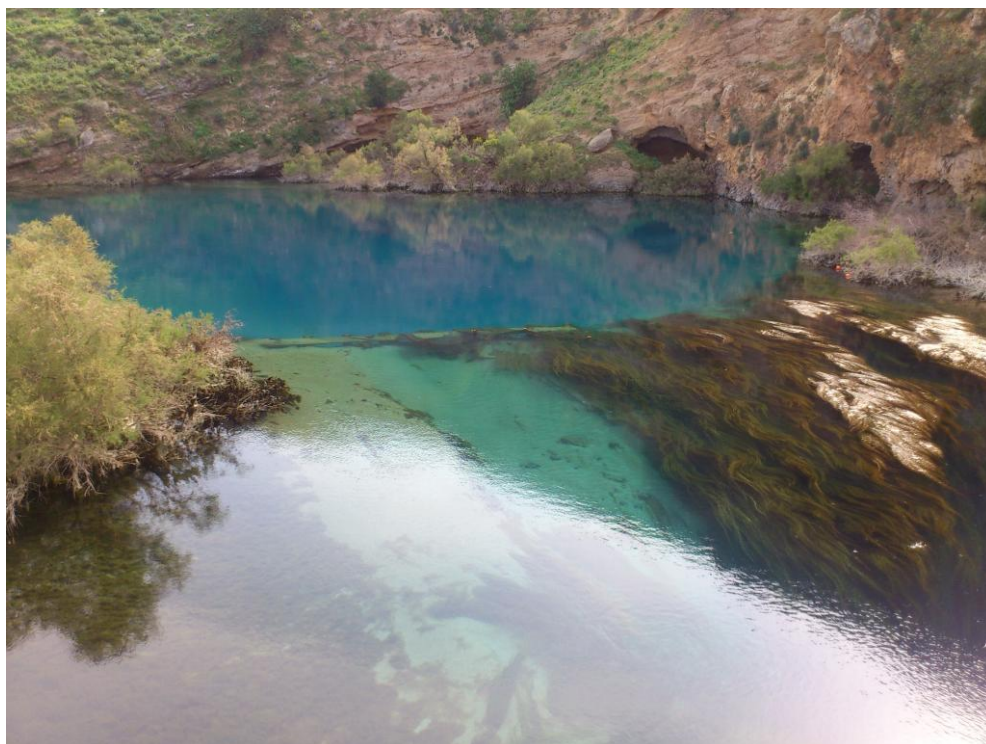


# **ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΠΗΓΗΣ ΑΛΜΥΡΟΥ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ ΚΡΗΤΗΣ**

**Αθανάσιος Ι. Μαραμαθάς**  
**Δρ Υδρογεωλόγος**



**Αθήνα 2017**



## **1. ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ ΤΗΣ ΠΗΓΗΣ ΤΟΥ ΑΛΜΥΡΟΥ ΜΕΣΩ ΑΝΥΨΩΣΗΣ ΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΕΚΡΟΗΣ ΤΗΣ**

### **1.1. Εισαγωγή**

Η πηγή του Αλμυρού βρίσκεται 10 χιλιόμετρα δυτικά της πόλης του Ηρακλείου σε υψόμετρο περίπου 4m και σε απόσταση 1km από τη θάλασσα. Πρόκειται για περιοδικά υφάλμυρη καρστική πηγή. Η παροχή της κυμαίνεται από  $4\text{m}^3/\text{sec}$  περίπου το καλοκαίρι έως  $70\text{-}80\text{m}^3/\text{sec}$  το χειμώνα μετά από έντονες βροχοπτώσεις στον Ψηλορείτη. Συνολικά η ποσότητα του νερού που βγαίνει από τη πηγή στη διάρκεια ενός έτους, προσεγγίζει τα  $250 \times 10^6 \text{m}^3$ . Στις χαμηλές παροχές το νερό της πηγής είναι υφάλμυρο λόγω εισόδου θαλασσινού νερού στη λεκάνη της.

Ο μηχανισμός υφαλμύρισης της πηγής αποδείχτηκε (Maramathas et al 2006) ότι είναι η διαφορά πυκνότητας γλυκού-θαλασσινού νερού. Πιο συγκεκριμένα (μιλώντας απλουστευτικά) το νερό της πηγής υφαλμυρίζεται κατά την όδυσή του προς το σημείο εξόδου του, καθώς ο αγωγός που το μεταφέρει συναντά σε κάποιο σημείο της διαδρομής του άλλον αγωγό ο οποίος μεταφέρει νερό από τη θάλασσα. Σε περιόδους που η πίεση του γλυκού νερού είναι μικρή (χαμηλές παροχές της πηγής) θαλασσινό νερό μεταφέρεται από τον αγωγό της θάλασσας στον αγωγό του γλυκού νερού και υφαλμυρίζει το νερό της πηγής. Στο Σχήμα 1 παρουσιάζεται αναπαράσταση του συστήματος της πηγής.

### **1.1.2 Το πείραμα ανύψωσης της στάθμης της πηγής**

Το 1987 από την 23/2 έως την 14/9, με τη χρήση του φράγματος που είχε κατασκευαστεί παλαιότερα από τον FAO, έγινε ένα πείραμα τεχνητής ανύψωσης του σημείου εκροής του νερού της πηγής από τα 4m που είναι το φυσικό υψόμετρο του στα 10m με σκοπό να διαπιστωθεί εάν βελτιώνεται η όχι με αυτόν τον τρόπο η ποιότητα του. Το πείραμα αυτό ήταν ιδιαίτερα επιτυχημένο και τα αποτελέσματά του πολύτιμα για την επιλογή της μεθόδου εκμετάλλευσης της πηγής. Κατά τη διάρκειά του είχαμε σημαντική βελτίωση της ποιότητας του νερού της πηγής χωρίς άξια λόγου απώλεια νερού. Το συμπέρασμα αυτό προκύπτει από τα αποτελέσματα του πειράματος τα οποία



συνολικά παρουσιάζονται στο σχήμα 2. Στο σχήμα αυτό έχουμε τη διακύμανση της περιεκτικότητας σε χλωριόντα του νερού της πηγής από την 1/6/1987 έως την 1/10/1987. Θα πρέπει να προσεχθεί η απότομη αύξηση της κλίσης της καμπύλης μετά το άνοιγμα του φράγματος. Το πείραμα διήρκεσε μέχρι την 14/9/1987 οπότε και άνοιξαν οι θυρίδες του φράγματος και το επίπεδο εξόδου του νερού της πηγής έπεσε από τα 10m στο οποίο είχε ανέβει τεχνητά στο φυσικό του ύψος. Τη στιγμή εκείνη η παροχή ήταν  $4\text{m}^3/\text{sec}$  και τα χλωριόντα 3490rpm. Μετά από μερικές ημέρες η παροχή σταθεροποιήθηκε στα  $4,2\text{m}^3/\text{sec}$  και τα χλωριόντα στα 3958rpm. Άρα με μία απώλεια νερού της τάξεως του 5% είχαμε μία βελτίωση της ποιότητας, εκ πρώτης όψεως, της τάξης του 12%. Στην πραγματικότητα όμως η βελτίωση είναι μεγαλύτερη αν λάβουμε υπ' όψιν μας την υστέρηση ανταπόκρισης του καρστικού συστήματος στον απότομο υποβιβασμό της στάθμης της λίμνης μετά το άνοιγμα των θυρίδων του φράγματος. Η υστέρηση αυτή οφείλεται στην καθυστέρηση πτώσης της στάθμης από την τεχνητή στην οποία βρισκόταν στην φυσική, λόγω της αποθηκευτικότητας του συστήματος (σχ 1). Από την προσομοίωση της πηγής με το μοντέλο MODKARST αποδείχθηκε ότι η βελτίωση της ποιότητας τελικά ήταν της τάξης του 23%.

Η σημαντική βελτίωση της ποιότητας φαίνεται και στον Πίνακα 1, όπου συγκρίνεται η μέση και η μέγιστη περιεκτικότητα σε χλωριόντα κατά την περίοδο στείρευσης της πηγής (από 1/6 έως 14/9) την περίοδο του πειράματος (1987) με τις αντίστοιχες τιμές των επόμενων 10 υδρολογικών ετών.



**ΠΙΝΑΚΑΣ 1**

Υδρολογικό έτος	Μέση Περιεκτικότητα σε Cl <sup>-</sup> (ppm)	Μέγιστη Περιεκτικότητα σε Cl <sup>-</sup> (ppm)	Βελτίωση % στη μέση περιεκτικότητα	Βελτίωση % στη μέγιστη περιεκτικότητα
<b>86-87 (πείραμα)</b>	<b>2506</b>	<b>3490</b>		
87-88	3767	4200	33,49	16,90
88-89	4383	4700	42,84	25,74
89-90	4873	5147	48,58	32,19
90-91	4814	5186	47,95	32,70
91-92	4301	4782	41,75	27,02
92-93	4492	5035	44,22	30,69
93-94	4582	5005	45,31	30,27
94-95	4203	4573	40,39	23,68
95-96	3952	4250	36,59	17,88
96-97	3301	4057	24,11	13,98

Η διεξαγωγή του πειράματος λοιπόν απέδειξε δύο πράγματα:

- 1) Ότι η πλέον ενδεδειγμένη μέθοδος για την αειφορική εκμετάλλευση της πηγής με σίγουρα αποτελέσματα είναι η τεχνητή άνοδος του σημείου εξόδου του νερού της και,
- 2) Ότι το ύψος του σημερινού φράγματος είναι ανεπαρκές.

