Απόλυτα υδραυλικά ύψη του υδροφορέα για το σημείο S1 για τα τρία επιχειρησιακά σενάρια διαχείρισης του υδροφορέα





Αποτελέσματα - Υδροφορέας

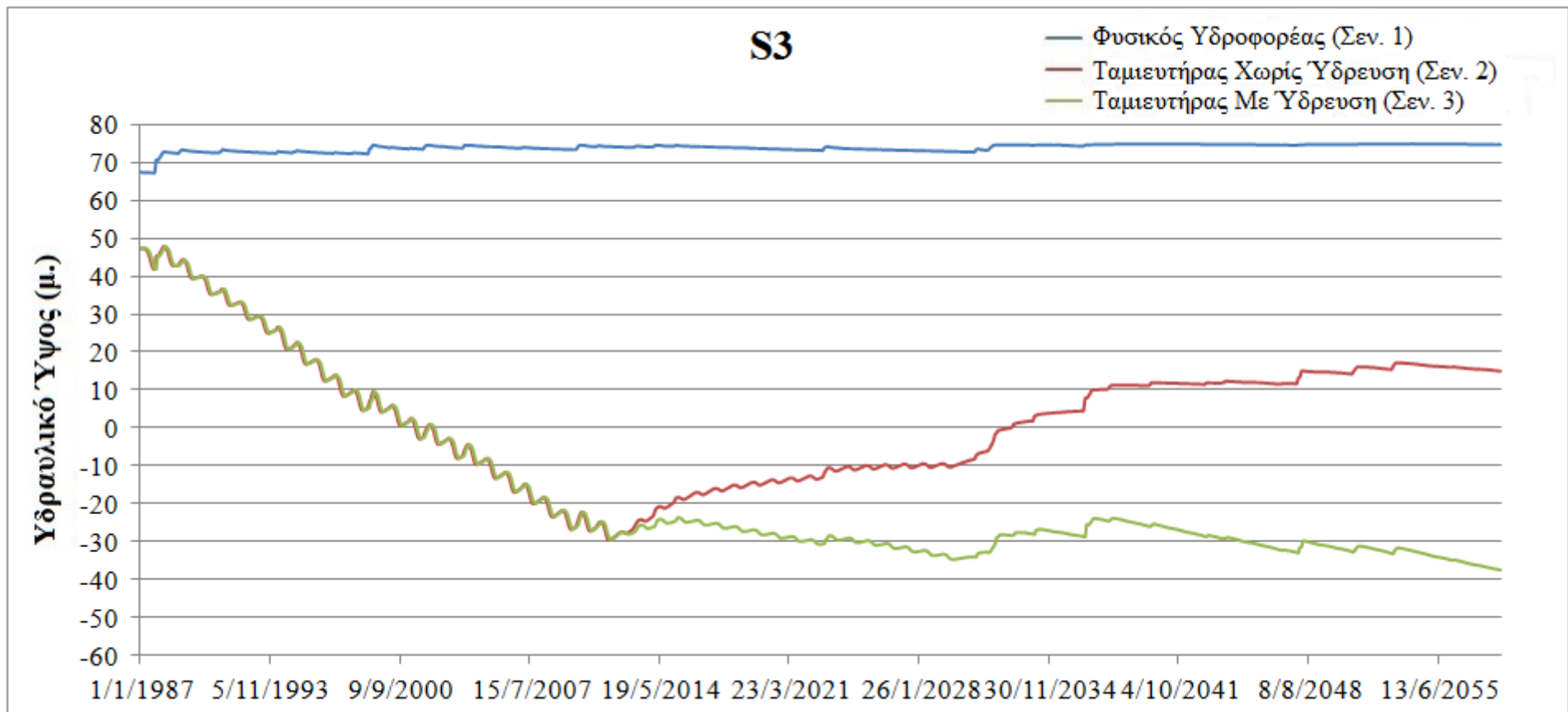
- Απόλυτα υδραυλικά ύψη του υδροφορέα για το σημείο S2 για τα τρία επιχειρησιακά σενάρια διαχείρισης του υδροφορέα





Αποτελέσματα - Υδροφορέας

- Απόλυτα υδραυλικά ύψη του υδροφορέα για το σημείο S3 για τα τρία επιχειρησιακά σενάρια διαχείρισης του υδροφορέα





Χωροθέτηση Νέων Υδρευτικών Γεωτρήσεων

□ GWM - Πρόβλημα Βελτιστοποίησης/Διαχείρισης:

Η διατύπωση ενός προβλήματος διαχείρισης παρουσιάζεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$\text{Μεγιστοποίηση} \sum_{t=1}^T \sum_{n=1}^N Q_n^t$$

Υπόκεινται σε δύο επιμέρους περιορισμούς:

1. $h_i^{2058} \geq h_i^{1987}, i = 1, \dots, N$
2. $h_i^{2058} \geq 0m, i = 1, \dots, N$

και $Q_n \geq 0m^3 / s, n = 1, \dots, N$

όπου

Q_n παροχή άντλησης των πηγαδιών m^3/s ,

N ο αριθμός των πηγαδιών,

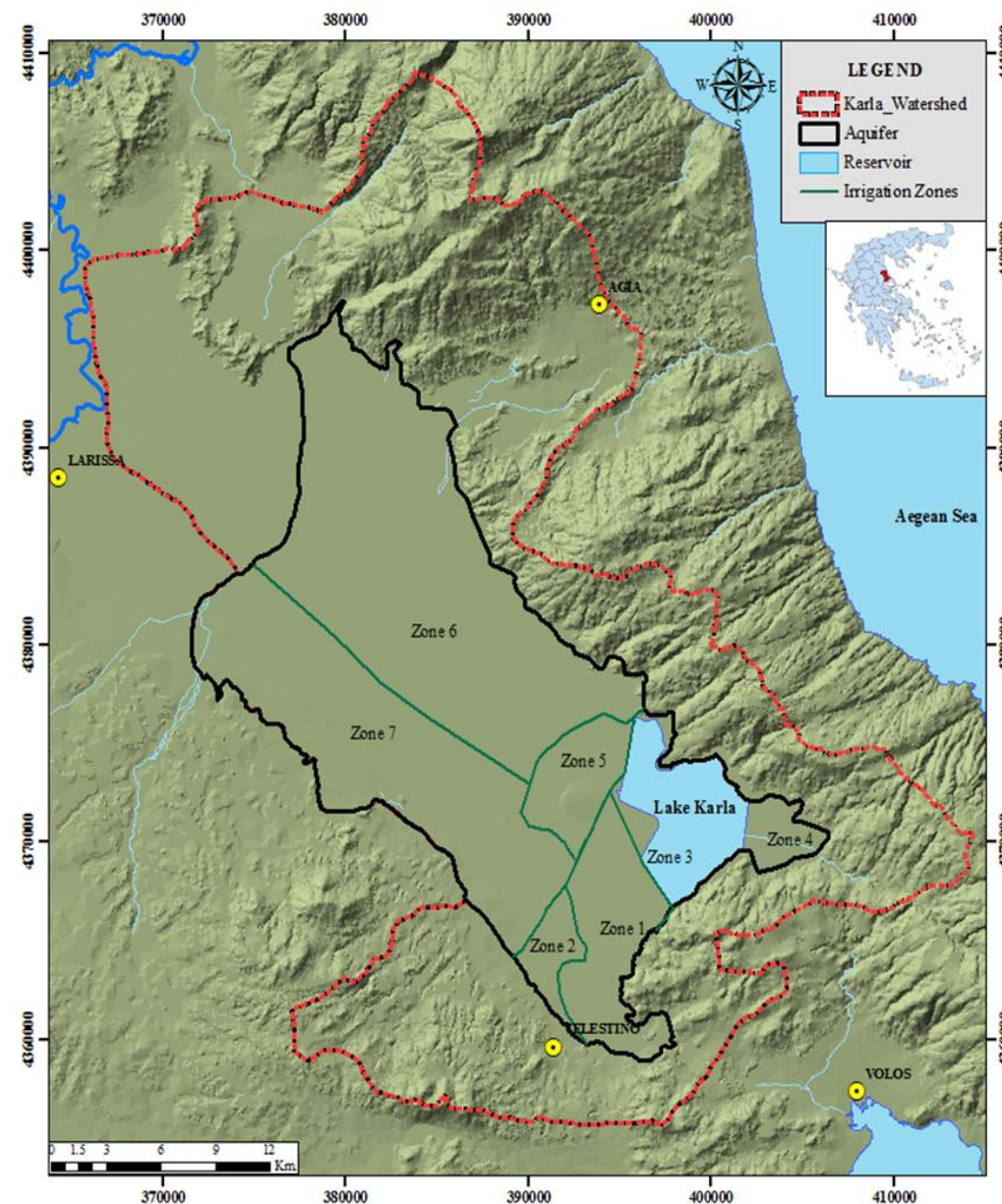
T είναι ο αριθμός των ημερών για τη διαχειριστική περίοδο 2012-2058

h_i υδραυλικά ύψη στα σημεία i με εκθέτη τη χρονιά.



