

# **Εκτίμηση Οικολογικής Παροχής στον Ταμιευτήρα του Μαραθώνα. Διαχείριση και Αξιοποίηση.**

Γεωργαλάς Σ.<sup>1</sup>, Μαμάσης Ν.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Αγρονόμος και Τοπογράφος Μηχανικός ΕΜΠ, Μεταπτυχιακός φοιτητής ΔΠΜΣ «Περιβάλλον και ανάπτυξη» ΕΜΠ, Αγησιλάου 9, 16346, Ηλιούπολη, Αθήνα

<sup>2</sup> Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Ηρώων Πολυτεχνείου 5, 157 80, Αθήνα

## **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Η οικολογική παροχή αποτελεί την ποσότητα ροής ύδατος που διατίθεται για την αποκατάσταση και συντήρηση των διεργασιών που συντελούνται σε ένα ποτάμιο σύστημα, προς όφελος της διατήρησης των υδρόβιων οικοσυστημάτων, όταν η ανθρώπινη παρέμβαση οδηγεί στη ραγδαία μεταβολή της υδρολογικής ροής. Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη εκτίμησης της ελάχιστης οικολογικής παροχής που δύναται να διατεθεί από ένα φράγμα, καθώς και οι δυνατότητες διαχείρισης και αξιοποίησης της. Η μελέτη περίπτωσης που επιλέγεται είναι ο ταμιευτήρας του Μαραθώνα στην Ανατολική Αττική, για τον οποίο δεν είχε προβλεφθεί η διάθεση οικολογικής παροχής κατά την κατασκευή του.

## **ABSTRACT**

The environmental water flow represents the amount of water provided within a river system, with a view to maintaining the freshwater ecosystems and their functionality, when human intervention results to the vast regulation of the flow. The need to estimate and provide environmental flow is caused by the growing demand for water resources and the subsequent degradation of the downstream river systems. The purpose of this study is the assessment of the appropriate amount of environmental flow that can be provided from a dam as well as the sustainable management of the proposed flow. The case study, which is selected, is the Marathon dam located in the northeast of Athens in Greece, at the junction of Charadros river and Varnavas stream. During the construction of this dam (1926-1929) there was not any consideration over the need to establish ecological flow.

The methodologies and tools, which are applied to address the environmental flow needs, are based on hydrological indices, using the historical monthly and daily flow records. By taking into account the current functions of the Marathon reservoir and the minimum requirements of the existing legislation, the methodologies used provide an estimation of the minimum required flow needed to preserve the downstream ecosystems.

The second part of the study emphasizes the subject of the environmental flow implementation and discusses suitable proposals for the optimal exploitation of the estimated flow. It is believed that the water flow should be used for the augmentation of the underground resources due to the depletion of the ground-water aquifers. The method used, requires the evaluation of the land topography, the downstream hydrological network and the geological characteristics alongside the stream of the flow, in order to detect the appropriate positions for the effective application of the artificial recharge. At last, it is proposed that the excess of water is channeled to Schinias-Marathon National Park, utilizing the existing water network between the Park and the Marathon dam, thus contributing to the enhance of the water resources and the rejuvenation of the Park.

**ΛΕΞΕΙΣ - ΚΛΕΙΔΙΑ:** Φράγμα Μαραθώνα, οικολογική παροχή, τεχνητός εμπλουτισμός

**KEY WORDS:** Marathonas Dam, Environmental Flow, Artificial Recharge

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η επιβίωση των υδάτινων οικοσυστημάτων και των έμβιων όντων που τα απαρτίζουν είναι συνυφασμένη με την ύπαρξη υδάτων. Το πλέον σημαντικό στοιχείο είναι η διατήρηση του ρυθμού με τον οποίο τροφοδοτούνται τα οικοσυστήματα με νερό, ο οποίος μεταφράζεται στη ροή των ποτάμιων συστημάτων. Σημαντικές διαταραχές της υδρολογικής διαίτας μπορούν να προκαλέσουν καταστροφικά προβλήματα στη μορφή, τη λειτουργία ή ακόμα και την ίδια την ύπαρξη ενός οικοσυστήματος. Ακόμα όμως και μια μικρή μεταβολή ενδέχεται να επηρεάσει τις διεργασίες που συντελούνται σε αυτό.

Η διαταραχή της ροής υδάτων σε ένα οικοσύστημα προκύπτει συχνά από την ανθρώπινη δραστηριότητα. Η διαχείριση του νερού αποτελεί ήδη από την αρχαιότητα ένα μείζον θέμα για τον άνθρωπο, λόγω της αναγκαιότητας του για τη διατήρηση της ζωής και του πεπερασμένου των αποθεμάτων του σε συγκεκριμένες χρονικές περιόδους και γεωγραφικές περιοχές. Η προστασία των διαθέσιμων υδατικών αποθεμάτων προς όφελος των ανθρώπινων δραστηριοτήτων γίνεται με την κατασκευή υδρομαστευτικών έργων και έργων ταμίευσης των επιφανειακών υδάτων, με κυριότερο τα φράγματα. Τα προηγούμενα χρόνια στην κατασκευή των ταμιευτήρων δεν λαμβάνονταν τα απαραίτητα μέτρα ώστε να μην διαταράσσεται η οικολογική ισορροπία του οικοσυστήματος κατάντη αυτών. Σήμερα, έχει εισαχθεί η έννοια της οικολογικής παροχής.

Υπάρχουν πολλοί ορισμοί σχετικά με την οικολογική παροχή. Έχοντας υπ' όψιν τις διεθνείς δράσεις για την επίτευξη οικολογικής παροχής και τη σημασία τους στα κατάντη οικοσυστήματα οι Dyson et al, 2003, υιοθέτησαν μια γενική περιγραφή του όρου ως την ποσότητα νερού που παρέχεται σε ένα ποταμό, υγρότοπο ή παράκτια ζώνη με σκοπό τη διατήρηση των οικοσυστημάτων και των οφελών που απορρέουν από αυτά, σε περιοχές όπου συναντώνται ανταγωνιστικές χρήσεις νερού και ρυθμιζόμενες παροχές. Ένας πλήρης ορισμός που συναντάται συχνά σε επιστημονικά άρθρα είναι ο εξής: Η οικολογική παροχή έχει ως σκοπό να συντηρήσει, να προστατέψει και να αποκαταστήσει τις βιολογικές, γεωμορφολογικές, φυσικές και χημικές διεργασίες που συντελούνται σε ένα ποτάμιο σύστημα, οι οποίες διαμορφώνουν και διατηρούν τα υδρόβια οικοσυστήματα. (Suen 2011)

Τα τελευταία χρόνια οι κυβερνήσεις ανά τον κόσμο έχουν σημειώσει σημαντική πρόοδο στην αναγνώριση της έννοιας της οικολογικής παροχής και την ανάδειξη της σημασίας της για τα οικοσυστήματα. Σύμφωνα με έρευνα που διεξήγαγε η WWF (Le Quesne et al, 2010), σε όλα τα μεγάλα κράτη πλέον συζητείται το θέμα της οικολογικής παροχής και παράλληλα ενσωματώνεται στη χάραξη στρατηγικής σχετικά με τα ζητήματα του νερού. Παράλληλα, έχουν θεσπιστεί νόμοι που καθορίζουν τις μεθόδους εκτίμησής της οικολογικής παροχής, καθώς και την ελάχιστη τιμή της.

Στην Ελλάδα η πρώτη οικολογική παροχή λειτούργησε στο φράγμα του Εύηνου που ολοκληρώθηκε το 2001. Σε επίπεδο νομοθεσίας, σύμφωνα με την ΚΥΑ 49828/2008 (ΦΕΚ 2464 Β'/2008), μέχρι να γίνει καθορισμός των κριτηρίων της ελάχιστης απαιτούμενης οικολογικής παροχής, ως ελάχιστη απαιτούμενη οικολογική παροχή νερού που παραμένει στη φυσική κοίτη υδατορεύματος, πρέπει να εκλαμβάνεται το μεγαλύτερο από τα παρακάτω μεγέθη:

- 30% της μέσης παροχής των θερινών μηνών Ιουνίου-Ιουλίου-Αυγούστου ή
- 50% της μέσης παροχής του μηνός Σεπτεμβρίου ή

- 30 lt/sec σε κάθε περίπτωση.

## **2. ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΗΣ ΠΑΡΟΧΗΣ**

Τα τελευταία 20 χρόνια έχει αναπτυχθεί πληθώρα μεθόδων και προσεγγίσεων για την εκτίμηση της οικολογικής παροχής. Συνολικά έχουν εντοπιστεί έως 207 διαφορετικές τεχνικές σε 44 χώρες (Tharme, 2003). Οι μεθοδολογίες αυτές διαθέτουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, με αποτέλεσμα καμία από αυτές να μη θεωρείται απαραίτητα αποτελεσματικότερη από τις υπόλοιπες. Αντιθέτως, η καταλληλότητά τους εξαρτάται από πολλές παραμέτρους και από τις ιδιαίτερες συνθήκες κάθε μελέτης. Κυριότερες παράμετροι είναι τα χαρακτηριστικά του συστήματος που μελετάται, η πείρα του μελετητή, ο χρόνος, το διαθέσιμο κεφάλαιο, καθώς και το νομοθετικό πλαίσιο που πρέπει να ακολουθεί η μελέτη. (Dyson et al, 2003)

Εκτός από τον μεγάλο αριθμό των χρησιμοποιούμενων μεθόδων, στη διεθνή βιβλιογραφία συναντώνται διαφοροποιήσεις σε σχέση με την κατηγοριοποίηση των μεθόδων. Στην παρούσα μελέτη έχουν επισημανθεί δύο μορφές κατηγοριοποίησης. Η πρώτη υιοθετείται από τον οργανισμό IUCN (International Union for Conservation of Nature and Natural Resources) και η δεύτερη από τον οργανισμό IWMI (International Water Management Institute).

### **2.1 Κατηγοριοποίηση κατά IUCN**

Η κατηγοριοποίηση κατά IUCN προβλέπει τέσσερις κατηγορίες μεθόδων (Dyson et al, 2003). Οι μέθοδοι απαιτούν περισσότερο ή λιγότερο τη συνεργασία ειδικών επιστημόνων και εξετάζουν το σύνολο ή μέρος του συνόλου ενός ποτάμιου συστήματος. Κατά συνέπεια, η συμμετοχή ειδικών και η προσέγγιση των παραμέτρων που αφορούν το εξεταζόμενο σύστημα, αποτελούν βασικά χαρακτηριστικά κάθε μεθόδου και συντελούν στην κατάταξη τους στην αντίστοιχη κατηγορία, ανεξαρτήτως των τύπων δεδομένων που χρησιμοποιούνται. Οι κατηγορίες που διακρίνονται είναι οι εξής:

#### **1. Μέθοδοι Εξέτασης Πινάκων Δεδομένων (look-up tables)**

Οι πίνακες ανεύρεσης απλών δεικτών και δεδομένων αποτελούν παγκοσμίως τη συνηθέστερη μέθοδο που εφαρμόζεται για τον προσδιορισμό του στόχου ως προς την ποτάμια παροχή. Σε αυτές τις μεθόδους γίνεται ουσιαστικά χρήση ιστορικών υδρολογικών στοιχείων του ποταμού που εξετάζεται.