## **1.2 Το μοντέλο MODKARST και η προσομοίωση της πηγής**

Μετά από τετραετή έρευνα, στη σχολή Χημικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π αναπτύχθηκε το μαθηματικό μοντέλο MODKARST για υφάλμυρες καρστικές πηγές (Μαραμαθάς 2003) το οποίο, εφαρμοζόμενο στην πηγή του Αλμυρού, δίνει πολύ καλή προσομοίωση τόσο του υδρογραφήματος της πηγής όσο και της καμπύλης μεταβολής των χλωριόντων του νερού της συναρτήσει του χρόνου.

Η προσομοίωση της πηγής καλύπτει την περίοδο 1985 - 1997. Η προσαρμογή του προτύπου βασίστηκε στα έτη 1989 – 1997. Μετά την προσαρμογή το μοντέλο χρησιμοποιήθηκε, χωρίς καμία μεταβολή στην τιμή των παραμέτρων του, για την προσομοίωση και των ετών 1985 – 89.



Η προσομοίωση συμπεριέλαβε και την περίοδο του πειράματος. Στα σχήματα 3 και 4 φαίνονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για την περίοδο 1989 – 97 ενώ στο σχήμα 5 τα αποτελέσματα για την περίοδο 1985 – 89 όσον αφορά την καμπύλη χλωριόντων.

Το συμπέρασμα που προκύπτει από τα παραπάνω είναι ότι το αναπτυχθέν μαθηματικό μοντέλο προσομοιώνει πολύ ικανοποιητικά τη λειτουργία της πηγής του Αλμυρού. Μπορεί επομένως να χρησιμοποιηθεί με ασφάλεια για την πρόβλεψη της συμπεριφοράς της πηγής κάτω από διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας της (π.χ. διαφορετικά ύψόμετρα σημείου εκροής) έτσι ώστε να προκύψει η καλύτερη μέθοδος για την εκμετάλλευσή της.

### **1.3 Αποτελέσματα και προτάσεις**

Το βασικό αποτέλεσμα της επιστημονικής έρευνας είναι ότι η βέλτιστη μέθοδος για την εκμετάλλευση του νερού της πηγής (εξαγωγή γλυκού νερού) είναι η τεχνητή ανύψωση του σημείου εκροής του νερού της μέσω της κατασκευής ενός μικρού φράγματος κατάντη (Maramathas 2006) (σχ.1). Μέσω της ανύψωσης αυτής επιτυγχάνεται τεχνητή αύξηση της πίεσης στους αγωγούς γλυκού νερού με αποτέλεσμα την παρεμπόδιση της υφαλμύρινσης.

Το αποτέλεσμα αυτό προέκυψε από την εφαρμογή κατάλληλης διαταραχής στο μοντέλο, οπότε έγινε δυνατή η πρόβλεψη τόσο του υδρογραφήματος όσο και της καμπύλης χλωριόντων της πηγής, για διάφορα ύψη εκροής του νερού της. Τα αποτελέσματα φαίνονται στο σχήμα 6. Για το χρονικό διάστημα της προσομοίωσης, δηλαδή από το 1985 έως το 1997, αποδείχθηκε ότι η απαιτούμενη ανύψωση του σημείου εκροής είναι τα 22m από την επιφάνεια της θάλασσας (σχ.7, 8). Οι απώλειες γλυκού νερού λόγω αυτής της ανύψωσης, καθώς με την τεχνητή αύξηση της πίεσης του γλυκού νερού οι αγωγοί που προηγουμένως έφερναν θαλασσινό νερό και υφαλμύριζαν την πηγή τώρα θα οδηγούν μέρος του γλυκού νερού στη θάλασσα, υπολογίστηκαν από το μοντέλο με μεγάλη ακρίβεια και αποδείχτηκε ότι δεν είναι σημαντικές (σχ. 9, 10). Είναι μάλιστα δυνατόν με ένα κατάλληλο πρόγραμμα διαχείρισης να διατηρείται η στάθμη σε ένα βέλτιστο επίπεδο ώστε και η ποιότητα του νερού να είναι η επιθυμητή



και η απώλεια παροχής να είναι η ελάχιστη δυνατή. Σε κάθε περίπτωση το όφελος αναμένεται να είναι 140 εκατομύρια κυβικά μέτρα νερού το χρόνο, κατάλληλου για κάθε χρήση.

Η παραπάνω πρόταση έχει δημοσιευθεί σε έγκυρα διεθνή επιστημονικά περιοδικά και έχει παρουσιαστεί σε διεθνή επιστημονικά συνέδρια και συμποσια όπως αποδεικνύεται από τη βιβλιογραφία που ακολουθεί. Μετά τη βιβλιογραφία παρουσιάζεται μία συνοπτική περιγραφή των μελετών και των έργων που απαιτούνται για την υλοποίηση της παραπάνω πρότασης, καθώς και μία ενδεικτική κοστολόγησή τους.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- 1) Maramathas, A., 2006, A new approach for the development and management of brackish karst springs, Hydrogeology Journal Volume 14 Number 7 (2006) pp 1360-1366.  
Εκδότης: Springer-Verlag
- 2) Maramathas, A., Pergialiotis, P., Gialamas, G., 2006, Estimation of sea intrusion mechanism of brackish karst springs by their simulation with the “MODKARST” deterministic model, Hydrogeology Journal Volume 14 Number 5 (2006) pp 657-662.  
Εκδότης: Springer-Verlag
- 3) Maramathas, A. Boudouvis, A., 2006, Manifestation and measurement of the fractal characteristics, of karst hydrogeological formations  
Advances in Water Resources 29 (2006) pp 112-116.  
Εκδότης: Elsevier
- 4) Μαραμαθάς Α., (2006) Προτάσεις αξιοποίησης της πηγής του Αλμυρού Ηρακλείου Κρήτης, Επιστημονικό συμπόσιο στα πλαίσια του προγράμματος SEDEMED II, INTERREG IIIB MEDOCC, με θέμα: Ξηρασία και προληπτικός σχεδιασμός στην Κρήτη.  
Τόπος: Ελούντα, Κρήτης.
- 5) Μαραμαθάς Α., (2006) Το υδροαρδευτικό πρόβλημα των παράκτιων και νησιωτικών περιοχών της Ελλάδας και η αξιοποίηση των υφάλμυρων καρστικών πηγών. ΙΑ συμπόσιο Εταιρείας Λευκαδικών Μελετών στα πλαίσια των γιορτών Λόγου και Τέχνης στη Λευκάδα.  
Τόπος: Λευκάδα.
- 6) Αθανάσιος Ι. Μαραμαθάς, Ιωάννης Η. Γιαλαμάς, 2006, Η προσομοίωση των υφάλμυρων καρστικών πηγών με το μοντέλο MODKARST (η περίπτωση του Αλμυρού Ηρακλείου Κρήτης), 8ο Πανελλήνιο Συμπόσιο Ωκεανογραφίας και Αλιείας, Θεσσαλονίκη.  
Οργανωτής: Σύλλογος Εργαζομένων ΕΛ.ΚΕ.ΘΕ & Οργανισμός Λιμένος Θεσσαλονίκης
- 7) Maramathas A., Gialamas I., Boudouvis A.G. 2005 Simulation of Brackish Karst Springs operation with the MODKARST deterministic model, Global NEST Journal, Volume 7, No 3, pp 25-32.  
Εκδότης: Global Network for Environmental Science and Technology
- 8) Maramathas, A., Maroulis, Z., Marinos-Kouris, D., 2003, A Brackish Karstic Springs Model. Application on Almiros Crete Greece, Ground Water Volume 41 No 5 pp 608-620.  
Εκδότης: National Ground Water Association, U.S.A.
- 9) Μαραμαθάς, Α., 2003, Προσομοίωση υφάλμυρων καρστικών πηγών, Διδακτορική διατριβή στη Σχολή Χημικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π.
- 10) Maramathas A., Gialamas I. and Boudouvis A.G. 2005 Simulation of Brackish Karst Springs



operation with the MODKARST deterministic model, 9th International Conference on Environmental Science and Technology, Ρόδος.

Οργανωτές: Global Network for Environmental Science and Technology και Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Τμήμα Περιβαλλοντικών Σπουδών.