Προτάσεις αλλαγής θέσης νέων γεωτρήσεων

- ❑ 40 γεωτρήσεις θα ανορυχθούν σταδιακά στη Ζώνη 1, η οποία βρίσκεται κοντά στον ταμιευτήρα για να καλύψουν τις υδρευτικές ανάγκες των **15.7 hm³/y** για την πόλη του Βόλου.
 - ❑ Η Ζώνη 1 τοποθετείται στην πιο υποβαθμισμένη περιοχή του υδροφορέα όπου παρατηρείται και η μεγαλύτερη πτώση του υδροφόρου ορίζοντα
 - ❑ Σιδηρόπουλος et al. (2009) απέδειξε ότι η χρήση αυτών των γεωτρήσεων θα αντιστρέψει την θετική συνεισφορά του ταμιευτήρα στην αποκατάσταση του υπόγειου υδροφορέα.
- ↓
- ❑ Τέσσερα εναλλακτικά σενάρια προσομοιώθηκαν για την βελτιστοποίηση της χωροθέτησης των 40 υδρευτικών γεωτρήσεων καθώς και την παροχή άντλησης. Πρόταση → για νέα χωροθέτηση των 40 υδρευτικών γεωτρήσεων καθώς και την αλλαγή του ποσοστού άντλησης στις Ζώνες 1,2,4,5





Αποτελέσματα για την αλλαγή θέσης νέων γεωτρήσεων

- ❑ Τα τέσσερα σενάρια διαχείρισης ασχολούνται με την εγκατάσταση και λειτουργία των νέων γεωτρήσεων ύδρευσης στις Ζώνες 1, 2, 4, 5, αντίστοιχα.
- ❑ Η Ζώνη 3 δεν έχει επιλεγεί καθώς καλύπτει τη θέση του ταμιευτήρα.
- ❑ Οι Ζώνες 6 και 7 δεν επιλέγονται, δεδομένου ότι δεν καλύπτονται από το νέο σύστημα άρδευσης της λίμνης Κάρλας και δεν θα πρέπει να τροφοδοτείται με νερό από τον ταμιευτήρα
- ❑ Το πρόβλημα βελτιστοποίησης δεν έχει καμία λύση για τα σενάρια 1 και 2 (δηλαδή για τις θέσεις των γεωτρήσεων ύδρευσης στις Ζώνες 1 και 2, αντίστοιχα).

1^{ος} Περιορισμός : $h_i^{2044} \geq h_i^{1987}, i = 1, \dots, N$

Σενάριο 3 - 40 γεωτρήσεις ύδρευσης στη ζώνη 4

Ζώνες	1	2	3	4	5	6	7	Άθροισμα
Αριθμός βελτιστοποιημένων γεωτρήσεων	0	0	0	10	0	34	52	96
Ετήσιος Όγκος Άρδευσης	0	0	0	0	0	13.47	21.45	34.92
Αντλησης (hm ³)	0	0	0	2.74	0	0	0	2.74
Συνολικός Ετήσιος Όγκος Αντλησης (hm³)								37.66
Μέσος Ετήσιος Ανανεώσιμος Όγκος (hm³)								57.44

Σενάριο 4 - 40 γεωτρήσεις ύδρευσης στη ζώνη 5

Ζώνες	1	2	3	4	5	6	7	Sum
Αριθμός βελτιστοποιημένων γεωτρήσεων	0	0	0	0	28	31	45	104
Ετήσιος Όγκος Άρδευσης	0	0	0	0	0	12.47	16.61	29.08
Αντλησης (hm ³)	0	0	0	0	8.58	0	0	8.58
Συνολικός Ετήσιος Όγκος Αντλησης (hm³)								37.66
Μέσος Ετήσιος Ανανεώσιμος Όγκος (hm³)								57.44