#### **2. Μέθοδοι ανάλυσης (Desk Top Analysis)**

Στην κατηγορία αυτή δίνεται έμφαση στην ανάλυση των δεδομένων όπως οι συνθήκες ροής του ποταμού ή στοιχεία για τους οργανισμούς που διαβιούν στον ποταμό από τις αντίστοιχες μετρήσεις και έρευνες. Οι μέθοδοι αυτές ενδέχεται να χρησιμοποιούν:

- Υδρολογικά δεδομένα
- Υδραυλικά δεδομένα
- Οικολογικά δεδομένα

#### **3. Μέθοδοι ανάλυσης λειτουργίας (functional analysis)**

Η τρίτη κατηγορία μεθόδων περιλαμβάνει την πλήρη κατανόηση της λειτουργικής σύνδεσης μεταξύ όλων των υδρολογικών και οικολογικών χαρακτηριστικών του ποτάμιου συστήματος. Γίνεται υδρολογική ανάλυση και χρησιμοποιούνται υδραυλικά και βιολογικά στοιχεία.

#### 4. Μέθοδοι προσομοίωσης ενδιαιτημάτων

Οι μέθοδοι αυτές αναπτύσσονται για να επιλύσουν το πρόβλημα της σύνδεσης των μεταβολών στην παροχή του ποταμού με τους οργανισμούς και τις ανάγκες τους. Η μέθοδος περιλαμβάνει τη δημιουργία κατάλληλων μοντέλων σε περιβάλλον υπολογιστή. Χρησιμοποιούνται υδρολογικά μοντέλα ειδικά για τη μελέτη των χαμηλών παροχών και εξετάζεται η ανταπόκριση του βιοτόπου στις αλλαγές της ταχύτητας.

##### ➤ Ολιστική προσέγγιση

Τα τελευταία χρόνια όλο και περισσότερες μεθοδολογίες εντάσσουν ολιστικές προσεγγίσεις, στις οποίες αναγνωρίζονται οι ανάγκες του συνόλου του οικοσυστήματος, συμπεριλαμβανομένων των επιφανειακών καθώς και των υπόγειων υδάτων. Γενικότερα οι ολιστικές προσεγγίσεις περιλαμβάνουν τη χρήση ειδικών επιστημόνων και πολλών εμπλεκόμενων εταιρών, με αποτέλεσμα να καλύπτουν όλες τις πιθανές παραμέτρους.

## 2.2 Κατηγοριοποίηση κατά IWMI

Η δεύτερη κατηγοριοποίηση χωρίζει τις μεθόδους σε 4 κατηγορίες με γνώμονα τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται για την ανάλυση και την προσέγγιση που ακολουθείται (Tharme, 2003):

### 1. Υδρολογικές Μέθοδοι

Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει τις κατά τεκμήριο απλούστερες μεθόδους, που βασίζονται κυρίως στη χρήση υδρολογικών δεδομένων.

### 2. Υδραυλικές Μέθοδοι

Οι μέθοδοι αυτές (γνωστές και ως τεχνικές διατήρησης βιοτόπων) αξιοποιούν τις μεταβολές διαφόρων απλών γεωμετρικών υδραυλικών χαρακτηριστικών του ποταμού σε επιλεγμένες διατομές, συσχετίζοντας τα με την παροχή, ώστε να εκτιμηθεί η ελάχιστη απαιτούμενη οικολογική παροχή.

### 3. Μέθοδοι προσομοίωσης ενδιαιτημάτων

Οι τεχνικές αυτές προσεγγίζουν την οικολογική παροχή διαμέσου της λεπτομερούς ανάλυσης της ποσότητας και της καταλληλότητας του φυσικού βιότοπου για τη διαβίωση των οργανισμών, σε διαφορετικές τιμές παροχής του υδατορεύματος. Η έρευνα ενσωματώνει υδρολογικά, υδραυλικά και βιολογικά στοιχεία.

### 4. Μέθοδοι ολιστικής προσέγγισης

Οι ολιστικές προσεγγίσεις προέκυψαν πιο πρόσφατα σε σχέση με τις υπόλοιπες μεθόδους που περιγράφηκαν, από την ανάγκη έμφασης στο σύνολο του ποτάμιου οικοσυστήματος. Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται βασίζονται στις μετρήσεις πεδίου και την εφαρμογή πληθώρας εργαλείων και κατά συνέπεια απαιτούν διεπιστημονικότητα και μεγάλη εμπειρία. Συνοπτικά, η κατηγοριοποίηση των μεθόδων εκτίμησης της οικολογικής παροχής παρουσιάζεται στον Πίνακα 1:

Πίνακας 1:Κατηγοριοποίηση μεθόδων εκτίμησης οικολογικής παροχής και παραδείγματα (Πηγή: <http://www.eflownet.org>, ίδια επεξεργασία).

Οργανισμός	Κατηγοριοποίηση Μεθόδων	Υποκατηγορίες	Παραδείγματα
IUCN (Dyson et al. 2003)	Μέθοδοι	Μέθοδοι Εξέτασης Πινάκων Δεδομένων (look-up tables)	Υδρολογικές(π.χ. Παροχή 95%)
			Οικολογικές (π.χ. Μέθοδος Tennant)
		Μέθοδοι ανάλυσης (Desk Top Analysis)	Υδρολογικές(π.χ. Μέθοδος Richter)
			Υδραυλικές (π.χ. Μέθοδος Βρεχόμενης Περιμέτρου)
	Μέθοδοι ανάλυσης λειτουργίας (functional analysis)	Οικολογικές	
		Μέθοδοι προσομοίωσης ενδιατημάτων	BBM
	Προσεγγίσεις		PHABSIM
			Ομάδα Ειδικών Συμμετοχική ομάδα( Ειδικοί και μη ειδικοί)
IWMI (Tharme, 2003)	Υδρολογικές Μέθοδοι		Μέθοδος Tennant
	Υδραυλικές Μέθοδοι		Μέθοδος Βρεχόμενης Περιμέτρου
	Μέθοδοι προσομοίωσης ενδιατημάτων		IFIM
	Μέθοδοι ολιστικής προσέγγισης		BBM

### 2.3 Υδρολογικές Μέθοδοι

Η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου για την εκτίμηση της οικολογικής παροχής καθορίζεται από την προσέγγιση που επιλέγεται να ακολουθηθεί και σε μεγάλο βαθμό από τα διαθέσιμα δεδομένα. Στην παρούσα εργασία γίνεται μια προσπάθεια εκτίμησης της οικολογικής παροχής με χρήση υδρολογικών μεθόδων. Όπως περιγράφηκε παραπάνω, οι μέθοδοι αυτές δεν απαιτούν υδραυλικά και βιολογικά στοιχεία που είναι δύσκολο να βρεθούν, αλλά μελετάται η εφαρμογή στατιστικών μεθόδων σε υπάρχοντα υδρολογικά δεδομένα. Παρακάτω παρουσιάζονται τα βασικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των κατηγοριών μεθόδων εκτίμησης οικολογικής παροχής κατά Tharme (Πίν. 2).

Πίνακας 2: Βασικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των κατηγοριών μεθόδων οικολογικής παροχής κατά Tharme (Πηγή: <http://www.eflownet.org>, ίδια επεξεργασία).

	Διάρκεια εφαρμογής (Μήνες)	Βασικά Πλεονεκτήματα	Βασικά Μειονεκτήματα
<b>Υδρολογικές Μέθοδοι</b>	½	Χαμηλό κόστος, μεγάλη ταχύτητα	Αδυναμία προσαρμογής στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της κάθε περιοχής, απουσία οικολογικών παραμέτρων
<b>Υδραυλικές Μέθοδοι</b>	2-4	Χαμηλό κόστος, προσαρμογή στα χαρακτηριστικά της κάθε περιοχής	Απουσία οικολογικών παραμέτρων
<b>Μέθοδοι προσομοίωσης ενδιαιτημάτων</b>	6-18	Ενσωμάτωση οικολογικών παραμέτρων	Εκτεταμένη συλλογή δεδομένων και απαίτηση για εξειδικευμένους επιστήμονες, υψηλό κόστος
<b>Μέθοδοι ολιστικής προσέγγισης</b>	12-36	Πληρέστερη μελέτη περίπτωσης	Απαίτηση για υψηλή επιστημονική εξειδίκευση, ιδιαίτερα μεγάλο κόστος, μη λειτουργικές

Οι μέθοδοι που μελετήθηκαν για να εκτιμηθεί η οικολογική παροχή είναι οι ακόλουθες:

#### 1 Μέθοδος Tennant (ή Montana)

Η μέθοδος Tennant (1976) είναι η πιο διαδεδομένη μέθοδος που χρησιμοποιεί ιστορικά υδρολογικά στοιχεία για την εκτίμηση της οικολογικής παροχής. Η μέθοδος είναι αρκετά απλή, καθώς βασίζεται στην υπόθεση η διατήρηση ενός ποσοστού της μέσης ετήσιας παροχής (ΜΕΠ) του ποταμού είναι αρκετό για να μην υποβαθμιστεί το ποτάμιο οικοσύστημα.

Ο Tennant εξέτασε το πλάτος, την ταχύτητα ροής και το βάθος σε διατομές 11 ποταμών της Αμερικής και κατέληξε στο συμπέρασμα πως η διατήρηση ενός ποσοστού μικρότερου από το 10% της ΜΕΠ θα συντελέσει στη μακροπρόθεσμη επιβίωση των ενδιαιτημάτων αλλά θα έχει μακροπρόθεσμα αρνητικές επιπτώσεις. Το 30% της μέσης ετήσιας παροχής όμως προσφέρει ικανοποιητικές συνθήκες ροής για τους υδρόβιους οργανισμούς.

#### 2. Μέθοδος Ελάχιστης Ετήσιας Παροχής

Ορίζεται ως ελάχιστη παροχή που θα εφαρμόζεται καθ' όλη τη διάρκεια του έτους η μέση μηνιαία παροχή του ξηρότερου μήνα.

#### 3. Καμπύλη διάρκειας παροχής

Μια ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα μέθοδος είναι αυτή της καμπύλης διάρκειας παροχής. Η καμπύλη κατασκευάζεται λαμβάνοντας υπ' όψιν το σύνολο των τιμών της παροχής στη διάρκεια του εξεταζόμενου χρονικού διαστήματος, είτε το φαινόμενο εξετάζεται σε μηνιαία βάση ή ημερήσια. Η παροχή που εκλέγεται ως ελάχιστη απαιτούμενη ισούται με την τιμή που εμφανίζεται σε ένα επιθυμητό ποσοστό- κατώφλι του χρόνου (συνήθως 90% ή 95%). Το αποτέλεσμα της μεθόδου αυτής αναμένεται να είναι αντιπροσωπευτικό της συμπεριφοράς του ποτάμιου συστήματος που εξετάζεται.

### 3. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΗΣ ΠΑΡΟΧΗΣ

Στο παρόν κείμενο αξιοποιούνται τα δεδομένα που διατίθενται από την ΕΥΔΑΠ, σχετικά με το ημερήσιο υδατικό ισοζύγιο του ταμιευτήρα του Μαραθώνα για τα υδρολογικά έτη 2002-2003 έως 2012-2013, με σκοπό την εκτίμηση της ελάχιστης απαιτούμενης οικολογικής παροχής. Παράλληλα, χρησιμοποιούνται και τα αποτελέσματα των προσομοιωμένων μέσω μηνιαίων εισροών προς τον ταμιευτήρα του Μαραθώνα από αντίστοιχη εργασία του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου για τα υδρολογικά έτη 1994-1995 έως 2001-2002, ώστε να γίνει εκτίμηση των δυνατοτήτων παροχής του ποτάμιου συστήματος για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα.