Μετά από πρόσκληση των διοργανωτών μία πύε εκτεταμένη έκδοση αυτής της εργασίας εστάλη προς δημοσίευση στο επιστημονικό περιοδικό Global NEST Journal που εκδίδεται από το Global Network for Environmental Science and Technology

- 11) Maramathas, A., Maroulis, Z., Marinos-Kouris, D., 2002, Blocking Sea Intrusion in Brackish Karstic Springs. The Case of Almiros Spring at Heraklion Crete, Greece, 5th International Conference under the title: "Water Resources Management in the Era of Transition", Αθήνα. Οργανωτής: European Water Resources Association.  
Η εργασία αυτή επελέγη από τους διοργανωτές να δημοσιευθεί στο ηλεκτρονικό επιστημονικό Περιοδικό: European Water, Issue 1/2, 2003, pages 14-20, που εκδίδει η E.W.R.A.
- 12) Μαραμαθάς Α., 2002, Ένα Μαθηματικό Μοντέλο για Υφάλμυρες Καρστικές Πηγές και η Εφαρμογή του στην Πηγή του Αλμυρού Ηρακλείου Κρήτης, Ορυκτός Πλούτος τεύχος 125 σελ.25-30  
Εκδότης: Επιστημονική Εταιρεία Τεχνολόγων Ορυκτού Πλούτου
- 13) Μαραμαθάς Α., 2003, Η βέλτιστη μέθοδος εκμετάλλευσης της πηγής του Αλμυρού Ηρακλείου Ηρακλείου Κρήτης όπως προκύπτει από την προσομοίωσή της από ένα μαθηματικό μοντέλο για υφάλμυρες καρστικές πηγές, Πανελλήνιο συνέδριο ' Το νερό στον 21ο αιώνα', Ηράκλειο. Οργανωτής: Γεωτεχνικό Επιμελητήριο της Ελλάδος
- 14) Μαραμαθάς Α., Μαρούλης, Ζ., Μαρίνος-Κουρής Δ., 2001, Προσομοίωση Παράκτιων Καρστικών Πηγών, 3ο Πανελλήνιο Επιστημονικό Συνέδριο Χημικής Μηχανικής, Αθήνα. Οργανωτής: Σχολή Χημικών Μηχανικών Ε.Μ.Π
- 15) Μαραμαθάς, Α., Γιαλαμάς Ι., 2009, Παράκτιες καρστικές πηγές και Κλιματική αλλαγή πρόκειται να παρουσιαστεί στο 9ο Πανελλήνιο Συμπόσιο Ωκεανογραφίας & Αλιείας, Patra
- 16) Maramathas, A., Gialamas, J., Pambuku, A., Beshku, H., Vaco, E., 2009, Brackish karst spring Simulation with "MODKARST" model under not enough data conditions  
(The case of the "Potami" spring at Himares Albania)  
Submitted to 12th International Congress of the Geological Society of Greece, Patra
- 17) Μαραμαθάς, Α., Η εκμετάλλευση των υφάλμυρων καρστικών πηγών, ΥΔΡΟΟΙΚΟΝΟΜΙΑ, τεύχος 36, Σεπτέμβριος 2005, σελ. 26-31.
- 18) Μαραμαθάς, Α., Η αξιοποίηση της πηγής του Αλμυρού Ηρακλείου Κρήτης με κατασκευή νέου μικρού φράγματος, ΥΔΡΟΟΙΚΟΝΟΜΙΑ, τεύχος 38, Νοέμβριος 2005, σελ. 16-17 και 20.



## 2. ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΠΗΓΗΣ

### 2.1.Εισαγωγή

Για την επιτυχημένη εκμετάλλευση της πηγής απαιτείται συνδυασμός ενός φράγματος κατάντη της πηγής, μέσω του οποίου θα επιτυγχάνεται η τεχνητή ανύψωση του σημείου εκροής της, και της λειτουργίας ενός συστήματος συνεχούς διαχείρισης της πηγής μέσω αυξομείωσης της στάθμης της σχηματιζόμενης λίμνης. Ο βασικός λόγος είναι ότι με βάση τα προηγούμενα επιστημονικά αποτελέσματα, παρά το γεγονός ότι μία ανύψωση του σημείου εκροής της πηγής της τάξης των 25m θεωρείται μάλλον επαρκής, η ποσότητα και ποιότητα του εξερχόμενου νερού πρέπει να ρυθμίζεται σε συνεχή βάση από την εκάστοτε στάθμη του νερού στο φράγμα, έτσι ώστε να έχουμε παρεμπόδιση της υφαλμύρινσης με την ελάχιστη δυνατή απώλεια γλυκού νερού, ιδίως κατά τους θερινούς μήνες, οπότε το πρόβλημα είναι εντονότερο.

Κατά συνέπεια, προτείνεται η χρηματοδότηση ενός πλέγματος επιστημονικών δράσεων και μελετών σε δύο άξονες:

- 1) Τον σχεδιασμό ενός ολοκληρωμένου συστήματος συνεχούς διαχείρισης της πηγής.
- 2) Τη μελέτη μικρού φράγματος αναρρύθμισης της πηγής.

Η πρώτη δράση θα πρέπει χρονικά να προηγείται ελαφρά, έτσι ώστε επί μέρους συμπεράσματα που θα αφορούν τις προδιαγραφές λειτουργίας του φράγματος (π.χ. ακριβές ύψος φράγματος) να μπορούν να ενσωματώνονται στη δεύτερη.

### 2.2 Σχεδιασμός ενός ολοκληρωμένου συστήματος συνεχούς διαχείρισης της πηγής.

Η προτεινόμενη με τον παραπάνω τίτλο εργασία δεν αποτελεί τυπική επαγγελματική μελέτη αλλά ερευνητική προσπάθεια, η οποία είναι απαραίτητη για την επιτυχημένη εκμετάλλευση της πηγής.

Πρόκειται για ένα ολοκληρωμένο σύστημα υποστήριξης, της λήψης και της εφαρμογής αποφάσεων για τη διαχείριση της πηγής του Αλμυρού (σχ11). Αποτελείται



από τη βάση δεδομένων του Αλμυρού και από τα προγράμματα διαχείρισης, ρύθμισης και ελέγχου, και εποπτείας του φράγματος.

### **2.2.1 Βάση δεδομένων Αλμυρού**

Στη βάση δεδομένων αρχικά θα καταγραφεί κάθε διαθέσιμη μέχρι σήμερα πληροφορία, που αφορά το σύστημα της πηγής του Αλμυρού, ενώ από την έναρξη λειτουργίας του φράγματος θα καταγράφεται κάθε είδους πληροφορία που θα κυκλοφορεί στα δίκτυα του συστήματος υποστήριξης. Με τον τρόπο αυτόν θα δημιουργηθεί μία μνήμη με καταχωρημένη την πλήρη ιστορία του συστήματος της πηγής και της διαχείρισής της, έτσι ώστε να είναι δυνατόν τα επί μέρους προγράμματα να “μαθαίνουν” αξιοποιώντας τις εμπειρίες του παρελθόντος και να βελτιώνονται.

### **2.2.2 Πρόγραμμα λήψης αποφάσεων**

Αποτελεί το κεντρικό στοιχείο του συστήματος. Πυρήνας του προγράμματος θα είναι το μαθηματικό μοντέλο της πηγής, το οποίο θα συνοδεύεται από το πρόγραμμα ρύθμισης και το πρόγραμμα προσαρμογής (σχ.12). Στο πρόγραμμα διαχείρισης θα γίνεται εισαγωγή των δεδομένων πεδίου (βροχοπτώσεις) καθώς και των εκάστοτε επιθυμιών του χρήστη, όσον αφορά την παροχή σε συνδυασμό με την περιεκτικότητα σε χλωριόντα του νερού της πηγής. Τα δεδομένα πεδίου εισάγονται απ' ευθείας στο μαθηματικό μοντέλο ενώ οι επιθυμίες του χρήστη εισάγονται στο μαθηματικό μοντέλο μέσω του προγράμματος ρύθμισης, που είναι ένα πρόγραμμα αριστοποίησης, το οποίο θέτει προδιαγραφές στον τρόπο λειτουργίας του μαθηματικού προτύπου. Στη συνέχεια το μαθηματικό μοντέλο υπολογίζει το ύψος εκροής του νερού της πηγής, πληροφορία που στέλνει προς υλοποίηση στο πρόγραμμα ρύθμισης και ελέγχου. Η σύμπτωση των προβλέψεων του μαθηματικού προτύπου και των πραγματικών τιμών θα ελέγχεται συνεχώς και στην περίπτωση που θα παρατηρείται αξιόλογη απόκλιση θα ενεργοποιείται το πρόγραμμα προσαρμογής, το οποίο θα μεταβάλλει κατά ιεραρχημένο τρόπο τις παραμέτρους του προτύπου και θα ελέγχει τις προβλέψεις του, με βάση πάντα τα μετρημένα πραγματικά δεδομένα.



Για να γίνεται κατά πληρέστερο τρόπο από το μαθηματικό μοντέλο ο υπολογισμός της τροφοδοσίας της πηγής θα πρέπει να πραγματοποιηθεί σε επιλεγμένες θέσεις της λεκάνης τροφοδοσίας της πηγής, η εγκατάσταση ενός δικτύου βροχομέτρων πέραν των ήδη υπαρχόντων καθώς και η εγκατάσταση ενός συστήματος μετρήσεως του χιονοκαλύμματος. Η μεταφορά των δεδομένων του δικτύου μετρήσεως των βροχοπτώσεων και χιονοπτώσεων στο πρόγραμμα λήψης αποφάσεων, θα μπορούσε να γίνεται αυτόματα και ‘on line’.

### **2.2.3 Πρόγραμμα ρύθμισης και ελέγχου**

Το πρόγραμμα αυτό είναι υπεύθυνο για την υλοποίηση των εντολών του προγράμματος διαχείρισης, όσον αφορά το ύψος εκροής του νερού της πηγής. Έχει υπό τον έλεγχό του το σύστημα θυροφραγμάτων, που ρυθμίζουν την έξοδο του νερού από το φράγμα. Οι εντολές του προγράμματος προς το σύστημα θυροφραγμάτων θα ελέγχονται διαρκώς ως προς την αποτελεσματικότητά τους ώστε αν παρίσταται ανάγκη να διορθώνονται. Παρερχομένου του χρόνου το πρόγραμμα αυτό συνεχώς θα βελτιώνεται αξιοποιώντας τις “εμπειρίες” του παρελθόντος.

