



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

**ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ (Δ.Π.Μ.Σ.)**

"ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ"

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«Εκτίμηση Οικολογικής Παροχής από το Φράγμα του
Μαραθώνα και Διαχείριση Διατιθέμενων Υδάτων»**

ΓΕΩΡΓΑΛΑΣ ΣΠΥΡΟΣ

Αγρονόμος Τοπογράφος Μηχανικός ΕΜΠ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:

ΕΠ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ν. ΜΑΜΑΣΗΣ

**Περιβάλλον
και
Ανάπτυξη**

ΑΘΗΝΑ

ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2014

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

**ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
(Δ.Π.Μ.Σ.)**

"ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ"

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«Εκτίμηση Οικολογικής Παροχής από το Φράγμα του Μαραθώνα και
Διαχείριση Διατιθέμενων Υδάτων»**

ΓΕΩΡΓΑΛΑΣ ΣΠΥΡΟΣ

Αγρονόμος Τοπογράφος Μηχανικός ΕΜΠ

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία εξετάστηκε επιτυχώς.

Η τριμελής επιτροπή

.....

Μαμάσης Νίκος

Επ. Καθηγητής ΕΜΠ

.....

Χατζημπίρος Κίμων

Καθηγητής ΕΜΠ

.....

Μπαλτάς Ευάγγελος

Αν. Καθηγητής ΕΜΠ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας με τίτλο «Εκτίμηση Οικολογικής Παροχής από το φράγμα του Μαραθώνα και Διαχείριση Διατιθέμενων Υδάτων» αποτέλεσε το επιστέγασμα των μεταπτυχιακών μου σπουδών στο ΔΠΜΣ «Περιβάλλον και Ανάπτυξη».

Για την επιτυχή ολοκλήρωση της εργασίας, θα ήθελα αρχικά να ευχαριστήσω τον κ. Νίκο Μαμάση, Επίκουρο Καθηγητή ΕΜΠ για την επίβλεψη της εργασίας και την καθοδήγηση που μου προσέφερε κατά τη διάρκεια εκπόνησης της. Επίσης ευχαριστώ τους κ.κ. Χατζημπίρο Κίμωνα, Καθηγητή ΕΜΠ και Μπαλτά Ευάγγελο, Αν. Καθηγητή ΕΜΠ για τη συμμετοχή τους στην τριμελή επιτροπή εξέτασης της διπλωματικής εργασίας.

Ακολούθως, οφείλω να ευχαριστήσω την ΕΥΔΑΠ για το ενδιαφέρον που έδειξε για το θέμα της εργασίας και το πολύτιμο υλικό που μου διατέθηκε. Ιδιαίτερα θέλω να ευχαριστήσω τους κ.κ. Γεωργιάδη Στέφανο, Πολιτικό Μηχανικό ΑΠΘ, Παπαφιλίππου Κωνσταντίνα, Μεταλλειολόγο Μηχανικό ΕΜΠ και Γερολυμάτο Ηλία, Γεωλόγο-Περιβαλλοντολόγο για τις προτάσεις και τις συμβουλές τους στο ζήτημα της διαχείρισης της οικολογικής παροχής.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω να απευθύνω στην τεχνική εταιρεία «ΓΕΩΣΦΑΙΡΑ Ε.Ε και ΣΥΝ/ΤΕΣ» και προσωπικά τον κ. Σαπουλίδη Βασίλειο, Αγρονόμο Τοπογράφο Μηχανικό για την αμέριστη βοήθεια που μου προσέφερε σε όλα τα στάδια εκπόνησης της εργασίας.

Τέλος, ευχαριστώ τους γονείς μου και τους φίλους μου για τη βοήθεια και τη στήριξη, καθώς και την υπομονή που επέδειξαν μέχρι να ολοκληρωθεί η παρούσα εργασία.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	5
ABSTRACT.....	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	9
1.1 Σκοπός και μεθοδολογικό πλαίσιο της εργασίας.....	9
1.2 Η σημασία του νερού και των ποταμών.....	10
1.3 Ανάσχεση της ποτάμιας ροής.....	12
1.4 Φράγματα και οικολογική παροχή.....	13
1.5 Διάρθρωση της εργασίας.....	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΤΟ ΦΡΑΓΜΑ ΤΟΥ ΜΑΡΑΘΩΝΑ	17
2.1 Το υδρευτικό πρόβλημα της Αθήνας	17
2.2 Το φράγμα του Μαραθώνα	26
2.3 Δήμος Μαραθώνα.....	30
2.3.1 Λεκάνη απορροής λίμνης Μαραθώνα.....	30
2.3.2 Υπάρχουσα κατάσταση κατάντη φράγματος.....	31
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΗΣ ΠΑΡΟΧΗΣ - ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ	39
3.1. Ιστορικό.....	39
3.2 Ο ορισμός της οικολογικής παροχής.	41
3.3 Μεθοδολογίες εκτίμησης οικολογικής παροχής.....	42
3.2.1 Κατηγοριοποίηση κατά IUCN	42
3.2.2 Κατηγοριοποίηση κατά IWMF.....	46
3.4 Εφαρμογή μεθόδων εκτίμησης οικολογικής παροχής στο διεθνή χώρο.....	50
3.5 Η οικολογική παροχή στην Ελλάδα.....	53
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΗΣ ΠΑΡΟΧΗΣ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ ΜΑΡΑΘΩΝΑ	55
4.1 Επιλογή μεθοδολογικών εργαλείων.....	55
4.1.1 Μέθοδος Tennant (ή Montana)	56
4.1.2 Μέθοδος Lyons	57
4.1.3 Μέθοδος ελάχιστης ετήσιας παροχής.....	57
4.1.4 Καμπύλη διάρκειας παροχής.....	57
4.1.5 Βασική παροχή διατήρησης.....	58
4.2 Εφαρμογή μεθόδων.....	59

Εκτίμηση Οικολογικής Παροχής από το Φράγμα του Μαραθώνα και Διαχείριση Διατιθέμενων Υδάτων

4.3 Συνεκτίμηση αποτελεσμάτων.....	67
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΗΣ ΠΑΡΟΧΗΣ.....	71
5.1 Η διαχείριση της οικολογικής παροχής.....	71
5.2 Λειτουργία οικολογικής παροχής από το φράγμα Μαραθώνα.....	72
5.3 Υπάρχουσα κατάσταση κατάντη φράγματος Μαραθώνα.....	73
5.3.1 Ο κάμπος του Μαραθώνα.....	73
5.3.2 Ο υδροφόρος ορίζοντας στην περιοχή του Μαραθώνα.....	75
5.3.3 Εθνικό Πάρκο Σχινιά Μαραθώνα.....	77
5.4 Προτάσεις διαχείρισης οικολογικής παροχής.....	78
5.5 Εμπλουτισμός υδροφόρου ορίζοντα.....	79
5.5.1 Η σημασία του υδροφόρου ορίζοντα.....	79
5.5.2 Τεχνητός εμπλουτισμός και μέθοδοι εφαρμογής.....	80
5.5.3 Τεχνητός εμπλουτισμός στο Μαραθώνα.....	83
5.6 Τροφοδότηση Εθνικού Πάρκου Σχινιά-Μαραθώνα.....	102
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΣΥΝΟΨΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	103
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	106

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Μεθοδολογικό πλαίσιο - Διάγραμμα ροής.....	10
Εικόνα 2: Σήραγγα Μπογιατίου.....	20
Εικόνα 3: Διανομή νερού στο Μεσοπόλεμο.....	21
Εικόνα 4: Κατασκευή φράγματος Μαραθώνα.....	22
Εικόνα 5: Το φράγμα του Μόρνου.....	23
Εικόνα 6: Εξέλιξη κατανάλωσης, πληθυσμού και υδρευτικών έργων στην Αθήνα του 20ου αιώνα.....	24
Εικόνα 7: Μονάδα επεξεργασίας Νερού Αχαρνών.....	25
Εικόνα 8: Το φράγμα του Μαραθώνα.....	26
Εικόνα 9: Ο Ναός στη βάση του φράγματος του Μαραθώνα.....	28
Εικόνα 10: Ο πύργος υδροληψίας του ταμιευτήρα Μαραθώνα.....	29
Εικόνα 11: Ο αγωγός μεταφοράς νερού από τον ταμιευτήρα του Μαραθώνα προς το κωπηλατοδρόμιο του Σχινιά, καθώς διέρχεται κατά μήκος του ρέματος της Οινόης.....	30
Εικόνα 12: Άποψη του Εθνικού Πάρκου Σχινιά Μαραθώνα.....	37

Εκτίμηση Οικολογικής Παροχής από το Φράγμα του Μαραθώνα και Διαχείριση Διατιθέμενων Υδάτων

Εικόνα 13: Κατανομή απαντήσεων σχετικά με τα κυριότερα εμπόδια στην προσπάθεια κατανόησης και εφαρμογής της οικολογικής παροχής.....	50
Εικόνα 14: Αριθμός χρησιμοποιούμενων μεθοδολογιών ανά κατηγορία διεθνώς, σύμφωνα με την κατηγοριοποίηση κατά Tharme (2003).....	51
Εικόνα 15: Καμπύλη Διάρκειας-Παροχής για τα υδρολογικά έτη 2002-2003 έως 2012-2013, βάσει του μηνιαίου ισοζυγίου του ταμιευτήρα.	64
Εικόνα 16: Καμπύλη Διάρκειας-Παροχής για τα υδρολογικά έτη 1994-1995 έως 2012-2013.	65
Εικόνα 17: Χάρτης δυνητικού κινδύνου ερημοποίησης της Ελλάδας.....	77
Εικόνα 18: Τομή τυπικού συστήματος τεχνητού εμπλουτισμού υπόγειου υδροφορέα με κατασκευή λεκάνης διήθησης.....	81
Εικόνα 19: Διάγραμμα ροής μελέτης τεχνητού εμπλουτισμού υδροφόρου ορίζοντα στην περιοχή του Μαραθώνα.	84
Εικόνα 20: Ανίχνευση κοίτης Οινόη με χρήση έγχρωμου σύνθετου 432-RGB.....	86
Εικόνα 21: Ανίχνευση κοίτης Οινόη στον οικισμό Μαραθώνας με χρήση έγχρωμου σύνθετου 321-RGB.	87
Εικόνα 22: Τιμές ολικού πορώδους πετρωμάτων.....	92
Εικόνα 23: Εντοπισμός πιθανού σημείου ύπαρξης μικρορηγμάτων στην προτεινόμενη περιοχή χωροθέτησης μικροφραγμάτων.	94
Εικόνα 24: Χρήση συρματοκιβωτίων για τη διευθέτηση της ροής ποταμού.	101

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Μέσες και Μέγιστες υδραυλικές απολήψεις από τους ταμιευτήρες ύδρευσης της Αθήνας, καθ 'όλη τη διάρκεια λειτουργίας τους.	24
Πίνακας 2: Τεχνικά χαρακτηριστικά φράγματος Μαραθώνα.....	26
Πίνακας 3: Τεχνικά χαρακτηριστικά ταμιευτήρα Μαραθώνα.....	27
Πίνακας 4: Διοικητική, πληθυσμιακή και οικιστική διαίρεση Δήμου Μαραθώνα.....	31
Πίνακας 5: Κατηγοριοποίηση μεθόδων εκτίμησης οικολογικής παροχής και παραδείγματα.	49
Πίνακας 6: Κυριότερες μέθοδοι εκτίμησης της οικολογικής παροχής στο διεθνή χώρο.....	52
Πίνακας 7: Ελάχιστη διατηρητέα παροχή από φράγματα στην Ελλάδα.....	54
Πίνακας 8: Βασικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των κατηγοριών μεθόδων οικολογικής παροχής κατά Tharme (2003).	55

Εκτίμηση Οικολογικής Παροχής από το Φράγμα του Μαραθώνα και Διαχείριση Διατιθέμενων Υδάτων

Πίνακας 9: Ετήσιες παροχές λεκάνης απορροής για τα υδρολογικά έτη 2002-2003 έως 2012-2013.	61
Πίνακας 10: Ετήσιες παροχές λεκάνης απορροής για τα υδρολογικά έτη 1994-1995 έως 2001-2002.	62
Πίνακας 11: Παροχή ξηρότερου μήνα ανά υδρολογικό έτος.	63
Πίνακας 12: Μέση παροχή ανά μήνα για όλη την εξεταζόμενη περίοδο.	67
Πίνακας 13: Πίνακας εκτιμήσεων μηνιαίας οικολογικής παροχής (hm^3).	68
Πίνακας 14: Έκταση και ποσοστό χρήσεων γης κατά τα έτη 1880, 1988 και 2000... ..	74

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΧΑΡΤΩΝ

Χάρτης 1: Η λεκάνη απορροής της λίμνης του Μαραθώνα και οι κύριοι υδάτινοι τροφοδότες της.....	33
Χάρτης 2: Ο δήμος Μαραθώνα	35
Χάρτης 3: Η φυσική ροή της οικολογικής παροχής.....	89
Χάρτης 4: Το Γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής του Μαραθώνα.	95
Χάρτης 5: Το υδρογραφικό δίκτυο του Μαραθώνα.....	97
Χάρτης 6: Η προτεινόμενη περιοχή για τη χωροθέτηση των μικροφραγμάτων	99

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η απόδοση οικολογικής παροχής έχει ως σκοπό την αποκατάσταση και συντήρηση των διεργασιών που συντελούνται σε ένα ποτάμιο σύστημα, προς όφελος της διατήρησης των υδρόβιων οικοσυστημάτων, όταν η ανθρώπινη παρέμβαση έχει συντελέσει στη ραγδαία μεταβολή της υδρολογικής ροής. Η ανάγκη διερεύνησης της δυνατότητας διάθεσης οικολογικής παροχής οφείλεται στην αυξανόμενη τάση αξιοποίησης των διαθέσιμων επιφανειακών υδατικών αποθεμάτων, μέσω της κατασκευής μεγάλων υδρομαστευτικών έργων.

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη εκτίμησης της 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. Η έρευνα που πραγματοποιείται βασίζεται στην ανάλυση των απορροών που καταλήγουν στον ταμιευτήρα του Μαραθώνα, τη γνώση των αναγκών ύδρευσης που εξυπηρετεί, καθώς και την καταγραφή του υπάρχοντος φυσικού και ανθρωπογενούς περιβάλλοντος στην περιοχή κατάντη του φράγματος.

Η διαδικασία εκτίμησης πραγματοποιείται με την εφαρμογή μιας σειράς μεθοδολογικών προσεγγίσεων, βασιζόμενων σε υδρολογικούς δείκτες, στο ημερήσιο υδατικό ισοζύγιο του ταμιευτήρα του Μαραθώνα. Δεδομένης της απουσίας συγκεκριμένου πλαισίου ανάπτυξης των προτάσεων εκτίμησης της παροχής στην Ελληνική βιβλιογραφία, χρησιμοποιούνται μέθοδοι διαδεδομένες και εφαρμοσμένες σε αντίστοιχες διεθνείς μελέτες. Ακολούθως, το πολυσύνθετο πρόβλημα της αξιολόγησης της τελικής πρότασης της οικολογικής παροχής προς διάθεση, επιλύεται με τη συνεκτίμηση των αποτελεσμάτων της διαδικασίας εκτίμησης, των χαρακτηριστικών του ποτάμιου συστήματος, της λειτουργίας του ταμιευτήρα και των επιταγών της ισχύουσας νομοθεσίας.

Το επόμενο στάδιο της εργασίας αφορά στη σύνταξη προτάσεων για τη βέλτιστη αξιοποίηση της οικολογικής παροχής με γνώμονα τα χαρακτηριστικά και τις ανάγκες των κατάντη οικοσυστημάτων. Προς αυτήν την κατεύθυνση, μελετάται η δυνατότητα διοχέτευσης της περίσσειας ύδατος για την ενίσχυση και την ποιοτική αναβάθμιση των επιφανειακών και υπόγειων υδατικών αποθεμάτων. Ο τεχνητός εμπλουτισμός

Εκτίμηση Οικολογικής Παροχής από το Φράγμα του Μαραθώνα και Διαχείριση Διατιθέμενων Υδάτων

του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα γίνεται με τεχνικές βραχύβιας ανάσχεσης της ροής, ώστε να επιτευχθεί η κατείδυση του νερού. Η επιλογή των κατάλληλων θέσεων για την εφαρμογή του τεχνητού εμπλουτισμού απαιτεί τη μελέτη του αναγλύφου, του υδρογραφικού δικτύου και των εδαφολογικών χαρακτηριστικών κατά μήκος της ροής της οικολογικής παροχής. Τέλος, δίνεται έμφαση στην αναζωογόνηση του Εθνικού Πάρκου Σχινιά Μαραθώνα με υψηλής ποιότητας νερό της οικολογικής παροχής, αξιοποιώντας το υφιστάμενο δίκτυο μεταφοράς υδάτων της ΕΥΔΑΠ.

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.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Σκοπός και μεθοδολογικό πλαίσιο της εργασίας.

Η στροφή του ανθρώπου προς τη μαζική εκμετάλλευση των υδατικών πόρων, με την κατασκευή μεγάλων υδρομαστευτικών έργων, οδήγησε στην εδραίωση της σημασίας των περιβαλλοντικών ροών νερού. Η οικολογική παροχή αποτελεί την ποσότητα νερού που αποδίδεται από ένα φράγμα προς τον ποταμό και το φυσικό του περιβάλλον, με στόχο την αποκατάσταση των φυσικών του λειτουργιών, που διαταράχθηκαν από την ανάσχεση της ποτάμιας ροής. Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε με σκοπό την εκτίμηση της οικολογικής παροχής από το φράγμα του Μαραθώνα και τη βέλτιστη αξιοποίησή της προς όφελος των κατάντη οικοσυστημάτων.

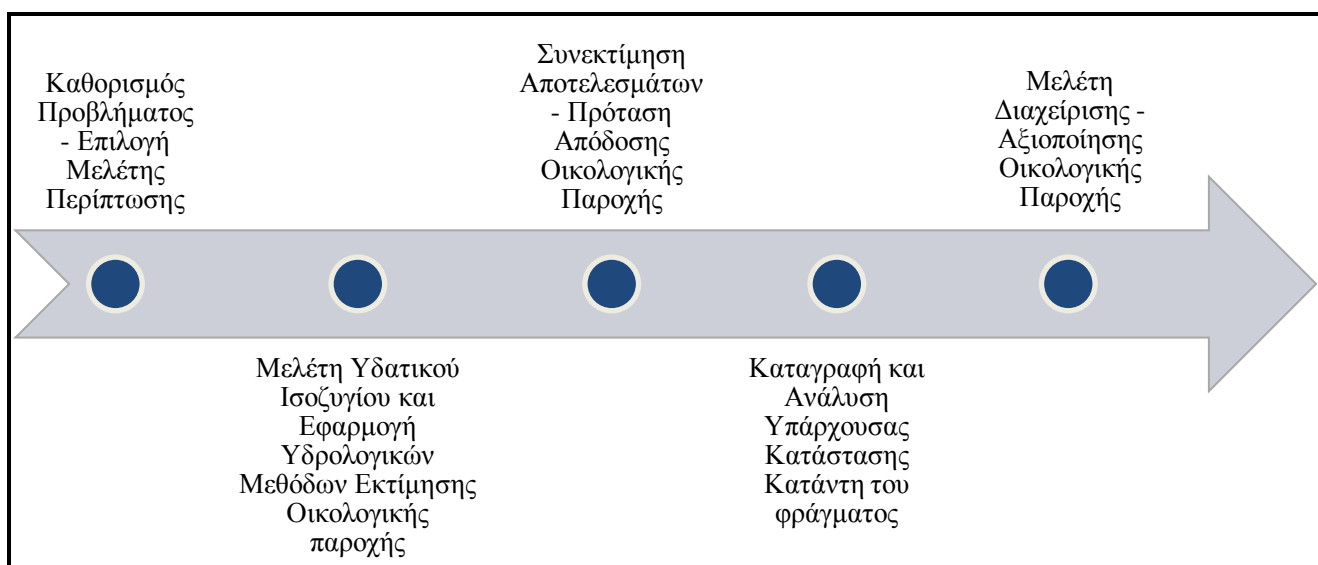
Η επιλογή του ταμιευτήρα του Μαραθώνα ως αντικείμενο μελέτης οφείλεται στη σημασία του ως τεχνικό έργο, στην απουσία οικολογικής παροχής και στη λειτουργία που επιτελεί σήμερα. Το φράγμα του Μαραθώνα αποτέλεσε ένα ιδιαίτερα σημαντικό έργο για την εποχή του και ένα σημείο αναφοράς για τα τεχνικά έργα στην Ελλάδα, τόσο λειτουργικά όσο και αισθητικά. Ολοκληρώθηκε το 1931 και έδωσε μια πολύτιμη λύση στο υδρευτικό πρόβλημα που ταλάνιζε την Αθήνα για δεκαετίες. Παράλληλα, η επένδυσή του με πεντελικό μάρμαρο έδωσε στο έργο μια μοναδικότητα σε διεθνές επίπεδο. Στα 85 χρόνια λειτουργίας του δεν είχε σχεδιαστεί η απόδοση ύδατος προς το περιβάλλον. Ως εκ τούτου, η κατάντη του φράγματος περιοχή, στην οποία δεσπόζει ο κάμπος του Μαραθώνα και το Εθνικό Πάρκο Σχινιά Μαραθώνα, αποκόπηκε πλήρως από τις παροχές της ανάντη λεκάνης, που βρίσκονται στα επίπεδα των 20 hm³/y. Ο ταμιευτήρας σήμερα αποτελεί περισσότερο μια δεξαμενή για τις τεράστιες ποσότητες νερού που μαστεύονται από τα φράγματα Μόρνου-Εύηνου και την λίμνη Υλίκη. Κατά συνέπεια, κρίνεται εύλογη η απαίτηση για απόδοση μέρους των απορροών της λεκάνης του Μαραθώνα προς τα κατάντη οικοσυστήματα.

Η εκτίμηση της οικολογικής παροχής γίνεται μέσω τεχνικών που εφαρμόζονται στο υδατικό ισοζύγιο του ταμιευτήρα. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται ο προσδιορισμός των παροχών του ποτάμιου συστήματος πριν την κατασκευή του φράγματος και η προσομοίωση της φυσικής του διαίτας. Η προτεινόμενη οικολογική

Εκτίμηση Οικολογικής Παροχής από το Φράγμα του Μαραθώνα και Διαχείριση Διατιθέμενων Υδάτων

παροχή προκύπτει ως ένα ποσοστό της υπολογισθείσας υδρολογικής ροής. Ακολούθως, μελετάται η δυνατότητα αξιοποίησης της αποδιδόμενης παροχής για τη βελτίωση της υγείας του κατάντη οικοσυστήματος. Επιλέγονται δράσεις που αφορούν στην αποθήκευση της περίσσειας νερού και την ενίσχυση του υδατικού δυναμικού, δίνοντας έμφαση στους σημαίνοντες βιοτόπους.

Το μεθοδολογικό πλαίσιο που ακολουθείται στην παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζεται στο ακόλουθο διάγραμμα (Εικ. 1).



Εικόνα 1: Μεθοδολογικό πλαίσιο - Διάγραμμα ροής

1.2 Η σημασία του νερού και των ποταμών

Η διατήρηση των οικοσυστημάτων και η επιβίωση των έμβιων όντων που τα απαρτίζουν είναι συνυφασμένη με την ύπαρξη υδάτων. Οι φυσικοχημικές ιδιότητες του νερού το καθιστούν θεμελιώδες για την επιβίωση των οργανισμών, καθώς όλες οι μορφές ζωής στον πλανήτη εξαρτώνται από αυτό. Η διάχυση του νερού στα χερσαία οικοσυστήματα επιτυγχάνεται μέσω των ποταμών που μεταφέρουν τα κατακρημνίσματα, επιτελώντας θεμελιώδη ρόλο στη διατήρηση της ζωής στον πλανήτη. Οι ποταμοί εκτός από νερό μεταφέρουν και φερτές ύλες από τις ορεινές περιοχές προς τη θάλασσα. Κατά μήκος της διαδρομής τους αναζωογονούν και γονιμοποιούν τεράστιες εκτάσεις καθώς αποθέτουν πολύτιμες θρεπτικές ουσίες για τους οργανισμούς. Παράλληλα, εξαιτίας της μεγάλης διαβρωτικής τους ικανότητας, επιδρούν αποφασιστικά στη διαμόρφωση του Γήινου αναγλύφου.

Ο άνθρωπος από τα πρώτα χρόνια της ύπαρξής του αναγνώρισε τη σημασία του νερού και στήριξε σε αυτό την επιβίωσή του. Τα ποτάμια και οι λίμνες αποτέλεσαν την πηγή ζωής του ανθρώπου, αρχικά με την παροχή πόσιμου νερού και αλιευτικών προϊόντων. Δεν είναι τυχαίο πως οι αρχαίοι πολιτισμοί, που προηγήθηκαν του Ελληνικού, άνθησαν στις κοιλάδες μεγάλων ποταμών. Χαρακτηριστικότερα παραδείγματα αποτελούν ο πολιτισμός της κοιλάδας του Ινδού, η αρχαία Μεσοποταμία που αναπτύχθηκε ανάμεσα στον Τίγρη και τον Ευφράτη και η Αρχαία Αίγυπτος στις όχθες του ποταμού Νείλου. Άλλωστε και μεταγενέστερα στις περισσότερες θρησκείες που αναπτύχθηκαν, το νερό είχε πρωταρχικό ρόλο, που σε πολλές περιπτώσεις έφτανε στα όρια της λατρείας.