Οι εισροές στον ταμιευτήρα προέρχονται από την ανάντη λεκάνη απορροής, τη βροχόπτωση και τη σήραγγα μεταφοράς νερού (σήραγγα Κιούρκων) από την τεχνητή λίμνη Υλίκη. Οι απολήψεις από τη λεκάνη αποτελούν τις εκροές για την ύδρευση της Αθήνας, μέσω της σήραγγας του Μπογιατίου. Οι απώλειες της λίμνης οφείλονται στην εξάτμιση από την ελεύθερη επιφάνεια του νερού. Κατά τα εξεταζόμενα έτη, δεν έχει καταγραφεί υπερχειλίση του ταμιευτήρα. Η μέθοδος που ακολουθείται για τον υπολογισμό των εισροών στον ταμιευτήρα από τη λεκάνη απορροής είναι η μέθοδος προσομοίωσης λειτουργίας ταμιευτήρα. Η γενική εξίσωση που περιγράφει τη λειτουργία ενός ταμιευτήρα με χρονικό βήμα τον μήνα είναι η παρακάτω:

$$V_i = V_{i-1} + Q_i - E_i - A_i - Y_i$$

Όπου:

- $V_i, V_{i-1}$ : ο αποθηκευμένος όγκος στον ταμιευτήρα τους μήνες  $i$  και  $i-1$  αντίστοιχα,  
 $Q_i$ : η εισροή στον ταμιευτήρα τον μήνα  $i$   
 $E_i$ : η καθαρή απώλεια του ταμιευτήρα τον μήνα  $i$   
 $A_i$ : η πραγματική απόληψη κατά τον μήνα  $i$   
 $Y_i$ : η υπερχειλίση κατά τον μήνα  $i$

#### 1. Μέθοδος Tennant (ή Montana)

Οι ετήσιες παροχές για τα υδρολογικά έτη 2002-2003 έως 2012-2013 παρουσιάζονται στον πίνακα 3:

Πίνακας 3: Ετήσιες παροχές λεκάνης απορροής για τα υδρολογικά έτη 2002-2003 έως 2012-2013.

Υδρολογικό Έτος	Παροχή (hm <sup>3</sup> )
2002-2003	61,84
2003-2004	24,76
2004-2005	15,79
2005-2006	19,15
2006-2007	8,05
2007-2008	5,37
2008-2009	14,43
2009-2010	15,34
2010-2011	10,41
2011-2012	6,05
2012-2013	30,16

Η μέση ετήσια παροχή αντιστοιχεί σε 19,21hm<sup>3</sup>.

Οι τιμές που λαμβάνονται συνήθως όπου εφαρμόζεται η συγκεκριμένη μέθοδος κυμαίνονται μεταξύ 2,5%-10% της ΜΕΠ.

- $Q_{2,5} = 0,48 \text{ hm}^3/\text{έτος} = 0,04 \text{ hm}^3/\text{μήνα} = 1300 \text{ m}^3/\text{ημέρα} (2,5\%)$
- $Q_5 = 0,96 \text{ hm}^3/\text{έτος} = 0,08 \text{ hm}^3/\text{μήνα} = 2700 \text{ m}^3/\text{ημέρα} (5\%)$
- $Q_{10} = 1,9 \text{ hm}^3/\text{έτος} = 0,16 \text{ hm}^3/\text{μήνα} = 5200 \text{ m}^3/\text{ημέρα} (10\%)$

Συμπεριλαμβάνοντας και τις προσομοιωμένες εισροές των ετών 1994-2002 προκύπτει ο Πίνακας 4.

Η μέση ετήσια παροχή αντιστοιχεί σε 21,38hm<sup>3</sup>.

Πίνακας 4: Ετήσιες παροχές λεκάνης απορροής για τα υδρολογικά έτη 1994-1995 έως 2012-2013.

Υδρολογικό Έτος	Παροχή (hm <sup>3</sup> )
1994-1995	27,40
1995-1996	17,35
1996-1997	16,20
1997-1998	43,91
1998-1999	23,59
1999-2000	5,52
2000-2001	2,69
2001-2002	58,16
2002-2003	61,84
2003-2004	24,76
2004-2005	15,79
2005-2006	19,15
2006-2007	8,05
2007-2008	5,37
2008-2009	14,43
2009-2010	15,34
2010-2011	10,41
2011-2012	6,05
2012-2013	30,16

Αντίστοιχα, προκύπτει η ελάχιστη απαιτούμενη οικολογική παροχή για κάθε εξεταζόμενο ποσοστό.

- $Q_{2,5} = 0,53 \text{ hm}^3/\text{έτος} = 0,04 \text{ hm}^3/\text{μήνα} = 1500 \text{ m}^3/\text{ημέρα} (2,5\%)$
- $Q_5 = 1,07 \text{ hm}^3/\text{έτος} = 0,09 \text{ hm}^3/\text{μήνα} = 3000 \text{ m}^3/\text{ημέρα} (5\%)$
- $Q_{10} = 2,14 \text{ hm}^3/\text{έτος} = 0,18 \text{ hm}^3/\text{μήνα} = 6000 \text{ m}^3/\text{ημέρα} (10\%)$

## 2. Μέθοδος Ελάχιστης Ετήσιας Παροχής

Ορίζεται ως ελάχιστη παροχή καθ' όλη τη διάρκεια του έτους η μέση μηνιαία παροχή του ξηρότερου μήνα (Πιν.5).

Πίνακας 5: Παροχή ξηρότερου μήνα ανά υδρολογικό έτος.

Ξηρότερος μήνας ανά υδρολογικό έτος	Μηνιαία παροχή (hm <sup>3</sup> )
31/8/2002	2,862
30/9/2003	1,902
31/7/2004	0,095
31/8/2005	0,098
31/8/2006	0,001
30/9/2007	0
31/5/2008	0,140
31/12/2008	0,517
30/9/2010	0,534
30/9/2011	0,065
30/6/2012	0,004
30/9/2013	0

Η ελάχιστη ετήσια παροχή προκύπτει ως η μέση τιμή των παραπάνω τιμών και αντιστοιχεί σε: **0,52 hm<sup>3</sup>/μήνα**. Η υψηλή αυτή τιμή προκύπτει κυρίως από 2 υδρολογικά έτη τα οποία εμφανίζουν ιδιαίτερα υψηλά επίπεδα ελάχιστων μηνιαίων παροχών. Εντούτοις τα περισσότερα έτη η ελάχιστη παροχή είναι πολύ μικρότερη από την τιμή που υπολογίστηκε, με αποτέλεσμα το νούμερο που προέκυψε να μην αποδίδει αποτελεσματικά τα χαρακτηριστικά της συγκεκριμένης υδρολογικής λεκάνης.

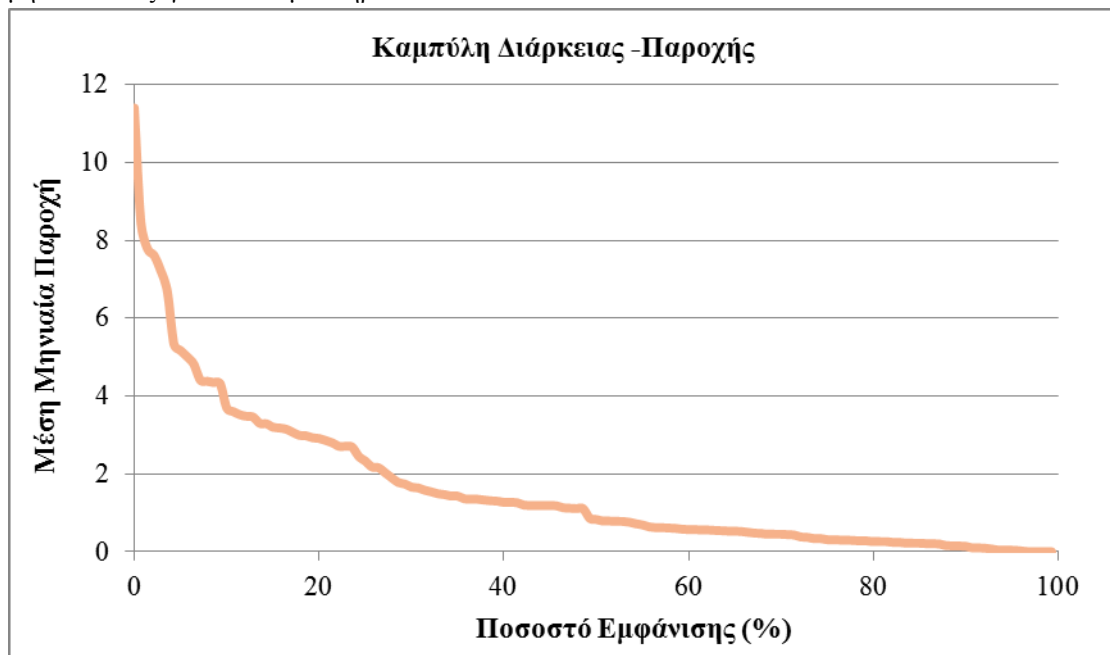
Για τα υδρολογικά έτη 1994-2002 προκύπτει ότι κατά τη διάρκεια του ξηρότερου μήνα, που είναι ο Αύγουστος κάθε έτους, οι εισροές προς τον ταμιευτήρα είναι μηδενικές. Το γεγονός αυτό καταδεικνύει ότι η περίοδος αυτή ήταν ξηρότερη από την επόμενη δεκαετία, με αποτέλεσμα να μειώνεται αισθητά η τιμή της ελάχιστης ετήσιας παροχής.

$$\text{➤ } Q_{\text{ελ}} = 0,1 \text{ hm}^3 / \text{μήνα} = 3300 \text{ m}^3 / \text{ημέρα}$$

### 3. Καμπύλη Διάρκειας-Παροχής

Η μέθοδος της καμπύλης διάρκειας παροχής εφαρμόστηκε για τα ημερήσια δεδομένα που διατίθενται, καθώς και σε μηνιαία βάση, με την προσθήκη των ημερήσιων παροχών προς τον ταμιευτήρα στη διάρκεια του μήνα. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν παρουσιάζονται στην Εικόνα 1.

Εικόνα 1: Καμπύλη Διάρκειας-Παροχής για τα υδρολογικά έτη 2002-2003 έως 2012-2013, βάσει του μηνιαίου ισοζυγίου του ταμιευτήρα.