### **2.2.4 Πρόγραμμα εποπτείας**

Το σύστημα αυτό λειτουργεί σε ανώτερο επίπεδο από τα άλλα επί μέρους προγράμματα του συστήματος και σκοπό έχει τον πλήρη εποπτικό έλεγχο (supervisory control) του φράγματος. Βρίσκεται εγκατεστημένο σε κεντρικό υπολογιστικό σταθμό, τοποθετημένο στο χώρο του φράγματος. Το σύστημα αυτό βρίσκεται σε συνεχή επικοινωνία με το πρόγραμμα λήψης αποφάσεων για το επιθυμητό ύψος της πηγής, με το πρόγραμμα ρύθμισης και ελέγχου της στάθμης, καθώς και με το δίκτυο μετρήσεων βροχοπτώσεων και χιονοπτώσεων και με τον λοιπό ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό του φράγματος. Πέρα από τον συνεχή εποπτικό έλεγχο της στάθμης, σε περιπτώσεις σφαλμάτων ή κινδύνου αναλαμβάνει την ασφαλή διαχείριση του φράγματος, ενώ παράλληλα σημαίνει συναγερμό και ειδοποιεί το προσωπικό ασφαλείας.



Το σύστημα αυτό προσφέρει κατάλληλες οθόνες παρακολούθησης της εγκατάστασης, σύστημα καταγραφής γεγονότων και συναγερμών, συνεχείς γραφικές καμπύλες εξέλιξης των φυσικών παραμέτρων του συστήματος καθώς και συστηματική αρχειοθέτηση όλων των στοιχείων λειτουργίας. Με κατάλληλη τηλεπικοινωνιακή διασύνδεσή του, είναι δυνατόν μέρος (π.χ. απλή εποπτεία της εγκατάστασης) ή και το σύνολο των λειτουργιών (π.χ. χειρισμοί) του συστήματος να πραγματοποιούνται και από απομακρυσμένο χώρο (π.χ. γραφεία της αρμόδιας υπηρεσίας διαχείρισης).

## **2.3 Μελέτες κατασκευής φράγματος**

### **2.3.1 Τοπογραφική:**

Θα απαιτηθεί η σύνταξη τοπογραφικού διαγράμματος της περιοχής του φράγματος και της λεκάνης κατάκλισης, με βάση την υψομετρική σύνδεση των σημείων και των καμπυλών με το εθνικό χωροσταθμικό δίκτυο.

Θα απαιτηθεί επίσης η λεπτομερέστερη αποτύπωση της περιοχής κατασκευής του φράγματος και των συναφών έργων (π.χ. υπερχειλιστή), με βάση την πυκνότητα σημείων που προδιαγράφεται από το Π.Δ. 696/74 έτσι ώστε να υπάρχει ένα άρτιο τοπογραφικό υπόβαθρο για την εκπόνηση της Μελέτης.

### **2.3.2 Γεωλογική:**

Για τις ανάγκες της εκπόνησης της Μελέτης του Φράγματος Αλμυρού θα συνταχθεί Γεωλογική Μελέτη, η οποία θα έχει ως αντικείμενο τη διερεύνηση όλων των παραμέτρων που σχετίζονται με την κατασκευή ενός φράγματος τόσο στην ευρύτερη περιοχή της λεκάνης απορροής, όσο και στην περιοχή της λεκάνης κατάκλισης και της θέσης του φράγματος.

### **2.3.3 Γεωτεχνική:**

Για την διερεύνηση των γεωτεχνικών συνθηκών στην περιοχή κατασκευής του φράγματος θα πρέπει να εκτελεστεί ένα πρόγραμμα, το οποίο θα περιλαμβάνει αφ' ενός



εργασίες υπαίθρου και αφ' ετέρου εργαστηριακές δοκιμές δειγμάτων. Οι προς εκτέλεση εργασίες θα είναι ενδεικτικά οι εξής:

1. Δειγματοληπτικές γεωτρήσεις στον άξονα του φράγματος.
2. Ανόρυξη ερευνητικών φρεάτων στην εγγύς περιοχή για τον εντοπισμό και την έρευνα των υλικών κατασκευής του φράγματος.
3. Η εκτέλεση δοκιμών εδαφομηχανικής και βραχομηχανικής σε δείγματα που θα ληφθούν από τα φρέατα, τις γεωτρήσεις και από την περιοχή έδρασης.

Θα απαιτηθεί, επίσης ενδεχομένως, η εκτέλεση δοκιμαστικών τσιμεντενέσεων, που θα βοηθήσει στον ακριβέστερο προσδιορισμό των ποσοτήτων ενέματος που θα απορροφηθούν κατά την κατασκευή του έργου

#### **2.3.4 Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων:**

Η δημοπράτηση όλων των σημαντικών έργων στην Ελλάδα σήμερα προϋποθέτει τη σύνταξη ολοκληρωμένης Μελέτης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων. Η Μελέτη αυτή συντάσσεται σε δύο στάδια, εκ των οποίων το πρώτο είναι η Μελέτη Προέγκρισης Χωροθέτησης και το δεύτερο η κυρίως Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων, που προσδιορίζει τους περιβαλλοντικούς όρους για την κατασκευή και λειτουργία του έργου.

#### **2.3.5 Ηλεκτρομηχανολογική και ενεργειακή**

Περιλαμβάνει καταρχήν τη μελέτη του συνόλου του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού του φράγματος (π.χ. μηχανισμός ανύψωσης θύρας, ηλεκτρολογικές εγκαταστάσεις, φωτισμός, γείωση, κ.λ.π.)

Στα πλαίσια αυτής της μελέτης προτείνεται επίσης να διερευνηθεί η δυνατότητα εκμετάλλευσης της υδατόπτωσης που θα δημιουργηθεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας πράγμα που θα κάνει το έργο ενεργειακά αυτοδύναμο, θα καλύψει το λειτουργικό κόστος και επί πλέον θα συμβάλλει έστω και κατά μικρό ποσοστό, στην αντιμετώπιση του ενεργειακού προβλήματος της Κρήτης.



### 2.3.6 Τεχνική μελέτη κατασκευής φράγματος

Στη συνέχεια γίνεται μία συνοπτική παρουσίαση της λύσης κατασκευής του Φράγματος Αλμυρού από ισχνό κυλινδρούμενο σκυρόδεμα. Η προσέγγιση γίνεται με κύριο σκοπό τον προκαταρκτικό προσδιορισμό της δαπάνης κατασκευής του έργου.

Τα βασικά στοιχεία, που αφορούν τον σχεδιασμό του φράγματος από ισχνό κυλινδρούμενο σκυρόδεμα είναι τα εξής:

Η διατομή του φράγματος θα ακολουθεί τις γενικές προδιαγραφές των φραγμάτων αυτού του τύπου. Η στέψη θα βρίσκεται σε υψόμετρο 26 m περίπου από το έδαφος, ενώ οι κλίσεις των πρανών τόσο ανάντη, όσο και κατόντη θα είναι 1,5:1. Η θεμελίωση του φράγματος γίνεται σε ένα μέσο βάθος 8 m. περίπου κάτω από την επιφάνεια του φυσικού εδάφους, ώστε να απομακρυνθεί κατά τις εκσκαφές το τμήμα της αποσαθρωμένης και της υποκείμενης εντονότερα κερματισμένης ζώνης. Η διατομή διαμορφώνεται κατά κύριο λόγο από το μίγμα τσιμέντου και αδρανών υλικών, για το οποίο γίνεται λόγος αμέσως παρακάτω, ενώ προβλέπεται η χρησιμοποίηση οπλισμένου σκυροδέματος για την κατασκευή στεγανωτικού μανδύα στο ανάντη πρανές του φράγματος.

Το υλικό κατασκευής του σώματος του φράγματος είναι τσιμέντο και αδρανή. Η προβλεπόμενη αναλογία τσιμέντου στο τελικό μίγμα είναι της τάξης των  $100 \text{ kg/m}^3$ . Τα αδρανή υλικά είναι δυνατόν να ληφθούν από την εγγύς περιοχή (σύμφωνα με τις προδιαγραφές πχ. μη ασβεστολιθικά κλπ). Η ακριβής αναλογία των ανωτέρω υλικών, όπως και του νερού στο τελικό μίγμα θα προσδιορισθεί με κατάλληλο ερευνητικό πρόγραμμα (δοκιμαστικό επίχωμα και εργαστηριακές δοκιμές).

Το διάφραγμα των τσιμεντενέσεων κατασκευάζεται στο ύψος του ποδός του ανάντη πρανούς του φράγματος, στην προέκταση του στεγανωτικού μανδύα από οπλισμένο σκυρόδεμα. Η διάταξη, οι φάσεις κατασκευής και τα βάθη των τσιμεντενέσεων θα αποτελέσουν αντικείμενο της μελέτης.

Ο υπερχειλιστής διαμορφώνεται στο μέσο της στέψης του φράγματος.