Στη διάρκεια της ιστορίας τους οι κοινωνίες αξιοποίησαν περαιτέρω τους ποταμούς, οι οποίοι συνετέλεσαν ριζικά στη φυσική τους εξέλιξη. Οι γόνιμες εκτάσεις κατά μήκος των ποταμών καλλιεργήθηκαν, προσφέροντας τροφή και καθιστώντας τα καλλιεργήσιμα προϊόντα σημαντικό παράγοντα της παγκόσμιας οικονομίας και του εμπορίου. Παράλληλα, οι εμπορικές δραστηριότητες ενισχύθηκαν καθώς τα πλωτά μέσα μετέτρεψαν τους μεγάλους ποταμούς σε δρόμους μεταφοράς αγαθών. Ακολούθως, η βιομηχανική εποχή στηρίχθηκε στους ποταμούς καθώς η κίνηση του νερού παρήγαγε ενέργεια.

Σήμερα είναι αναγνωρισμένα τα πολλαπλά οφέλη των ποταμών για τα οικοσυστήματα και για τον άνθρωπο. Η διεθνής κοινότητα τα τελευταία χρόνια έχει στρέψει την προσοχή της στο μείζον θέμα της προστασίας του περιβάλλοντος, δίνοντας έμφαση στη βιώσιμη διαχείριση των υδατικών πόρων. Στη διάσκεψη του Ρίο (1992), τέθηκαν οι αρχές για το δίκαιο του Περιβάλλοντος και υιοθετήθηκε η Agenda 21. Η Agenda προέβλεπε μεταξύ άλλων την προστασία της βιοποικιλότητας, τη βιώσιμη διαχείριση των χερσαίων πόρων, την προστασία των ευαίσθητων οικοσυστημάτων και την προστασία της ποιότητας και των αποθεμάτων των μικρών υδατικών πόρων. Ακολούθως, η διακήρυξη του 2^{ου} Παγκόσμιου Φόρουμ για το νερό (Χάγη, 2000) εστίασε στις πολλαπλές επιπτώσεις του νερού σε οικονομικό, κοινωνικό και πολιτισμικό επίπεδο και έθεσε ως πρόκληση για το μέλλον την προστασία και διαχείριση των υδατικών πόρων. Η μέριμνα για την προστασία του νερού και τη βιώσιμη διαχείρισή του εδραιώθηκε μέσω της Οδηγίας 2000/ 60/EK για το νερό. Ο βασικός στόχος της Οδηγίας αυτής είναι η διατήρηση της υγείας των

υδατικών πόρων στα πλαίσια της Ευρωπαϊκής κοινότητας με χρονικό ορίζοντα το έτος 2015.

1.3 Ανάσχεση της ποτάμιας ροής

Η ροή του νερού σε ένα ποταμό εξαρτάται από το κλίμα της περιοχής και συγκεκριμένα από τα κατακρημνίσματα που δέχεται η λεκάνη απορροής του. Επιπλέον, η κίνηση των υδάτων επηρεάζεται από τον είδος και τις φυσικοχημικές ιδιότητες του εδάφους, καθώς και από την κλίση κατά μήκος της κοίτης του. Το βασικό χαρακτηριστικό ενός ποταμού είναι η φυσική του δίαιτα που αποτελεί το ρυθμό με τον οποίο τροφοδοτεί με νερό την επιφάνεια του που εκφράζεται από τη μεταβλητότητα της παροχής στη μονάδα του χρόνου. Η απορροή σε μια διατομή του ποταμού στη διάρκεια του χρόνου περιγράφεται από το υδρογράφημα. Οι κύριες υδρολογικές παράμετροι που εντοπίζονται στο υδρογράφημα μιας απορροής είναι οι εξής: (Gopal 2003, Poff et al 1997)

- Το μέγεθος της απορροής που αποτελεί την ποσότητα του νερού που διατρέχει μια διατομή του ποταμού στη μονάδα του χρόνου
- Η συχνότητα εμφάνισης μιας τιμής παροχής
- Η χρονική διάρκεια της εμφάνισης μια συγκεκριμένης υδρολογικής κατάστασης
- Το χρονικό σημείο εμφάνισης μιας παροχής και η τακτικότητα εμφάνισης
- Ο ρυθμός μεταβολής της παροχής από ένα μέγεθος σε ένα άλλο.

Ο μεταβολές που υφίσταται η παροχή σε ένα υδατόρευμα έχουν άμεσο αντίκτυπο στη μορφή, την ποιότητα και τα χαρακτηριστικά των βιοτόπων που τροφοδοτούν. Οι αλλαγές της ροής δημιουργούν διαφορετικές συνθήκες για τους οργανισμούς, επιδρώντας καταλυτικά στην επιβίωση τους, δημιουργώντας ακόμα και εποχικούς βιοτόπους. Για παράδειγμα, οι πλημμυρικές αιχμές είναι άμεσα συσχετισμένες με την έκταση που τροφοδοτούν. Η τακτικότητά τους επηρεάζει τους βιοτόπους που βρίσκονται πλησίον της κοίτης του ποταμού και επιδρά στο μεταβολισμό και την αναπαραγωγή των ψαριών. Συνεπώς, σημαντικές διαταραχές του υδρολογικού ρυθμού μπορούν να προκαλέσουν καταστροφικά προβλήματα στη μορφή, τη λειτουργία ή ακόμα και την ίδια την ύπαρξη ενός οικοσυστήματος. Η υπερβολική αφαίρεση ποσοτήτων νερού, σημαίνει αυτομάτως πως δεν υπάρχει το απαιτούμενο

νερό για να καλύψει τις ανάγκες των οργανισμών. Ακόμα όμως και μια μικρή μεταβολή ενδέχεται να επηρεάσει τις διεργασίες που συντελούνται στο οικοσύστημα.

Φυσικά κάθε τέτοια μεταβολή της υδρολογικής ροής επηρεάζει δομικά και όλα τα ευρύτερα υδάτινα και χερσαία οικοσυστήματα καθώς και τον άνθρωπο, λόγω της διαρκούς αλληλεπίδρασης. Άλλωστε, η ροή σε ένα υδατόρευμα είναι ικανή να τροφοδοτεί μεγάλες εκτάσεις που αποτελούνται από λίμνες, υγροτόπους και τις εκβολές τους. Παράλληλα, τροφοδοτεί τον υδροφόρο ορίζοντα, συμβάλλοντας στην αποθήκευση νερού και επηρεάζοντας σημαντικά τις ανθρώπινες λειτουργίες. Συνολικά, είναι ουσιώδης η εύρυθμη λειτουργία των υδάτινων οικοσυστημάτων γλυκού νερού για την ανθρώπινη ύπαρξη και ευημερία. Για αυτό το λόγο είναι απαραίτητη η αναγνώριση των αλληλεπιδράσεων μεταξύ του φυσικού και του ανθρωπογενούς περιβάλλοντος σε μια προσπάθεια βιώσιμης ανάπτυξης σε ένα περιβάλλον μιας διαφαινόμενης κλιματικής αλλαγής. (Regional Environmental Change)

Η διαταραχή της ροής υδάτων σε ένα οικοσύστημα έχει πολλαπλές αιτίες και προκύπτει συχνά από την ανθρώπινη δραστηριότητα. Το κλίμα αρχικά επηρεάζει δομικά τις απορροές, με αποτέλεσμα οι όποιες διακυμάνσεις του κλίματος μιας περιοχής να μεταφράζονται σε μεταβολές στην παροχή των υδατορευμάτων. Ακολούθως η ροή σε ένα οικοσύστημα επηρεάζεται από τις ανθρώπινες παρεμβάσεις. Η αστικοποίηση έχει συντελέσει διαχρονικά στον περιορισμό ή τη διακοπή της ροής σε υδρολογικές λεκάνες, ενώ αντίθετα οι αλλαγές στις χρήσεις/καλύψεις γης, όπως είναι η μείωση των δασικών εκτάσεων, ευνοούν την αύξηση της απορροής λόγω της αδυναμίας του εδάφους να συγκρατήσει το νερό. Τα τελευταία χρόνια τα μεγάλα αναπτυξιακά έργα, όπως οι οδικοί άξονες και τα τεχνικά έργα ανάσχεσης της ροής των υδάτων (φράγματα, ταμιευτήρες) τείνουν να μεταβάλλουν ριζικά το υφιστάμενο υδρολογικό καθεστώς.

1.4 Φράγματα και οικολογική παροχή

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. 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 φράγματα αποτελούν τεχνικά έργα που κατασκευάζονται κάθετα στην κοίτη υδατορευμάτων με σκοπό τη συγκράτηση της ροής και την απόδοση του αποθηκευμένου νερού στον επιθυμητό ρυθμό, για την κάλυψη των απαιτούμενων αναγκών. Η ανάσχεση της ροής επιθυμείται σε πολλές περιπτώσεις για τον έλεγχο της πλημμυρικής παροχής, ενώ οι συνηθέστερες χρήσεις του αποθηκευμένου νερού είναι η ύδρευση, η άρδευση, η βιομηχανία και η παραγωγή ενέργειας.

Στην Αμερική ο ρυθμός κατασκευής φραγμάτων εκτοξεύθηκε ανάμεσα στα έτη 1935-1965, όταν επεκτάθηκε η αστικοποίηση και εντάθηκε η βιομηχανοποίηση των κοινωνιών (Collier et al, 1996). Η ραγδαία αύξηση της κατασκευής υδρομαστευτικών έργων εισήγαγε αποφασιστικά τη συζήτηση περί της αναγκαιότητας τους και των χαρακτηριστικών που απαιτείται να διατηρήσουν οι υδατικοί πόροι. Και ενώ είναι απολύτως θεμιτή η χρήση του νερού από τον άνθρωπο για την παραγωγή καθαρής ενέργειας, την ύδρευση, την αποθήκευση υψηλής ποιότητας υδάτων και την αντιπλημμυρική προστασία, οι εκτεταμένες απολήψεις για αρδευτική ή βιομηχανική χρήση που αλλάζουν δραματικά το τοπίο των ποτάμιων συστημάτων τίθενται υπό διερεύνηση από την παγκόσμια επιστημονική κοινότητα. Προέβαλε πλέον απαραίτητη η ανάγκη βιώσιμης διαχείρισης των υδατικών πόρων.

Στο πλαίσιο της μέριμνας για την περιβαλλοντική προστασία των υδατικών πόρων, αναζητήθηκαν τα απαραίτητα μέτρα ώστε να μην διαταράσσεται η οικολογική ισορροπία του οικοσυστήματος κατάντη των υδρομαστευτικών έργων. Η λύση που μελετήθηκε εκτενώς και εφαρμόστηκε ήταν η απόδοση οικολογικής παροχής στο περιβάλλον. Η έννοια της οικολογικής παροχής στηρίζεται στην ιδέα πως είναι η αναγκαία η διάθεση νερού προς το περιβάλλον, ώστε αυτό να επιτελέσει τις λειτουργίες του που συντηρούν τον κύκλο ζωής του πλανήτη, με τον ίδιο τρόπο που διατίθεται για να καλύψει τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Το μείζον ζήτημα που ανακύπτει είναι ο καθορισμός της ποσότητας που θα συγκρατηθεί σε ένα υδρομαστευτικό έργο σε σχέση με αυτή που θα διατεθεί στο περιβάλλον. Το πρόβλημα συνίσταται στην κατανόηση των πολύπλοκων φυσικών και βιολογικών διεργασιών που συντελούνται σε ένα υδάτινο οικοσύστημα και στις αλληλεπιδράσεις μεταξύ τους, καθώς και στον τρόπο με τον οποίο αυτές εξαρτώνται από τη φυσική

δίαιτα του ποταμού. Τη λύση σε αυτό το πρόβλημα έρχονται να δώσουν οι πολυάριθμες μελέτες που διεξάγονται ήδη από τη δεκαετία του 1970, οι οποίες αναδεικνύουν και περιγράφουν τις διάφορες μεθόδους εκτίμησης της οικολογικής παροχής.

Η βιβλιογραφία σχετικά με την εκτίμηση της οικολογικής παροχής είναι ιδιαίτερα μεγάλη και διευρύνεται συνεχώς. Εντούτοις, οι σχετικές πολιτικές που έχουν εφαρμοστεί δεν αντικατοπτρίζουν ούτε τη μελέτη που έχει διεξαχθεί, ούτε τη βούληση της διεθνούς κοινότητας για βιώσιμη διαχείριση των υδατικών πόρων. Οι περιπτώσεις εφαρμογής μεθόδων οικολογικής παροχής διεθνώς είναι λίγες και τοποθετούνται κυρίως στην Αυστραλία, την Αμερική και την Ευρώπη.

Σύμφωνα με τη μελέτη που διεξήγαγε η οργάνωση για την προστασία του περιβάλλοντος WWF (Le Quesne et al, 2010), παρατηρήθηκε ότι υπάρχει μια δυναμική τάση αναγνώρισης των οφελών της οικολογικής παροχής σε πολλές χώρες του πλανήτη και θέσπισης νόμων και κανονισμών για την απόδοσή της. 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. Σε όλα τα μεγάλα κράτη πλέον συζητείται το θέμα της οικολογικής παροχής και ενσωματώνεται στη χάραξη στρατηγικής σχετικά με τα ζητήματα του νερού. Επιπλέον, έχουν θεσπιστεί νόμοι που καθορίζουν τις μεθόδους εκτίμησης της οικολογικής παροχής, καθώς και την ελάχιστη τιμή της. Παράλληλα όμως, διακρίνεται ένα μεγάλο χάσμα ανάμεσα στην πολιτική βούληση και την πραγματική απόδοση οικολογικής παροχής σε υδρομαστευτικά έργα κάτω από ένα στρατηγικό πλάνο.

1.5 Διάρθρωση της εργασίας

Η παρούσα μελέτη έχει δομηθεί σε έξι κεφάλαια ως εξής:

Στο παρόν κεφάλαιο περιγράφεται η σημασία των ποταμών για το περιβάλλον και τον άνθρωπο και αποτυπώνεται η επίδραση του ρυθμού της ποτάμιας ροής. Ακολούθως, αναφέρονται οι τρόποι ανάσχεσης της ροής με έμφαση στα υδρομαστευτικά έργα και γίνεται μια εισαγωγή στην έννοια της οικολογικής παροχής.

Εκτίμηση Οικολογικής Παροχής από το Φράγμα του Μαραθώνα και Διαχείριση Διατιθέμενων Υδάτων

Στο Κεφάλαιο 2 περιγράφεται η περιοχή μελέτης της εργασίας, που περιλαμβάνει τη λεκάνη απορροής και το φράγμα του Μαραθώνα, καθώς και το κατόντη του φράγματος περιβάλλον.

Στο Κεφάλαιο 3 αναλύεται η έννοια της οικολογικής παροχής και περιγράφονται οι μέθοδοι εκτίμησής της. Επιπλέον παρουσιάζονται οι πλέον εφαρμοσμένες μέθοδοι διεθνώς, καθώς και στις Ελληνικές μελέτες.

Στο Κεφάλαιο 4 αποτυπώνεται η διαδικασία εκτίμησης της οικολογικής παροχής με χρήση διάφορων υδρολογικών μεθόδων και καταγράφεται η προτεινόμενη παροχή που πρέπει να αποδοθεί στο περιβάλλον.

Το Κεφάλαιο 5 περιλαμβάνει τη μελέτη διαχείρισης της οικολογικής παροχής. Σε αυτό γίνεται αναγνώριση των υδρολογικών προβλημάτων της περιοχής κατόντη του φράγματος, ως αποτέλεσμα της ανάσχεσης της ροής του ποταμού της Οινόης και γίνεται επεξεργασία των απαιτούμενων λύσεων αξιοποίησης της προταθείσας οικολογικής παροχής.

Στο Κεφάλαιο 6 καταγράφονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τη μελέτη εκτίμησης και διαχείρισης της οικολογικής παροχής του φράγματος του Μαραθώνα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΤΟ ΦΡΑΓΜΑ ΤΟΥ ΜΑΡΑΘΩΝΑ

Το φράγμα του Μαραθώνα αποτελεί το πρώτο σημαντικό έργο ύδρευσης της περιοχής της Πρωτεύουσας κατά τον 20ο αιώνα. Με την περάτωση των εργασιών του φράγματος, δημιουργήθηκε ο ταμιευτήρας του Μαραθώνα, ή λίμνη του Μαραθώνα όπως είναι ευρύτερα γνωστός. Η λίμνη του Μαραθώνα βρίσκεται στην περιοχή του Μαραθώνα της βορειοανατολικής Αττικής σε απόσταση 30 km από την Αθήνα, στα σύνορα μεταξύ των Καλλικρατικών δήμων Μαραθώνα και Ωρωπού. Το φράγμα έχει κατασκευαστεί στη συμβολή πολλών ρεμάτων που συγκεντρώνουν της απορροές της γύρω λεκάνης, με κυριότερα το ρέμα Βαρνάβα και τον ποταμό Χάραδρο, που πηγάζει από την Πάρνηθα. Ο πλησιέστερος στη λίμνη οικισμός είναι ο Βόθωνας Αττικής στα ανατολικά, ενώ 6 km νοτιότερα βρίσκεται η πόλη του Μαραθώνα.

2.1 Το υδρευτικό πρόβλημα της Αθήνας

Από τα αρχαία χρόνια η Αττική δεν ήταν ικανή να υδρεύσει επαρκώς τους κατοίκους της και αντιμετώπιζε διαρκή προβλήματα λειψυδρίας, καθώς άλλωστε και οι υδρολογικές συνθήκες που επικρατούσαν στην περιοχή της πρωτεύουσας δεν υπήρξαν ποτέ ευνοϊκές. Σύμφωνα με το μύθο, τα φαινόμενα λειψυδρίας της Αθήνας ξεκινούν από τον αγώνα του Ποσειδώνα και της Αθηνάς για την προστασία της πόλης. Ο Ποσειδώνας χτύπησε με την τρίαινα του το βράχο και ανέβλυσε νερό, ενώ η Αθηνά δώρισε την ελιά. Οι κάτοικοι επέλεξαν την Αθηνά και έδωσαν στην πόλη το όνομά της. Από τότε ο Ποσειδώνας εκδικείται τους αθηναίους οι οποίοι υποφέρουν από την έλλειψη νερού.

Το κλίμα της Αττικής χαρακτηρίζεται από ήπιους χειμώνες και ξηρά καλοκαίρια και η μέση ετήσια βροχόπτωση ανέρχεται σε 400mm. Το σύστημα υδροδότησης των κατοίκων της Αθήνας περιελάμβανε πηγάδια, κρήνες και πηγές. Τον 10^ο και 11^ο αιώνα π.Χ. υπήρχαν 11 πηγάδια νερού αρχικά στα βόρεια της Ακρόπολης και αργότερα προς την Αγορά. Τα πηγάδια γίνονται τριάντα κατά τον 9^ο και 8^ο αιώνα π.Χ. με μέσο βάθος 4-5 μέτρα και 62 κατά τον 6^ο αιώνα π.Χ. με διπλάσιο μέσο βάθος, γεγονός που υποδηλώνει τη διαρκή ανάγκη για εξεύρεση λύσεων στο πρόβλημα της υδροδότησης της Αθήνας. Άλλωστε κατά τον 5^ο αιώνα π.Χ. ο πληθυσμός της Αθήνας ανέρχεται σε 200.000 άτομα και η ζήτηση για νερό δύσκολα καλύπτεται από τις κοντινές πηγές.

Εκτίμηση Οικολογικής Παροχής από το Φράγμα του Μαραθώνα και Διαχείριση Διατιθέμενων Υδάτων

Η λύση που βρέθηκε ήταν η προσπάθεια υδρομάστευσης των πηγών του Υμηττού. Στα τέλη του 6^{ου} αιώνα π.Χ. κατασκευάζεται το Πεισιστράτειο υδραγωγείο, με σκοπό να τροφοδοτηθεί η πόλη της Αθήνας με ύδατα εκτός αυτής, από τον ποταμό Ιλισό. Το Πεισιστράτειο υδραγωγείο αποτέλεσε ένα τεράστιο έργο με μήκος, που ξεπερνούσε τα 6 km, αποτελώντας έτσι το μεγαλύτερο από τα γνωστά υδραγωγεία των αρχαϊκών χρόνων. Ξεκινούσε πιθανότατα από τις πλαγιές του Υμηττού και κατέληγε στην περιοχή ανατολικά της Ακρόπολης, όπου διακλαδιζόταν σε βόρειο και νότιο κλάδο. (Τάσιος, 2002)

Κατά τον 4^ο αιώνα π.Χ. επιδεινώνονται οι υδρολογικές συνθήκες καθώς αναζητείται πλέον νερό σε ακόμα μεγαλύτερα βάθη. Πιθανότατα υπήρξε καταβιβασμός της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα εξαιτίας μιας παρατεταμένης ανομβρίας. Το επόμενο βήμα είναι η υδρομάστευση των πηγών της Πάρνηθας, 18 km βόρεια της τότε Αθήνας με την κατασκευή υδραγωγείου που ονομάστηκε «Αχαρνικός οχετός». Παράλληλα λαμβάνονται και άλλα μέτρα για την αντιμετώπιση της ανομβρίας όπως η γενικευμένη χρήση ομβροδόχων και η γενικότερη μέριμνα για τη σωστή διαχείριση των υδραυλικών πόρων (Τάσιος, 2002).

Κατά την Ελληνιστική περίοδο, σταματούν τα μεγάλα υδραυλικά έργα στην Αθήνα, ενώ η εισβολή των Ρωμαίων προκαλεί φθορές στα ήδη υπάρχοντα. Η λύση πάλι θα δοθεί με την κατασκευή ενός νέου υδραγωγείου τον 2^ο αιώνα μ.Χ. από τον Ρωμαίο Αυτοκράτορα Αδριανό, το οποίο πήρε το όνομά του. Το Αδριάνειο υδραγωγείο ξεκινάει από τους πρόποδες της Πάρνηθας και καταλήγει μετά από διαδρομή 20 km στη δεξαμενή του Λυκαβηττού. Το έργο αυτό θα υδροδοτεί την Αθήνα για τα επόμενα 1800 χρόνια μέχρι το 1931 όταν κατασκευάστηκε το φράγμα και το υδραγωγείο του Μαραθώνα (Τάσιος, 2002).

Τους επόμενους αιώνες η Αθήνα γνώρισε πολλούς κατακτητές με αποτέλεσμα να μην υπάρχει μέριμνα για την κατασκευή σημαντικών υδραυλικών έργων. Αντίθετα τα μεγάλα υδραγωγεία του παρελθόντος αντιμετώπιζαν σοβαρά προβλήματα. Κατά την περίοδο της Τουρκοκρατίας το Αδριάνειο Υδραγωγείο και η Αδριάνειος δεξαμενή εγκαταλείφθηκαν και κατασκευάστηκαν κάποια μικρά υδραγωγεία τα οποία σε πολλά τους τμήματα ακολουθούσαν τη χάραξη των μεγάλων αρχαίων υδραγωγείων.