Βάσει του ημερήσιου ισοζυγίου:

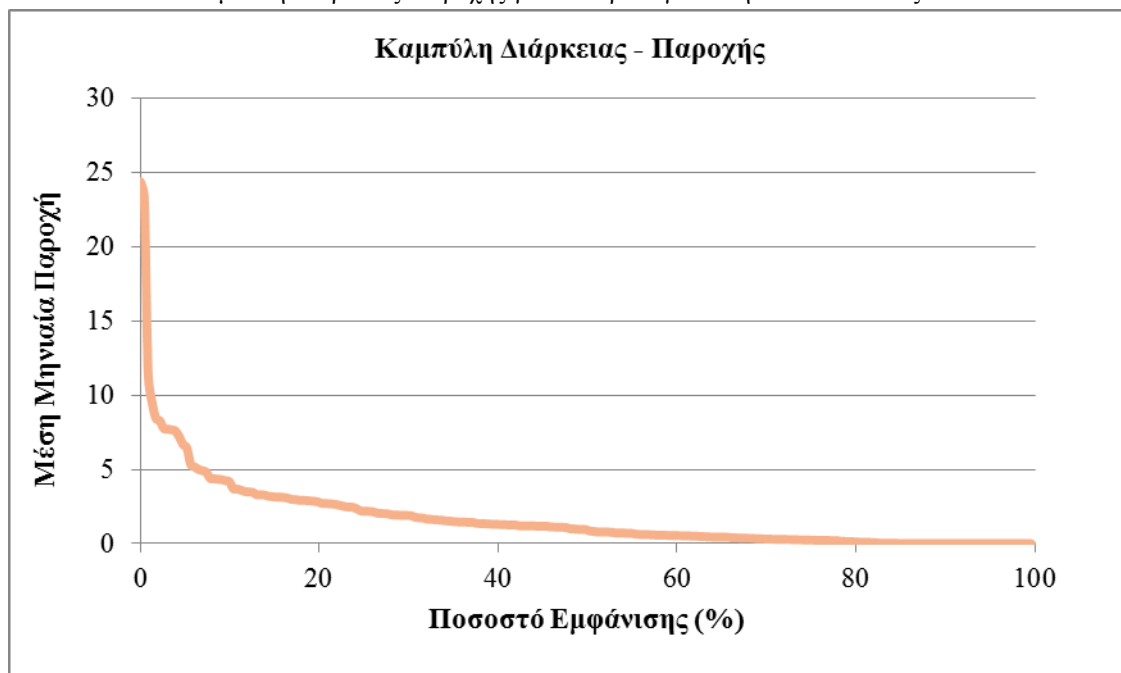
$$Q_{95} = Q_{90} = 0 \text{ hm}^3/\text{ημέρα}$$

Βάσει του μηνιαίου ισοζυγίου:

$$Q_{95} = 0,04 \text{ hm}^3/\text{μήνα}$$

$$Q_{90} = 0,14 \text{ hm}^3/\text{μήνα}$$

Εικόνα 2: Καμπύλη Διάρκειας-Παροχής για τα υδρολογικά έτη 1994-1995 έως 2012-2013.



Βάσει του μηνιαίου ισοζυγίου:

$$Q_{95} = Q_{90} = 0 \text{ hm}^3/\text{μήνα}$$

Όπου:

$Q_{95}$ , η τιμή από την οποία η παροχή είναι ίση ή μεγαλύτερη στο 95% του χρόνου.

$Q_{90}$ , η τιμή από την οποία η παροχή είναι ίση ή μεγαλύτερη στο 90% του χρόνου.

#### 4. Επιταγές νομοθετικού πλαισίου

##### Για τα υδρολογικά έτη 2002-2013

- Η μέση παροχή των θερινών μηνών κάθε υδρολογικού έτους προκύπτει ως η μέση τιμή των μηνιαίων παροχών Ιουνίου – Ιουλίου – Αυγούστου.

$Q_{\theta} = 0,73 \text{ hm}^3$ . Το 30% αυτής αντιστοιχεί σε  $0,22 \text{ hm}^3/\text{μήνα} = 7000 \text{ m}^3/\text{ημέρα}$

- Το 50% της μέσης παροχής του μηνός Σεπτεμβρίου αντιστοιχεί σε:  $0,35 \text{ hm}^3/\text{μήνα}$
- Τα 30lt/sec αντιστοιχούν σε:  $0,08 \text{ hm}^3/\text{μήνα} = 2592 \text{ m}^3/\text{ημέρα}$

##### Για τα υδρολογικά έτη 1994-2013

- Η μέση παροχή των θερινών μηνών κάθε υδρολογικού έτους προκύπτει ως η μέση τιμή των μηνιαίων παροχών Ιουνίου – Ιουλίου – Αυγούστου.

$Q_{\theta} = 1 \text{ hm}^3$ . Το 30% αυτής αντιστοιχεί σε  $0,3 \text{ hm}^3/\text{μήνα} = 10000 \text{ m}^3/\text{ημέρα}$

- Το 50% της μέσης παροχής του μηνός Σεπτεμβρίου αντιστοιχεί σε:  
 $Q_{\Sigma} = 0,55 \text{ hm}^3/\text{μήνα}$
- Τα 30lt/sec αντιστοιχούν σε:  $0,08 \text{ hm}^3/\text{μήνα} = 2592 \text{ m}^3/\text{ημέρα}$

#### 5. Συνεκτίμηση αποτελεσμάτων

Πίνακας 6: Μέση παροχή ανά μήνα για όλη την εξεταζόμενη περίοδο.

Μήνας	Παροχή( $\text{hm}^3$ )
Σεπτέμβριος	1,11
Οκτώβριος	1,52
Νοέμβριος	1,34
Δεκέμβριος	2,28
Ιανουάριος	2,13
Φεβρουάριος	3,47
Μάρτιος	2,32
Απρίλιος	1,52
Μάιος	1,11
Ιούνιος	1,08
Ιούλιος	1,03
Αύγουστος	0,87

Η παροχή του ποτάμιου συστήματος που εξετάζεται παρουσιάζει μεγάλη διακύμανση κατά τη διάρκεια του έτους (όπως συμβαίνει σε όλη την Ελλάδα) με αρκετά λιγότερες απορροές κατά τη διάρκεια του θέρους. Εντούτοις, η μέση μηνιαία παροχή κατά τους μήνες αυτούς δεν είναι μηδενική, αλλά κυμαίνεται γύρω από το  $1 \text{ hm}^3$  παρά το γεγονός ότι τις περισσότερες ημέρες η παροχή είναι μηδέν. Το τελευταίο έχει ως αποτέλεσμα τις μηδενικές τιμές της καμπύλης διάρκειας παροχής με βάση το ημερήσιο ισοζύγιο για πιθανότητα υπέρβασης 90%

και 95%. Αποδεικνύεται κατά συνέπεια, ότι το ποτάμι είναι ξερό σε πολλές ημέρες του έτους αλλά σε επίπεδο μηνός οι εισροές προς τον ταμιευτήρα του Μαραθώνα δεν είναι μικρότερες από 0,9 hm<sup>3</sup> (Πίν. 6).

Πίνακας 7: Πίνακας εκτιμήσεων μηνιαίας οικολογικής παροχής (hm<sup>3</sup>).

Μέθοδος	Περίοδος 2002-2013	Περίοδος 1994-2013
<b>2,5% ΜΕΠ</b>	0,04	0,04
<b>5% ΜΕΠ</b>	0,08	0,09
<b>10% ΜΕΠ</b>	0,16	0,18
<b>Μ.Ο. Ελάχιστης Ετήσιας Παροχής</b>	0,52	0,1
<b>Παροχή 95% (μηνιαίο ισοζύγιο)</b>	0,04	0
<b>Παροχή 95% (ημερήσιο ισοζύγιο)</b>	0	0
<b>Παροχή 90% (μηνιαίο ισοζύγιο)</b>	0,14	0
<b>Παροχή 90% (ημερήσιο ισοζύγιο)</b>	0	0
<b>30% μέσης παροχής θέρους</b>	0,3	0,22
<b>50% μέσης παροχής Σεπτεμβρίου</b>	0,55	0,35
<b>30 lt/sec</b>	0,08	0,08

Από τα παραπάνω αποτελέσματα, καταδεικνύεται ότι οι περισσότερες μέθοδοι δίνουν εκτιμήσεις παροχής, οι οποίες δεν απέχουν σημαντικά από την ελάχιστη απαιτούμενη οικολογική παροχή, βάσει της ισχύουσας νομοθεσίας. Πιο συγκεκριμένα, η μέθοδος της ΜΕΠ δείχνει ότι ποσοστά μεγαλύτερα ή ίσα του 5% κυμαίνονται στα επιτρεπτά όρια, βάσει της νομοθεσίας. Παρόμοια είναι και τα αποτελέσματα της καμπύλης διάρκειας – παροχής, με την παροχή του 90% να μην είναι αποδεκτή.

Αντιθέτως, η μέθοδος της ελάχιστης ετήσιας παροχής και του 50% της μέσης παροχής του Σεπτεμβρίου είναι αυτές οι οποίες αποκλίνουν σημαντικά και δίνουν πολύ υψηλές τιμές παροχής. Αρκετά υψηλά κυμαίνονται και οι εκτιμήσεις του 30% των θερινών εισροών στον ταμιευτήρα, ένα ποσοστό που άλλωστε είναι ιδιαίτερα μεγάλο και ανεβάζει τα επίπεδα της οικολογικής παροχής, εξαιτίας των σημαντικών εισροών από τη λεκάνη απορροής κατά την τελευταία δεκαετία. Παράλληλα, έχει ιδιαίτερη σημασία το γεγονός πως οι προσομοιωμένες εισροές των προηγούμενων ετών δεν ανταποκρίνονται στα επίπεδα της τελευταίων χρόνων. Ιδιαίτερα οι θερινές εισροές είναι πολύ μικρότερες, ενώ το διάστημα Ιούλιος-Αύγουστος είναι μηδενικές με εξαίρεση τα έτη 1998 και 1999.

Συνολικά, διαφαίνεται ότι το ποτάμιο σύστημα που τροφοδοτεί τον ταμιευτήρα του Μαραθώνα έχει ένα ικανοποιητικό υδατικό δυναμικό, το οποίο δεν μεταβάλλεται ριζικά τους θερινούς μήνες σε αντίθεση με τους περισσότερους ποταμούς στην Ελλάδα, τουλάχιστον με τα υδρολογικά δεδομένα της τελευταίας δεκαετίας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα μια εκτίμηση με βάση τις θερινές παροχές να είναι αρκετά υπερτιμημένη. Αντίθετα, τα αποτελέσματα της Μέσης Ετήσιας Παροχής και της καμπύλης διάρκειας- παροχής, δείχνουν να προσομοιάζουν τα χαρακτηριστικά του ποταμού σε ικανοποιητικό βαθμό. Τα 30lt/s παροχής που απαιτούνται ως ελάχιστη τιμή από την εθνική νομοθεσία, αποτελούν ένα πολύ μικρό ποσοστό των εισροών από την ανάντη λεκάνη απορροής.

Η τελική επιλογή της οικολογικής παροχής εξαρτάται τόσο από τις δυνατότητες παροχής της λεκάνης κατάντη του ταμιευτήρα, όσο και από τις ανάγκες του κατάντη οικοσυστήματος, τη λειτουργία του ταμιευτήρα και τα σχέδια αξιοποίησης των υδάτων από την ΕΥΔΑΠ. Ο ταμιευτήρας του Μαραθώνα αποτελεί ουσιαστικά μια δεξαμενή που δέχεται εισροές υδάτων

από τους ταμιευτήρες Μόρνου, Ευήνου και Υλίκης και τροφοδοτεί την πρωτεύουσα. Οι ποσότητες των υδάτων αυτών είναι εξαιρετικά μεγαλύτερες από τις εισροές που έχει η λεκάνη από τον Χάραδρο και το ρέμα της Σταμάτας. Συνεπώς, η λειτουργία του ταμιευτήρα και η υδροδότηση της Αθήνας εξαρτώνται σε πολύ μικρό ποσοστό από τις εισροές της λεκάνης, οπότε κρίνεται ασφαλές να επιλεγεί μια υψηλή τιμή οικολογικής παροχής.

Αντίθετα, αν θεωρηθεί ότι εξετάζεται ένα ξεχωριστό οικοσύστημα, χωρίς να υπολογίζονται οι τεράστιες ποσότητες υδάτων που εισρέουν καθημερινά από τα υδραγωγεία προς τον Μαραθώνα, τότε οι μέθοδοι που εξετάστηκαν καταδεικνύουν πως μπορεί να αναζητηθεί μια λύση που να κυμαίνεται πάνω από τα 30lt/s και έως τα επίπεδα των 0,20 hm<sup>3</sup>/έτος που αποτελεί μια μεγάλη παροχή για τα χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου συστήματος. Οι ποσότητες αυτές αντιστοιχούν σε 1-2,5 hm<sup>3</sup> οικολογικής παροχής ανά έτος.