Παρακάτω παρατίθενται συνοπτικά ορισμένα γενικά στοιχεία του φράγματος:

- Κλίση ανάντη πρανούς: 1,5:1
- Κλίση κατόντη πρανούς: 1,5:1
- Πλάτος στέψης: 5 m.
- Μήκος στέψης: περίπου 100 m.
- Μέγιστο ύψος φράγματος στον άξονα: περίπου 25 m.
- Υπερχειλιστής: Μετωπικός με διάταξη βαθμίδων για την καταστροφή της ενέργειας επί του κατόντη πρανούς

Προϋπολογισμός δαπάνης κατασκευής του έργου (απαιτείται επικαιροποίηση)

Ο προϋπολογισμός δαπάνης κατασκευής του Φράγματος Αλμυρού από ισχνό κυλινδρούμενο σκυρόδεμα συντάχθηκε ενδεικτικά με βάση γενικές προμετρήσεις των βασικών εργασιών που θα εκτελεστούν. Η τιμολόγηση των εργασιών αυτών στηρίχθηκε σε τιμές μονάδος από παρεμφερή έργα κατά το έτος 2009. Επομένως χρειάζεται επικαιροποίηση.

Η συνολική δαπάνη κατασκευής του έργου προεκτιμάται ενδεικτικά ως εξής:

α/α	Έργο	Δαπάνη σε €
1.	Φράγμα	8.000.000
2.	Τσιμεντενέσεις	1.000.000
3.	Εργα εκτροπής- υδροληψίας - εκκένωσης	500.000
4.	Οδοποιία – απρόβλεπτα	500.000
	Άθροισμα	10.000.000
	Γ.Ε. και Ο.Ε. 18%	1.800.000
	Σύνολο	10.800.000
	ΦΠΑ 19%	2.052.000
	<b>Γενικό Σύνολο</b>	<b>12.852.000</b>



**3. ΚΟΣΤΟΣ ΜΕΛΕΤΩΝ (Και εδώ απαιτείται επικαιροποίηση των σχετικών τιμών, καθώς υπολογίστηκαν με τα δεδομένα του 2009)**

Με βάση την προσέγγιση της παραγράφου 2.4 το κόστος κατασκευής του φράγματος ανέρχεται στα 12.852.000 €.

Κόστος Κατασκευής Φράγματος	12.852.000 €
-----------------------------	--------------

Το κόστος των απαιτούμενων μελετών εκτιμάται ως εξής:

Είδος Μελέτης	Κόστος σε €
Αμοιβή τεχνικού συμβούλου έργου	150.000
Σχεδιασμός ολοκληρωμένου συστήματος συνεχούς διαχείρισης της πηγής	350.000
Συνοδές μελέτες για την κατασκευή του φράγματος	530.000
Τεχνική μελέτη κατασκευής φράγματος	400.000
<b>Συνολικό Κόστος Μελετών</b>	<b>1.430.000</b>

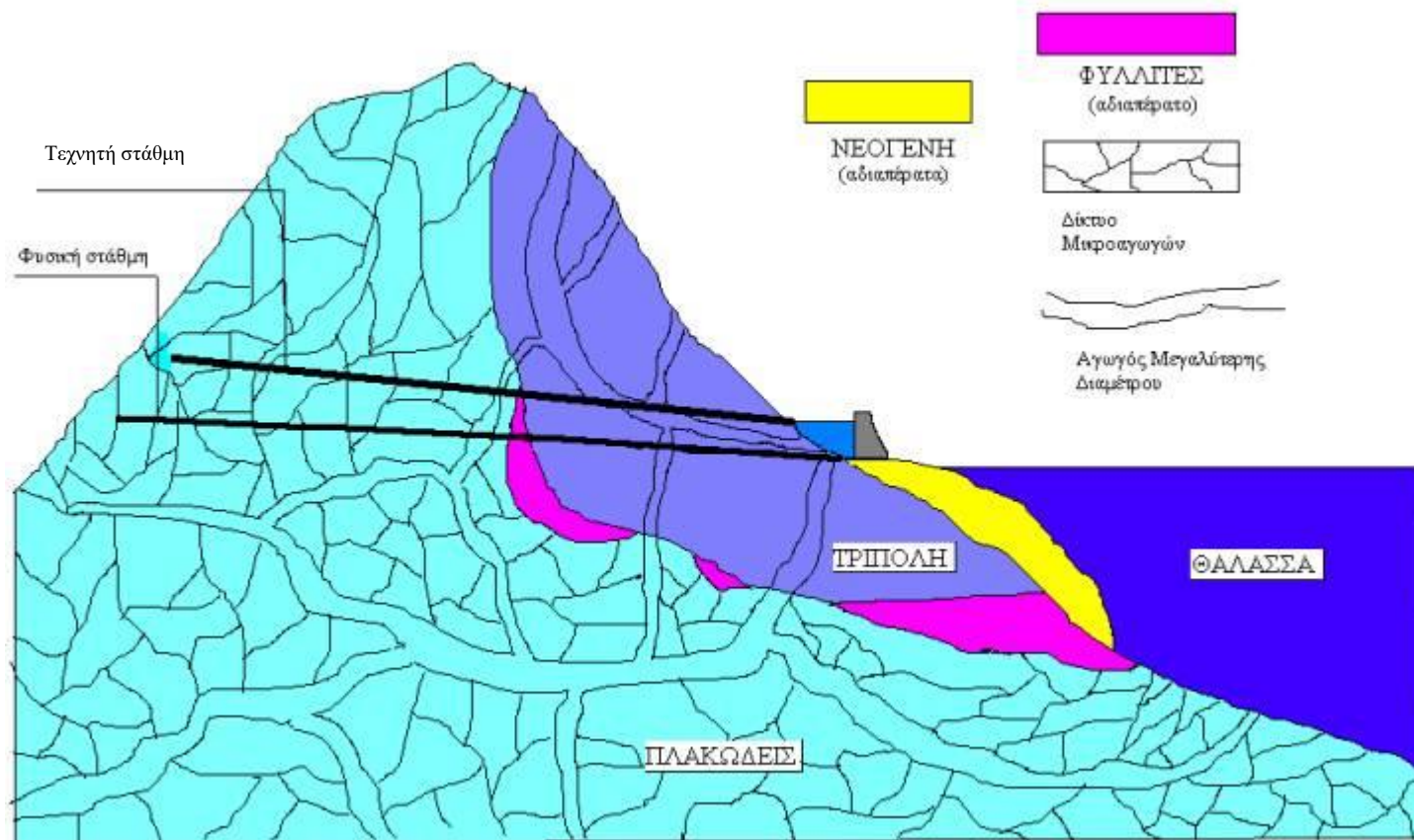
Ανάλυση κόστους συνοδών μελετών για την κατασκευή του φράγματος

Μελέτη	Κόστος σε €
Τοπογραφική	40.000
Γεωλογική	40.000
Γεωτεχνική	200.000
Περιβαλλοντικών επιπτώσεων	60.000



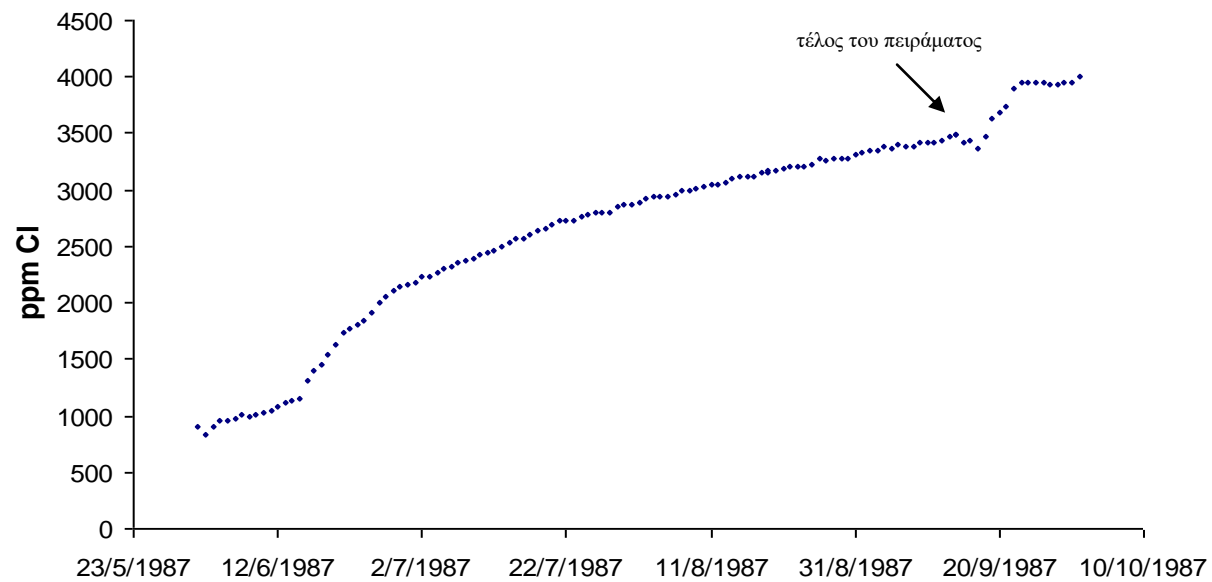
Ηλεκτρομηχανολογική	40.000
Άλλες τυχόν υποστηρικτικές (Υδρολογική, Υδρογεωλογική, Τεύχη δημοπράτησης, εδαφολογική κλπ.)	150.000
<b>Σύνολο</b>	<b>530.000</b>