- ❑ Ο λόγος είναι ότι η πτώση του υπόγειου υδροφορέα είναι τόσο μεγάλη, ώστε δεν μπορεί να επιτευχθεί ο περιορισμός.
- ❑ Ένα μεγάλο ποσοστό των ανανεώσιμων υπόγειων υδατικών πόρων (δηλαδή 19.78 hm³/y) έχει δεσμευτεί για την αποκατάσταση του υδροφόρου ορίζοντα (υπόγειου υδροφορέα)
- ❑ Μόλις επιτευχθεί αυτός ο στόχος, ως κριτήριο για την αξιολόγηση του σεναρίου τίθεται ο όγκος του νερού που θα χρησιμοποιηθεί (χρησιμοποιείται) για την ύδρευση της πόλης του Βόλου.
- ❑ Το σενάριο 4 οδηγεί σε μεγαλύτερο όγκο ύδρευσης από το σενάριο 5 < 15,7 hm³/ y



Αποτελέσματα για την αλλαγή θέσης νέων γεωτρήσεων

- Σε κάθε ένα από τα τέσσερα σενάρια και στα πλαίσια του δεύτερου περιορισμού, ο ετήσιος όγκος των ανανεώσιμων υπόγειων υδάτων, ο οποίος πρέπει να δεσμευτεί για την αποκατάσταση του υπόγειου υδροφορέα είναι $9.77 \text{ hm}^3/\text{y}$.
- Ως εκ τούτου, μεγαλύτερος όγκος άντλησης υπόγειων υδάτων χρησιμοποιείται για την ύδρευση της πόλης του Βόλου από τον αντίστοιχο όγκο του πρώτου περιορισμού.
- Οι Ζώνες 4 και 5 είναι σε θέση να παρέχουν περισσότερο νερό για ύδρευση, επειδή ο υδροφορέας είναι λιγότερο υποβαθμισμένος σε σχέση με άλλες περιοχές (Ζώνες 4 και 5) βρίσκονται στην περιοχή του ταμιευτήρα και ο υδροφορέας επηρεάζεται θετικά από την βαθιά κατείσδυση στον ταμιευτήρα. Η πιο κατάλληλη ζώνη για τη σύσταση και λειτουργία των γεωτρήσεων ύδρευσης είναι η Ζώνη 5 και για τους δύο περιορισμούς
- Όγκος άντλησης νερού για αστική χρήση $< 15.7 \text{ hm}^3/\text{y}$

$$2^{\text{ος}} \text{ Περιορισμός: } h_i^{2044} \geq 0m, i = 1, \dots, N$$

Σενάριο 1 - 40 γεωτρήσεις ύδρευσης στη ζώνη 1								
Ζώνες	1	2	3	4	5	6	7	Αθροισμα
Αριθμός βελτιστοποιημένων γεωτρήσεων	32	0	0	0	0	44	52	128
Ετήσιος Όγκος Άρδευσης	0	0	0	0	0	17.26	20.92	38.18
Αντλήσης (hm^3)	Υδρευση	9.49	0	0	0	0	0	9.49
Συνολικός Ετήσιος Όγκος Αντλήσης (hm^3)								47.67
Μέσος Ετήσιος Ανανεώσιμος Όγκος (hm^3)								57.44
Σενάριο 2 - 40 γεωτρήσεις ύδρευσης στη ζώνη 2								
Ζώνες	1	2	3	4	5	6	7	Αθροισμα
Αριθμός βελτιστοποιημένων γεωτρήσεων	0	36	0	0	0	42	49	127
Ετήσιος Όγκος Άρδευσης	0	0	0	0	0	16.84	19.92	36.76
Αντλήσης (hm^3)	Υδρευση	0	10.91	0	0	0	0	10.91
Συνολικός Ετήσιος Όγκος Αντλήσης (hm^3)								47.67
Μέσος Ετήσιος Ανανεώσιμος Όγκος (hm^3)								57.44
Σενάριο 3 - 40 γεωτρήσεις ύδρευσης στη ζώνη 4								
Ζώνες	1	2	3	4	5	6	7	Αθροισμα
Αριθμός βελτιστοποιημένων γεωτρήσεων	0	0	0	36	0	42	49	127
Ετήσιος Όγκος Άρδευσης	0	0	0	0	0	15.97	19.92	35.89
Αντλήσης (hm^3)	Υδρευση	0	0	0	11.78	0	0	11.78
Συνολικός Ετήσιος Όγκος Αντλήσης (hm^3)								47.67
Μέσος Ετήσιος Ανανεώσιμος Όγκος (hm^3)								57.44
Σενάριο 4 - 40 γεωτρήσεις ύδρευσης στη ζώνη 5								
Ζώνες	1	2	3	4	5	6	7	Αθροισμα
Αριθμός βελτιστοποιημένων γεωτρήσεων	0	0	0	0	40	41	45	126
Ετήσιος Όγκος Άρδευσης	0	0	0	0	0	15.63	18.62	34.25
Αντλήσης (hm^3)	Υδρευση	0	0	0	0	13.42	0	13.42
Συνολικός Ετήσιος Όγκος Αντλήσης (hm^3)								47.67
Μέσος Ετήσιος Ανανεώσιμος Όγκος (hm^3)								57.44