Συνεπώς, βάσει της συνεκτίμησης των παραπάνω θεωρήσεων και έχοντας υπόψη τις οικολογικές παροχές που έχουν υιοθετηθεί σε αντίστοιχα τεχνικά έργα στην Ελλάδα, η τελική ποσότητα της οικολογικής παροχής εκτιμάται στα επίπεδα των 2 hm<sup>3</sup> ανά έτος.

#### **4. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΗΣ ΠΑΡΟΧΗΣ**

Το δεύτερο στάδιο της παρούσας εργασίας περιλαμβάνει τη μελέτη της διαχείρισης της προτεινόμενης οικολογικής παροχής. Στο στάδιο αυτό μελετήθηκε το κατόντη του φράγματος του Μαραθώνα οικοσύστημα και διαμορφώθηκαν προτάσεις αξιοποίησης της οικολογικής παροχής.

##### **4.1 Υπάρχουσα κατάσταση κατόντη φράγματος Μαραθώνα**

###### 1. Ο κάμπος του Μαραθώνα

Ακολουθώντας τη φυσική διαδρομή του νερού, διακρίνεται έντονη φυσική βλάστηση, καθώς και μεγάλες εκτάσεις θαμνώδους βλάστησης στους γύρω λόφους. Η πεδιάδα του Μαραθώνα που ακολουθεί χαρακτηρίζεται από την έντονη αγροτική ανάπτυξη και τα τελευταία χρόνια την οικιστική ανάπτυξη. Το μεγαλύτερο μέρος της πεδιάδας καλύπτεται από καλλιέργειες, με την καλλιεργήσιμη έκταση να φτάνει τα 17 km<sup>2</sup>.

Οι κυριότερες χρήσεις γης που επικρατούν στην πεδιάδα του Μαραθώνα καθώς και οι μεταβολές που έχουν προκύψει στη διάρκεια του τελευταίου αιώνα παρουσιάζονται στη συγκριτική μελέτη των Ξανθάκη και Ξανθόπουλου (2007) με βάση αεροφωτογραφίες της ΓΥΣ, δορυφορικές εικόνες και χάρτες χρήσεων γης περασμένων ετών. Σύμφωνα με τη μελέτη, υπάρχει μια σημαντική διαφοροποίηση των χρήσεων γης ανάμεσα στα έτη 1880 και 1988, με τις τάσεις μεταβολών που έχουν δημιουργηθεί να διατηρούνται και κατά την επόμενη 12ετία μέχρι το έτος 2000. Στα τέλη του 19ου αιώνα τα δάση και οι ημιφυσικές περιοχές κάλυπταν τη συντριπτική πλειοψηφία της πεδιάδας του Μαραθώνα, ενώ το δεύτερο μεγαλύτερο ποσοστό κάλυψης γης κατείχαν οι υγρότοποι. 100 χρόνια μετά υπάρχει μια ραγδαία μείωση της δασικής έκτασης και λιγότερο των υγροτόπων, προς όφελος της οικιστικής ανάπτυξης και των καλλιεργειών.

Αισθητή αύξηση εμφανίζουν ιδιαίτερα οι γεωργικές εκτάσεις της περιοχής του Μαραθώνα στη διάρκεια του προηγούμενου αιώνα, παρά την ανασχεση της ροής του Χάραδρου και των πολυπληθών ρεμάτων της περιοχής. Οι αυξημένες ανάγκες των καλλιεργειών σε νερό έχουν ως αποτέλεσμα την πλήρη εκμετάλλευση των μικρών ποσοτήτων απορροής προς την πεδιάδα και την υπεράντληση από τον υδροφόρο ορίζοντα. Σύμφωνα με μελέτες που έχουν γίνει, ο υπόγειος υδροφόρος ορίζοντας στον όρμο του Μαραθώνα αντιμετωπίζει προβλήματα λόγω της υπεράντλησης των υδάτων του από τους αγρότες της περιοχής. Η απότομη αυτή αύξηση των αναγκών σε νερό πρωτίστως για την άρδευση των καλλιεργειών και δευτερευόντως για

την ύδρευση των κατοίκων, σε συνδυασμό με την κατασκευή και λειτουργία του φράγματος την ίδια χρονική περίοδο έχει συντελέσει στη μείωση της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα με ενδεχόμενες καταστροφικές συνέπειες για την περιοχή.

Στην περιοχή του Μαραθώνα εμφανίζονται δύο μεγάλοι υδροφορείς λόγω της ύπαρξης έντονα καρστικοποιημένων πετρωμάτων (Μάρμαρα ΒΑ Αττικής). Ο πρώτος υδροφορέας βρίσκεται στο δυτικό τμήμα του Μαραθώνα προς τη Νέα Μάκρη και τροφοδοτείται με ροή νερού από την Πεντέλη. Ακολουθώντας αναπτύσσεται προς την περιοχή των πηγών του Κ. Σουλίου (Γεωργιοπούλου, 2007). Ο δεύτερος μεγάλος υδροφορέας βρίσκεται κάτω από την πεδιάδα του Μαραθώνα και είναι σε επαφή με τη θάλασσα. Στην περιοχή αυτή επικρατεί η γεωργική χρήση, με αποτέλεσμα το υπόγειο νερό να αντλείται για τις ανάγκες της άρδευσης.

Στην πεδιάδα του Μαραθώνα έχει εντοπιστεί το πρόβλημα της υφαλμύρισης των υπόγειων νερών και έχει αποτυπωθεί σε πλήθος μελετών. Στην υδρογεωλογική μελέτη του Υπουργείου Γεωργίας για τον κάμπο του Μαραθώνα, καταγράφονται υψηλές τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας κατά την εξέταση της υδροχημικής σύστασης του νερού των πηγών του Κ. Σουλίου, που εμπλουτίζει τους καρστικούς υδροφορείς των μαρμάρων του Μαραθώνα. Οι τιμές αυτές αποδίδονται στην υφαλμύριση του νερού. Μια από τις υποθέσεις που γίνονται είναι πως η εμφάνιση των αλάτων οφείλεται στην επέκταση των μαρμάρων του Μαραθώνα προς νότο, κάτω από τις αλλουβιακές αποθέσεις του κάμπου του Μαραθώνα, όπου έρχονται σε επαφή με το θαλασσινό νερό. Τα μάρμαρα σε εκείνη την περιοχή παρουσιάζουν έντονες ενδείξεις κυκλοφορίας θαλασσινού νερού, όπως είναι η ύπαρξη υψηλών συγκεντρώσεων χλωριόντων στις προσχώσεις μεταξύ των μαρμάρων και της θάλασσας. (Σταυρόπουλος και Τζίμα, 2001).

Στα ίδια συμπεράσματα καταλήγουν οι έρευνες του ΙΓΜΕ και του ερευνητή Σμυρνιαώτη Χ. για τον κάμπο του Μαραθώνα (Γεωργιοπούλου, 2007). Ο υπόγειος υδροφορέας στην περιοχή της πεδιάδας παρουσιάζει σημαντική επιβάρυνση εξαιτίας της υπεράντλησης και της ανεξέλεγκτης χρήσης φυτοφαρμάκων και λιπασμάτων. Παράλληλα, εμφανίζονται υψηλές επίπεδα χλωρίου που επιβεβαιώνουν την υπόθεση της υφαλμύρισης.

## 2. Εθνικό Πάρκο Σχοινιά Μαραθώνα

Το Εθνικό Πάρκο Σχοινιά Μαραθώνα στα ανατολικά της πεδιάδας του Μαραθώνα αποτελεί ένα τοπίο μοναδικού αισθητικού κάλλους και οικολογικής σημασίας. Το Πάρκο αποτελεί μέρος του οικοσυστήματος της περιοχής του Μαραθώνα, την οποία χαρακτηρίζει και αναδεικνύει αποτελώντας σημείο αναφοράς.

Τα προηγούμενα χρόνια ο ανθρώπινος παράγοντας συνετέλεσε στην υποβάθμιση του Πάρκου και κυρίως του υγροτόπου, στερώντας πολύτιμους υδατικούς πόρους. Κατασκευάστηκαν αντιπλημμυρικά έργα, με σκοπό την αποστράγγιση του Πάρκου και δόθηκαν εκτάσεις προς καλλιέργεια. Παράλληλα, ευνοήθηκε η οικιστική ανάπτυξη. Η ανακήρυξη της περιοχής σε Εθνικό Πάρκο το 2000 και η ίδρυση του Φορέα Διαχείρισης ήρθαν για να βελτιώσουν τη δυσχερή κατάσταση, στην οποία είχε περιέλθει ο υγρότοπος. Ταυτόχρονα με την κατασκευή του κωπηλατοδρομίου ενόψει των Ολυμπιακών Αγώνων της Αθήνας το 2004 επιχειρήθηκε η αναβάθμιση της περιοχής και η επίλυση των περιβαλλοντικών της προβλημάτων.

Εντούτοις τα τελευταία χρόνια η περιοχή υποβαθμίστηκε, καθώς το Πάρκο εμφανίζει σημάδια εγκατάλειψης και παρακμής. Από υδρολογικής πλευράς, δεν έχουν επιλυθεί τα προβλήματα που σχετίζονται με την διαχείριση του νερού στο Πάρκο. Το αποτέλεσμα είναι να μην ανανεώνεται επαρκώς το νερό τόσο στον υγρότοπο, όσο και στο κωπηλατοδρόμιο. Τα νερά λιμνάζουν και δημιουργούνται εστίες περιβαλλοντικής υποβάθμισης.

Παρά το γεγονός ότι δεν υπάρχει άμεση σύνδεση της λεκάνης της λίμνης του Μαραθώνα με τις πηγές που τροφοδοτούν το Πάρκο με νερό, θεωρείται επιτακτική η προσπάθεια αναζωογόνησης του Πάρκου με νερό από την οικολογική παροχή.

#### **4.2 Προτεινόμενες Λύσεις Αξιοποίησης Οικολογικής Παροχής**

Οι λύσεις που προτείνονται για την βέλτιστη αξιοποίηση της οικολογικής παροχής είναι οι εξής:

**A) Τεχνητός εμπλουτισμός υπόγειου υδροφορέα με σκοπό τη διατήρηση και ενίσχυση των υπόγειων υδατικών αποθεμάτων.**

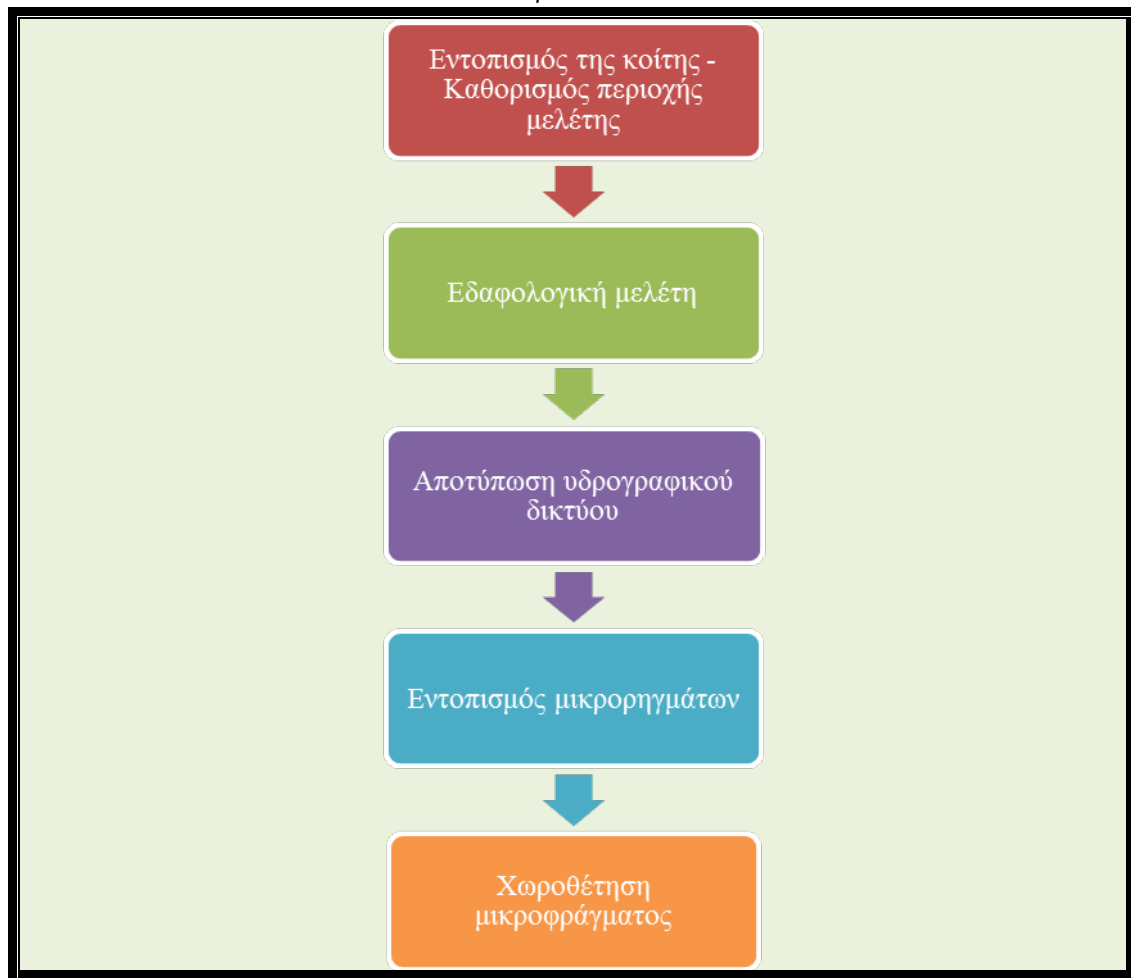
**B) Διοχέτευση νερού προς το Εθνικό Πάρκο Σχινιά Μαραθώνα με σκοπό τη συνεχή ανανέωση των υδάτων και την εν γένει αναβάθμιση του Πάρκου.**

##### 4.2.1 Τεχνητός Εμπλουτισμός Υδροφόρου Ορίζοντα

Η τροφοδότηση του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα πέρα από τις διαδικασίες του φυσικού εμπλουτισμού, γίνεται με την εφαρμογή των μεθόδων του τεχνητού εμπλουτισμού. Μία αρκετά διαδεδομένη μέθοδος τεχνητού εμπλουτισμού στην Ελλάδα είναι η κατασκευή μικροφραγμάτων, τα οποία λειτουργούν ως μικρές λεκάνες διήθησης. Με τα μικροφράγματα γίνεται κατακράτηση του νερού (εν προκειμένω της οικολογικής ροής), με σκοπό να αυξηθεί ο ρυθμός κατείσδυσης των υδάτων προς τα υπόγεια υδάτινα στρώματα.

Η διαδικασία επιλογής των κατάλληλων θέσεων για την κατασκευή μικροφραγμάτων κατά μήκος της ροής του υδατορεύματος της οικολογικής παροχής, απαιτεί τη μελέτη της γεωμορφολογίας της περιοχής ενδιαφέροντος, καθώς και των υδρογεωλογικών της χαρακτηριστικών. Στην παρούσα εργασία γίνεται διερεύνηση της δυνατότητας τεχνητού εμπλουτισμού των υπόγειων υδροφορέων της περιοχής του Μαραθώνα, μέσω του προσδιορισμού των κατάλληλων θέσεων για τη δημιουργία μικροφραγμάτων. Η μελέτη αξιοποιεί πληθώρα δεδομένων, όπως ισοϋψείς καμπύλες, δορυφορικές εικόνες και γεωλογικούς χάρτες, καθώς και τις δυνατότητες πακέτων λογισμικών όπως το ArcGIS για την αλληλεπίθεση των διαφόρων επιπέδων πληροφορίας. Οι τελικές προτεινόμενες θέσεις λαμβάνουν υπόψη τα γεωμορφολογικά, γεωλογικά και υδρογραφικά στοιχεία, όπως παρουσιάζεται στο παρακάτω διάγραμμα ροής (Εικ. 3):

Εικόνα 3: Διάγραμμα ροής μελέτης τεχνητού εμπλουτισμού υδροφόρου ορίζοντα στην περιοχή του Μαραθώνα.

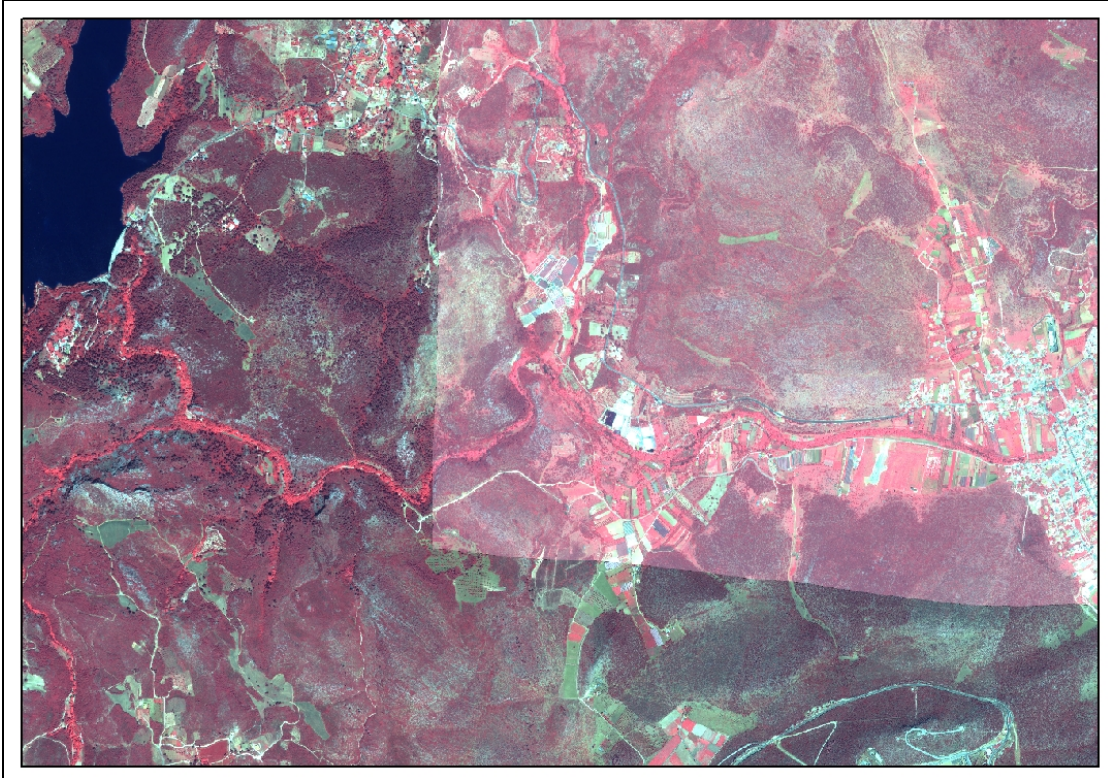


➤ Εντοπισμός της κοίτης - Καθορισμός περιοχής μελέτης

Το πρώτο στάδιο της μελέτης αφορούσε τον ακριβή εντοπισμό του υδατορεύματος του ποταμού της Οινόης. Παρά το γεγονός ότι ο ποταμός δεν μεταφέρει νερό, είναι εφικτός ο εντοπισμός του, καθώς η κοίτη είναι πλήρως διαμορφωμένη από το σημείο κατασκευής του φράγματος μέχρι και τις εκβολές του στον όρμο του Μαραθώνα. Παράλληλα, η κοίτη χαρακτηρίζεται από την έντονη φυτοκάλυψη, καθώς σε αυτήν καταλήγουν οι απορροές από τα εδάφη που την περικλείουν. Για αυτό το λόγο επιλέχθηκε η χρήση δορυφορικών εικόνων με δημιουργία κατάλληλων έγχρωμων σύνθετων που ενισχύουν την φωτοερμηνευτική ικανότητα.

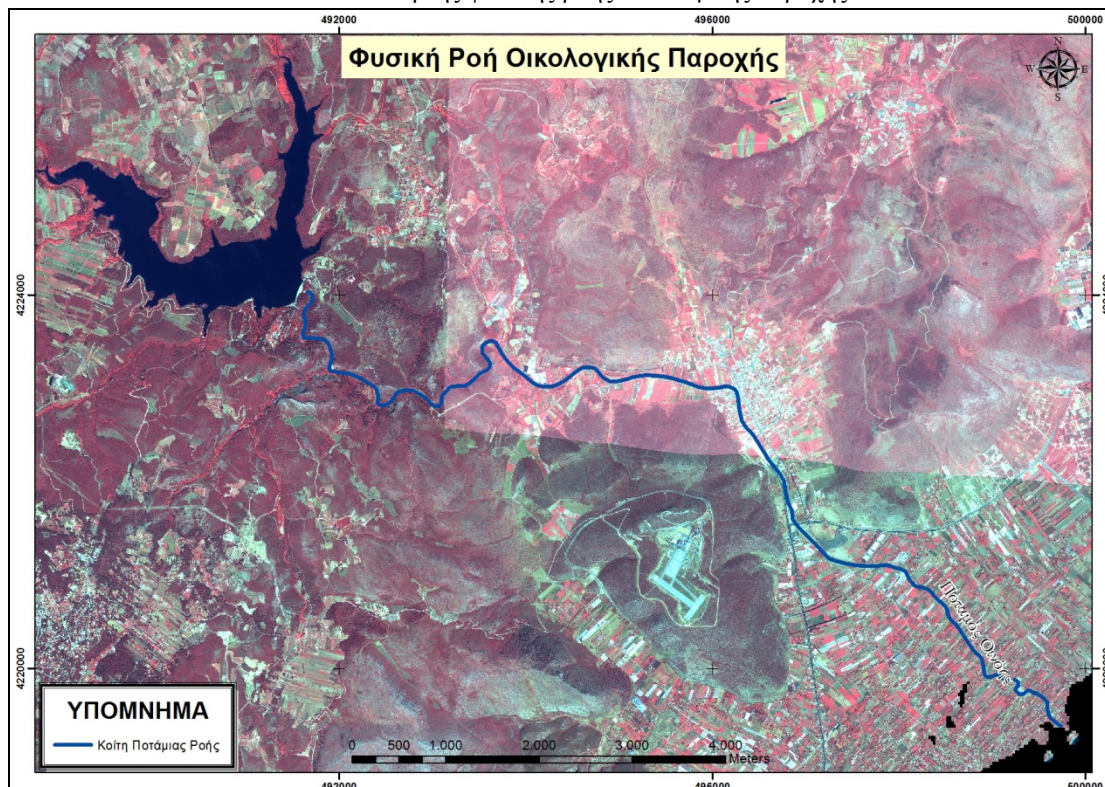
Οι 5 δορυφορικές εικόνες που χρησιμοποιούνται αποτελούν μέρος του αρχείου της ΕΥΔΑΠ και διατέθηκαν για την εκπόνηση της παρούσας εργασίας. Οι εικόνες έχουν ληφθεί από τον δορυφορικό τηλεπισκοπικό δέκτη Ikonos και έχουν χωρική διακριτική ικανότητα 1m (μέγεθος pixel). Το έγχρωμο σύνθετο που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του υδατορεύματος είναι το 432-RGB. Η εφαρμογή του παραπάνω έγχρωμου σύνθετου έχει ως στόχο την απεικόνιση με κόκκινο χρώμα των αντικειμένων που ανακλούν το εγγύς υπέρυθρο, όπως είναι η υγιής βλάστηση, ώστε αυτά να είναι εύκολα αναγνωρίσιμα στην εικόνα (Εικ. 4).