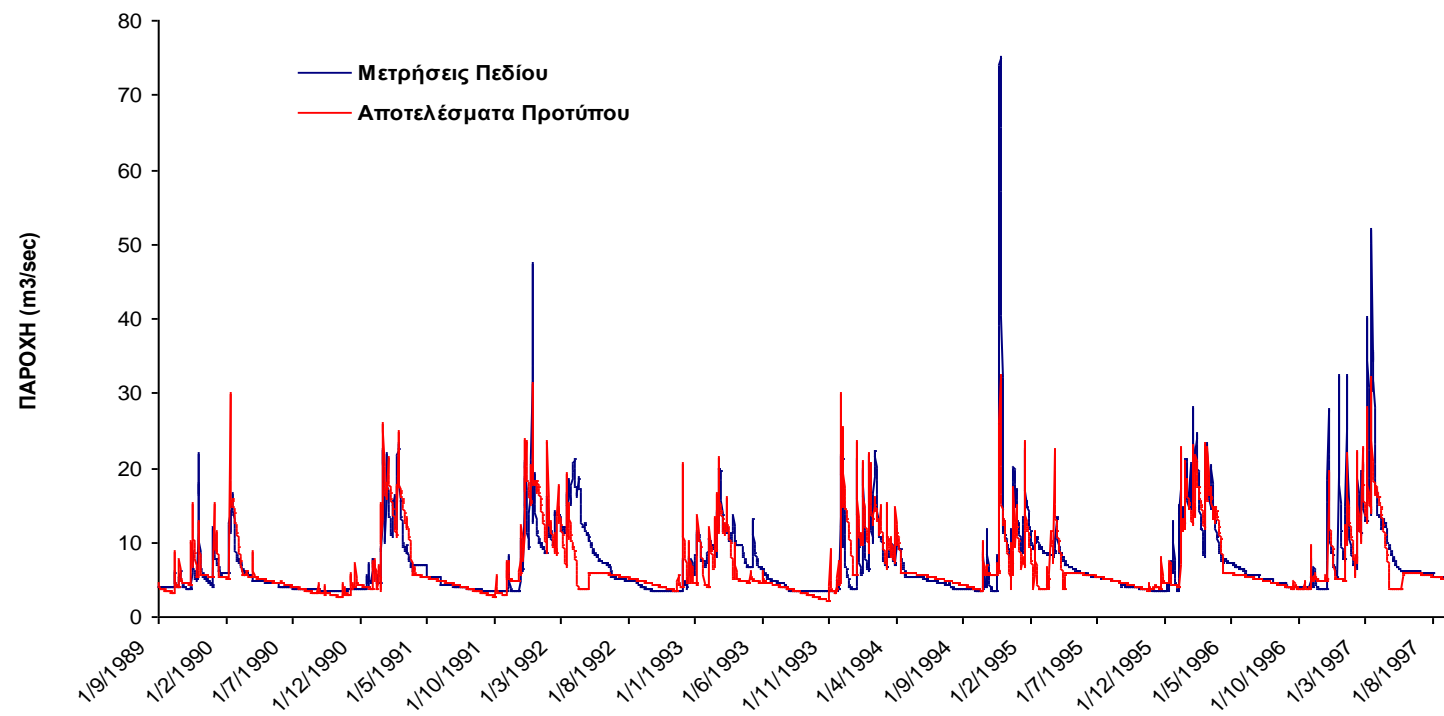
**Σχήμα 1.** Σκαριφηματική παρουσίαση του καρστικού συστήματος του Αλμυρού και της μεταβολής της στάθμης του υδροφόρου λόγω ανύψωσης του σημείου εκροής του νερού.





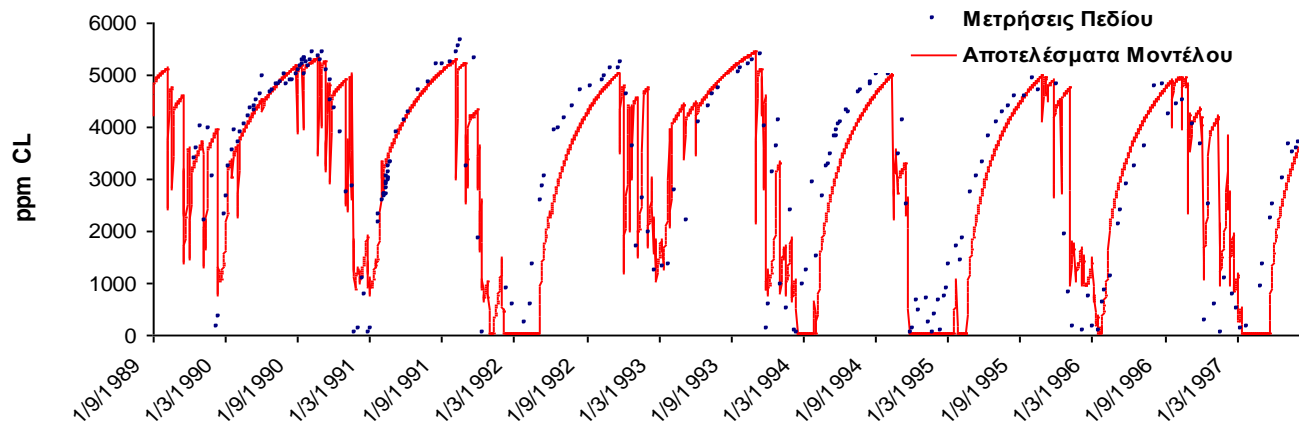
**Σχήμα 2.** Η περιεκτικότητα σε χλωριόντα του νερού της πηγής κατά τη διάρκεια του πειράματος. Το βέλος δείχνει το τέλος του πειράματος. Θα πρέπει να προσεχθεί η απότομη αύξηση της κλίσης της καμπύλης μετά το τέλος του πειράματος





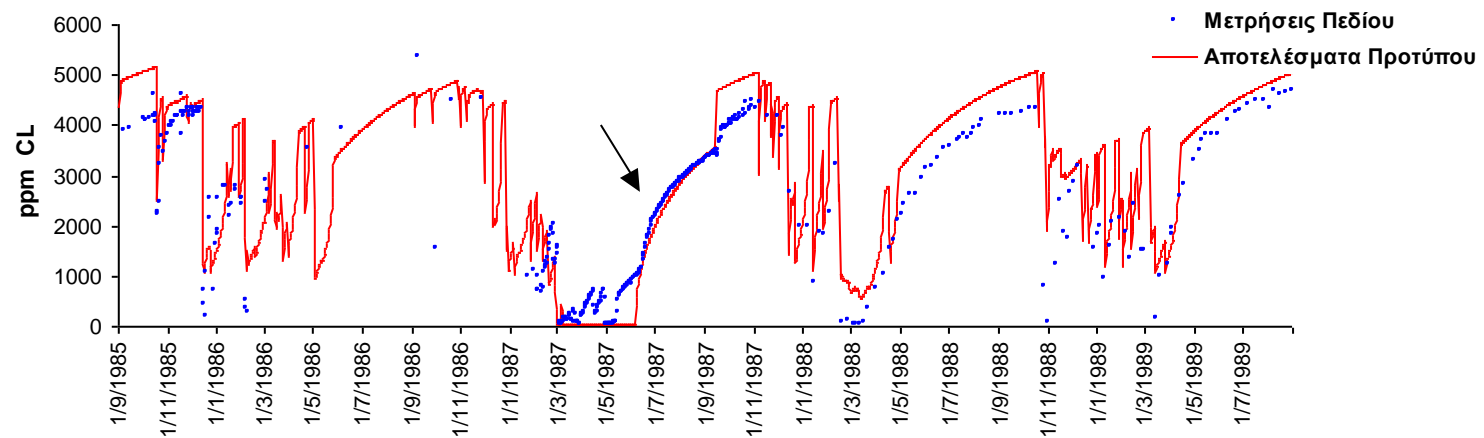
**Σχήμα 3.** Σύγκριση αποτελεσμάτων μαθηματικού μοντέλου (προτύπου) με τις μετρήσεις πεδίου (Υδρογράφημα Πηγής).