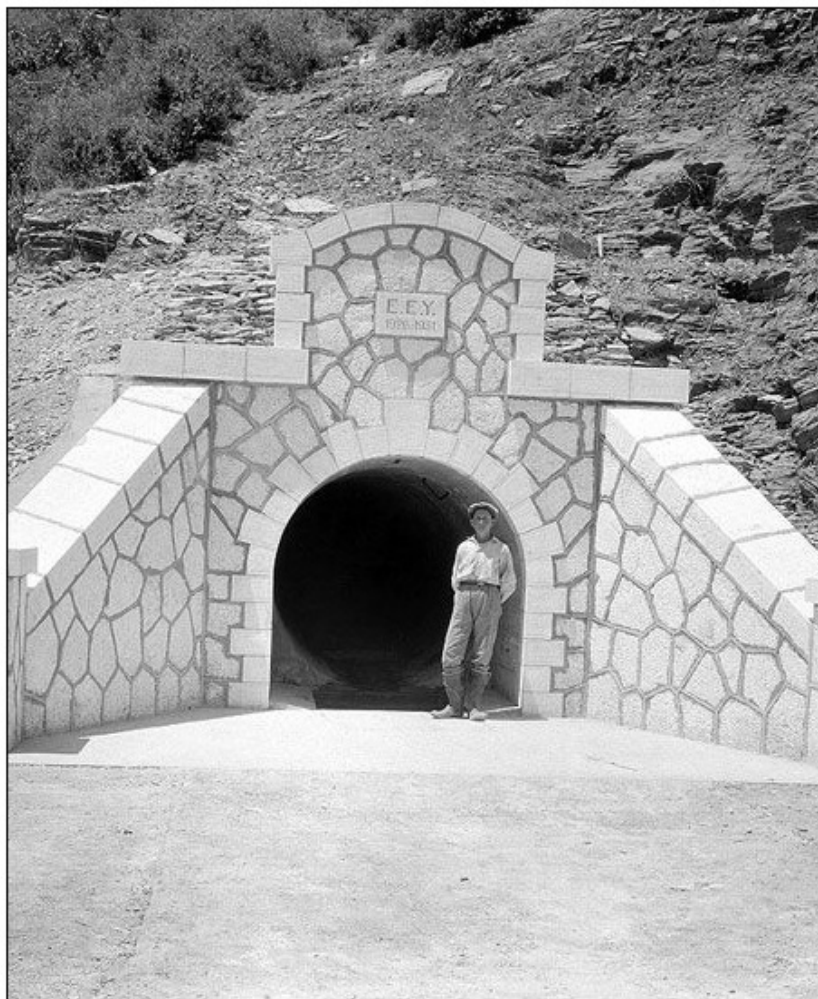
Τα προβλήματα οξύνονται μετά την απελευθέρωση από τους Τούρκους και την ανακήρυξη της Αθήνας σε πρωτεύουσα το 1834. Η Αθήνα είναι μια διαλυμένη πόλη με κατεστραμμένα μνημεία και υποδομές. Ο τότε λιγοστός πληθυσμός υποφέρει από την ανεπάρκεια νερού και τις ασθένειες λόγω της μόλυνσης του. Σταδιακά ο πληθυσμός της Αθήνας θα αρχίσει να αυξάνεται και να εντείνονται τα φαινόμενα λειψυδρίας. Στην προσπάθεια καθαρισμού και επαναλειτουργίας των παλαιών υδραγωγείων ανακαλύφθηκε ξανά κατά το 1870 το Αδριάνειο Υδραγωγείο. Το υδρευτικό πρόβλημα της Αθήνας όμως, της οποίας ο πληθυσμός έχει ανέλθει σε 150.000 κατοίκους τα τέλη του 19^{ου} αιώνα, μεγαλώνει και απαιτεί ριζικές και οριστικές λύσεις. Κατά συνέπεια στις αρχές του 20^{ου} αιώνα συντάσσεται πλήθος μελετών κατά τις οποίες προτείνονται ως λύσεις ο Μαραθώνας, η Υλίκη, η Στυμφαλία, ο Βοιωτικός Κηφισός και η Κωπαΐδα. Η Μικρασιατική καταστροφή που ακολουθεί θα εκτοξεύσει τον πληθυσμό της ευρύτερης περιοχής της πρωτεύουσας στους 800.000 κατοίκους με τη διατιθέμενη ποσότητα νερού να είναι μόλις 10 lt/κατ/d, συνεπώς η επίλυση του υδρευτικού προβλήματος θα είναι πια επιτακτική ανάγκη (Νεστορίδου 2002, Αφτιάς κ.α. 1990).

Το 1923 το Ελληνικό κράτος διεξάγει διεθνή διαγωνισμό για την εκπόνηση οριστικής μελέτης βάσει της προμελέτης ύδρευσης της Αθήνας και του Πειραιά από τον Βοιωτικό Κηφισό, που είχε υποβληθεί από την Αμερικάνικη εταιρεία Ford, Bacon and Davis το 1919. Τον διαγωνισμό κέρδισε η εταιρεία Philip Holzman με τη μελέτη κατασκευής νέου ταμιευτήρα επί του Χάραδρου ποταμού και υδραγωγείου που έκανε την περιπορεία της Πεντέλης. Η λύση αυτή δεν προχώρησε λόγω έλλειψης κονδυλίων. Το 1924 η εταιρεία Ulen and Company πρότεινε ολοκληρωμένη λύση στο πρόβλημα ως προς τη μελέτη και τη χρηματοδότηση. Το Δεκέμβριο του 1924 υπογράφηκε η ιστορική συμφωνία με την αμερικάνικη εταιρεία για τη μελέτη, κατασκευή και λειτουργία όλων των απαραίτητων έργων για την υδροδότηση των 800.000 κατοίκων της Αθήνας και του Πειραιά. Η μέση κατανάλωση που προβλέφθηκε ήταν 80 lt/κατ/d. Τα έργα που ανατίθενται στην εταιρεία περιλαμβάνουν τα εξής (Νεστορίδου, 2002):

- Κατασκευή φράγματος στον ποταμό Χάραδρο και δημιουργία τεχνητής λίμνης ανάντη του φράγματος. (Εικόνα 4)

Εκτίμηση Οικολογικής Παροχής από το Φράγμα του Μαραθώνα και Διαχείριση Διατιθέμενων Υδάτων

- Κατασκευή υδραγωγείου από τη λίμνη του Μαραθώνα έως την Αθήνα συνολικού μήκους 21,5 km (σήραγγα Μπογιατίου, Εικόνα 2).
- Κατασκευή μονάδας επεξεργασίας νερού (ΜΕΝ) στην περιοχή του Γαλασίου.
- Πλήρης κατασκευή δικτύου διανομής νερού στην Αθήνα.
- Κατασκευή αντλιοστασίων και δεξαμενών αποθήκευσης νερού.



Εικόνα 2: Σήραγγα Μπογιατίου

Πηγή: Φωτογραφικό Αρχείο ΕΥΔΑΠ

Τα έργα ολοκληρώθηκαν το 1931. Ακολούθησε μια δεύτερη φάση έργων με την κατασκευή υδραγωγείου που συνέδεε το Μαραθώνα με το χείμαρρο Κακοσάλεσι μήκους 25 km. Τα δύσκολα χρόνια που ακολούθησαν είχαν ως αποτέλεσμα την καθυστέρηση του έργου αυτού, το οποίο εντέλει παραδόθηκε το 1950. Η μεγάλη καθυστέρηση είχε τραγικές συνέπειες με αποκορύφωμα το δραστικό περιορισμό της διανομής νερού (Εικόνα 3). Αποφασίστηκε έτσι η κατασκευή γρήγορων και

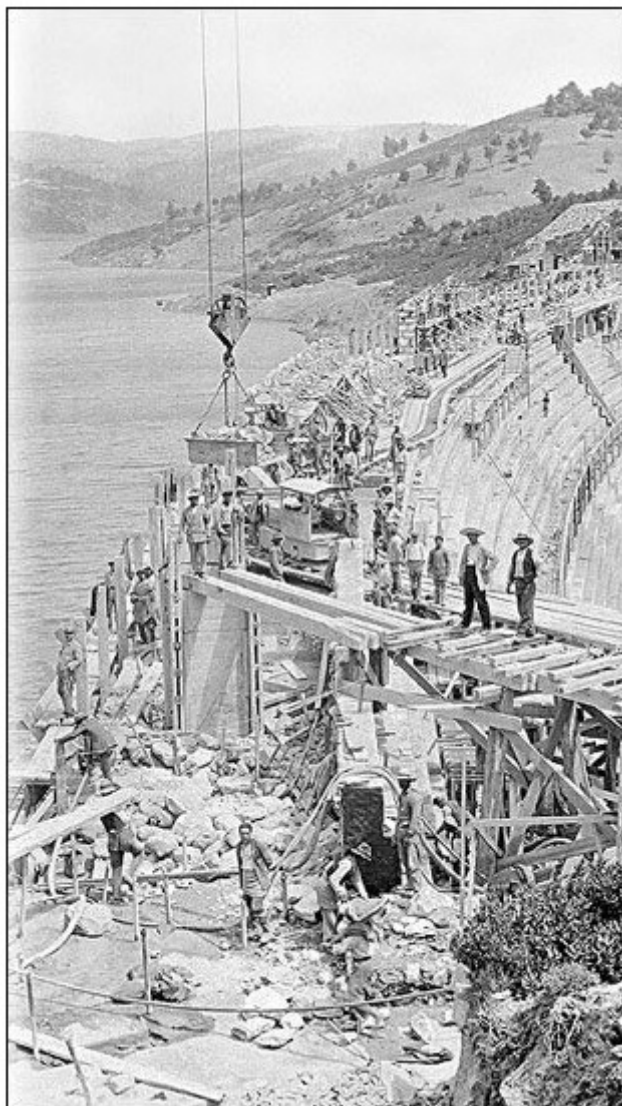
Εκτίμηση Οικολογικής Παροχής από το Φράγμα του Μαραθώνα και Διαχείριση Διατιθέμενων Υδάτων

αποδοτικών έργων όπως η τροφοδότηση της λίμνης του Μαραθώνα με νερό από τις πηγές του Κάτω Σουλίου το 1947 και από τις γεωτρήσεις του Αγίου Θωμά Βοιωτίας το 1951.



Εικόνα 3: Διανομή νερού στο Μεσοπόλεμο
Πηγή: Αρχείο ΕΥΔΑΠ

Είναι σαφές ότι ο ταμιευτήρας του Μαραθώνα και η εκμετάλλευση της γύρω λεκάνης δεν αποτέλεσε παρά μια προσωρινή λύση στο υδρευτικό πρόβλημα της Αθήνας, αν και αποτέλεσε το σημαντικότερο υδρευτικό έργο μετά την κατασκευή του Αδριάνειου Υδραγωγείου, 1800 χρόνια πριν. Ήδη από το 1943 εμφανίζεται η ιδέα της εκμετάλλευσης της φυσικής λίμνης Υλίκης και το 1959 μπαίνει σε λειτουργία η άντληση νερών από τη λίμνη. Η σύνδεση του υδραγωγείου της Υλίκης με το σύστημα του Μαραθώνα έγινε στο πέρας του υδραγωγείου Κακοσάλεσι. Το υψόμετρο της λίμνης είναι αρκετά χαμηλό, οπότε απαιτείται η λειτουργία πλωτών και χερσαίων αντλιοστασίων. Το κεντρικό αντλιοστάσιο της Υλίκης είναι το μεγαλύτερο στην Ευρώπη. Η μέγιστη παροχετευτικότητα της λίμνης είναι $730.000 \text{ m}^3/\text{d}$. (Ιστότοπος ΕΥΔΑΠ)



Εικόνα 4: Κατασκευή φράγματος Μαραθώνα
Πηγή: Φωτογραφικό Αρχείο ΕΥΔΑΠ

Τα επόμενα χρόνια ξανά η ραγδαία αύξηση του πληθυσμού θα επαναφέρει στο προσκήνιο το ζήτημα του νερού καθώς ο πληθυσμός ανέρχεται σε 1.400.000 κατοίκους ήδη από την απογραφή του 1951. Το έργο της τροφοδότησης της λίμνης του Μαραθώνα από την Υλίκη έχει άλλωστε εκτιμηθεί ότι μπορεί να εξυπηρετεί τις ανάγκες των κατοίκων μέχρι τα τέλη της δεκαετίας του 1960. Η οριστική λύση στο πρόβλημα θα ερχόταν μέσω της δυνατότητας αδιάλειπτης παροχής νερού στην πρωτεύουσα. (Κωνσταντάκος, 2002)

Η τελική λύση που προτάθηκε ήταν η οριστική μελέτη της κατασκευής φράγματος και υδραγωγείου από τον ποταμό Μόρνο. Το φράγμα που βρίσκεται επί του ποταμού Μόρνου, αποτελεί το ψηλότερο χωμάτινο φράγμα της Ευρώπης με ύψος που φτάνει

Εκτίμηση Οικολογικής Παροχής από το Φράγμα του Μαραθώνα και Διαχείριση Διατιθέμενων Υδάτων

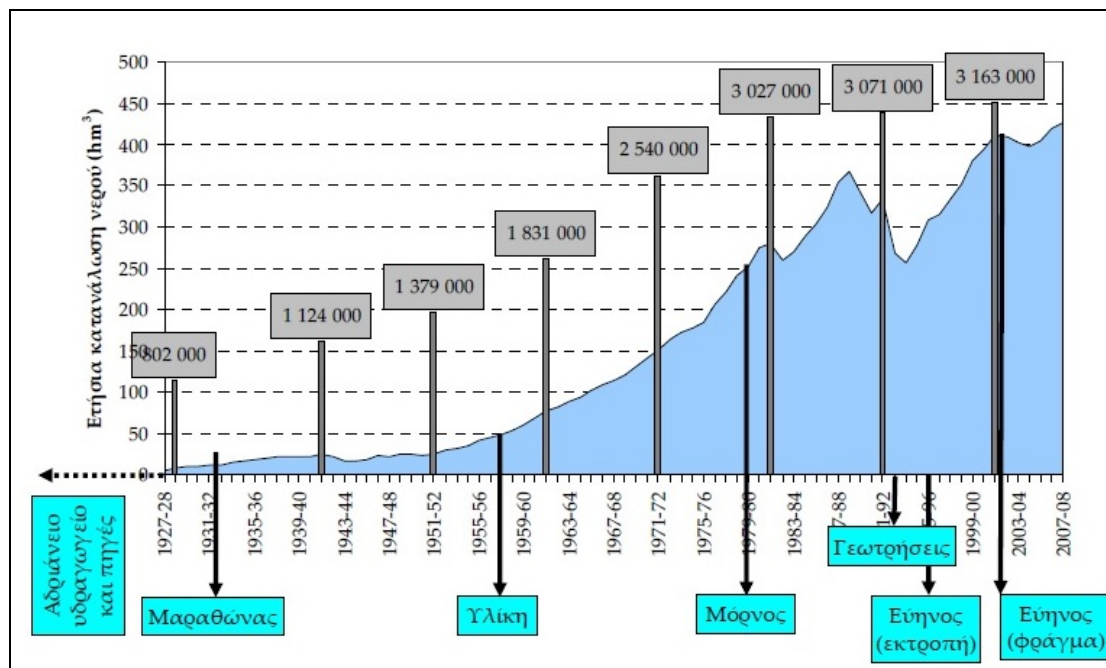
τα 126 m (Εικ. 6). Το υδραγωγείο έχει συνολικό μήκος 188 km και λειτουργεί βαρυτικά. Την επέκταση του έργου του Μόρνου αποτελεί η κατασκευή φράγματος στον ποταμό Εύηνο και η εκτροπή του μεγαλύτερου μέρους των ανάντη εισροών του προς την τεχνητή λίμνη του Μόρνου. Το έργο περαιώθηκε το 1999. Η μέγιστη παροχή του ενωτικού υδραγωγείου Μόρνου-Εύηνου είναι 23 m³/s.



Εικόνα 5: Το φράγμα του Μόρνου
Πηγή: Φωτογραφικό Αρχείο ΕΥΔΑΠ

Συνοπτικά, η εξέλιξη του πληθυσμού της Αθήνας, σε συνδυασμό με την ετήσια κατανάλωση ύδατος και την κατασκευή υδρευτικών έργων κατά τον 20^ο αιώνα παρουσιάζονται στο ακόλουθο διάγραμμα (Εικ. 6).

Εκτίμηση Οικολογικής Παροχής από το Φράγμα του Μαραθώνα και Διαχείριση Διατιθέμενων Υδάτων



Εικόνα 6: Εξέλιξη κατανάλωσης, πληθυσμού και υδρευτικών έργων στην Αθήνα του 20ου αιώνα.

Πηγή: Μαμάσης, 2012

Όπως φαίνεται από την παραπάνω εικόνα, η ραγδαία αύξηση του πληθυσμού της Αθήνας και συνακόλουθα της κατανάλωσης ύδατος στη διάρκεια του περασμένου αιώνα οδήγησε στην κατασκευή των μεγάλων υδρευτικών έργων. Σήμερα η κατανάλωση νερού στην πρωτεύουσα αγγίζει τα 450 hm³/y, ενώ το απολήψιμο απόθεμα από όλους τους διαθέσιμους ταμιευτήρες βρίσκεται στα επίπεδα των 1000 hm³, όπως φαίνεται και στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1: Μέσες και Μέγιστες υδραυλικές απολήψεις από τους ταμιευτήρες ύδρευσης της Αθήνας, καθ' όλη τη διάρκεια λειτουργίας τους.

Ταμιευτήρας	Μέση Ετήσια Απόληψη (hm ³)	Μέγιστη Ετήσια Υδρευτική Απόληψη(hm ³)
Μόρνος	291,0	490,4
Εύηνος	202,4	430,1
Μαραθώνας	68,8	108,1
Υλίκη	83,3	226,6

Πηγή: (Νικολόπουλος κ.α, 2009)

Η μεταφορά ακατέργαστου νερού από τις πηγές υδροληψίας (ταμιευτήρες-γεωτρήσεις), προς την Αθήνα γίνεται μέσω ενός εκτενούς συστήματος εξωτερικών υδραγωγείων συνολικού μήκους 485 km. Τα υδραγωγεία χωρίζονται ως εξής:

- Κύρια (Μόρνου, Υλίκης), συνολικού μήκους 310 km.

Εκτίμηση Οικολογικής Παροχής από το Φράγμα του Μαραθώνα και Διαχείριση Διατιθέμενων Υδάτων

- Ενωτικά (Μόρνου - Υλίκης, Μαραθώνα - Γαλασίου, Διστόμου), συνολικού μήκους 105 km.
- Βοηθητικά, συνολικού μήκους 80 km.

Η βασική πηγή νερού ύδρευσης για την Αθήνα είναι το σύστημα ταμιευτήρων Εύηνου - Μόρνου. Το υδραγωγείο του παραπάνω συστήματος λειτουργεί με βαρύτητα και δεν απαιτείται η οικονομική και ενεργειακή επιβάρυνση αντλήσεων. Μετά την περιοχή της Θήβας, το υδραγωγείο διακλαδίζεται με τον έναν κλάδο να καταλήγει στις Μονάδες Επεξεργασίας Νερού Γαλασίου, Μάνδρας και Αχαρνών (Εικόνα 7) και τον άλλο κλάδο να τροφοδοτεί το υδραγωγείο της Υλίκης καταλήγοντας στην τεχνητή λίμνη του Μαραθώνα.



Εικόνα 7: Μονάδα επεξεργασίας Νερού Αχαρνών
Πηγή: Φωτογραφικό Αρχείο ΕΥΔΑΠ

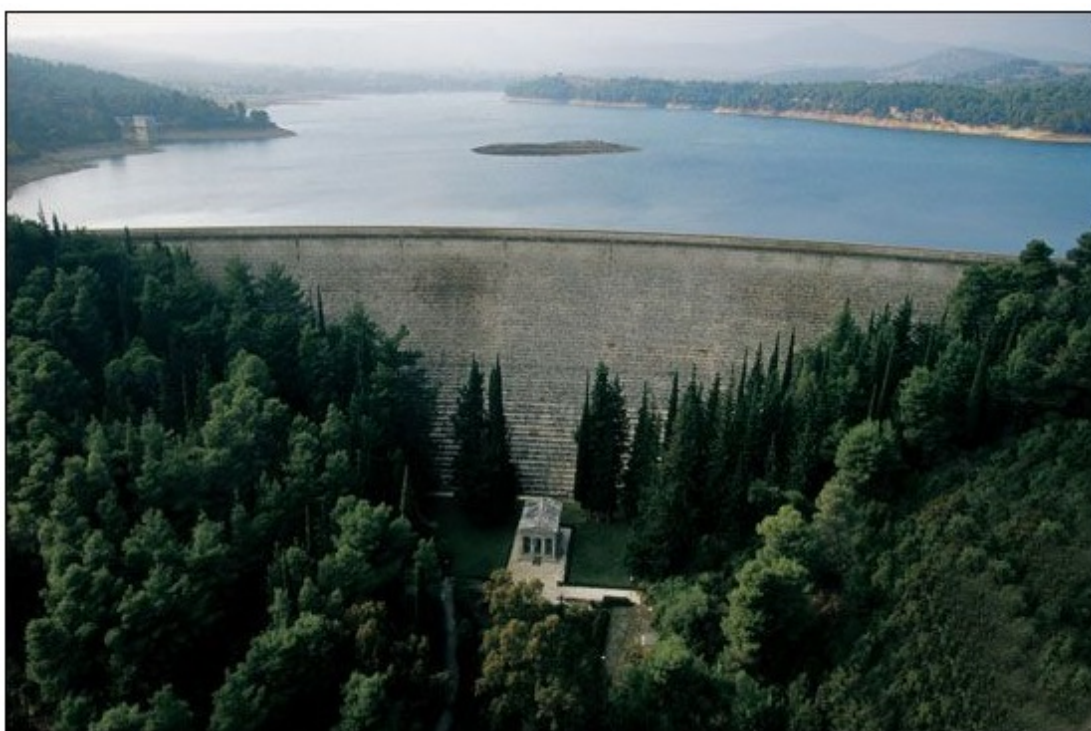
Το φράγμα του Μαραθώνα λειτουργεί κυρίως ως μια δεξαμενή αποθήκευσης των υδάτων που έρχονται από τους ταμιευτήρες της Υλίκης και του Μόρνου-Εύηνου, για λόγους ασφαλείας λόγω της εγγύτητάς του με την Πρωτεύουσα. Οι απορροές της γύρω λεκάνης αποτελούν ένα πολύ μικρό ποσοστό της ζήτησης των κατοίκων της Αθήνας, καθώς και της προσφοράς που υπάρχει από τα προαναφερθέντα φράγματα. Από τη λίμνη Μαραθώνα το νερό διοχετεύεται προς την Αθήνα, μέσω της σήραγγας

Εκτίμηση Οικολογικής Παροχής από το Φράγμα του Μαραθώνα και Διαχείριση Διατιθέμενων Υδάτων

Μπογιατίου και καταλήγει στην περιοχή της Χελιδονούς, μετά από διαδρομή 13,4 km. Από εκεί ξεκινάει μια σήραγγα μήκους 2,3 km και ένα πλέγμα αγωγών μήκους 5,8 km που μεταφέρουν το νερό στη ΜΕΝ Γαλατσίου. (Ιστότοπος ΕΥΔΑΠ)

2.2 Το φράγμα του Μαραθώνα

Το φράγμα του Μαραθώνα (Εικ. 8) είναι φράγμα βαρύτητας και έχει κατασκευαστεί από σκυρόδεμα, με μίγμα τσιμέντου και Θηραϊκής γης. Εξωτερικά έχει επενδυθεί εξ' ολοκλήρου με πεντελικό μάρμαρο, ίδιο με αυτό του Παρθενώνα, γεγονός που το καθιστά μοναδικό σε διεθνές επίπεδο.



Εικόνα 8: Το φράγμα του Μαραθώνα
Πηγή: Φωτογραφικό Αρχείο ΕΥΔΑΠ

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του φράγματος και του ταμιευτήρα του Μαραθώνα παρουσιάζονται στους πίνακες 2 και 3:

Πίνακας 2: Τεχνικά χαρακτηριστικά φράγματος Μαραθώνα

Μέγιστο ύψος	54 m
Μέγιστο ύψος (από στάθμη θεμελίωσης)	62,5 m
Μέγιστο πλάτος στη βάση	48 m
Πλάτος στέψης	4,5 m
Μήκος στέψης	285 m
Υψόμετρο στέψης	+ 227 m a.s.l.

Εκτίμηση Οικολογικής Παροχής από το Φράγμα του Μαραθώνα και Διαχείριση Διατιθέμενων Υδάτων

Υψόμετρο πόδα (κατώτερο σημείο)	+ 173 m a.s.l.
Στάθμη Υπερχείλιστη	+ 223 m a.s.l.
Παροχή Υπερχείλιστη	285 m ³ /s
Όγκος Υλικού Φράγματος	180.000 m ³ νερού (σκυροδέματος και λιθοδομής)

Πηγή: Ιστότοπος ΕΥΔΑΠ, ιδία επεξεργασία

Πίνακας 3: Τεχνικά χαρακτηριστικά ταμιευτήρα Μαραθώνα

Μέγιστη επιφάνεια στη στάθμη υπερχείλισης	2,57 km ²
Λεκάνη απορροής	118 km ²
Μέση εισροή	21 hm ³ /y
Μέση βροχόπτωση	680 mm/y
Μέση εκροή	19 hm ³ /y
Ολική χωρητικότητα	42,85 hm ³
Μέγιστος ωφέλιμος όγκος	34 hm ³
Κατώτατη στάθμη υδροληψίας	+ 204,4 m a.s.l.

Πηγή: Ιστότοπος ΕΥΔΑΠ, ιδία επεξεργασία

Μετά την περάτωση των έργων του φράγματος, προκειμένου να τονιστεί η τεράστια σημασία του έργου για τους Αθηναίους, κατασκευάστηκε στη βάση του ένα μνημείο, που αποτελεί ομοίωμα του Ναού των Δελφών που έχτισαν οι αθηναίοι μετά τη νίκη στη μάχη του Μαραθώνα (Εικ. 9). Ο ναός είναι αφιερωμένος στη νίκη των αθηναίων απέναντι στη λειψυδρία. Στο εσωτερικό του Ναού εμφανίζεται ο εκκενωτής πυθμένα και υπάρχει πρόσβαση στο εσωτερικό του φράγματος.

Η υδροληψία από τον ταμιευτήρα του Μαραθώνα γίνεται από το ανατολικό τμήμα του, όπου έχει κατασκευαστεί ο πέτρινος πύργος υδροληψίας. Από εκεί υπάρχει άμεση πρόσβαση στους αγωγούς.



Εικόνα 9: Ο Ναός στη βάση του φράγματος του Μαραθώνα.