Εικόνα 4: Ανίχνευση κοίτης ποταμού Οινόης με χρήση έγχρωμου σύνθετου 432-RGB.



Συνολικά, η ταυτοποίηση και ψηφιοποίηση της κοίτης του Οινόη απαιτούσε τη συνένωση των δορυφορικών εικόνων σε ένα ενιαίο μωσαϊκό. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιήθηκε στο λογισμικό ERDAS μέσω της εντολής Mosaic. Ακολούθως η τελική εικόνα εισήχθη στο περιβάλλον του λογισμικού ArcGIS 10, όπου ψηφιοποιήθηκε η διεύθυνση της ποτάμιας ροής. Το αποτέλεσμα φαίνεται στην Εικόνα 5.

Εικόνα 5: Χάρτης φυσικής ροής οικολογικής παροχής.



➤ Εδαφολογική μελέτη

Ένας από τους βασικότερους παράγοντες της επιλογής της κατάλληλης θέσης για την επιτυχή εφαρμογή του τεχνητού εμπλουτισμού, αποτελεί η γεωλογική δομή της περιοχής και ιδιαίτερα τα υδρογεωλογικά της χαρακτηριστικά. Η αναγνώριση των πετρωμάτων που καλύπτουν την περιοχή μελέτης πραγματοποιήθηκε βάσει του γεωλογικού χάρτη του ΙΓΜΕ σε κλίμακα 1:50000. (φύλλο Κηφισιάς)

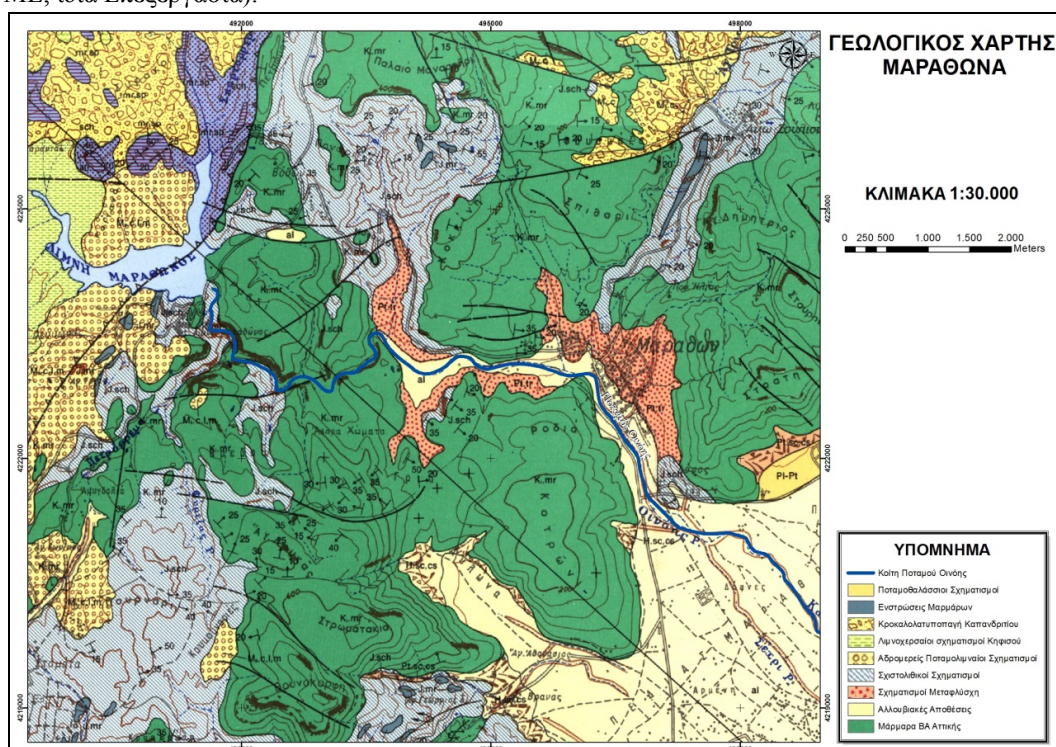
Η γεωλογική ενότητα Αλμυροπόταμου Αττικής περιλαμβάνει τους σχηματισμούς που απαντώνται στη Νότια Εύβοια και στην Αττική στην περιοχή κατάντη του φράγματος του Μαραθώνα. Οι σχηματισμοί που εντοπίζονται διακρίνονται από πάνω προς τα κάτω ως εξής: (χάρτης ΙΓΜΕ, φύλλο Κηφισιάς)

- Σχηματισμοί μεταφλύσχη με ενστρώσεις μαρμάρων
- Μάρμαρα ΒΑ Αττικής
- Σχιστολιθικοί σχηματισμοί με ενστρώσεις μαρμάρων και σερπεντινιτών
- Μάρμαρα Πεντέλης

Από τους παραπάνω σχηματισμούς τα μάρμαρα Πεντέλης και ΒΑ Αττικής χαρακτηρίζονται από μέτρια έως υψηλή υδροπερατότητα, καθώς διαθέτουν υψηλό δευτερογενές πορώδες που οφείλεται στην έντονη καρστικοποίησή τους. Αντίθετα, οι σχιστολιθικοί σχηματισμοί είναι υδατοστεγείς.

Στους μεταλλικούς σχηματισμούς της περιοχής διακρίνονται κυρίως αλλουβιακές αποθέσεις που εντάσσονται στο ολόκαινο. Οι αποθέσεις αυτές εντοπίζονται σε όλη την έκταση της πεδιάδας του Μαραθώνα και οφείλονται στη ροή του ποταμού της Οινόης και στα υλικά που μεταφέρει. Έχουν πάχος λίγων μέτρων, ενώ σε μεγαλύτερα βάθη εντοπίζονται και πάλι μάρμαρα.

Εικόνα 6: Γεωλογικός χάρτης Μαραθώνα με επισήμανση της κοίτης του ποταμού της Οινόης (Πηγή: ΙΓΜΕ, ιδία Επεξεργασία).

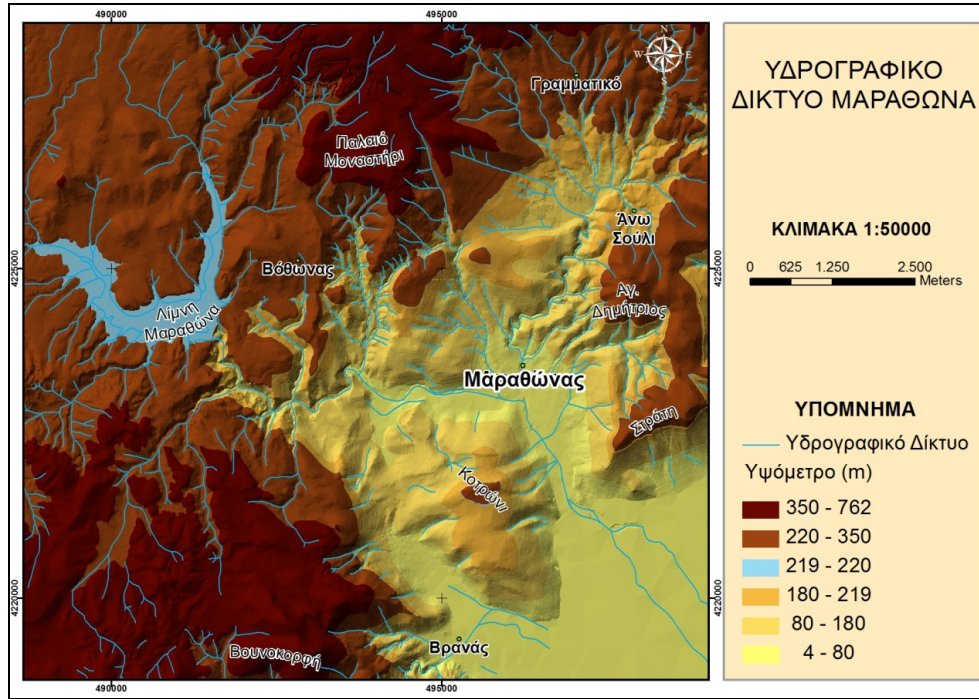


Βάσει των παραπάνω δεδομένων, φαίνεται ότι στο μεγαλύτερο μέρος της διαδρομής του νερού, τα εδάφη είναι κατάλληλα για την εφαρμογή μεθόδων τεχνητού εμπλουτισμού. Ως καταλληλότερη για την κατασκευή μικροφραγμάτων κρίνεται η περιοχή ανατολικά του οικισμού του Μαραθώνα, λόγω της θέσης της και της εδαφολογικής της σύστασης. Τα μάρμαρα της περιοχής ευνοούν την απευθείας κατεύθυνση του νερού με μεγάλη ταχύτητα. Αντίθετα στον κάμπο του Μαραθώνα, οι αποθέσεις συντίθενται από ιλυοαργιλώδη πετρώματα που επιτρέπουν τη ροή του νερού σε σχετικά μικρότερες ταχύτητες. Επιπλέον, επιλέγεται η φόρτιση του υδροφόρου ορίζοντα να γίνει όσο το δυνατόν νωρίτερα ώστε το νερό να εμπλουτίσει μεγαλύτερα τμήματα. Άλλωστε η κίνηση του νερού γίνεται από τις περιοχές υψηλού υδραυλικού φορτίου προς τις περιοχές χαμηλού υδραυλικού φορτίου, ουσιαστικά από την υψηλή προς τη χαμηλή στάθμη. Μέσω της υπόγειας διαδρομής του νερού από τα ψηλά προς τα χαμηλά, θα ενισχυθεί και ο παράκτιος υδροφορέας που αντιμετωπίζει σημάδια εξάντλησης και υφαλμύρισης.