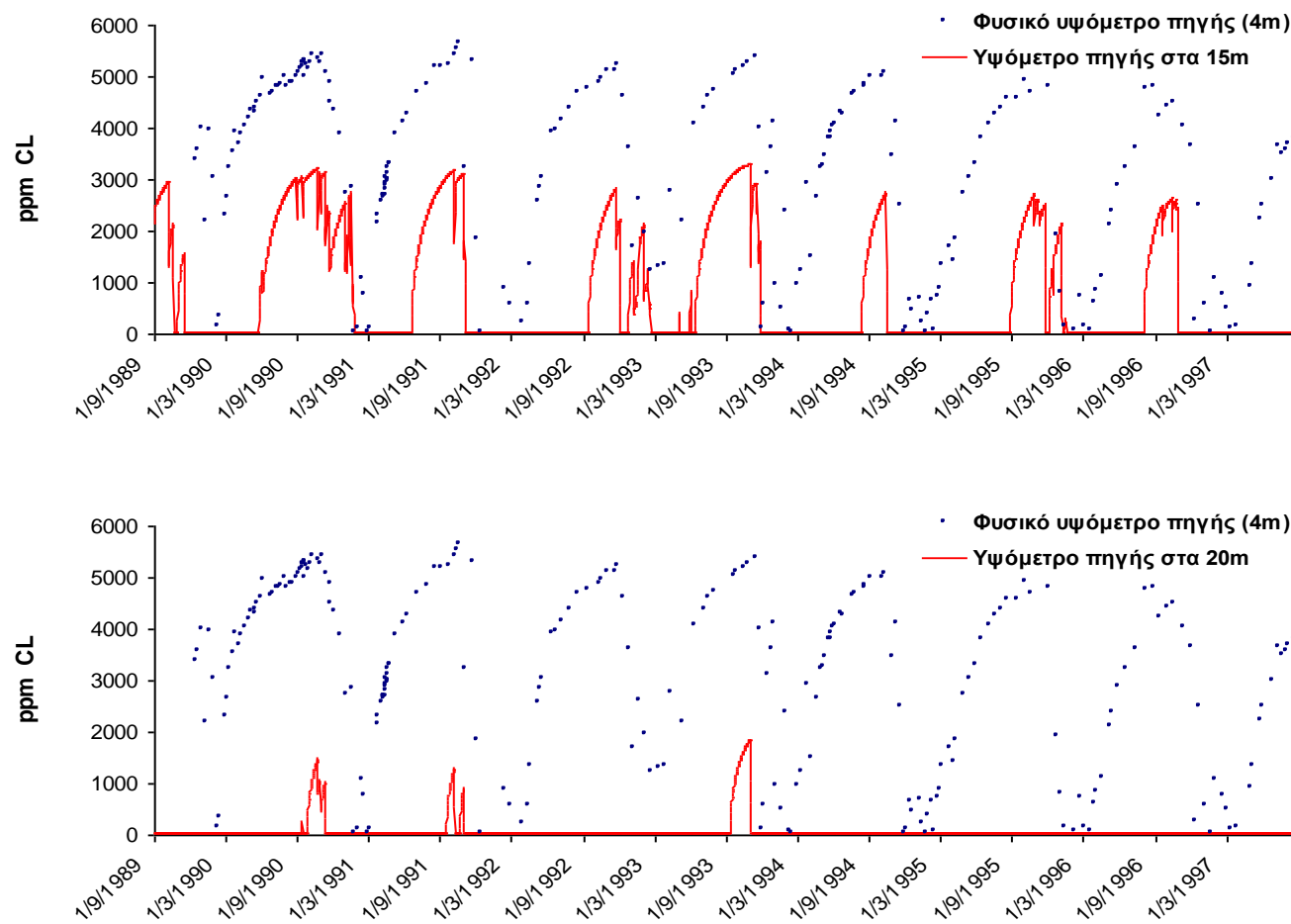
**Σχήμα 4.** Σύγκριση αποτελεσμάτων μαθηματικού μοντέλου με τις μετρήσεις πεδίου (Καμπύλη Χλωριόντων).





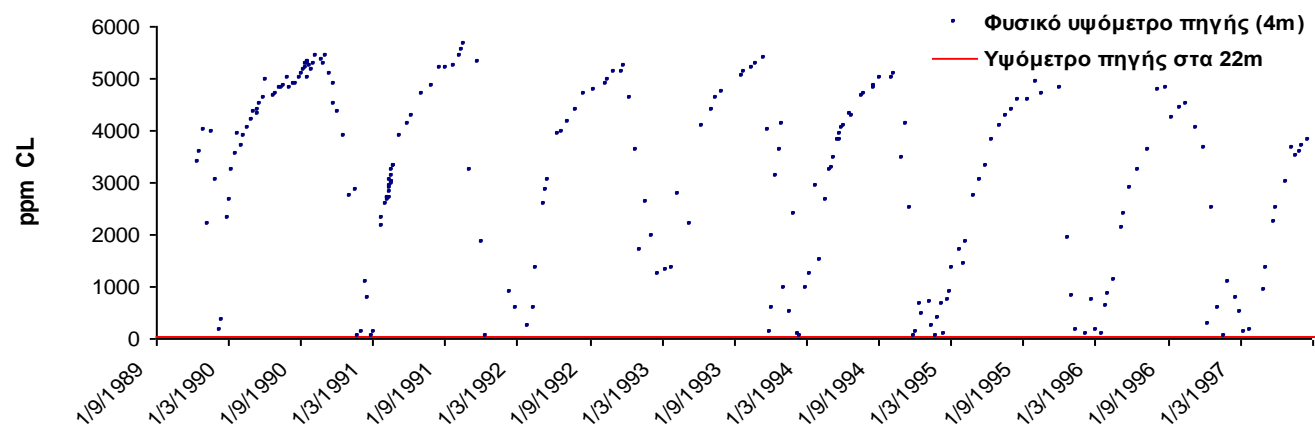
**Σχήμα 5** Σύγκριση της καμπύλης χλωριόντων του μοντέλου με τις πραγματικές μετρήσεις για την περίοδο 1985 –89. Το βέλος δείχνει την περίοδο που έγινε το πείραμα ανύψωσης του σημείου εκροής του νερού





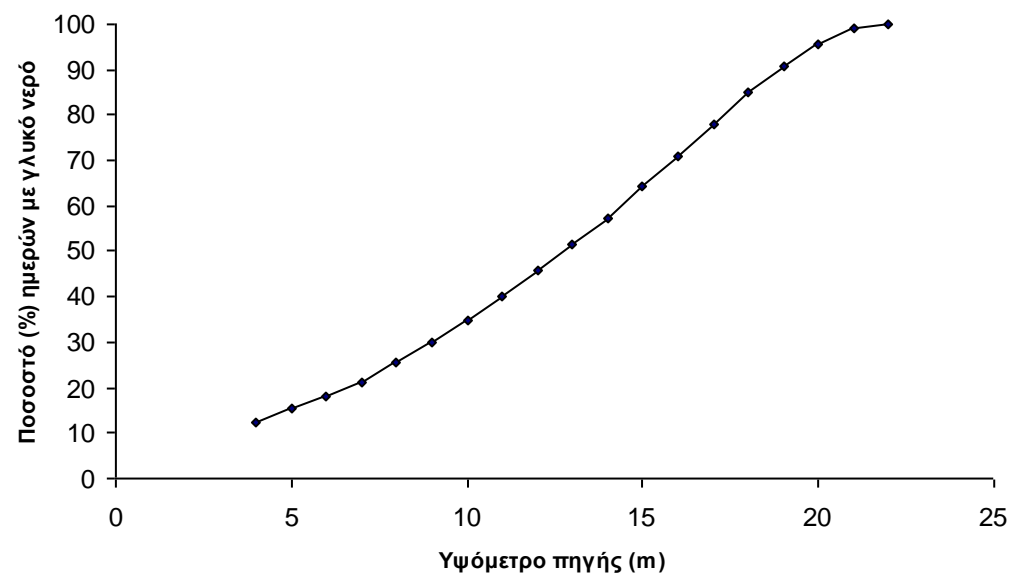
**Σχήμα 6.** Καμπύλες χλωριόντων για διαφορετικά ύψη εκροής του νερού της πηγής σε σύγκριση με τις πραγματικές μετρήσεις στο φυσικό υψόμετρο της πηγής.





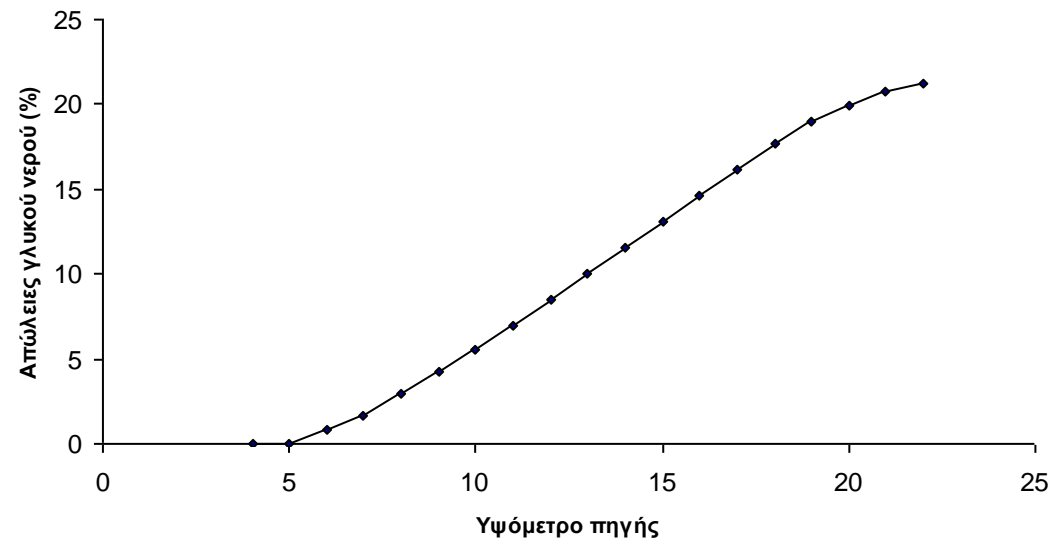
**Σχήμα 7** Σύγκριση της καμπύλης χλωριόντων του νερού της πηγής στα 22m με την αντίστοιχη στο φυσικό υψόμετρο (4m)