Δίκτυο Αγωγών

Οι αγωγοί που έχουν τοποθετηθεί στο φράγμα, με σκοπό τη μάζευση υδάτων είναι οι εξής:

- 2 Αγωγοί μεταφοράς νερού προς την Αθήνα

Οι αγωγοί μεταφοράς νερού προς την Αθήνα είναι δύο, διαμέτρου Φ1000 ο καθένας και έχουν τοποθετηθεί κάτω από τον πύργο υδροληψίας του ταμειυτήρα. Στους αγωγούς είναι τοποθετημένες τέσσερις βάνες για τον έλεγχο της τροφοδοσίας του συστήματος ύδρευσης της Αθήνας. Οι αγωγοί στη συνέχεια εισέρχονται στη σήραγγα Μπογιατίου.

- Εκκενωτής πυθμένα

Το φράγμα του Μαραθώνα διαθέτει εκκενωτή πυθμένα. Ο εκκενωτής, καθώς εξέρχεται από το φράγμα, διέρχεται μέσα από τον Ναό, που βρίσκεται στην βάση του φράγματος. Ακολουθως εκβάλλει σε απόσταση 50 m από το φράγμα. Ο εκκενωτής δεν

έχει λειτουργήσει ποτέ στη διάρκεια ζωής του έργου και θεωρείται αμφίβολη η λειτουργία του λόγω της συγκέντρωσης φερτών στη βάση του φράγματος.



Εικόνα 10: Ο πύργος υδροληψίας του ταμιευτήρα Μαραθώνα.

- Αγωγός μεταφοράς νερού προς το κωπηλατοδρόμιο του Σχινιά.

Μετά την περάτωση του κωπηλατοδρομίου του Σχινιά, το 2004 εν όψει των Ολυμπιακών Αγώνων της Αθήνας, κατασκευάστηκε ένας αγωγός μεταφοράς νερού που συνδέει τον ταμιευτήρα του Μαραθώνα με το κωπηλατοδρόμιο (Εικ. 11). Ο αγωγός αυτός έχει διάμετρο Φ600 και ξεκινάει από τη θέση του πύργου υδροληψίας, από όπου ελέγχεται η λειτουργία του. Ακολούθως, κινείται διαμέσου του φράγματος και εμφανίζεται ξανά στην επιφάνεια του εδάφους, μέσα στο ρέμα της Οινόης, περί τα 200 m από το φράγμα. Στη συνέχεια η χάραξη του γίνεται κατά μήκος του διαμορφωμένου ρέματος της Οινόης. Ο αγωγός κατασκευάστηκε αρχικά για την πλήρωση του κωπηλατοδρομίου σε περίπτωση μη επάρκειας των υδάτων που προήλθαν από τη Μακαρία Πηγή και έκτοτε τίθεται σε λειτουργία ανά τακτά χρονικά διαστήματα.



Εικόνα 11: Ο αγωγός μεταφοράς νερού από τον ταμιευτήρα του Μαραθώνα προς το κωπηλατοδρόμιο του Σχινιά, καθώς διέρχεται κατά μήκος του ρέματος της Οινόης.

2.3 Δήμος Μαραθώνα

Η περιοχή μελέτης της παρούσας εργασίας δύναται να χωριστεί σε 2 τμήματα. Το πρώτο τμήμα αφορά στη λεκάνη απορροής ανάντη του φράγματος του Μαραθώνα και το δεύτερο στην υπάρχουσα κατάσταση κατάντη αυτού.

2.3.1 Λεκάνη απορροής λίμνης Μαραθώνα

Η λεκάνη απορροής του Μαραθώνα καλύπτει έκταση 118 km². Η λεκάνη εκτείνεται ανατολικά από την περιοχή της Αγ. Παρασκευής και του Βαρνάβα συγκεντρώνοντας τις απορροές των γύρω λόφων όπως ο Στραβαετός και ο Πεταλάς. Κύριος τροφοδότης των νερών που πηγάζουν από τα Ανατολικά είναι το ρέμα Βαρνάβα, το οποίο στο ύψος του οικισμού Πουρίθι συναντά το ρέμα Παλιομιαούλη που πηγάζει ανατολικά του Μικροχωρίου, πριν καταλήξει στην τεχνητή λίμνη.

Στα δυτικά, η λεκάνη δέχεται τις απορροές από την περιοχή του Αγ. Στεφάνου, μέσω διάφορων ρεμάτων όπως το ρέμα της Σταμάτας και του Αγίου Στεφάνου. Πιο βορειοδυτικά, η λεκάνη απορροής εκτείνεται πέρα από την περιοχή της Ιπποκράτειου Πολιτείας, καθώς δέχεται τις απορροές της Πάρνηθας. Τα ύδατα αυτά καταλήγουν

Εκτίμηση Οικολογικής Παροχής από το Φράγμα του Μαραθώνα και Διαχείριση Διατιθέμενων Υδάτων

στην λίμνη του Μαραθώνα μέσω του Χάραδρου ποταμού, ο οποίος αποτελεί και το βασικό τροφοδότη της.

Το βόρειο τμήμα της λεκάνης φτάνει μέχρι το Μικροχώρι, βόρεια του Καπανδριτίου και τον λόφο της Αγίας Τριάδος. Σε αυτό το τμήμα διακρίνεται επίσης μια σειρά ρεμάτων, κυρίως από τις περιοχές του Καπανδριτίου και του Πολυδενδρίου. Συνολικά, η λεκάνη απορροής της λίμνης του Μαραθώνα καλύπτει ένα μεγάλο τμήμα της ανατολικής Αττικής συλλέγοντας σημαντική ποσότητα υδάτων, λόγω της ιδιαίτερης γεωμορφολογίας και της γεωγραφικής θέσης της, γεγονός που δικαιολογεί την επιλογή της θέσης αυτή για την κατασκευή του ομώνυμου φράγματος (χάρτης 1).

2.3.2 Υπάρχουσα κατάσταση κατάντη φράγματος

Κατάντη του φράγματος του Μαραθώνα δεσπόζει ο καλλικρατικός δήμος του Μαραθώνα. Ο Δήμος Μαραθώνα βρίσκεται βορειοανατολικά του Ν. Αττικής, σε απόσταση 42 km από την Αθήνα (χάρτης 2). Διοικητικά ανήκει στην περιφέρεια Αττικής, καθώς εντάσσεται στην περιφερειακή ενότητα Ανατολικής Αττικής. Σύμφωνα με τη νέα κατηγοριοποίηση των δήμων του σχεδίου Καλλικράτης, ο νέος Δήμος Μαραθώνα αποτελεί τη συνένωση των καποδιστριακών δήμων Νέας Μάκρης, Μαραθώνα, Βαρνάβα και Γραμματικού, οι οποίοι σήμερα αποτελούν τις δημοτικές ενότητες του Δήμου.

Η έκταση του Δήμου ανέρχεται σε 227 km² και αριθμεί 33.423 κατοίκους, σύμφωνα με την απογραφή των μόνιμων κατοίκων του 2011. Ο οικιστικός ιστός του Δήμου περιλαμβάνει ως κυριότερους οικισμούς τον Μαραθώνα και τη Νέα Μάκρη με πληθυσμό 7170 και 15.554 κατοίκων αντίστοιχα. Οι υπόλοιποι οικισμοί που διακρίνονται είναι ο Βαρνάβας, το Γραμματικό, το Κάτω Σούλι, ο Άγιος Παντελεήμων, ο Βρανάς και ο Νέος Βουτζάς (Πιν. 4). Έδρα του Δήμου αποτελεί ο Μαραθώνας.

Πίνακας 4: Διοικητική, πληθυσμιακή και οικιστική διαίρεση Δήμου Μαραθώνα.

Δήμος	Δημοτική Ενότητα	Πληθυσμός	Οικισμοί
Μαραθώνας	Μαραθώνος	12.849	Άγιος Παντελεήμων, Άνω Σούλι, Αύρα, Βόθων, Βρανάς, Κάτω Σούλι, Μαραθών, Σχινιάς
	Νέας Μάκρης	16.670	Νέα Μάκρη, Νέος Βουτζάς
	Γραμματικού	1.823	Αγία Μαρίνα, Γραμματικό, Σέσι

Εκτίμηση Οικολογικής Παροχής από το Φράγμα του Μαραθώνα και Διαχείριση Διατιθέμενων Υδάτων

	Βαρνάβα	2.081	Αγία Παρασκευή, Άγιοι Δημήτριος και Παντελεήμων, Άγιος Ιωάννης, Βαρνάβας, Λιμνιώνας, Μονή Μεταμορφώσεως Σωτήρος, Μονή Παναγίας, Πουρίθι
--	---------	-------	---

Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ, ίδια επεξεργασία

Από τη θέση του φράγματος του Μαραθώνα, ξεκινάει το φαράγγι της Οινόης όπου διέρχεται το διαμορφωμένο ρέμα που συγκέντρωνε τις απορροές της λεκάνης, ο ποταμός της Οινόης. Ο ποταμός μετά από διαδρομή 6 km ανάμεσα στα όρη Αγ. Λουκάς, Κοκκίνη και Κοτρώني, συναντά τον οικισμό του Μαραθώνα και την ομώνυμη πεδιάδα. Η εκβολή των νερών του ποταμού γίνεται από δύο υδατορεύματα, το ρέμα Σέχρι και το καινούργιο ρέμα που εκβάλλει σε απόσταση 700 m ανατολικότερα.

Η πεδιάδα βρίσκεται στην παράκτια ζώνη του όρμου του Μαραθώνα και οριοθετείται από τα όρη Κοτρώني και Στράτη από βορρά, το λόφο της Δρακονέρας και τη χερσόνησο της Κυνοσούρας δυτικά μέχρι το Πεντελικό όρος στα ανατολικά. Το μήκος της φτάνει τα 10 km από τη χερσόνησο της Κυνοσούρας μέχρι την περιοχή του οικισμού της Νέας Μάκρης. Το πλάτος της πεδιάδας είναι επίσης μεγάλο και φτάνει τα 3 km στο ύψος του οικισμού του Μαραθώνα και τα 4 km στο ύψος του Σχοινιά.

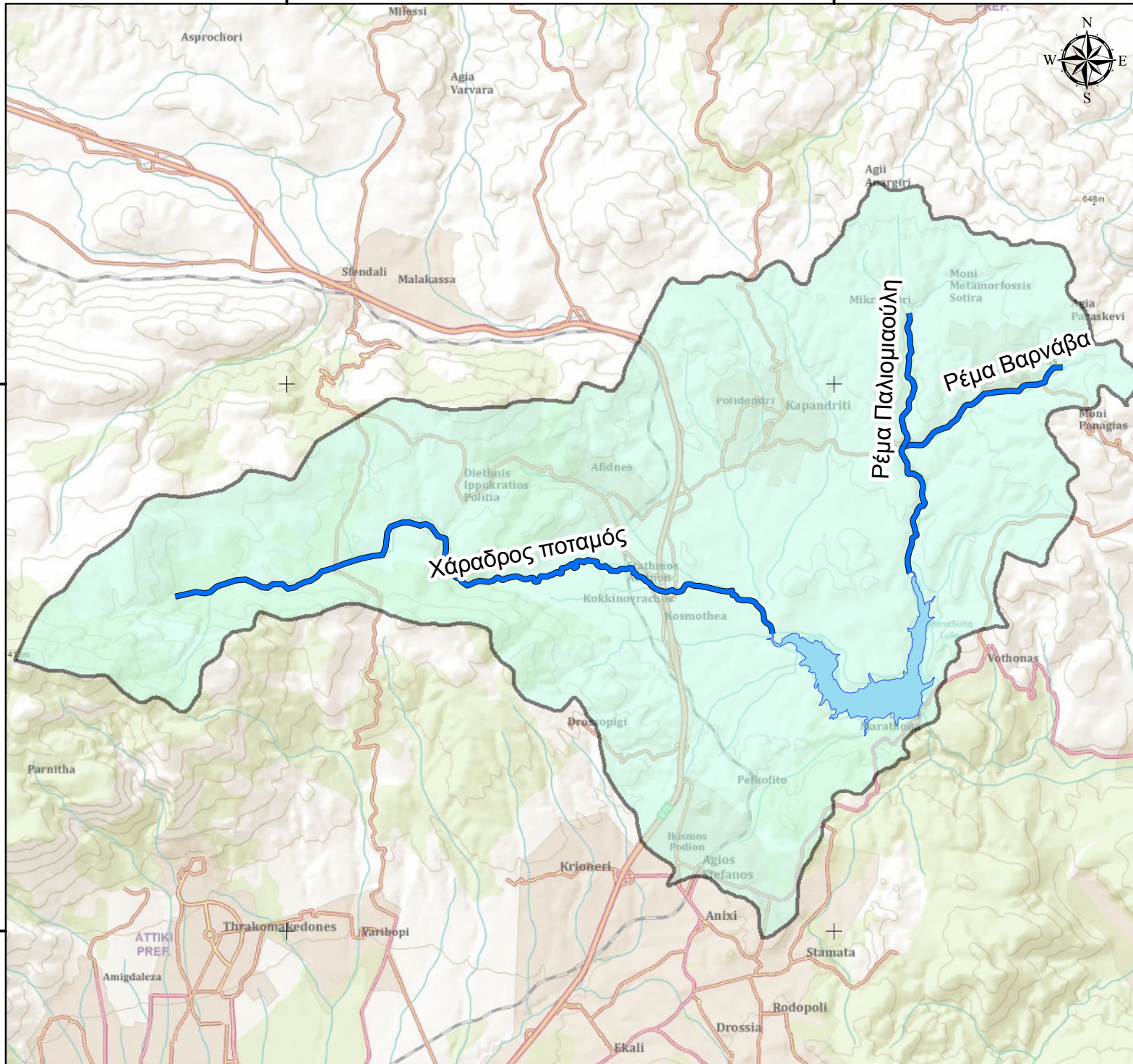
Η πεδιάδα του Μαραθώνα έχει έντονη αγροτική ανάπτυξη με μεγάλο τμήμα της να καλύπτεται από καλλιέργειες, ιδιαίτερα στα κεντρικά και δυτικά τμήματά της. Στα ανατολικά της πεδιάδας βρίσκεται το Εθνικό Πάρκο Σχινιά Μαραθώνα, ένα οικοσύστημα ιδιαίτερης αισθητικής και περιβαλλοντικής σημασίας.

➤ Εθνικό Πάρκο Σχινιά Μαραθώνα

Το Εθνικό Πάρκο Σχινιά Μαραθώνα βρίσκεται στην Βορειοανατολικά παράλια της Αττικής σε απόσταση 40 km από την Αθήνα. Αποτελεί ένα εξαιρετικό φυσικό τοπίο, το οποίο περιλαμβάνει τον υγροβιότοπο με το μεγάλο έλος, το δάσος της Κουκουναριάς, τη Μακαρία πηγή, το λόφο της Δρακονέρας, την αμμώδη παραλία, τη χερσόνησο της Κυνοσούρας, καθώς και πλήθος λιμνών και ρεμάτων (Εικόνα 12). Η έκταση που καταλαμβάνει το πάρκο είναι 13,84 km², συμπεριλαμβανομένου και του θαλάσσιου χώρου περίξ της ακτογραμμής. Η εναλλαγή αυτή του τοπίου και του αναγλύφου δημιουργεί ένα μοναδικό παράκτιο οικοσύστημα πολύ κοντά στην πρωτεύουσα.

480000

490000


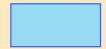
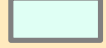


ΧΑΡΤΗΣ 1: ΚΥΡΙΟΙ ΥΔΑΤΙΝΟΙ ΤΡΟΦΟΔΟΤΕΣ ΛΙΜΝΗΣ ΜΑΡΑΘΩΝΑ

ΚΛΙΜΑΚΑ 1:100.000



ΥΠΟΜΝΗΜΑ

-  Ποταμός - Ρέμα
-  Λίμνη Μαραθώνα
-  Λεκάνη Απορροής

480000

490000

4230000

4230000

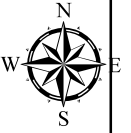
4220000

4220000

500000

550000

ΧΑΡΤΗΣ 2: ΔΗΜΟΣ ΜΑΡΑΘΩΝΑ



Δ. Διρφύων - Μεσσαπίων

Δ. Χαλκιδέων

Δ. Ερέτριας

Δ. Κύμης - Αλιβερίου

4250000

4250000

Δ. Τανάγρας

Δ. Ωρωπού

Δ. Μαραθώνος

Δ. Λαχαρνών

Δ. Φυλῆς

Δ. Διονύσου

Δ. Καρύστου

Δ. Πεντέλης

4200000

4200000

Δ. Κρωπίας

Δ. Σαρωνικού

Δ. Λαυρεωτικής

Δ. Κέας

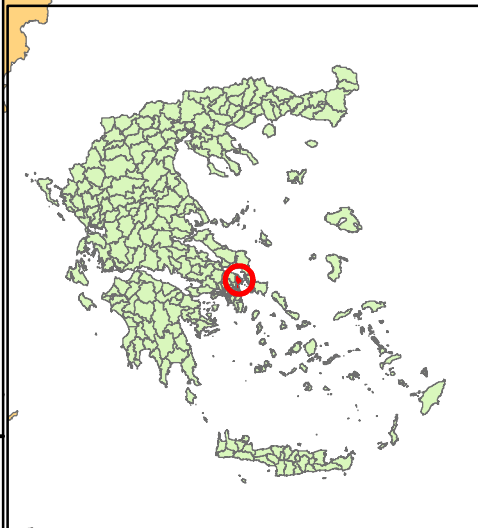
4150000

4150000

500000

550000

1:500.000





Εικόνα 12: Αποψη του Εθνικού Πάρκου Σχινιά Μαραθώνα.
Πηγή: Ιστότοπος Ελληνικής εταιρείας προστασίας της Φύσης

Το νερό επιτελεί ένα κυρίαρχο ρόλο καθώς η ροή του από τις πηγές προς τη θάλασσα, διαμέσου του πάρκου συντηρεί το έλος, τα ρέματα και τις λίμνες, με την πλούσια χλωρίδα και πανίδα. Η βλάστηση του πάρκου περιλαμβάνει το παράλιο πευκόδασος, που είναι ένα από τα 3 δάση κουκουναριάς στην Ελλάδα. Στους λόφους διακρίνεται θαμνώδης και ποώδης βλάστηση. Παράλληλα στον υγρότοπο αναπτύσσονται καλαμιώνες, αρμυρίκια και άλλα μονοετή φυτά. Η πανίδα του πάρκου είναι ιδιαίτερα ανεπτυγμένη με πολλά είδη θηλαστικών και ερπετών να διαβιούν στις χερσαίες και υδάτινες περιοχές του. Σημαντική είναι και η παρουσία της ορνιθοπανίδας, καθώς το πάρκο και ιδιαίτερα ο υγρότοπος αποτελούν σταθμό πλήθους αποδημητικών πουλιών αριθμώντας δεκάδες διαφορετικά είδη. (Ιστότοπος Εθνικό Πάρκο Σχινιά Μαραθώνα)

Η περιοχή του Σχινιά Μαραθώνα περιελήφθη στο δίκτυο Natura 2000 για την προστασία της φύσης ως τόπος κοινοτικής σημασίας με τον κωδικό GR 3000003. Το 2000 ιδρύθηκε το Εθνικό Πάρκο Σχινιά Μαραθώνα με το 22-6-2000 Προεδρικό Διάταγμα (ΦΕΚ 395Δ/2000), με στόχο την προστασία και αναβάθμιση της φύσης και του τοπίου της περιοχής. Στο διάταγμα οριοθετείται ο χώρος του Πάρκου,

Εκτίμηση Οικολογικής Παροχής από το Φράγμα του Μαραθώνα και Διαχείριση Διατιθέμενων Υδάτων

προσδιορίζονται οι ζώνες προστασίας του και καθορίζεται η διοίκηση και διαχείρισή του με τη δημιουργία φορέα Διαχείρισης. Το 2003 ιδρύθηκε ο Φορέας διαχείρισης του Εθνικού Πάρκου (ΦΕΚ 197Α 2002) με αρμοδιότητες που περιλαμβάνουν δράσεις προστασίας του Εθνικού Πάρκου, δράσεις αποκατάστασης του φυσικού περιβάλλοντος και το σχεδιασμό προγραμμάτων αναψυχής και ευαισθητοποίησης των πολιτών.

Σήμερα το πάρκο αντιμετωπίζει διάφορα προβλήματα με κυριότερο το χαμηλό υδατικό δυναμικό του έλους λόγω της απουσίας τροφοδότησής του με νερό από το κωπηλατοδρόμιο. Παράλληλα, το κωπηλατοδρόμιο δεν διαθέτει φυσικούς μηχανισμούς ανανέωσης του νερού, με αποτέλεσμα το νερό να λιμνάζει και να παρατηρούνται φαινόμενα ευτροφισμού, μόλυνσης και δυσοσμίας. Σημαντικό πρόβλημα επίσης αποτελούν οι οχλήσεις που δημιουργούνται τους καλοκαιρινούς μήνες, λόγω της αυξημένης παρουσίας επισκεπτών και τουριστών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΗΣ ΠΑΡΟΧΗΣ - ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ

3.1. Ιστορικό

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, ο άνθρωπος εδώ και χιλιάδες χρόνια ασχολείται με την αξιοποίηση των υδατικών πόρων προς όφελος της ύδρευσης, της άρδευσης και άλλων λειτουργιών που καλείται να επιτελέσει. Ήδη από την περίοδο της άνθησης του Μινωϊκού και του Κυκλαδικού πολιτισμού κατασκευάστηκαν διάφορα υδραυλικά έργα, όπως δεξαμενές, πηγάδια και υδραγωγεία. Στην Αθήνα το πρώτο μεγάλο υδραυλικό έργο ήταν το Πεισιστράτειο υδραγωγείο, που κατασκευάστηκε κατά τη διάρκεια της τυραννίας του Πεισίστρατου τον 6^ο αιώνα π.Χ.

Παράλληλα με τα έργα για την αξιοποίηση των υδατικών πόρων, στα αρχαία χρόνια δόθηκε έμφαση στην ορθή και δίκαιη διαχείρισή τους. Οι νόμοι και οι κανόνες που θεσπίζονταν αφορούσαν στην πρόσβαση των πολιτών στο αγαθό του νερού, με ταυτόχρονη μέριμνα για την διατήρηση της υγείας του υδατικού πόρου. Στον αρχαίο Αθηναϊκό πολιτισμό είχε θεσπιστεί ένα πλαίσιο μέτρων και θεσμών με γνώμονα την ισοκατανομή των υδατικών αποθεμάτων στο σύνολο των πολιτών. Αντίστοιχα στη Γόρτυνα της Κρήτης βρέθηκε επιγραφή από τον 5^ο αιώνα π.Χ. σχετικά με την εκμετάλλευση του ποταμού Ληθαίου που διέσχιζε την αρχαία πόλη. Η επιγραφή ανέφερε τα εξής:

«Θιοί· τὸ ποταμὸ αἶ κα κατὰ τὸ μέττον τὰν ῥοὰν θιθῆι ῥῆν κατὰ το τὸν αὐτὸ, θιθεμένωι ἄπατον ἤμην. Τὰν δὲ ῥοὰν λείπεν ὄττον κατέκει ἄ ἐπ' ἀγορῶι δέπυρα ἢ πλίον, μεῖον δὲ μῆ.» (Θεοί. Αν κάποιος κατευθύνει τη ροή του ποταμού στην ιδιοκτησία του δεν τιμωρείται. Πρέπει όμως, να αφήσει τόση ροή ώστε να καλύπτει σε πλάτος τη γέφυρα της αγοράς ή περισσότερη, όχι όμως λιγότερη.)

Ουσιαστικά το παραπάνω μέτρο αποτελεί την πρώτη καταγεγραμμένη προσπάθεια για απόδοση οικολογικής παροχής, εκφρασμένη με υδραυλικά κριτήρια. (Μαμάσης, 2012)

Στη σύγχρονη εποχή, η έννοια της οικολογικής παροχής εισήχθη ουσιαστικά στα μέσα του 20^{ου} αιώνα, καθώς η ραγδαία αύξηση της εκμετάλλευσης των υδατικών πόρων με την κατασκευή φραγμάτων και άλλων υδρομαστευτικών έργων είχε αρχίσει

να έχει αρνητικές συνέπειες στην υγεία των οικοσυστημάτων. Άλλωστε, η θεωρία που διέπει την περίοδο της άνθησης των υδατικών έργων συνοψίζεται στο ότι καμία σταγόνα δεν πρέπει να πηγαίνει χαμένη, καταλήγοντας μέσω των υδατορευμάτων στη θάλασσα. Κατά τη διάρκεια των δεκαετιών του 1950 και 1960, συντάχθηκε μεγάλος αριθμός μελετών, σχετικά με τη σχέση που συνδέει την αλιεία στα ποτάμια οικοσυστήματα με τα χαρακτηριστικά της ροής του ποταμού, όπως την παροχή ή τη μορφολογία του υδατορεύματος. Τη δεκαετία του 1970, οι έρευνες επικεντρώθηκαν στην ελάχιστη παροχή που είναι απαραίτητη για την επιβίωση των έμβιων όντων του ποταμού, καθώς η υγεία του ποτάμιου συστήματος συσχετίστηκε με τη διατήρηση της παροχής του ποταμού υψηλότερα από μια καθορισμένη κρίσιμη τιμή. Η πλέον ολοκληρωμένη μέθοδος εκτίμησης της ελάχιστης απαιτούμενης ποτάμιας ροής που προτάθηκε ήταν αυτή του Tennant(1976), η οποία συνεχίζει να χρησιμοποιείται και να μνημονεύεται μέχρι και σήμερα σε πλήθος εργασιών.