Συμπεράσματα

- ❑ Η μεθοδολογία που παρουσιάστηκε έχει ως σκοπό να αξιολογήσει τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής και μεταβλητότητας καθώς και της ανθρωπογενούς παρέμβασης στον υπόγειο υδροφορέα της λίμνης Κάρλας.
- ❑ Τα αποτελέσματα δείχνουν:
 1. Η προσομοίωση του υπόγειου υδροφορέα υπό υφιστάμενες κλιματικές συνθήκες έδειξε ότι το σύστημα βρίσκεται σε κατάσταση ισορροπίας χωρίς την ανθρωπογενή παρέμβαση στους υπόγειους υδατικούς πόρους (Φυσικός Υδροφορέας)
 2. Η κλιματική αλλαγή και η μεταβλητότητα δεν επηρεάζουν το φυσικό υδροφορέα της λίμνης Κάρλας σε αντίθεση με την εκμετάλλευση που προκαλείται από τη μεριά του ανθρώπου, η οποία είναι αρκετά έντονη και απαιτεί την άμεση επαναξιολόγηση των υδατικών αναγκών, προτού η κατάσταση γίνει μη αναστρέψιμη.
 3. Η προσομοίωση του υπόγειου υδροφορέα σύμφωνα με τον προγραμματισμό του Έργου Ανασύστασης της λίμνης Κάρλας έδειξε ότι η πτώση στάθμης στο νότιο τμήμα του είναι ακόμη μεγαλύτερη και από την συνέχιση της υπάρχουσας κατάστασης (χωρίς τη λειτουργία του ταμιευτήρα).
 4. Με βάση τις πολιτικές διαχείρισης των υδατικών πόρων που απαιτούνται για την περιοχή μελέτης, ως πρώτη προτεραιότητα πρέπει να είναι η αποκατάσταση του φυσικού υδροφορέα της λεκάνης της λίμνης Κάρλας.



Συμπεράσματα

□ Τα αποτελέσματα σχετικά με την χωροθέτηση των γεωτρήσεων δείχνουν ότι:

1. **Κανένας από τους δύο περιορισμούς** (ανάταξη του υπόγειου υδροφορέα κατ' ελάχιστο: 1. στα επίπεδα του 1987, 2. στο ύψος της μέσης στάθμης της θάλασσας) **δεν μπορεί να ικανοποιηθεί αν οι συνολικές απαιτήσεις για ύδρευση φθάνουν τα $15,7 \text{ hm}^3/\text{y}$.**
2. **Ο πρώτος περιορισμός δεν μπορεί να ικανοποιηθεί εάν οι υδρευτικές γεωτρήσεις τοποθετηθούν και λειτουργούν στις Ζώνες 1 και 2. Στη Ζώνη 1 θα εγκατασταθούν οι 40 υδρευτικές γεωτρήσεις σύμφωνα με το σχέδιο ανασύστασης/αποκατάστασης της λίμνης Κάρλας.**
3. **Για τον πρώτο περιορισμό** (ανάταξη του υπόγειου υδροφορέα κατ' ελάχιστο στα επίπεδα του 1987) ο βέλτιστος αντλούμενος όγκος υπόγειου νερού **για ύδρευση** είναι: Ζώνη 4 = $2.74 \text{ hm}^3/\text{y}$, Ζώνη 5 = $8.58 \text{ hm}^3/\text{y}$.
4. **Για το δεύτερο περιορισμό** (ανάταξη του υπόγειου υδροφορέα κατ' ελάχιστο στο ύψος της στάθμης της θάλασσας) ο βέλτιστος αντλούμενος όγκος υπόγειου νερού **για ύδρευση** είναι: Ζώνη 1 = $9.49 \text{ hm}^3/\text{y}$, Ζώνη 2 = $10.91 \text{ hm}^3/\text{y}$, Ζώνη 4 = $11.78 \text{ hm}^3/\text{y}$, Ζώνη 5 = $13.42 \text{ hm}^3/\text{y}$.



□ Ευχαριστώ πολύ για την προσοχή σας!!!