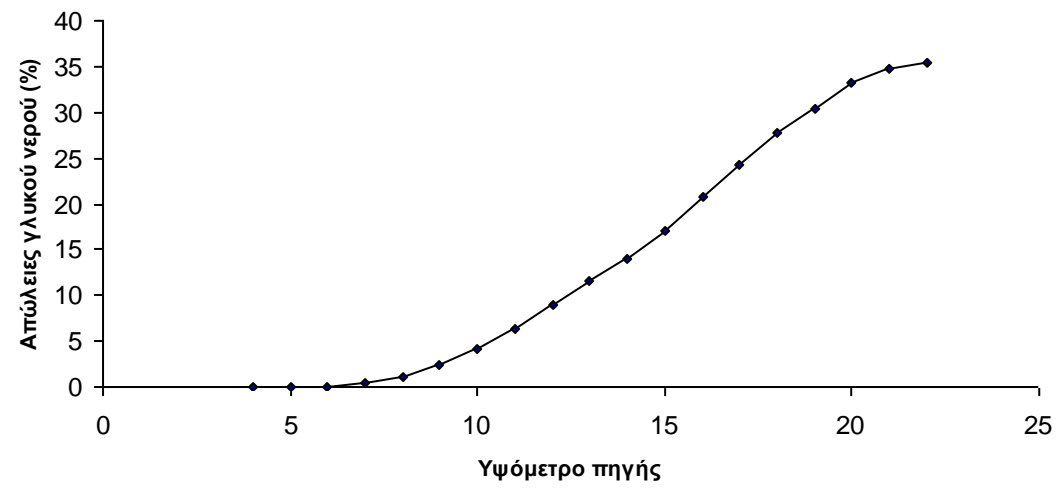
**Σχήμα 8** Ποσοστό ( % ) ημερών με γλυκό νερό συναρτήσει του υψομέτρου της πηγής. Η πηγή στο φυσικό της υψόμετρο βγάζει γλυκό νερό στο 10% των ημερών του έτους ενώ στα 22m βγάζει γλυκό νερό στο 100% των ημερών του έτους.





**Σχήμα 9** Συνολικές απώλειες γλυκού νερού ( % ) συναρτήσει του υψομέτρου της πηγής

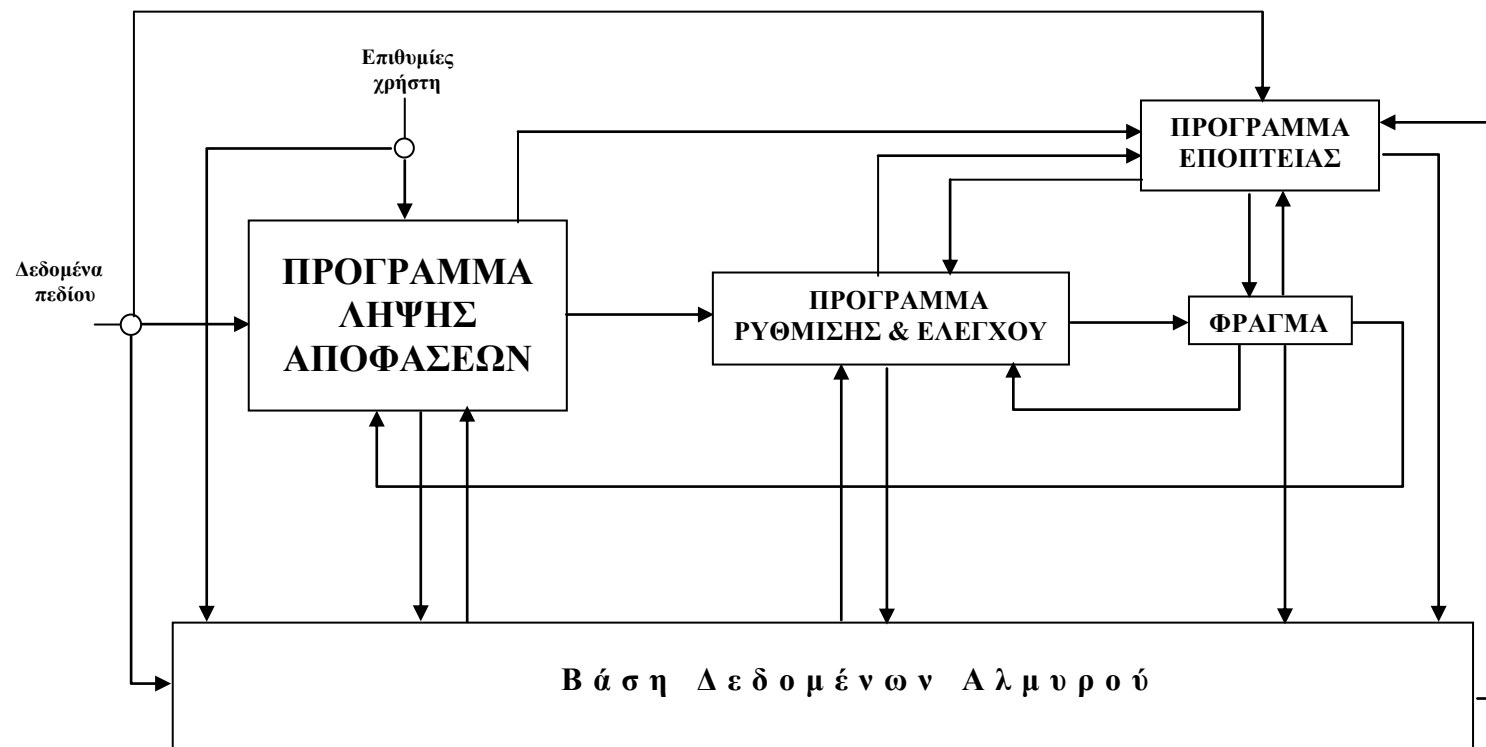




**Σχήμα 10** Απώλειες γλυκού νερού κατά την περίοδο στέρωσης της πηγής ( % ) συναρτήσει του υψομέτρου της



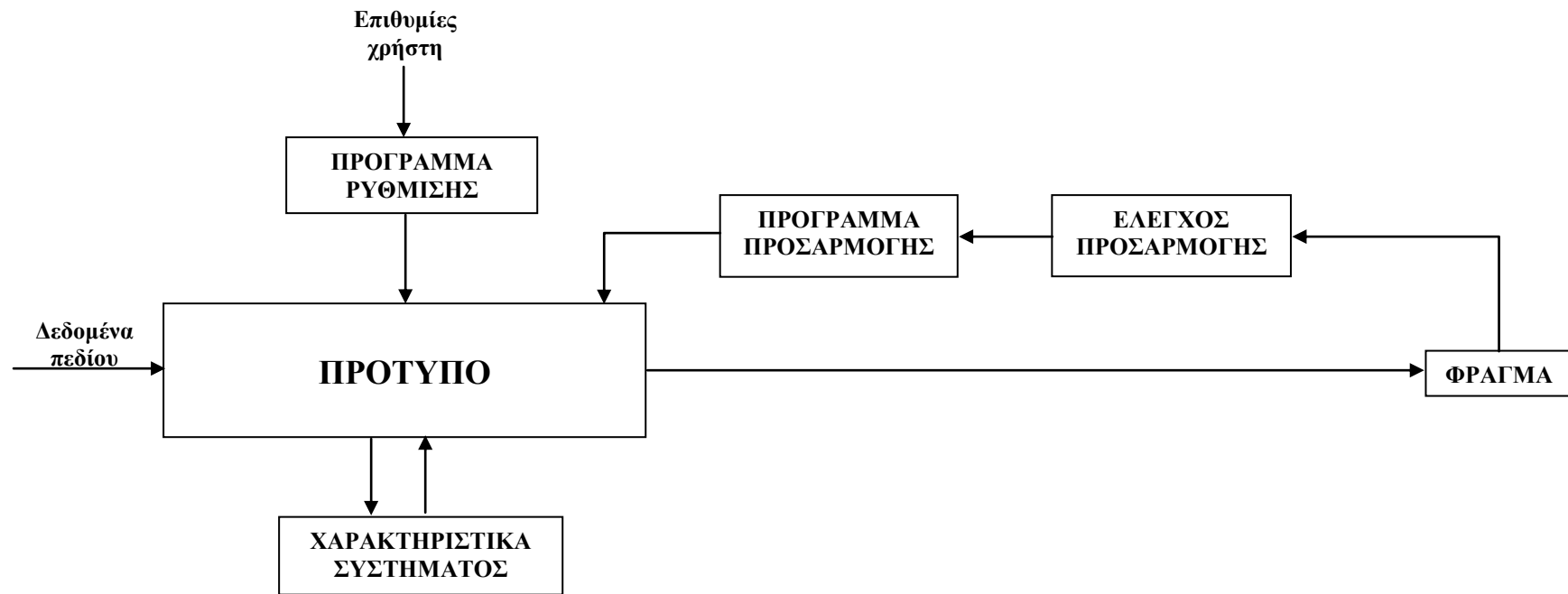
## ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΗΣ ΠΗΓΗΣ ΑΛΜΥΡΟΥ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ ΚΡΗΤΗΣ



**Σχήμα 11** Δομή του συστήματος συνεχούς διαχείρισης της πηγής Αλμυρού Ηρακλείου Κρήτης



## ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΛΗΨΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ



**Σχήμα 12** Δομή του προγράμματος λήψης αποφάσεων