Τα επόμενα χρόνια η συζήτηση γύρω από την απαιτούμενη παροχή για περιβαλλοντικούς λόγους διευρύνθηκε, καθώς οι μελετητές θεωρούσαν απαραίτητη τη διερεύνηση όλων των χαρακτηριστικών του ποτάμιου συστήματος, που σχετίζονται με την ποτάμια ροή, όπως τους βιοτόπους, τη γεωμορφολογία του ποταμού και τα ενδιαιτήματα. Παράλληλα, αναγνωρίστηκε η σημασία όλων των παραμέτρων της φυσικής διαίτας του ποταμού, όπως οι πλημμυρικές απορροές ή οι χαμηλές παροχές και η επίδρασή τους στα ποτάμια συστήματα. Στις αρχές του 1990, οι μελέτες γύρω από τη βιώσιμη πλέον διαχείριση των υδατικών πόρων πολλαπλασιάστηκαν και εδραιώθηκε η έννοιας της οικολογικής παροχής (ή περιβαλλοντικής παροχής) που χρησιμοποιείται ευρέως σήμερα σε επιστημονικές δημοσιεύσεις. (Gopal, 2013)

Τα τελευταία χρόνια, η εκτίμηση και η διαχείριση της οικολογικής παροχής αποτελούν σημαίνοντα ζητήματα στον τομέα της διαχείρισης των υδατικών πόρων των κρατών. Ταυτόχρονα όμως πρόκειται για ένα πεδίο που δεν έχει ακόμα εξερευνηθεί σε βάθος. Οι μελέτες εκτίμησης της οικολογικής παροχής επικεντρώνονται πλέον στην αποσαφήνιση της επίδρασης που έχουν τα χαρακτηριστικά της διαίτας του ποταμού στη βιοποικιλότητα, την υγεία του οικοσυστήματος και τις λειτουργίες που αυτό επιτελεί.

3.2 Ο ορισμός της οικολογικής παροχής.

Υπάρχουν διάφοροι 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, Bergkamp και Scanlon 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. (Dyson et al, 2003)

Στη διακήρυξη του Brisbane το 2007, η οποία υπογράφεται από 750 επιστήμονες από περισσότερες από 50 χώρες, δίνεται μια πιο ολοκληρωμένη ερμηνεία του όρου οικολογική παροχή, εισάγοντας την έννοια του ρυθμού αλλά και της ποιότητας των υδάτων σε ένα οικοσύστημα. Παράλληλα, η διακήρυξη έρχεται να προσδώσει την ιδιαίτερη σημασία που έχει η οικολογική παροχή για τον άνθρωπο. Σύμφωνα με την ερμηνεία αυτή, η οικολογική παροχή είναι η παροχή που περιγράφει την ποσότητα, το ρυθμό και την ποιότητα των ροών των υδάτων που απαιτείται για τη διατήρηση των οικοσυστημάτων γλυκού νερού, καθώς και τη διαβίωση και ευημερία των ανθρώπων που εξαρτώνται από τα οικοσυστήματα αυτά. (The Brisbane Declaration, 2007)

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)

Συνολικά, το ερώτημα που τίθεται είναι κατά πόσο μπορούν να μεταβληθούν οι υδρολογικές συνθήκες που επικρατούν στο ποτάμιο σύστημα για να εξυπηρετηθούν οι ανθρώπινες ανάγκες, ώστε να μην υπάρξουν δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία του οικοσυστήματος. Το ερώτημα αυτό είναι ιδιαίτερα σύνθετο καθώς υπεισέρχονται πολλοί παράγοντες που αφορούν τόσο στον ποταμό, όσο και στα οικοσυστήματα που εξαρτώνται από τη φυσική ροή του. Αρχικά, μελετώνται τα υδρολογικά και ενδεχομένως τα υδραυλικά στοιχεία του ποτάμιου συστήματος. Επιπλέον, απαιτείται ο προσδιορισμός της κατάστασης τόσο των παρόχθιων συστημάτων όσο και των

υγροτόπων στις εκβολές του ποταμού, ώστε να διαπιστωθεί η δυνατότητα αφαίρεσης ποσότητας νερού, χωρίς να διαταραχθεί η οικολογική ισορροπία.

3.3 Μεθοδολογίες εκτίμησης οικολογικής παροχής

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 έχουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, με αποτέλεσμα καμία από αυτές να μη θεωρείται απαραίτητα καλύτερη από τις υπόλοιπες. Αντιθέτως, η καταλληλότητά τους εξαρτάται από πολλές παραμέτρους και από τις ιδιαίτερες συνθήκες κάθε μελέτης. Κυριότερες 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)

Οι μέθοδοι εκτίμησης της οικολογικής παροχής κατηγοριοποιούνται σε 4 κύριες κατηγορίες. Τα βασικά κριτήρια που εντάσσουν τις μεθόδους στην εκάστοτε κατηγορία είναι τα διαθέσιμα δεδομένα (π.χ. υδρολογικά, υδραυλικά), η προσέγγιση που ακολουθείται και η χρήση ή μη εξειδικευμένων επιστημόνων. Στην παρούσα μελέτη έχουν επισημανθεί και περιγραφεί 2 βασικές μορφές κατηγοριοποίησης, οι οποίες έχουν επικρατήσει στη διεθνή βιβλιογραφία. Η πρώτη υιοθετείται από τον οργανισμό IUCN (International Union for Conservation of Nature and Natural Resources) και περιγράφεται από τους Dyson et al (2003) και η δεύτερη από τον οργανισμό IWMI (International Water Management Institute) και περιγράφεται από τη Tharme (2003).

3.2.1 Κατηγοριοποίηση κατά IUCN

Η κατηγοριοποίηση κατά IUCN προβλέπει τέσσερις κατηγορίες μεθόδων (Dyson et al, 2003). Οι μέθοδοι περιλαμβάνουν περισσότερο ή λιγότερο 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:

α) Μέθοδοι Εξέτασης Πινάκων Δεδομένων (look-up tables)

β) Μέθοδοι ανάλυσης (Desk Top Analysis)

γ) Μέθοδοι ανάλυσης λειτουργίας (functional analysis)

δ) Μέθοδοι προσομοίωσης ενδαιτημάτων

α. 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. Οι υδρολογικοί δείκτες είναι αυτοί που χρησιμοποιούνται ευρέως, αλλά γίνεται εφαρμογή και οικολογικών δεικτών. Οι μέθοδοι βασίζονται κυρίως στα στατιστικά στοιχεία της φυσικής ροής του ποταμού, όπως είναι η μέση τιμή της παροχής. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι καμπύλες διάρκειας-παροχής και η μέθοδος Tennant, οι οποίες θα περιγραφούν παρακάτω.

Το βασικό πλεονέκτημα των μεθόδων της κατηγορίας αυτής είναι η μη απαίτηση μεγάλου όγκου δεδομένων διαφορετικών πεδίων, η ταχύτητα και η δυνατότητα εφαρμογής τους σε κάθε ποτάμιο σύστημα. Αυτό βέβαια εγκυμονεί κινδύνους αστοχίας στα αποτελέσματα καθώς δεν λαμβάνονται υπ' όψιν τα ιδιαίτερα οικολογικά χαρακτηριστικά.

β. 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

Εξετάζονται συνολικά η δίαιτα του ποταμού και όχι απλά κάποιες στατιστικές. Η βασική αρχή που τις διέπει είναι η διατήρηση της ακεραιότητας, της εποχικότητας και

της μεταβλητότητας των ροών, συμπεριλαμβανομένων των πλημμυρών και των περιόδων με χαμηλή ροή. Η πιο γνωστή μέθοδος της κατηγορίας αυτής είναι η μέθοδος Richter, που εξετάζει τις κρίσιμες παροχές του ποταμού με στόχο την προστασία του οικοσυστήματος. Αναλύονται τα χαρακτηριστικά της διαίτας του ποταμού με κυριότερους δείκτες την παροχή, το χρονικό σημείο, τη συχνότητα των γεγονότων και τη διάρκειά τους.

➤ Υδραυλικά δεδομένα

Εξετάζονται οι αλλαγές στα υδραυλικά δεδομένα του ποταμού όπως η βρεχόμενη περίμετρος για τον καθορισμό της απαιτούμενης οικολογικής παροχής. Οι μεταβλητές που χρησιμοποιούνται αποτελούν δείκτες της κατάστασης του βιοτόπου.

➤ Οικολογικά δεδομένα

Εδώ γίνεται χρήση τεχνικών στατιστικής για τη σύνδεση ανεξάρτητων μεταβλητών όπως η ροή με βιοτικά εξαρτώμενες μεταβλητές όπως ο πληθυσμός κάποιου ποτάμιου είδους. Σε αυτήν την κατηγορία ανήκει η μέθοδος LIFE (Lotic Invertebrate Index for Flow Evaluation) που βασίζεται στη συλλογή δεδομένων από την παρακολούθηση του μακροβένθους και της ανταπόκρισής του στις μεταβολές της ταχύτητας ροής του υδατορεύματος.

Το πλεονέκτημα των μεθόδων αυτών είναι η άμεση συσχέτιση μεταξύ της παροχής και των οικολογικών συνθηκών για την εκτίμηση της φυσικής λειτουργίας του εξεταζόμενου ποτάμιου συστήματος. Εντούτοις, τέτοιες μέθοδοι παρουσιάζουν σημαντικές δυσκολίες στην απομόνωση των οικολογικών δεικτών που εξαρτώνται αποκλειστικά από την παροχή, καθώς συνήθως υπεισέρχονται και άλλες παράμετροι, όπως η δομή του βιοτόπου ή η ποιότητα του νερού. Παράλληλα, τροχοπέδη αποτελεί η προσπάθεια εξεύρεσης των απαραίτητων οικολογικών και βιολογικών πληροφοριών. Γενικότερα, απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή στην ανεξαρτησία των επιλεγθέντων δεδομένων και στην επεξεργασία τους.

γ. 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. Η διαδικασία είναι αρκετά πιο πολύ πολύπλοκη σε σχέση με

τις μεθόδους που χρησιμοποιούν στατιστικά και δείκτες, για αυτό απαιτείται η παρουσία ειδικών επιστημόνων με εμπειρία και τεχνογνωσία.

Βασική μέθοδος της κατηγορίας αυτής είναι η BBM (Building Block Methodology) κατά την οποία τα ποτάμια είδη στηρίζονται σε βασικά στοιχεία (building blocks) της διαίτας του ποταμού, συμπεριλαμβανομένων των χαμηλών παροχών και των πλημμυρών, που διατηρούν τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά του ποταμού. Εξετάζονται όλες οι παράμετροι της διαίτας του ποταμού και το οικολογικό του προφίλ, ώστε να εκτιμηθούν οι επιπτώσεις των μεταβολών στην παροχή (μέγεθος, συχνότητα). Συνδυάζοντας αυτά τα βασικά στοιχεία εξάγεται μια αποδεκτή παροχή για τη διατήρηση του οικοσυστήματος. Η μεθοδολογία απαιτεί παρουσία ειδικών επιστημόνων με έμφαση στους τομείς της γεωμορφολογίας, της υδρογεωλογίας, της υδρολογίας και της βιολογίας.

δ. 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 σχέση μεταξύ της παροχής, του βιοτόπου και των ειδών που διαβιούν σε αυτόν μπορεί να περιγραφεί συνδέοντας τα φυσικά χαρακτηριστικά του ποταμού (πχ. βάθος, ταχύτητα ροής) σε διάφορες συνθήκες, με τις απαιτούμενες συνθήκες από τα είδη γλωρίδας και πανίδας. Αφότου προσδιοριστούν οι λειτουργικές σχέσεις μεταξύ του φυσικού βιότοπου και της ροής, γίνεται σύνδεσή τους με την ποτάμια ροή, μέσω της δημιουργίας σεναρίων.

Η μέθοδος περιλαμβάνει τη δημιουργία κατάλληλων μοντέλων σε περιβάλλον υπολογιστή, όπως το PHABSIM (Physical Habitat Simulation). Χρησιμοποιούνται υδρολογικά μοντέλα ειδικά για τη μελέτη των χαμηλών παροχών και εξετάζεται η ανταπόκριση του βιοτόπου στις αλλαγές της ταχύτητας.

Οι μέθοδοι προσομοίωσης ενδιαιτημάτων ακολουθούν αυστηρά συγκεκριμένες καταγεγραμμένες διαδικασίες, ώστε να είναι δυνατή η επανάληψη της μεθόδου από άλλους ερευνητές. Επιπλέον χρησιμοποιούν σχετικά απλουστευμένες και σε πολλές περιπτώσεις εμπειρικές τεχνικές. Αυτό από την άλλη απαιτεί μεγάλη εμπειρία από τους μελετητές και δικαιολογεί την κριτική που δέχονται σχετικά με την αδυναμία κατανόησης της πολυπλοκότητας ενός ποτάμιου συστήματος. Η εξέλιξη των μεθόδων

αυτών τα τελευταία χρόνια αφορά κυρίως στην ενσωμάτωση περισσότερων παραμέτρων, ώστε να αντιπροσωπεύεται πληρέστερα το οικοσύστημα.

- 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. Επιπλέον λαμβάνονται υπ' όψιν όλα τα είδη που είναι ευαίσθητα στις μεταβολές της ροής όπως τα υδρόβια όντα, τα ζώα και τα φυτά, καθώς και όλα τα χαρακτηριστικά της δίαιτας ενός ποτάμιου συστήματος όπως ξηρασίες, πλημμύρες, ποιότητα υδάτων. Η βασική αρχή είναι η διατήρηση της φυσικής μεταβλητότητας της παροχής. Γενικότερα οι ολιστικές προσεγγίσεις περιλαμβάνουν τη χρήση ειδικών επιστημόνων και πολλών εμπλεκόμενων εταίρων, με αποτέλεσμα να καλύπτουν όλες τις πιθανές παραμέτρους. Βασικό μειονέκτημα των μεθόδων αυτών είναι η χρονοβόρα και ακριβή διαδικασία συλλογής των απαραίτητων δεδομένων. Οι μέθοδοι ανάλυσης λειτουργίας που περιγράφηκαν παραπάνω αποτελούν παράδειγμα ολιστικής προσέγγισης, όπως και οι μέθοδοι προσομοίωσης ενδιαιτημάτων σε κάποιες περιπτώσεις.

3.2.2 Κατηγοριοποίηση κατά IWMI

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

α) Υδρολογικές Μέθοδοι

β) Υδραυλικές Μέθοδοι

γ) Μέθοδοι προσομοίωσης ενδιαιτημάτων

δ) Μέθοδοι ολιστικής προσέγγισης

α. Υδρολογικές Μέθοδοι

Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει τις κατά τεκμήριο απλούστερες μεθόδους, που βασίζονται κυρίως στη χρήση υδρολογικών δεδομένων. Για την εξαγωγή προτάσεων οικολογικής παροχής απαιτούνται τα ιστορικά μηνιαία ή ημερήσια δεδομένα της φυσικοποιημένης παροχής. Σε αυτές τις μεθόδους ένα ποσοστό της ροής που συνήθως ονομάζεται ελάχιστη παροχή αντιπροσωπεύει την οικολογική παροχή με σκοπό τη διατήρηση των οικολογικών και άλλων χαρακτηριστικών του ποτάμιου συστήματος (έμβιους οργανισμούς, ποιότητα νερού κ.τ.λ.) σε αποδεκτά επίπεδα. Οι υδρολογικές μέθοδοι είναι γρήγορες και οικονομικές, καθώς δεν απαιτούν εκτεταμένη έρευνα για αυτό και χρησιμοποιούνται στη φάση του σχεδιασμού ως ένας προκαταρκτικός στόχος παροχής.

β. 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. Τέτοια χαρακτηριστικά είναι η βρεχόμενη περίμετρος ή τα μέγιστο βάθος. Η υπόθεση που γίνεται εδώ είναι πως απαιτείται η εύρεση μιας τιμής – κατώφλι των επιλεγμένων υδραυλικών παραμέτρων, που εξασφαλίζει την διατήρηση της σταθερότητας και της ακεραιής λειτουργίας του οικοσυστήματος. Ένα τέτοιο κατώφλι είναι μια τιμή της εξεταζόμενης παραμέτρου, κάτω από την οποία η ποιότητα του βιότοπου υποβαθμίζεται σημαντικά.

Η βασικότερη μέθοδος της κατηγορίας αυτής περιλαμβάνει τη μελέτη της βρεχόμενης περιμέτρου. Εδώ μελετάται η στάθμη της υγρής περιμέτρου κυρίως σε αβαθείς περιοχές ή σε υποβαθμισμένες οικολογικά ζώνες του ποτάμιου συστήματος με σκοπό τη διατήρηση της σε αποδεκτά επίπεδα, καθώς αυτή θεωρείται στοιχείο ακεραιότητας του ποταμού. Η προστασία των περιοχών αυτών θα ωφελήσει προοδευτικά το σύνολο του υγρότοπου. Κατασκευάζονται καμπύλες στάθμης-παροχής και εξετάζεται η μεταβολή τους ως προς τις τιμές της παροχής. Η οικολογική παροχή λαμβάνεται πλησίον της τιμής-κατώφλι για την προστασία του συστήματος ή στην τιμή που αντιστοιχεί σε κάποιο ποσοστό της βέλτιστης ποιότητας του ποτάμιου συστήματος (π.χ. 50%). Η μέθοδος αυτή έχει χρησιμοποιηθεί σε πολλές χώρες στην Ευρώπη και στη Βόρεια Αμερική.

γ. Μέθοδοι προσομοίωσης ενδαιτημάτων

Οι μέθοδοι που αξιοποιούν υδραυλικές παραμέτρους θεωρούνται πρόγονοι των περισσότερο περίπλοκων μεθοδολογιών εκτίμησης ή προσομοίωσης ενδαιτημάτων κατά τους Tharme(2003) και Dunbar et al(1998) και θεωρούνται οι δημοφιλέστερες μετά τις υδρολογικές. 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. Οι μεταβολές στα ενδαιτήματα που σχετίζονται με την αλλαγή στις συνθήκες ροής μελετώνται σε διάφορα υδραυλικά προγράμματα με χρήση μεταβλητών όπως βάθος, ταχύτητα ροής, σύνθεση υποστρωμάτων κ.α. Τα στοιχεία αυτά μετρώνται σε πολλαπλές διατομές του ποταμού και γίνεται προσομοίωση των συνθηκών που επικρατούν στο βιότοπο. Σε συνδυασμό με το εύρος ανάμεσα στην επιθυμητή έως τη μη αποδεκτή κατάσταση του βιοτόπου για τα είδη ζωής που απαντώνται στο οικοσύστημα, εκτιμώνται τελικά οι απαιτήσεις διατήρησης των ενδαιτημάτων και ανάλογα καθορίζεται η κατάλληλη οικολογική παροχή.

Η πιο γνωστή μέθοδος της κατηγορίας αυτής είναι η IFIM (Instream Flow Incremental Methodology), η οποία έχει χρησιμοποιηθεί σε πληθώρα εφαρμογών ιδιαίτερα στη Βόρεια Αμερική. Ακολούθησαν και άλλες μέθοδοι προσομοίωσης με χρήση μοντέλων σε προγραμματιστικό περιβάλλον, όπως η RSS (River System Simulator) στη Νορβηγία και η EVHA (Evaluation of Habitat Method) στη Γαλλία.

δ. 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. Ιδιαίτερα στην Αυστραλία και τη Νότια Αφρική απέκτησαν γρήγορα προτεραιότητα σε σχέση με τις μεθοδολογίες προσομοίωσης ενδαιτημάτων. Σε μια ολιστική μέθοδο αναγνωρίζονται τα πλέον κρίσιμα περιστατικά παροχής και επιλέγονται κριτήρια για τη μεταβλητότητα της ροής και πως αυτή επηρεάζει τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά του ποτάμιου οικοσυστήματος. Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται βασίζονται στις μετρήσεις πεδίου και την εφαρμογή πληθώρας εργαλείων και κατά συνέπεια απαιτούν διεπιστημονικότητα και μεγάλη εμπειρία.

Εκτίμηση Οικολογικής Παροχής από το Φράγμα του Μαραθώνα και Διαχείριση Διατιθέμενων Υδάτων

Κατά την Tharme (2003), η μέθοδος BBM που περιγράφηκε προηγουμένως αποτελεί την πλέον διαδεδομένη ολιστική μεθοδολογία που χρησιμοποιείται στον κόσμο. Παράλληλα, δημοσιεύονται και άλλες μέθοδοι με βάση την BBM, όπως η μέθοδος FSR που συσχετίζει την τιμή της παροχής με τις συνακόλουθες οικολογικές πιέσεις για να παράξει χρονοσειρές. Μια ακόμα καινοτόμα μέθοδος είναι η DRIFT (downstream response to imposed flow transformations) που συνδυάζει τα βιολογικά και φυσικά χαρακτηριστικά του οικοσυστήματος με κοινωνικό-οικονομικές παραμέτρους και την ανάπτυξη σεναρίων.

Συνοπτικά, η κατηγοριοποίηση των μεθόδων εκτίμησης της οικολογικής παροχής παρουσιάζεται στον Πίνακα 5:

Πίνακας 5: Κατηγοριοποίηση μεθόδων εκτίμησης οικολογικής παροχής και παραδείγματα.

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)
			Οικολογικές
		Μέθοδοι ανάλυσης λειτουργίας (functional analysis)	BBM
	Μέθοδοι προσομοίωσης ενδιαιτημάτων	PHABSIM	
Προσεγγίσεις		Ομάδα Ειδικών Συμμετοχική ομάδα(Ειδικοί και μη ειδικοί)	
IWMI (Tharme, 2003)	Υδρολογικές Μέθοδοι		Μέθοδος Tennant
	Υδραυλικές Μέθοδοι		Μέθοδος Βρεχόμενης Περιμέτρου
	Μέθοδοι προσομοίωσης ενδιαιτημάτων		IFIM

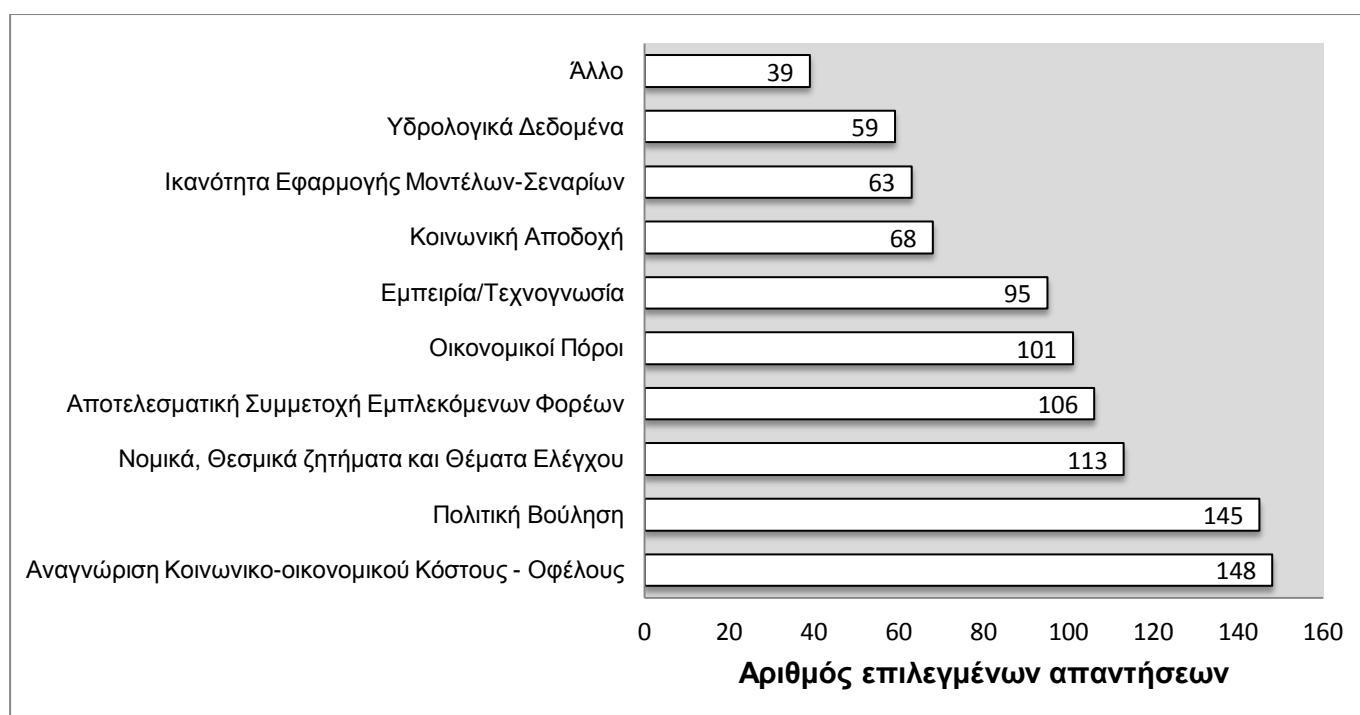
Εκτίμηση Οικολογικής Παροχής από το Φράγμα του Μαραθώνα και Διαχείριση Διατιθέμενων Υδάτων

	Μέθοδοι ολιστικής προσέγγισης		BBM
--	-------------------------------	--	-----

Πηγή: eFlowNet, ίδια επεξεργασία.