#### ➤ Αποτύπωση υδρογραφικού δικτύου

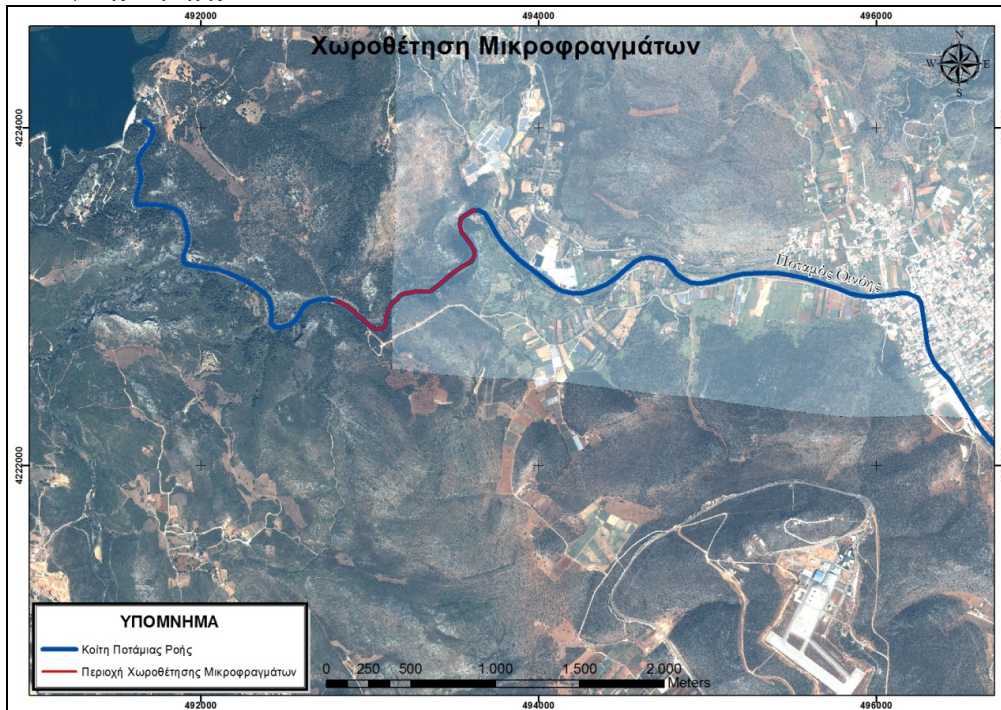
Η επίθεση του υδρογραφικού δικτύου πάνω στην επιλεγμένη περιοχή φανερώνει την ύπαρξη χαρακτηριστικού σημείου όπου συμβάλλουν 2 κύρια υδατορεύματα που μεταφέρουν το νερό της λεκάνης. Η δημιουργία μικροφραγμάτων κατάντη του σημείου αυτού θα οδηγήσει στην αξιοποίηση μεγάλων ποσοτήτων υδατικού δυναμικού, προς όφελος της διατήρησης των υπόγειων αποθεμάτων.

Εικόνα 7: Υδρογραφικό Δίκτυο Μαραθώνα.



Η περιοχή που επιλέγεται για την εξέταση της κατασκευής μικροφραγμάτων φαίνεται στη εικόνα 8.

Εικόνα 8: Χάρτης Επιλεγμένης Περιοχής για τη χωροθέτηση μικροφραγμάτων κατά μήκος της ροής της οικολογικής παροχής.



➤ Εντοπισμός μικρορηγμάτων

Κατά το στάδιο αυτό, η εξεταζόμενη περιοχή έχει μειωθεί αισθητά βάσει των 3 πρώτων βημάτων της μελέτης. Η ακριβής χωροθέτηση μιας λεκάνης κατάκλυσης προϋποθέτει τον εντοπισμό ζωνών που καλύπτονται από μικρορήγματα, ώστε να επιταχυνθεί η διαδικασία της

κατακόρυφης ροής του νερού. Μια τέτοια μελέτη απαιτεί ειδική γεωφυσική έρευνα, ενώ παράλληλα είναι απαραίτητη η διενέργεια επιτόπιων μετρήσεων από ειδικούς γεωλόγους και υδρογεωλόγους για να επαληθευτεί η καταλληλότητα των εδαφών. Μια τέτοια έρευνα ξεπερνάει το αντικείμενο της παρούσας εργασίας. Για αυτό το λόγο επιλέχθηκε η μακροσκοπική επισκόπηση της περιοχής μελέτης, με σκοπό την εξεύρεση ενδείξεων ύπαρξης μικρορρηγμάτων. Η υπόθεση που έγινε αφορά στην πιθανή ύπαρξη ρηγμάτων στα σημεία, όπου διακρίνεται εντονότερη φυτοκάλυψη στο έγχρωμο σύνθετο 432-RGB, καθώς η ύπαρξη ρήγματος ευνοεί την κατείσδυση του νερού και άρα τον εμπλουτισμό του εδάφους με νερό. Ένα τέτοιο σημείο εντοπίστηκε στην πρώτη καμπή που εμφανίζεται στην τελική περιοχή μελέτης. Ο έντονος μαιανδρισμός του ποταμού ευνοεί την αύξηση του χρόνου διέλευσης του νερού στα σημεία καμπής και συντελεί στην περαιτέρω ανάπτυξη υγιούς βλάστησης. Στο προκείμενο σημείο, η έντονη φυτοκάλυψη διακρίνεται ελαφρώς νοτιότερα από την φυσική πορεία της κοίτης. Το σημείο αυτό, όπως και όλη η επιλεγθείσα περιοχή κρίνεται σκόπιμο να μελετηθούν στο πεδίο, ώστε να διαπιστωθεί η δυνατότητα βέλτιστης αξιοποίησης και διαχείρισης της οικολογικής παροχής από τον ταμιευτήρα του Μαραθώνα.

#### 4.2.2 Διοχέτευση νερού προς Εθνικό Πάρκο

Μια λύση στο πρόβλημα της ύδρευσης του πάρκου αποτελεί η διοχέτευση μέρους του νερού της οικολογικής παροχής από τον ταμιευτήρα του Μαραθώνα. Το νερό της οικολογικής παροχής σχεδιάζεται ώστε να διατίθεται στο περιβάλλον κατευθείαν από την πηγή, δηλαδή τον ταμιευτήρα του Μαραθώνα. Τα χαρακτηριστικά του αναγλύφου της περιοχής δεν επιτρέπουν την τροφοδότηση του Πάρκου με αυτές τις ποσότητες υδάτων επιφανειακά, παρά μόνο μέσω πιθανών υπόγειων διόδων διέλευσης. Η κατασκευή όμως του αγωγού που συνδέει το κωπηλατοδρόμιο με τη λίμνη του Μαραθώνα το 2004, στο πλαίσιο των Ολυμπιακών αγώνων, μπορεί κάλλιστα να χρησιμοποιηθεί ξανά προς αυτήν την κατεύθυνση.

Ο αγωγός αυτός έχει διάμετρο Φ600 και αντλεί νερό κατευθείαν από τον πυθμένα της λίμνης. Μετά από προσωπική επικοινωνία με στελέχη της ΕΥΔΑΠ, διαπιστώθηκε η λειτουργία του συγκεκριμένου αγωγού, που όμως δεν τροφοδοτεί τακτικά το κωπηλατοδρόμιο. Η προτεινόμενη λύση περιλαμβάνει την αδιάλειπτη λειτουργία του αγωγού με διοχέτευση νερού προς το Σχινιά εν είδει οικολογικής παροχής. Μια τέτοια εξέλιξη θα συντελέσει στην αναζωογόνηση του Πάρκου συνολικά. Το κωπηλατοδρόμιο θα ανανεώνεται σε τακτά χρονικά διαστήματα, καθώς θα δέχεται γλυκό νερό υψηλής ποιότητας από δύο πηγές. Επιπλέον θα ενισχυθεί η διαδικασία υπερχειλίσεως του ώστε να τροφοδοτείται συχνότερα ο υγρότοπος με τα απαραίτητα για την επιβίωσή του ύδατα.

### **5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

Η διερεύνηση της δυνατότητας εκτίμησης της οικολογικής παροχής από τον ταμιευτήρα του Μαραθώνα, κατέδειξε την ύπαρξη πλήθους παραγόντων που υπεισέρχονται στη διαδικασία. Αποδεικνύεται πως οι μέθοδοι που βασίζονται σε υδρολογικούς δείκτες είναι σχετικά απλές, γρήγορες και αρκετά αντιπροσωπευτικές της ποσότητας και της διακύμανσης της ροής, εφόσον μελετώνται οι ιστορικές ημερήσιες και μηνιαίες παροχές και χρησιμοποιούνται τα κατάλληλα μεθοδολογικά εργαλεία. Εντούτοις, η ακριβής προσέγγιση της τελικής διατιθέμενης ποσότητας νερού προς το περιβάλλον πρέπει να λαμβάνει υπ' όψιν τις ανάγκες που επιτελεί ο ταμιευτήρας, όταν η μελέτη αφορά υφιστάμενο φράγμα χωρίς οικολογική παροχή.

Στη συνέχεια, η ανάγκη αξιοποίησης της ποσότητας νερού που διατίθεται για περιβαλλοντικούς σκοπούς, προϋποθέτει την πλήρη γνώση των συνθηκών και χαρακτηριστικών του οικοσυστήματος που θα τροφοδοτηθεί. Στην παρούσα εργασία η

ανάλυση της υπάρχουσας κατάστασης κατάντη του φράγματος του Μαραθώνα ανέδειξε τον υπόγειο τεχνητό εμπλουτισμό ως μια διαδικασία που θα συμβάλλει στην επίλυση του κυρίαρχου περιβαλλοντικού προβλήματος της περιοχής του Μαραθώνα, που αποτελεί η εξάντληση και υφαλμύριση των υπόγειων υδροφορέων. Παράλληλα, η ύπαρξη στο ίδιο οικοσύστημα του υποβαθμισμένου Εθνικού Πάρκου Σχινιά – Μαραθώνα δίνει τη δυνατότητα διοχέτευσης μέρους της οικολογικής παροχής με σκοπό την υδρολογική του αναζωογόνηση.

### **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την ΕΥΔΑΠ και προσωπικά τους κ. Γεωργιάδη Στέφανο, Παπαφιλίππου Κωνσταντίνα και Γερολυμάτο Ηλία για την πληθώρα των δεδομένων που μου διέθεσαν και τη συμβολή τους στην ενότητα της διαχείρισης της οικολογικής παροχής.

Τέλος ευχαριστώ θερμά την τεχνική εταιρεία ΓΕΩΣΦΑΙΡΑ Ε.Ε και ΣΥΝ/ΤΕΣ και προσωπικά τον κ. Σαπουλίδη Βασίλειο για την αμέριστη βοήθεια που μου προσέφερε σε όλα τα στάδια εκπόνησης της εργασίας.

### **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

#### **ΔΙΕΘΝΗΣ**

Dyson M., Bergkamp G. and Scanlon J., 2003. Flow. The essentials of environmental flows. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK, UK. xiv + 118 pp.

Le Quesne T., Kendy E., Weston D., 2010. The implementation challenge. The Nature Conservancy. WWF.

Suen J.-P., 2011. Determining the ecological flow regime for existing reservoir operation. Water Resources Management, 25, 817-835

Tharme R.E., 2003. A global perspective on environmental flow assessment: Emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers. River Research and Application, 19, 397-441

#### **ΕΛΛΗΝΙΚΗ**

Γεωργιοπούλου Τ., 2007. Υφάλμυρος και γεμάτος νιτρικά ο Μαραθώνας. Ιστότοπος Εφημερίδας Η Καθημερινή, <http://www.kathimerini.gr/299902/article/epikairothta/ellada/yfalmyros-kai-gematos-nitrika-o-mara8wnas> [πρόσβαση 12/07/2014]

Ξανθάκης Μ., Ξανθόπουλος Γ., 2007. Προσδιορισμός των αλλαγών χρήσης γης στην περιοχή του Μαραθώνα κατά τη διάρκεια ενός αιώνα με χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών. 13ο Πανελλήνιο Δασολογικό συνέδριο, Πρακτικά – Τόμος II, 491-497

Σταυρόπουλος Ξ., Τζίμα Μ., 2001. Διερεύνηση του μηχανισμού υφαλμύρισης των πηγών Κάτω Σουλίου Μαραθώνα Ν.Αττικής. Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας, Τόμος XXXIV/5, 1967-1972

Υπουργείο Περιβάλλοντος Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων, 2008. Έγκριση ειδικού πλαισίου χωροταξικού σχεδιασμού και αειφόρου ανάπτυξης για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και της στρατηγικής μελέτης περιβαλλοντικών επιπτώσεων αυτού. ΦΕΚ Β 2464/03.12.2008

#### **ΙΣΤΟΤΟΠΟΙ**

Global environmental Flows Network.

<http://www.eflownet.org/viewinfo.cfm?linkcategoryid=4&linkid=31&siteid=1&FuseAction=display> [πρόσβαση 10/06/2014]