3.4 Εφαρμογή μεθόδων εκτίμησης οικολογικής παροχής στο διεθνή χώρο.

Παρά το γεγονός ότι το ζήτημα της εκτίμησης της οικολογικής παροχής έχει μελετηθεί σε πληθώρα εργασιών διεθνώς, δεν υπάρχει η μέριμνα για την πραγματική εφαρμογή της στα τεχνικά έργα ανάσχεσης της ποτάμιας ροής. Στις περισσότερες περιπτώσεις το θέμα δείχνει να παραμένει στο στάδιο της συζήτησης και της λήψης αποφάσεων, καθώς οι πολιτικές δεν μεταφράζονται τελικά σε πράξεις. Οι κυριότερες αιτίες της αδυναμίας εφαρμογής των απαιτούμενων μέτρων περιγράφονται σε έρευνα που διεξήχθη σε ανθρώπους που σχετίζονται με την διαχείριση του νερού σε πολλές περιοχές του πλανήτη και σε ποικίλους οργανισμούς (Moore, 2004)



Εικόνα 13: Κατανομή απαντήσεων σχετικά με τα κυριότερα εμπόδια στην προσπάθεια κατανόησης και εφαρμογής της οικολογικής παροχής.

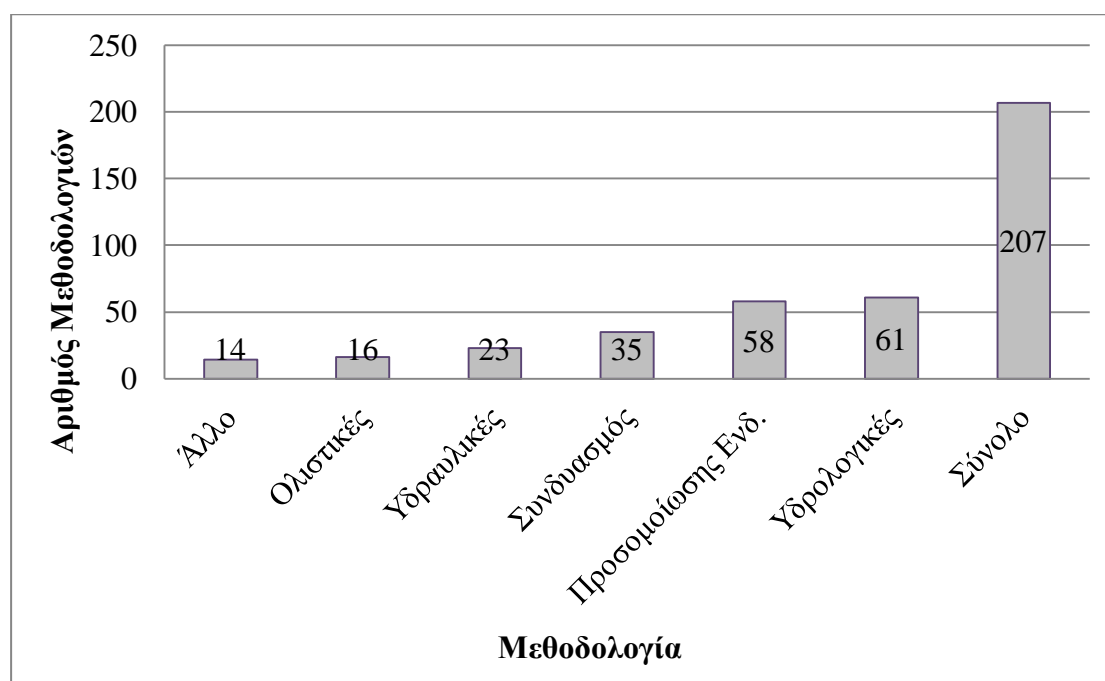
Πηγή: (Moore, 2004), ίδια επεξεργασία

Διαφαίνεται από το διάγραμμα της εικόνας 13 ότι η βασικότερη αιτία για την μη εφαρμογή των κατάλληλων πολιτικών προς όφελος της οικολογικής παροχής είναι η αδυναμία αναγνώρισης του κοινωνικό-οικονομικού σκέλους της ανάλυσης κόστους-οφέλους ενός τέτοιου προγράμματος, παρά τα ξεκάθαρα οικολογικά και περιβαλλοντικά τους πλεονεκτήματα. Ταυτόχρονα σημαίνοντα ρόλο επιτελεί η

Εκτίμηση Οικολογικής Παροχής από το Φράγμα του Μαραθώνα και Διαχείριση Διατιθέμενων Υδάτων

βούληση της πολιτείας και των αρμόδιων φορέων να προωθήσουν τις απαραίτητες ενέργειες για τη βιώσιμη διαχείριση του νερού. Ακολουθούν κατά σειρά με υψηλά ποσοστά επιλογής ανάμεσα στους ερωτηθέντες η απουσία κατάλληλου νομικού πλαισίου, η αδυναμία εύρυθμης συνεργασίας των εμπλεκόμενων φορέων, η αδυναμία εξεύρεσης πόρων και η έλλειψη τεχνογνωσίας. Λιγότερο σημαντικά θεωρούνται τα ζητήματα της κοινωνικής αποδοχής, της αναζήτησης υδρολογικών δεδομένων και της εφαρμογής των αντίστοιχων μοντέλων, που πρακτικά αποτελούν τα τελευταία εμπόδια στην εφαρμογή ενός προγράμματος εκτίμησης και διαχείρισης της οικολογικής παροχής.

Η έρευνα στα μέτρα απόδοσης οικολογικής παροχής ανά τον κόσμο κατέδειξε ότι υπάρχουν 207 ξεχωριστές μεθοδολογίες που είτε έχουν εφαρμοστεί είτε βρίσκονται στο στάδιο της εφαρμογής.



Εικόνα 14: Αριθμός χρησιμοποιούμενων μεθοδολογιών ανά κατηγορία διεθνώς, σύμφωνα με την κατηγοριοποίηση κατά Tharme (2003).

Πηγή: (Tharme, 2003), ίδια επεξεργασία.

Όπως φαίνεται από το γράφημα (Εικ. 14), οι πλέον διαδεδομένες μέθοδοι εκτίμησης οικολογικής παροχής είναι οι υδρολογικές, καθώς ανιχνεύθηκαν 61 διαφορετικές χρησιμοποιούμενες μεθοδολογίες (σε ποσοστό 30% επί του συνόλου). Το γεγονός αυτό οφείλεται στην απλότητα των υδρολογικών μεθόδων και στην ευκολία εφαρμογής τους. Ακολουθούν οι μέθοδοι προσομοίωσης ενδαιτημάτων, που αν και

Εκτίμηση Οικολογικής Παροχής από το Φράγμα του Μαραθώνα και Διαχείριση Διατιθέμενων Υδάτων

περισσότερο λεπτομερείς και χρονοβόροι, αποτελούν ιδιαίτερα δημοφιλείς μελέτες, καθώς ενσωματώνουν τα χαρακτηριστικά του εξεταζόμενου βιότοπου.

Σε πληθώρα μελετών περιπτώσεων (17%) γίνεται συνδυασμός μεθοδολογιών, κυρίως υδρολογικών με ταυτόχρονη μελέτη των βιοτόπων και μερικώς ολιστική προσέγγιση. Οι μέθοδοι αυτές προσεγγίζουν τις μεθόδους ανάλυσης λειτουργίας που αναφέρθηκαν στην κατηγοριοποίηση κατά IUCN. Οι ολιστικές μέθοδοι είναι αυτές που χρησιμοποιούνται λιγότερο (σε ποσοστό 7,7% επί του συνόλου) εξαιτίας κυρίως του όγκου των πληροφοριών και του απαιτούμενου χρόνου και κόστους για την επιτυχή εφαρμογή τους.

Οι περισσότερες μέθοδοι έχουν εφαρμοστεί στις ΗΠΑ, γεγονός αναμενόμενο δεδομένης της πληθώρας μελετών που έχουν εκπονηθεί και της μέριμνας για τη διαχείριση των υδατικών πόρων. Το 18% των εφαρμοσμένων μεθόδων έχει καταγραφεί στην Αυστραλία ενώ πολλές μέθοδοι καταγράφονται στον Καναδά, τη Νότια Αφρική, τη Νέα Ζηλανδία και αρκετές Ευρωπαϊκές χώρες. (Tharme, 2003) Στον Πίνακα 6 παρουσιάζονται οι κυριότερες μέθοδοι που έχουν εφαρμοστεί σε διάφορες χώρες του κόσμου.

Πίνακας 6: Κυριότερες μέθοδοι εκτίμησης της οικολογικής παροχής στο διεθνή χώρο.

Χώρα	Κυριότερες μέθοδοι εκτίμησης οικολογικής παροχής
ΗΠΑ	Tennant (% Μέσης Ετήσιας Παροχής), Texas (% επί της διάμεσης μηνιαίας παροχής), IFIM
Αυστραλία	Ολιστικές Μέθοδοι, EPAM (Expert Panel Method), IFIM
Ηνωμένο Βασίλειο	Q95 - η παροχή που είναι ίση ή μεγαλύτερη της τιμής που εμφανίζεται στο 95% των ημερών
Καναδάς	25% Μέσης Ετήσιας Παροχής
Νότια Αφρική	Προσομοίωση Ενδαιτημάτων, Ανάλυση ιστορικών δεδομένων παροχής, BBM
Νέα Ζηλανδία	Μοντέλο Προσομοίωσης RHYHABSIM, παρόμοιο με το PHABSIM

Εκτίμηση Οικολογικής Παροχής από το Φράγμα του Μαραθώνα και Διαχείριση Διατιθέμενων Υδάτων

Ισπανία	10-20% της Μέσης Ετήσιας Παροχής
Ιταλία	Κυρίως Υδρολογικές (π.χ. Montana - μέθοδος βασισμένη στην παρατήρηση της υγείας της αλιείας, Q95)
Γαλλία	EVHA (Προσομοίωση Ενδιδαιτημάτων)
Πορτογαλία	2,5 - 5% της Μέσης Ετήσιας Παροχής
Ολλανδία	Υδρολογικό μοντέλο PAWN (Policy Analysis Water Management of Netherlands)

Πηγή: Dunbar et al (1998), ECOS Μελετητική Α.Ε. (2009)

Ο παραπάνω πίνακας επιβεβαιώνει τη μελέτη της Tharme (2003), καθώς αποδεικνύεται πως στις περισσότερες χώρες χρησιμοποιούνται κυρίως υδρολογικές μέθοδοι ή μοντέλα προσομοίωσης των συνθηκών των βιοτόπων. Εξαιρέση αποτελεί η Αυστραλία, η οποία διαθέτει ένα ιδιαίτερα ανεπτυγμένο σύστημα για τον καθορισμό της οικολογικής παροχής και εστιάζει κατά βάση στις ολιστικές μεθοδολογίες.

3.5 Η οικολογική παροχή στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα έχει θεσπιστεί από το 2008 νομοθετικό πλαίσιο για τον καθορισμό της οικολογικής παροχής, καθώς η χώρα εναρμονίζεται με τις επιταγές της Οδηγίας 2000/60 για τη βιώσιμη διαχείριση των υδατικών πόρων. Σύμφωνα με τον Ν. 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 εκ των παρακάτω μεγεθών:

- 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.

Ο νόμος εντούτοις αφήνει περιθώριο για περαιτέρω αύξηση της τιμής της ελάχιστης οικολογικής παροχής, εφόσον αυτή απαιτείται τεκμηριωμένα λόγω των αναγκών του κατάντη οικοσυστήματος (ύπαρξη σημαντικού οικοσυστήματος)

Εκτίμηση Οικολογικής Παροχής από το Φράγμα του Μαραθώνα και Διαχείριση Διατιθέμενων Υδάτων

Τα τελευταία χρόνια στην κατασκευή φραγμάτων στην Ελλάδα έχει εισαχθεί η έννοια της οικολογικής παροχής και συνήθως χρησιμοποιούνται υδρολογικές μέθοδοι για την εκτίμησή της. Ενδεικτικά καταγράφονται οι τιμές της ελάχιστης διατηρητέας παροχής που έχουν εφαρμοστεί σε πέντε φράγματα (Πιν. 7).

Πίνακας 7: Ελάχιστη διατηρητέα παροχή από φράγματα στην Ελλάδα

Φράγμα	Μέση Ετήσια Παροχή (m ³ /s)	Ελάχιστη Διατηρητέα Παροχή (m ³ /s)
Αγ. Δημητρίου (Εύηνος)	8,9	1 (όλο το έτος)
Σμοκόβου (Σοφαδίτης)	5,3	0,7-1,1 (Απρ. έως Σεπτ.)
Μεσοχώρας (Αχελώος)	23,5	1,5 (όλο το έτος)
Συκιάς (Αχελώος)	46,6	5 (όλο το έτος)
Αποσελέμη	0,365	0,015 (όλο το έτος)

Πηγή: Μαμάσης, 2012

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΗΣ ΠΑΡΟΧΗΣ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ ΜΑΡΑΘΩΝΑ

Η διαδικασία εκτίμησης της οικολογικής παροχής από το φράγμα του Μαραθώνα ακολούθησε το εξής μεθοδολογικό πλαίσιο:

Βήμα 1^ο: Επιλογή των κατάλληλων μεθόδων για τον προσδιορισμό της επαρκούς ποσότητας νερού προς διάθεση στο περιβάλλον.

Βήμα 2^ο: Εφαρμογή των μεθοδολογικών τεχνικών και καταγραφή των αποτελεσμάτων.

Βήμα 3^ο: Συνεκτίμηση των αποτελεσμάτων και καθορισμός της προτεινόμενης οικολογικής παροχής.

4.1 Επιλογή μεθοδολογικών εργαλείων.

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 (Πιν. 8) παρουσιάζονται τα βασικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των κατηγοριών μεθόδων εκτίμησης οικολογικής παροχής κατά Tharme (2003).

Πίνακας 8: Βασικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των κατηγοριών μεθόδων οικολογικής παροχής κατά Tharme (2003).

	Διάρκεια εφαρμογής (Μήνες)	Βασικά Πλεονεκτήματα	Βασικά Μειονεκτήματα
Υδρολογικές Μέθοδοι	1/2	Χαμηλό κόστος, μεγάλη ταχύτητα	Αδυναμία προσαρμογής στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της κάθε περιοχής, απουσία οικολογικών παραμέτρων
Υδραυλικές Μέθοδοι	2-4	Χαμηλό κόστος, προσαρμογή στα χαρακτηριστικά της κάθε περιοχής	Απουσία οικολογικών παραμέτρων

Εκτίμηση Οικολογικής Παροχής από το Φράγμα του Μαραθώνα και Διαχείριση Διατιθέμενων Υδάτων

Μέθοδοι προσομοίωσης ενδιαιτημάτων	6-18	Ενσωμάτωση οικολογικών παραμέτρων	Εκτεταμένη συλλογή δεδομένων και απαίτηση για εξειδικευμένους επιστήμονες, υψηλό κόστος
Μέθοδοι ολιστικής προσέγγισης	12-36	Πληρέστερη μελέτη περίπτωσης	Απαίτηση για υψηλή επιστημονική εξειδίκευση, ιδιαίτερα μεγάλο κόστος, μη λειτουργικές

Πηγή: EflowNet, *ιδία επεξεργασία.*

Τα δεδομένα του υδατικού ισοζυγίου του ταμιευτήρα του Μαραθώνα καταγράφονται από τους μετρητές της ΕΥΔΑΠ, γεγονός που διευκόλυνε την εφαρμογή μεθόδων που βασίζονται σε υδρολογικούς δείκτες. Επιπλέον, η μελέτη περίπτωσης που εξετάζεται αφορά ένα φράγμα, το οποίο κατασκευάστηκε χωρίς να υπάρχει μέριμνα για την παροχή νερού για περιβαλλοντικούς λόγους. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μην εντοπίζεται ενεργό υδατόρευμα κατάντη του φράγματος ώστε να είναι δυνατή η επεξεργασία υδραυλικών χαρακτηριστικών όπως η βρεχόμενη περίμετρος ή ο εντοπισμός της σχέσης μεταξύ της παροχής και των εξαρτώμενων βιοτόπων.

4.1.1 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 διαπίστωσε ότι τα χαρακτηριστικά αυτά αυξήθηκαν ραγδαία όταν η ροή ήταν μεταξύ 0-10% της ΜΕΠ. Αντίθετα, ο ρυθμός αύξησης των παραπάνω μεγεθών μειωνόταν για παροχές μεγαλύτερες από το 10% της ΜΕΠ. Κατέληξε στο συμπέρασμα πως η διατήρηση ενός ποσοστού μικρότερου από το 10% της ΜΕΠ θα συντελέσει στη βραχυπρόθεσμη επιβίωση των ενδιαιτημάτων αλλά θα έχει μακροπρόθεσμα αρνητικές επιπτώσεις. Το 30% της μέσης ετήσιας παροχής όμως προσφέρει ικανοποιητικές συνθήκες ροής για τους υδρόβιους οργανισμούς.

Η μέθοδος αυτή εξελίχθηκε σε κάποιες μελέτες με την εισαγωγή της εποχικότητας και τον προσδιορισμό των ελάχιστης μηνιαίας παροχής ως ποσοστό της ΜΕΠ. (Jowett,1997)

Η μέθοδος είναι αρκετά απλή καθώς απαιτεί μόνο τα δεδομένα της παροχής του ποταμού τα οποία είναι εύκολο να βρεθούν εφόσον υπάρχουν εγκατεστημένοι υδρομετρικοί σταθμοί. Το μειονέκτημα της μεθόδου, όπως και όλων των συναφών τεχνικών είναι η απουσία σύνδεσης των υδρολογικών δεδομένων με βιολογικά στοιχεία και η μεγάλη υποκειμενικότητα στην τελική εκτίμηση.

4.1.2 Μέθοδος Lyons

Η μέθοδος Lyons αποτελεί φυσική συνέχεια της μεθόδου Tennant και χρησιμοποιήθηκε στις ΗΠΑ στις περιπτώσεις, όπου δεν ήταν συμβατή η δεύτερη. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί τη διάμεση τιμή αντί για τον μέσο όρο. Συγκεκριμένα υπολογίζεται η διάμεση τιμή της παροχής για κάθε μήνα της περιόδου που εξετάζεται. Ακολουθώς, το υδρολογικό έτος χωρίζεται σε 2 περιόδους και η οικολογική παροχή αποτελεί το 60% της διάμεσης μηνιαίας παροχής για τους μήνες Μάρτιο – Σεπτέμβριο και το 40% της διάμεσης μηνιαίας παροχής για τους μήνες Οκτώβριο – Φεβρουάριο. (Winemiller et al, 2008)

Η μέθοδος Lyons είναι σχετικά απλή στην εφαρμογή της και αποτυπώνει σαφώς την εικόνα των παροχών στη διάρκεια του μήνα, χωρίς όμως να λαμβάνει υπόψη τις ακραία υψηλές ή χαμηλές τιμές. Για αυτό το λόγο είναι δύσκολο να προβλεφθεί η εγγύτητα της παροχής που προκύπτει από τη χρήση της μεθόδου σε σχέση με την βασική παροχή του ποτάμιου συστήματος.

4.1.3 Μέθοδος ελάχιστης ετήσιας παροχής

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

4.1.4 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%).

4.1.5 Βασική παροχή διατήρησης

Η μέθοδος της βασικής παροχής διατήρησης εφαρμόζεται με σκοπό τον προσδιορισμό της ελάχιστης παροχής, κάτω από την οποία διαταράσσονται οι υδρολογικές συνθήκες και κινδυνεύουν τα ενδιαιτήματα. Η βασική αρχή της μεθόδου είναι η ανάλυση της κατανομής των ελάχιστων παροχών που προκύπτουν σε ένα ποτάμιο σύστημα για περίοδο 100 συνεχόμενων ημερών. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, οι οργανισμοί έχουν τη δυνατότητα να προσαρμόζονται στις υδρολογικές συνθήκες ενός ποτάμιου συστήματος και στις εναλλαγές της υδρολογικής ροής στη διάρκεια του έτους. Με τον ίδιο τρόπο μπορούν να ανταποκριθούν σε συγκεκριμένες περιόδους χαμηλών παροχών, βάσει της φυσικής δίαιτας του ποταμού. Ο κίνδυνος για τα έμβια όντα προέρχεται από τη μείωση της ελάχιστης παροχής στη διάρκεια του έτους ή την αύξηση της διάρκειας της περιόδου με πολύ μικρές παροχές. Συνεπώς, η μέθοδος στοχεύει στον προσδιορισμό του μεγέθους και της διάρκειας των ελάχιστων παροχών του ποταμού. Η μεθοδολογία που ακολουθείται εφαρμόστηκε πρώτη φορά στον ποταμό EBRO της Ισπανίας και συνοψίζεται ως εξής: (ECOS ΜΕΛΕΤΗΤΙΚΗ Α.Ε. 2009, Alcacer-Santos 2004)

- Εφαρμόζεται ο κυλιόμενος μέσος όρος για μία έως 100 συνεχόμενες τιμές ημερήσια παροχής κάθε έτους για το διάστημα των 10 υδρολογικών ετών που υπάρχουν όλα τα απαιτούμενα στοιχεία. Προκύπτουν με αυτόν τον τρόπο 100 στήλες. Η πρώτη στήλη περιλαμβάνει τον μέσο όρο κάθε ημερήσιας παροχής του έτους, η δεύτερη τον μέσο όρο δύο ημερήσιων παροχών κ.ο.κ. μέχρι τη συμπλήρωση 100 μέσων όρων. Η αρχική παροχή της μεθόδου ορίζεται σε μια περίοδο του έτους όπου δεν επικρατούν ακραία χαμηλές υδρολογικές ροές. Συνήθως επιλέγεται η πρώτη ημέρα του Απριλίου. Έτσι εξασφαλίζεται η λειτουργικότητα της μεθόδου και η ενσωμάτωση εξ' ολοκλήρου της περιόδου των χαμηλών παροχών κατά την εφαρμογή της.
- Προσδιορίζεται η ελάχιστη τιμή από τις παροχές που έχουν υπολογιστεί από τη χρήση καθενός από τους 100 μέσους όρους. Προκύπτουν με αυτόν τον τρόπο 100 ελάχιστες τιμές παροχής. Είναι προφανές ότι η ελάχιστη παροχή

βρίσκεται στην πρώτη στήλη καθώς όσο μεγαλώνει ο αριθμός των μέσων όρων, εξομαλύνονται οι παροχές.

- Υπολογίζεται ο μέσος όρος των ελάχιστων παροχών των αντίστοιχων κυλιόμενων μέσων κάθε υδρολογικού έτους. (πχ ο μέσος όρος των ελάχιστων τιμών του κυλιόμενου μέσου όρου μίας παροχής για τα εξεταζόμενα υδρολογικά έτη, δύο παροχών, τριών παροχών κλπ)
- Προσδιορίζεται η βασική παροχή διατήρησης ως η τιμή του μέσου όρου που έχει το μεγαλύτερο εύρος από τον επόμενο μέσο όρο.

4.2 Εφαρμογή μεθόδων

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 εισροών προς τον ταμιευτήρα του Μαραθώνα από την εργασία που έγινε για το σχέδιο διαχείρισης του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας (Νικολόπουλος κ.α., 2009). Οι εισροές έχουν υπολογιστεί για τα υδρολογικά έτη 1994-1995 έως 2001-2002 και χρησιμοποιούνται στη μελέτη, ώστε να γίνει εκτίμηση των δυνατοτήτων παροχής του ποτάμιου συστήματος για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα.

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 (Τσακίρης, 1995):

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

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

Εκτίμηση Οικολογικής Παροχής από το Φράγμα του Μαραθώνα και Διαχείριση Διατιθέμενων Υδάτων

Y_i : η υπερχειλίση κατά τον μήνα i

Στην περίπτωση του ταμιευτήρα του Μαραθώνα, τα δεδομένα που διατίθενται για την προσομοίωση της λειτουργίας του ταμιευτήρα έχουν υπολογιστεί μέσω μετρήσεων από την Εταιρεία Υδρευσης και Αποχέτευσης Πρωτεύουσας (ΕΥΔΑΠ Α.Ε.) σε ημερήσια βάση. Οι εισροές προς τον ταμιευτήρα προέρχονται από την ανάντη λεκάνη απορροής, τη βροχόπτωση και την σήραγγα μεταφοράς νερού (σήραγγα Κιούρκων) από την τεχνητή λίμνη Υλίκη. Κατά τη χάραξη της εξίσωσης προσομοίωσης οι εισροές διαχωρίζονται, ώστε να μελετηθούν ξεχωριστά οι απορροές της λεκάνης που τροφοδοτεί τον Μαραθώνα. Οι απολήψεις από τη λεκάνη αποτελούν τις ροές για την ύδρευση της Αθήνας, μέσω της σήραγγας του Μπογιατίου. Οι απώλειες της λεκάνης κατάκλισης οφείλονται στην εξάτμιση από την ελεύθερη επιφάνεια του νερού. Κατά τα εξεταζόμενα έτη, δεν έχει καταγραφεί υπερχειλίση του ταμιευτήρα. Με βάση τα παραπάνω δεδομένα η εξίσωση προσομοίωσης λαμβάνει την ακόλουθη μορφή :

$$Q_i = \Delta V + E_i + A_i - R_i - K_i \quad (\text{hm}^3)$$

Όπου:

Q_i : οι εισροές προς τον ταμιευτήρα από τη λεκάνη απορροής την ημέρα i ,

ΔV : η μεταβολή του αποθέματος του ταμιευτήρα ανάμεσα στις ημέρες $i-1$, i ,

E_i , ο όγκος του νερού που εξατμίζεται την ημέρα i ,

A_i , ο όγκος νερού που εκρέει από τον ταμιευτήρα προς την Αθήνα μέσω της σήραγγας Μπογιατίου την ημέρα i ,

R_i , ο όγκος νερού βροχόπτωσης στην επιφάνεια του ταμιευτήρα,

K_i , ο όγκος νερού που εισρέει στον ταμιευτήρα μέσω της σήραγγας των Κιούρκων

Το γεγονός πως διατίθενται ημερήσια δεδομένα ισοζυγίου προσδίδει μεγαλύτερη βεβαιότητα και αξιοπιστία στην τελική εκτίμηση. Εντούτοις, το γεγονός ότι σε αρκετές περιπτώσεις οι ημερήσιες εισροές έχουν αρνητικό πρόσημο, καταδεικνύει την ανακρίβεια που διακρίνει τις μετρήσεις σε έναν ταμιευτήρα.

Ακολούθως εκτιμήθηκε η οικολογική παροχή με βάση τις υδρολογικές μεθόδους που περιγράφηκαν παραπάνω, καθώς και τις επιταγές της οικείας νομοθεσίας.

Εκτίμηση Οικολογικής Παροχής από το Φράγμα του Μαραθώνα και Διαχείριση Διατιθέμενων Υδάτων

1. Μέθοδος Tennant (ή Montana)

Οι ετήσιες παροχές για τα υδρολογικά έτη 2002-2003 έως 2012-2013 παρουσιάζονται στον Πίνακα 9:

Πίνακας 9: Ετήσιες παροχές λεκάνης απορροής για τα υδρολογικά έτη 2002-2003 έως 2012-2013.

Υδρολογικό Έτος	Παροχή (hm ³)
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 19,21hm³.

Οι τιμές που λαμβάνονται συνήθως όπου εφαρμόζεται η συγκεκριμένη μέθοδος κυμαίνονται μεταξύ 2,5%-10% της ΜΕΠ. Έτσι προκύπτει η ελάχιστη απαιτούμενη οικολογική παροχή

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

Συμπεριλαμβάνοντας και τις προσομοιωμένες εισροές των ετών 1994-2002 προκύπτει ο Πίνακας 10.

Η μέση ετήσια παροχή αντιστοιχεί σε 21,38 hm³.

Εκτίμηση Οικολογικής Παροχής από το Φράγμα του Μαραθώνα και Διαχείριση Διατιθέμενων Υδάτων

Πίνακας 10: Ετήσιες παροχές λεκάνης απορροής για τα υδρολογικά έτη 1994-1995 έως 2001-2002.

Υδρολογικό Έτος	Παροχή (hm ³)
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

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

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

Η μέθοδος της μέσης ετήσιας παροχής είναι μια αρκετά απλουστευμένη μέθοδος, η οποία δεν δύναται να εξετάσει τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά και τις διακυμάνσεις της ποτάμιας ροής στη διάρκεια του υδρολογικού έτους. Ιδιαίτερα στον Ελλαδικό χώρο όπου η παροχή διαφέρει σημαντικά ανάλογα με την εποχή, η συγκεκριμένη μέθοδος θα πρέπει να εξετάζεται με ιδιαίτερη προσοχή

2. Μέθοδος Lyons

Η εφαρμογή της μεθόδου Lyons ανέδειξε το πρόβλημα που δημιουργείται όταν ο υπολογισμός βασίζεται στις ημερήσιες τιμές της παροχής του μελετώμενου ποτάμιου συστήματος. Η ύπαρξη πολλών μηδενικών εισροών σε επίπεδο ημέρας ή και ημερών με πολύ χαμηλές τιμές παροχής έχει ως αποτέλεσμα να αγνοούνται οι υψηλές τιμές, καθώς η διάμεση τιμή επηρεάζεται περισσότερο από τη συχνότητα εμφάνισης των τιμών. Συνεπώς η εκτίμηση της οικολογικής παροχής προέκυψε ιδιαίτερα χαμηλή:

$$Q_{\text{Μαρ. - Σεπ.}} = 0,02 \text{ hm}^3/\text{mo}$$

$$Q_{\text{Οκτ.-Φεβ.}} = 0,01 \text{ hm}^3/\text{mo}$$

3. Μέθοδος Ελάχιστης Ετήσιας Παροχής

Ορίζεται ως ελάχιστη παροχή καθ' όλη τη διάρκεια του έτους η μέση μηνιαία παροχή του ξηρότερου μήνα. Οι παροχές των ξηρότερων μηνών ανά υδρολογικό έτος παρουσιάζονται στον Πίνακα 11.

Πίνακας 11: Παροχή ξηρότερου μήνα ανά υδρολογικό έτος.

Ξηρότερος μήνας ανά υδρολογικό έτος	Μηνιαία παροχή (hm ³)
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

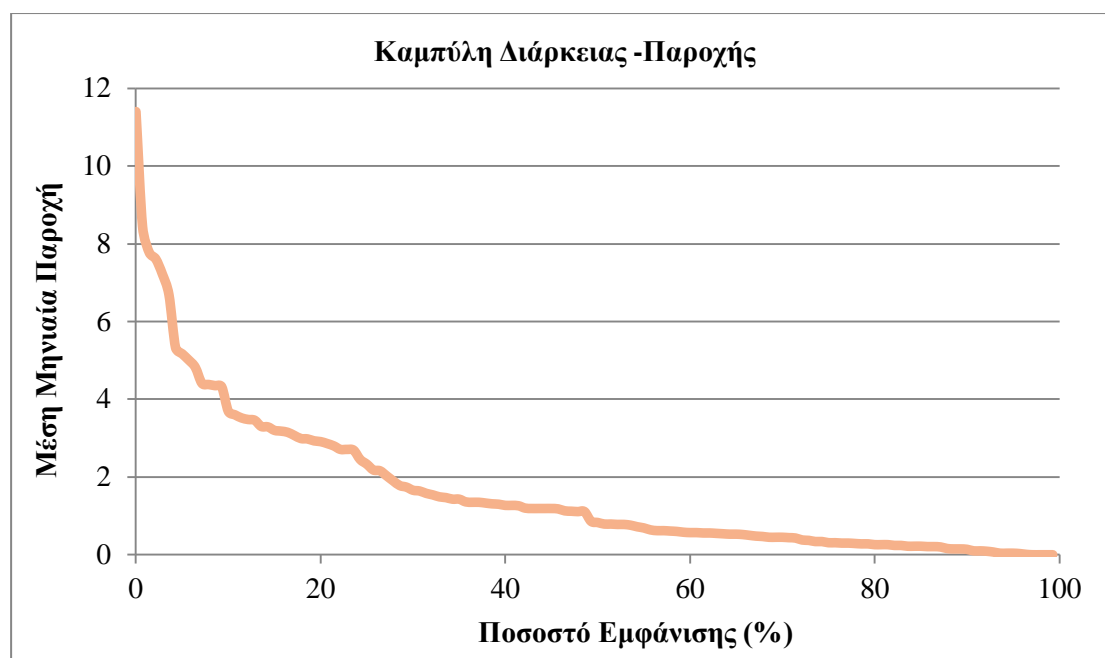
Η μέση μηνιαία παροχή προκύπτει ως η μέση τιμή των παραπάνω τιμών και αντιστοιχεί σε: **0,52 hm³/mo**. Η υψηλή αυτή τιμή προκύπτει κυρίως από 2 υδρολογικά έτη τα οποία εμφανίζουν ιδιαίτερα υψηλά επίπεδα ελάχιστων μηνιαίων παροχών. Εντούτοις τα περισσότερα έτη η ελάχιστη παροχή είναι πολύ μικρότερη από 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.

$$Q_{ελ} = 0,1 \text{ hm}^3/\text{mo} = 3300 \text{ m}^3/\text{d}$$

4. 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 στη διάρκεια του μήνα. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν παρουσιάζονται στις εικόνες 15 και 16:



Εικόνα 15: Καμπύλη Διάρκειας-Παροχής για τα υδρολογικά έτη 2002-2003 έως 2012-2013, βάσει του μηνιαίου ισοζυγίου του ταμιευτήρα.

Η εφαρμογή της καμπύλης διάρκειας – παροχής στις ημερήσιες εισροές του ταμιευτήρα ανέδειξε το φαινόμενο των πολλών μηδενικών απορροών της λεκάνης, ιδιαίτερα κατά τους θερινούς μήνες, αλλά και κατά τα ξηρά υδρολογικά έτη 2006 και 2007. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα στα κατώφλια που εξετάζονται και σε αρκετά μικρότερα, να εμφανίζεται ότι το ποτάμι είναι τελείως ξερό. Για το λόγο αυτό συγκεντρώθηκαν οι παροχές για κάθε μήνα της εξεταζόμενης περιόδου και κατασκευάστηκε μια νέα καμπύλη που παρουσιάζει τις μηνιαίες τιμές παροχής, τις οποίες ξεπερνάει το σύστημα της λεκάνης του Μαραθώνα στο 90% και το 95% του έτους.

Βάσει του ημερήσιου ισοζυγίου:

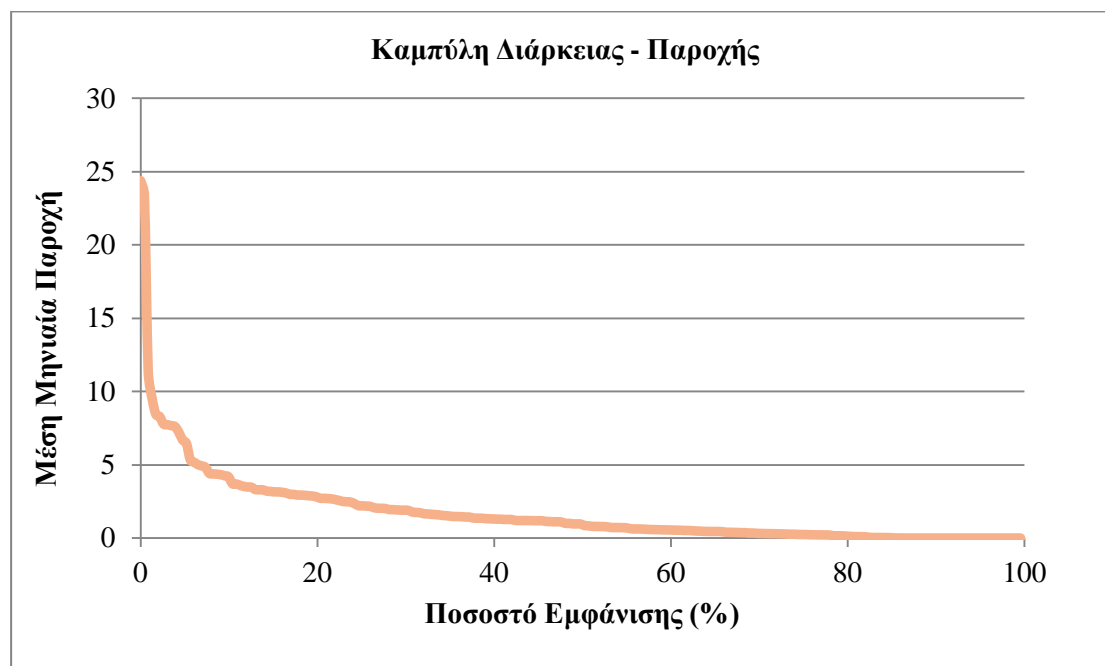
$$Q_{95} = Q_{90} = 0 \text{ hm}^3/\text{d}$$

Βάσει του μηνιαίου ισοζυγίου:

Εκτίμηση Οικολογικής Παροχής από το Φράγμα του Μαραθώνα και Διαχείριση Διατιθέμενων Υδάτων

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

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



Εικόνα 16: Καμπύλη Διάρκειας-Παροχής για τα υδρολογικά έτη 1994-1995 έως 2012-2013.

Για την περίοδο 1994-2002 δεν διατίθενται δεδομένα του ημερήσιου ισοζυγίου, οπότε χρησιμοποιήθηκαν ξανά οι ημερήσιες εισροές για να κατασκευαστεί η καμπύλη διάρκειας – παροχής για περίοδο 19 υδρολογικών ετών. Σε αυτήν την περίπτωση προστέθηκαν πολλοί μήνες με μηδενική μηνιαία παροχή, ιδιαίτερα κατά τα έτη 2000 και 2001, όπου οι μήνες Μάιος-Οκτώβριος ήταν τελείως άνυδροι. Κατά συνέπεια, μόλις το 82% των μηνιαίων παροχών της περιόδου 1994-2013 ξεπερνάει την μηνιαία τιμή που αντιστοιχεί στα ελάχιστα επίπεδα της ισχύουσας νομοθεσίας.

Βάσει του μηνιαίου ισοζυγίου:

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

$$Q_{82} = 0,08 \text{ hm}^3/\text{mo}$$

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.

Q_{82} , η τιμή από την οποία η παροχή είναι ίση ή μεγαλύτερη στο 82% του χρόνου.

5. Βασική Παροχή Διατήρησης

Η βασική παροχή διατήρησης εφαρμόστηκε στις ημερήσιες παροχές που υπολογίστηκαν για τα 11 υδρολογικά έτη (2002-2013). Αρχή της μεθόδου ορίστηκε η πρώτη μέρα του μήνα Μαΐου, επειδή αφενός από τότε διατίθενται τα πλήρη υδρολογικά δεδομένα του ταμιευτήρα του Μαραθώνα για το έτος 2002 και αφετέρου πρόκειται για μια περίοδο που δεν διακρίνεται για ακραία χαμηλές απορροές. Παράλληλα, η εφαρμογή της μεθόδου θα συμπεριλάβει τη θερινή περίοδο, στην οποία οι ροές βρίσκονται στα χαμηλότερα επίπεδα του έτους.

Η εφαρμογή της μεθόδου ανέδειξε το πρόβλημα των πολλών μηδενικών ημερήσιων παροχών της λεκάνης του Μαραθώνα, που εμφανίζονται στη διάρκεια των θερινών μηνών και το Σεπτέμβρη. Ο κυλιόμενος μέσος μίας παροχής εύλογα δίνει την τιμή μηδέν. Όμως στην περίπτωση των ετών 2006 και 2007, η μηδενική τιμή εμφανίστηκε στον κυλιόμενο μέσο 40 ημερήσιων παροχών. Σύμφωνα με την παρούσα μεθοδολογία το ποτάμιο σύστημα μπορεί να αντέξει περιόδους μεγάλης ξηρασίας. Για αυτό το λόγο παρά την εξομάλυνση των ελάχιστων παροχών που γίνεται, τόσο με την εφαρμογή κυλιόμενου μέσου, όσο και με την επιλογή των μέσων τιμών τους η τελική τιμή της βασικής παροχής διατήρησης παρέμεινε σε πολύ χαμηλά επίπεδα.

Η βασική παροχή διατήρησης (Q_b) για τη λεκάνη του Μαραθώνα προέκυψε στα $940 \text{ m}^3/\text{d}$ ή 11 lt/s , σαφώς χαμηλότερα από τα ελάχιστα όρια που θέτει η ισχύουσα νομοθεσία. Η παροχή αυτή ανηγμένη στο μήνα και στο έτος προκύπτει:

$$\underline{Q_b = 0,03 \text{ hm}^3/\text{mo} \text{ ή } Q_b = 0,34 \text{ hm}^3/\text{y}}$$

5. 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.

$$Q_0 = 0,73 \text{ hm}^3. \text{ Το } 30\% \text{ αυτής αντιστοιχεί σε } 0,22 \text{ hm}^3/\text{mo} = 7000 \text{ m}^3/\text{d}$$

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

Για τα υδρολογικά έτη 1994-2013

Εκτίμηση Οικολογικής Παροχής από το Φράγμα του Μαραθώνα και Διαχείριση Διατιθέμενων Υδάτων

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

$Q_0 = 1 \text{ hm}^3$. Το 30% αυτής αντιστοιχεί σε $0,3 \text{ hm}^3/\text{mo} = 10000 \text{ m}^3/\text{d}$.

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

4.3 Συνεκτίμηση αποτελεσμάτων

Πίνακας 12: Μέση παροχή ανά μήνα για όλη την εξεταζόμενη περίοδο.

Μήνας	Παροχή(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 hm^3 παρά το γεγονός ότι τις περισσότερες ημέρες η παροχή είναι μηδέν (Πιν. 12). 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 $0,9 \text{ hm}^3$.

Εκτίμηση Οικολογικής Παροχής από το Φράγμα του Μαραθώνα και Διαχείριση Διατιθέμενων Υδάτων

Πίνακας 13: Πίνακας εκτιμήσεων μηνιαίας οικολογικής παροχής (hm^3).

Μέθοδος	2002-2013	1994-2013
2,5% ΜΕΠ	0,04	0,04
5% ΜΕΠ	0,08	0,09
10% ΜΕΠ	0,16	0,18
Lyons (Μάρτιος – Σεπτέμβριος)	0,02	-
Lyons (Οκτώβρης – Φεβρουάριος)	0,01	-
Μ.Ο. Ελάχιστης Ετήσιας Παροχής	0,52	0,1
Παροχή 95% (μηνιαίο ισοζύγιο)	0,04	0
Παροχή 95% (ημερήσιο ισοζύγιο)	0	0
Παροχή 90% (μηνιαίο ισοζύγιο)	0,14	0
Παροχή 90% (ημερήσιο ισοζύγιο)	0	0
Βασική Παροχή Διατήρησης	0,03	-
30% μέσης παροχής θέρους	0,3	0,22
50% μέσης παροχής Σεπτεμβρίου	0,55	0,35
30 lt/sec	0,08	0,08

Από τα παραπάνω αποτελέσματα (Πιν. 13), καταδεικνύεται ότι οι περισσότερες μέθοδοι δίνουν εκτιμήσεις παροχής, οι οποίες βρίσκονται κατά κύριο λόγο στα επίπεδα της ελάχιστης απαιτούμενης οικολογική παροχή βάσει της ισχύουσας νομοθεσίας. Πιο συγκεκριμένα, η μέθοδος Tennant καταδεικνύει ότι ποσοστά μεγαλύτερα ή ίσα του 5% της ΜΕΠ κυμαίνονται στα επιτρεπτά όρια.. Παρόμοια είναι και τα αποτελέσματα της καμπύλης διάρκειας – παροχής, με την παροχή του 90% να γίνεται 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. Το γεγονός αυτό για τη μέθοδο της ελάχιστης παροχής οφείλεται στην εξαιρετικά υψηλή παροχή του υδρολογικού έτους 2002-2003. Αν αυτή αφαιρεθεί από τον υπολογισμό, η ελάχιστη ετήσια παροχή πέφτει στα 0,3 hm^3/mo . 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 ο,τι το ποτάμιο σύστημα που τροφοδοτεί τον ταμιευτήρα του Μαραθώνα έχει ένα σχετικά μικρό 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. Αν και υπάρχουν έτη όπου οι θερινές απορροές είναι σχεδόν μηδενικές, το γεγονός αυτό αντικατοπτρίζει την εικόνα όλου του έτους και όχι μόνο της θερινής περιόδου. Συνεπώς μια εκτίμηση που βασίζεται αποκλειστικά στις θερινές παροχές παρουσιάζεται αρκετά υπερτιμημένη.

Είναι σημαντικό να τονιστεί οτι όλες οι μέθοδοι που εφαρμόστηκαν κατέδειξαν το πρόβλημα του καθορισμού της οικολογικής παροχής με βάση τα ημερήσια δεδομένα. Το υδρολογικό προφίλ των απορροών της λεκάνης δείχνει ότι ενώ συνολικά υπάρχει ένα επαρκές υδατικό δυναμικό, αυτό δεν ισοκατανέμεται στις μέρες του έτους, με αποτέλεσμα οι μέρες με υψηλές παροχές να είναι σε πολλές περιπτώσεις λιγότερες από τις μέρες με μηδενικές παροχές. Για το λόγο αυτό ήταν απαραίτητη η γενίκευση των δεδομένων στο επίπεδο του μήνα, ώστε να εξαχθούν ικανοποιητικά και διαχειρίσιμα αποτελέσματα. Βάσει αυτής της προσέγγισης η μέθοδος της μέσης ετήσιας παροχής και της καμπύλης διάρκειας- παροχής αντικατοπτρίζουν πληρέστερα τις ποσότητες υδάτων που δέχεται ο ταμιευτήρας.

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 τα υδραγωγεία Μόρνου-Εύηνου 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 οικολογική παροχή.

Αντίθετα, αν θεωρηθεί ότι εξετάζεται ένα ξεχωριστό οικοσύστημα, χωρίς να υπολογίζονται οι τεράστιες ποσότητες υδάτων που εισρέουν καθημερινά από τους υπόλοιπους ταμιευτήρες προς τον Μαραθώνα, τότε η προτεινόμενη λύση θα αναζητηθεί με βάση τις μεθόδους που εφαρμόστηκαν παραπάνω. Άλλωστε το τεχνικό

Εκτίμηση Οικολογικής Παροχής από το Φράγμα του Μαραθώνα και Διαχείριση Διατιθέμενων Υδάτων

έργο του Μαραθώνα κατασκευάστηκε με σκοπό την υδροδότηση της Αθήνας, ώστε να αξιοποιήσει τα 20 hm³/y που παρέχει η ανάντη λεκάνη. Σήμερα τα μεγέθη αυτά αποτελούν μια δικλείδα ασφαλείας στην περίπτωση εμφάνισης έντονων φαινομένων ξηρασίας, γεγονός που έχει συμβεί στη διάρκεια της τελευταίας εικοσαετίας.

Συνολικά, οι μέθοδοι που εξετάστηκαν καταδεικνύουν πως μπορεί να αναζητηθεί μια λύση που να κυμαίνεται πάνω από τα 30lt/s και έως τα επίπεδα των 0,18 hm³/mo, εύρος το οποίο προκύπτει από τα αποτελέσματα των μεθόδων που εφαρμόστηκαν και τις νομοθετικές επιταγές. Οι ποσότητες αυτές αντιστοιχούν σε 1-2,2 hm³ οικολογικής παροχής ανά έτος. Συνεπώς, βάσει της συνεκτίμησης των παραπάνω θεωρήσεων προτείνεται μια υψηλή τιμή ανάμεσα στο παραπάνω εύρος για την ποσότητα της οικολογικής παροχής, στα επίπεδα των **2 hm³/y**.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΗΣ ΠΑΡΟΧΗΣ

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

Στην περιοχή κατάντη του φράγματος δεσπόζει η πεδιάδα και ο όρμος του Μαραθώνα. Τα πλέον χαρακτηριστικά τοπία της περιοχής είναι ο κάμπος του Μαραθώνα στο κεντρικό και δυτικό τμήμα της πεδιάδας, όπου κυριαρχεί η γεωργική ανάπτυξη και ο μαγευτικός υγρότοπος του Σχινιά στα ανατολικά, ο οποίος έχει ανακηρυχθεί σε Εθνικό Πάρκο. Η διαχείριση των υδατικών πόρων στις περιοχές αυτές έχει κομβική σημασία στη προσπάθεια αξιοβίωτης ανάπτυξης του Μαραθώνα. Προς αυτήν την κατεύθυνση στρέφεται και η μελέτη αξιοποίησης της οικολογικής παροχής.

5.1 Η διαχείριση της οικολογικής παροχής

Όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενα κεφάλαια, η οικολογική παροχή αποτελεί την ποσότητα ροής που αποδίδεται από ένα υδρομαστευτικό έργο για την αποφυγή της διαταραχής των περιβαλλοντικών συνθηκών που υπήρχαν πριν την ανάσχεση της ροής. Ο παραπάνω ορισμός όπως και οι υπόλοιποι παρεμφερείς ορισμοί που έχουν υιοθετηθεί για την οικολογική παροχή, υποδεικνύουν πως δεν γίνονται επεμβάσεις στη φυσική διαδρομή του νερού ή έργα διευθέτησης του υπάρχοντος υδατορεύματος. Αντιθέτως, το νερό που παραμένει στο υδατόρευμα ακολουθεί την υπάρχουσα διαμορφωμένη διαδρομή, συμβάλλοντας στη διατήρηση των παρόχθιων συστημάτων, των βιότοπων και των υγροτόπων που τροφοδοτεί.

Εντούτοις, σε πολλές μελέτες ανακύπτει ως θέμα μείζονος σημασίας η εφαρμογή των μεθόδων της οικολογικής παροχής και η ουσιαστική συμβολή τους στη διατήρηση της υγείας των οικοσυστημάτων. Στο παρόν κεφάλαιο της διπλωματικής εργασία προσδιορίζονται οι τρόποι με τους οποίους θα επιτευχθεί η βέλτιστη αξιοποίηση της ποσότητας ύδατος που αποδίδεται στο περιβάλλον, με σκοπό την αποτελεσματική ενίσχυση του υδατικού δυναμικού κατάντη του φράγματος. Η εφαρμογή ενός τέτοιου διαχειριστικού σχεδίου για την οικολογική παροχή συντελεί στην ανάδειξη των συγκριτικών πλεονεκτημάτων του ποτάμιου οικοσυστήματος και στην ενίσχυση

των ειδικών περιβαλλοντικών και οικολογικών χαρακτηριστικών που έχουν υποβαθμιστεί. Ειδικά στην περίπτωση του Μαραθώνα, όπου ο ποταμός της Οινόης έχει αποκοπεί πλήρως από τις παροχές της ανάντη λεκάνης στα 85 χρόνια λειτουργίας του έργου, κρίνεται αναγκαία η υποβολή προτάσεων με σκοπό τη βέλτιστη χρήση του νερού προτού αυτό καταλήξει στη θάλασσα.

Κατά τη διαδικασία μελέτης της διαχείρισης της οικολογικής παροχής, απαιτείται σε πρώτον στάδιο η ανάλυση της υπάρχουσας κατάστασης κατάντη του φράγματος του Μαραθώνα. Ακολούθως, γίνεται αξιολόγηση των δεδομένων και εντοπίζονται συγκριτικές αδυναμίες, οι οποίες δύνανται να επιλυθούν με την παροχή της επιπλέον ποσότητας υδάτων. Ταυτόχρονα, προσδιορίζονται οι δυνατότητες παρεμβολής και αναλύεται η εφαρμογή τους, ώστε να επιτευχθούν τα βέλτιστα αποτελέσματα.

5.2 Λειτουργία οικολογικής παροχής από το φράγμα Μαραθώνα

Το φράγμα του Μαραθώνα δεν επιτρέπει την απόδοση οικολογικής παροχής στο περιβάλλον καθώς δεν υπήρχε αντίστοιχη πρόβλεψη κατά τη φάση κατασκευής του. Η μόνη περίπτωση διαφυγής νερού από τον ταμιευτήρα είναι μέσω του υπερχειλιστή, ο οποίος όμως δεν δύναται να εξασφαλίσει τη συνεχή ροή υδάτων. Επομένως, απαιτείται η εξεύρεση ενός τρόπου μόνιμης απόδοσης νερό προς το περιβάλλον για οικολογική χρήση.

Η προβλεπόμενη λύση για την απόδοση νερού είναι η λειτουργία του εκκενωτή πυθμένα του φράγματος. Ο εκκενωτής βρίσκεται στον πυθμένα του ταμιευτήρα και η απόληξή του είναι στα 50 m κατάντη του φράγματος. Εντούτοις, δεν έχει δοκιμαστεί ποτέ η λειτουργία του και θεωρείται αμφίβολη η δυνατότητα παροχής νερού. Η θεώρηση αυτή οφείλεται στην εισροή μεγάλων ποσοτήτων φερτών υλικών, τα οποία καθιζάνουν στα κατώτερα στρώματα του φράγματος. Η μέση ετήσια απώλεια της χωρητικότητας ενός ταμιευτήρα φτάνει το 1% ετησίως, επομένως είναι πιθανή η σφράγιση της εισόδου του εκκενωτή από τις αυξημένες συγκεντρώσεις φερτών υλικών στην 85ετή λειτουργία του φράγματος.

Για να αποφευχθεί μια ενδεχόμενη χρονοβόρα και κοστοβόρα επιχείρηση απομάκρυνσης των φερτών υλικών, προκειμένου να απελευθερωθεί η είσοδος του εκκενωτή, προτείνεται η λύση του αγωγού που κατευθύνει νερό προς το κωπηλατοδρόμιο. Η υδροληψία του αγωγού βρίσκεται βαθιά μέσα στον ταμιευτήρα

σε μεγάλο βάθος, στην περιοχή του πύργου της ΕΥΔΑΠ. Στο ίδιο σημείο γίνεται και η υδροληψία των αγωγών που εισέρχονται στη σήραγγα του Μπογιατίου για να κατευθυνθούν προς την Αθήνα. Ο αγωγός διασχίζει το εσωτερικό του φράγματος κάτω από τον υπερχειλιστή και εμφανίζεται στην επιφάνεια του εδάφους περί τα 100m από φράγμα, κατά μήκος του διαμορφωμένου ρέματος της Οινόης. Στη συνέχεια ο αγωγός ακολουθεί την πορεία του ρέματος, πριν κατευθυνθεί προς την περιοχή του κωπηλατοδρομίου.

Το σημείο εμφάνισης του αγωγού στο έδαφος κατάντη του φράγματος είναι κατάλληλο για την απόδοση της οικολογικής παροχής. Το σημείο βρίσκεται πολύ κοντά στο φράγμα, με αποτέλεσμα να είναι δυνατή η απόδοση της παροχής στο περιβάλλον στο σημείο ανάσχεσης της ροής, επιτυγχάνοντας μια ακριβή προσομοίωση της ροής του ποταμού. Επιπλέον, είναι δυνατός ο έλεγχος της ροής άμεσα σε περίπτωση που υπάρξει κάποια βλάβη, ή θεωρηθεί απαραίτητη η διακοπή της παροχής.

5.3 Υπάρχουσα κατάσταση κατάντη φράγματος Μαραθώνα

5.3.1 Ο κάμπος του Μαραθώνα

Ακολουθώντας τη φυσική διαδρομή του νερού, διακρίνεται έντονη φυσική βλάστηση, καθώς και μεγάλες εκτάσεις θαμνώδους βλάστησης στους γύρω λόφους για μια διαδρομή 6 km. 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 km².

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. Η σύγκριση γίνεται ανάμεσα στον χάρτη χρήσης γης των Curtius – Caupert του 1880, το χάρτη βλάστησης του Υπουργείου Γεωργίας του 1998 και τον χάρτη χρήσεων/καλύψεων γης για το έτος 2000 του ευρωπαϊκού προγράμματος Corine. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν έχουν εξαιρετικό ενδιαφέρον και παρουσιάζονται στον πίνακα 14.

Εκτίμηση Οικολογικής Παροχής από το Φράγμα του Μαραθώνα και Διαχείριση Διατιθέμενων Υδάτων

Πίνακας 14: Έκταση και ποσοστό χρήσεων γης κατά τα έτη 1880, 1988 και 2000.

Χρήσεις Γης	1880	(%)	1988	(%)	2000	(%)
Υγρότοποι	8,57	4,84	9,88	5,57	6,18	3,49
Οικισμοί	2,24	1,26	14,95	8,44	17,58	9,92
Καλλιέργειες	3,77	2,13	52,08	29,39	55,54	31,34
Δάση - Ημιφυσικές περιοχές	162,64	91,77	100,31	56,60	97,92	55,25
Σύνολο	177,22	100	177,22	100	177,22	100

Πηγή: Ξανθάκης και Ξανθόπουλος, 2007

Εξάγεται αρχικά από τον πίνακα ότι 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 19^{ου} αιώνα τα δάση και οι ημιφυσικές περιοχές κάλυπταν τη συντριπτική πλειονότητα 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. Το έτος 2000 βάσει της αξιολόγησης του προγράμματος Corine, οι καλλιέργειες καλύπτουν το 31% των εκτάσεων της πεδιάδας. Παράλληλα, οι οικισμοί που το 1880 καταλάμβαναν μόλις το 1,3% της πεδιάδας, σήμερα αγγίζουν το 10% της συνολικής έκτασης.

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.

Σε όλα τα παραπάνω έρχεται να προστεθεί και η καταστροφική πυρκαγιά που έπληξε την Ανατολική Αττική και συγκεκριμένα την περιοχή του Μαραθώνα τον Αύγουστο του 2009. Η εξάπλωση της πυρκαγιάς σε πολλά τμήματα της περιοχής μελέτης έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της συγκράτησης και αποθήκευσης νερού, λόγω έλλειψης βλάστησης. Αυξάνεται έτσι η ποσότητα της απορροής και ελαττώνεται η ταχύτητα διήθησης του νερού στο έδαφος και εμπλουτισμού των υπόγειων υδροφορέων.

5.3.2 Ο υδροφόρος ορίζοντας στην περιοχή του Μαραθώνα

Στην περιοχή του Μαραθώνα εμφανίζονται κυρίως 2 μεγάλοι υδροφορείς λόγω της ύπαρξης καρστικοποιημένων πετρωμάτων (Μάρμαρα ΒΑ Αττικής) όπως θα αναλυθεί αργότερα. Ο πρώτος υδροφορέας βρίσκεται στο δυτικό τμήμα του Μαραθώνα προς τη Νέα Μάκρη και τροφοδοτείται με ροή νερού από την Πεντέλη. Ακολούθως αναπτύσσεται προς την περιοχή των πηγών του Κ. Σουλίου (Γεωργιοπούλου, 2007). Ο δεύτερος μεγάλος υδροφόρος 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.

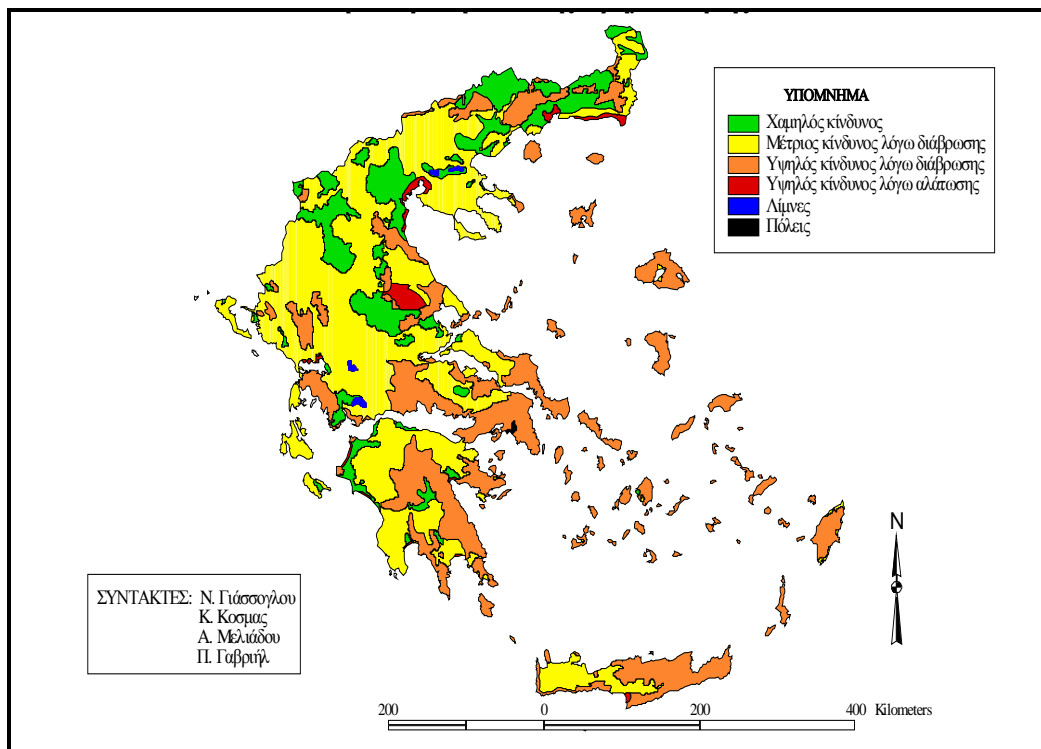
Στην πεδιάδα του Μαραθώνα έχει εντοπιστεί το πρόβλημα της υφαλμύρωσης των υπόγειων νερών και έχει αποτυπωθεί σε πλήθος μελετών. Στην υδρογεωλογική μελέτη του Υπουργείου Γεωργίας για τον κάμπο του Μαραθώνα (Μελισσάρης και Σταυρόπουλος, 2009), καταγράφονται υψηλές τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας κατά την 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 υφαλμύρωση 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 καταλήγει και η μελέτη του ΙΓΜΕ και του ερευνητή Σμυρνιώτη Χ. για τον κάμπο του Μαραθώνα. Ο υπόγειος υδροφορέας στην περιοχή της πεδιάδας παρουσιάζει σημαντική επιβάρυνση εξαιτίας της υπεράντλησης και της ανεξέλεγκτης χρήσης φυτοφαρμάκων και λιπασμάτων. Τα επίπεδα των νιτρικών

ιόντων εμφανίζονται ασυνήθιστα υψηλά, ξεπερνώντας το όριο νερού κατάλληλου για υδρευτική χρήση. Παράλληλα, εμφανίζονται υψηλές επίπεδα χλωρίου που επιβεβαιώνουν την υπόθεση της υφαλμύρωσης. Ιδιαίτερα ο πεδινός υδροφορέας εμφανίζει σημάδια εξάντλησης των αποθεμάτων του, εκτός από την υψηλή περιεκτικότητα σε νιτρικά. (Γεωργιοπούλου, 2007)

Η εισροή σημαντικών ποσοτήτων αλάτων στο υπόγειο νερό ενέχει σοβαρούς κινδύνους για το οικοσύστημα. Τα νερά γίνονται απαγορευτικά για ύδρευση αλλά και για άρδευση καθώς καταστρέφουν τα φυτά., ενώ υποβαθμίζεται σημαντικά ή ποιότητα των εδαφών. Παράλληλα, η υφαλμύρωση των υδάτων και η εξάντληση των αποθεμάτων των υπόγειων υδροφορέων αυξάνουν τις πιθανότητες εμφάνισης του φαινομένου της ερημοποίησης.

Η ερημοποίηση θεωρείται ένας σοβαρός παράγοντας υποβάθμισης των εδαφών, ιδιαίτερα στις Μεσογειακές χώρες που πλήττονται από παρατεταμένες ξηρές περιόδους. Ο Ελλαδικός χώρος εμφανίζεται έντονα υποβαθμισμένος σε πολλές περιοχές, γεγονός που οφείλεται στις κατά κανόνα ισχυρές βροχοπτώσεις μικρής διάρκειας, το έντονο ανάγλυφο και τα ξηρά καλοκαίρια. Σύμφωνα με σχετική έρευνα (Κοσμάς, 2006), υψηλό κίνδυνο ερημοποίησης διατρέχει το 35% των εδαφών της χώρας ενώ το 49% της συνολικής έκτασης αντιμετωπίζει μέτρια απειλή. Η Ανατολική Αττική εντάσσεται στις περιοχές που ενδέχεται να πληγούν μελλοντικά από το φαινόμενο της ερημοποίησης, όπως προκύπτει από την εικόνα 17.



Εικόνα 17: Χάρτης δυνητικού κινδύνου ερημοποίησης της Ελλάδας
Πηγή: Κοσμάς, 2006

Η συνεχής επιβάρυνση των υπόγειων υδροφορέων από τις ανθρώπινες δραστηριότητες, η υφαλμύρωση των υδάτων και ο δυνητικός κίνδυνος ερημοποίησης των υδάτων στην πεδιάδα του Μαραθώνα, απαιτούν την ανάγκη λήψης κατάλληλων μέτρων. Στο πλαίσιο αυτό, κρίνεται σκόπιμο να διερευνηθεί η δυνατότητα εμπλουτισμού των υδροφορέων του Μαραθώνα με ποσότητα νερού από την προτεινόμενη οικολογική παροχή, ώστε να υποβοηθηθεί η ανύψωση της στάθμης τους.

5.3.3 Εθνικό Πάρκο Σχινιά Μαραθώνα

Το εθνικό Πάρκο Σχινιά 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. Οι ανθρώπινες παρεμβάσεις στον υγρότοπο του Σχινιά ξεκινούν ήδη από το 1923, όταν με σκοπό την παραχώρηση εκτάσεων προς καλλιέργεια αποφασίστηκε η

αποστράγγιση του. Τότε, κατασκευάστηκε αγωγός μεταφοράς των υδάτων της Μακαρίας πηγής απευθείας στη θάλασσα παρακάμπτοντας τον υγρότοπο, του οποίου αποτελούσε τον κύριο τροφοδότη. Τα επόμενα χρόνια τα αντιπλημμυρικά έργα συνεχίστηκαν και 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 δεν έχει υπάρξει μέριμνα, ώστε να επιδιορθωθούν 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. Ειδικά στο δεύτερο 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, η γειτνίασή του με τον κάμπο του Μαραθώνα και η τεράστια οικολογική του σημασία καθιστούν ως μια ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα προοπτική την προσπάθεια αναζωογόνησης του πάρκου με νερό από την οικολογική παροχή της λίμνης του Μαραθώνα.

5.4 Προτάσεις διαχείρισης οικολογικής παροχής

Βάσει της ανάλυσης που προηγήθηκε για την υπάρχουσα κατάσταση κατάντη του φράγματος του Μαραθώνα, προτείνονται δύο λύσεις για τη βέλτιστη αξιοποίηση της οικολογικής παροχής:

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.

5.5 Εμπλουτισμός υδροφόρου ορίζοντα

5.5.1 Η σημασία του υδροφόρου ορίζοντα

Οι υδροφόροι ορίζοντες αποτελούν ουσιαστικά τις δεξαμενές νερού της γης. Τα αποθέματα των υπόγειων δεξαμενών έχουν ιδιαίτερη σημασία για τους παρακάτω λόγους (Αλεξούλη-Λειβαδίτη, 2005):

- Συντηρούν τα νερά των ρεμάτων και των ποταμών κατά τους καλοκαιρινούς μήνες και τις ξηρές περιόδους, καθώς αναβλύζουν στην επιφάνεια του εδάφους.
- Συμβάλλουν στις διεργασίες του γεωλογικού κύκλου μέσω της διάλυσης και απόθεσης υλικών. Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι η διάλυση ανθρακικών ενώσεων και η δημιουργία ασβεστολιθικών πετρωμάτων.
- Αποθηκεύουν τεράστιες ποσότητες νερού που χρησιμοποιούνται από τον άνθρωπο, τα φυτά και τα ζώα.
- Επηρεάζουν δομικά την κατανομή της βλάστησης και τη διάβρωση

Συνολικά, η σημασία των υπόγειων νερών γίνεται αντιληπτή, καθώς αποτελούν το 1% του συνόλου των υδάτων, μέγεθος 35 φορές μεγαλύτερο από το επιφανειακό νερό που συγκεντρώνεται στις λίμνες και τα ποτάμια.

Η μείωση της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα έχει σοβαρές συνέπειες στη λειτουργία του υδρολογικού κύκλου, λόγω της διατάραξης του υδρολογικού ισοζυγίου και συνακόλουθα στην υγεία του οικοσυστήματος. Σε ξηρές περιοχές η ύπαρξη υπόγειων υδροφόρων στρωμάτων αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για την επιβίωση των οργανισμών και την αποφυγή της ερημοποίησης. Παράλληλα, χάνονται σημαντικές ποσότητες νερού που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από το έδαφος και τα έμβια όντα, όπως και από τον άνθρωπο για την επιτέλεση των δραστηριοτήτων του.

Ιδιαίτερα για τους παράκτιους υδροφορείς, η μείωση των αποθεμάτων τους αυξάνει τον κίνδυνο υφαλμύρωσης. Το φαινόμενο αυτό συνδέεται άμεσα με τη διαδικασία διείσδυσης θαλασσινού νερού στα συστήματα υπόγειων υδροφορέων κοντά στις ακτές. Καθώς αντλείται νερό από ένα παράκτιο υδροφορέα, η στάθμη του κατεβαίνει και ταυτόχρονα εισέρχεται θαλασσινό νερό, το οποίο αντικαθιστά τις ποσότητες

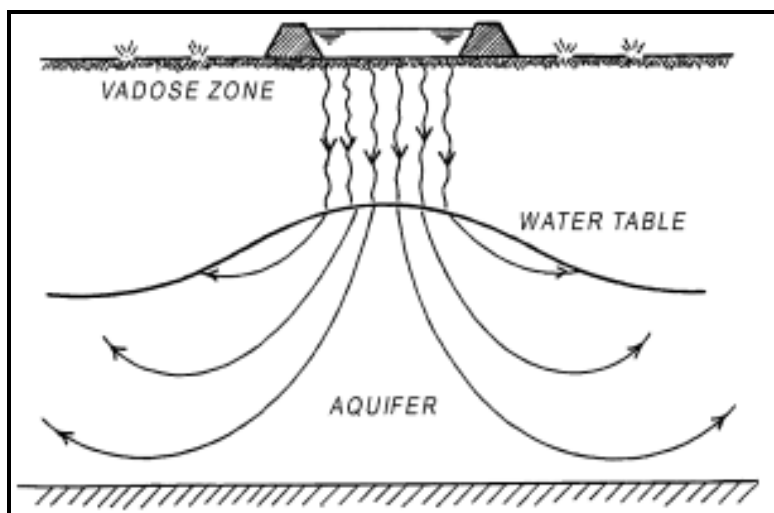
γλυκού νερού που έχουν αφαιρεθεί. Στην περίπτωση που η στάθμη μειωθεί κάτω από το επίπεδο της υποθαλάσσιας εμφάνισης, γίνεται πλέον άντληση θαλασσινού νερού.

Για όλους τους παραπάνω λόγους, σύμφωνα με την οδηγία πλαίσιο 2000/60/ΕΚ περί της προστασίας των υδατικών πόρων, θεσπίζεται η υποχρέωση των κρατών μελών να προστατεύουν και να αντικαθιστούν τα συστήματα των υπόγειων υδάτων. Ιδιαίτερη σημασία δίνεται στην ισορροπία μεταξύ των αντλούμενων υδάτων και της ανατροφοδότησης των υδροφορέων, με σκοπό την καλή κατάσταση των υπόγειων υδάτων ως προς την ποσότητα και την ποιότητά τους, έχοντας ως χρονικό ορίζοντα το έτος 2015.

5.5.2 Τεχνητός εμπλουτισμός και μέθοδοι εφαρμογής

Ο φυσικός εμπλουτισμός του υδροφόρου ορίζοντα πραγματοποιείται μέσω της κατεισδύσης των κατακρημνισμάτων και γενικότερα των επιφανειακών υδάτων στο έδαφος, και συμβάλλει στη διατήρηση και ανανέωση των υπόγειων υδατικών αποθεμάτων. Η ικανότητα του νερού να κατεισδύει στο έδαφος και η ταχύτητα με την οποία αυτή επιτυγχάνεται εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως οι γεωλογικές και υδρογεωλογικές συνθήκες του εδάφους, η κλίση, η βλάστηση κ.α.

Η τροφοδότηση του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα πέρα από τις διαδικασίες του φυσικού εμπλουτισμού, γίνεται με την εφαρμογή των μεθόδων του τεχνητού εμπλουτισμού (groundwater recharge). Ο τεχνητός εμπλουτισμός αποτελεί μια διαδικασία με την οποία γίνεται αξιοποίηση του πλεονάζοντος φυσικού ή επεξεργασμένου νερού με σκοπό την αύξηση του ρυθμού ανανέωσης του υπόγειου νερού των υδροφόρων οριζόντων, με κατασκευή κατάλληλων διατάξεων (π.χ. κατάκλυση) (Ιστότοπος τμήματος Γεωλογίας ΑΠΘ). Η περίσσεια νερού που χρησιμοποιείται για τον τεχνητό εμπλουτισμό μπορεί να προέρχεται από επιφανειακά ύδατα είτε από παρακείμενα υδροφόρα στρώματα.



Εικόνα 18: Τομή τυπικού συστήματος τεχνητού εμπλουτισμού υπόγειου υδροφορέα με κατασκευή λεκάνης διήθησης

Πηγή: Bouwer, 2002

Ο βασικός στόχος του τεχνητού εμπλουτισμού είναι η αύξηση των υπόγειων αποθεμάτων για την αποθήκευση νερού. Για την Ελλάδα, όπου έχουν παρατηρηθεί κατά καιρούς έντονα φαινόμενα ξηρασίας, έχει ιδιαίτερη σημασία η ύπαρξη και η ενίσχυση στρατηγικών αποθεμάτων νερού. Το νερό αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πολλές εφαρμογές, όπως είναι η ύδρευση και η άρδευση. Παράλληλα, αποφεύγονται φαινόμενα καθίζησης του εδάφους, καθώς και υφαλμύρωσης των υπόγειων υδάτων με την εισαγωγή θαλασσινού νερού. Επιπλέον, η διοχέτευση καθαρού νερού υψηλής ποιότητας συμβάλλει στον καθαρισμό των υπόγειων υδάτων. Η εισροή μεγάλων ποσοτήτων καθαρού νερού βοηθάει στη μείωση των συγκεντρώσεων βλαβερών μικροοργανισμών.

Βασική προϋπόθεση για την επιτυχία της μεθόδου, πέρα από την ύπαρξη διαθέσιμου υδατικού δυναμικού, είναι η επικράτηση των κατάλληλων γεωλογικών και υδρογεωλογικών συνθηκών στην περιοχή εφαρμογής. Το έδαφος και το υπέδαφος της περιοχής πρέπει να καλύπτονται από υδροπερατά εδάφη, ώστε να είναι υψηλός ο ρυθμός διήθησης του νερού. Όπου αυτό δεν είναι εφικτό, συνήθως το νερό διοχετεύεται άμεσα στον υδροφορέα μέσω πηγαδιών. Παράλληλα, απαιτείται το διαθέσιμο νερό να είναι υψηλής ποιότητας και χημικά συμβατό με αυτό του υπόγειου υδροφορέα. Τέλος, όπως σε κάθε τεχνικό έργο απαιτείται η προτεινόμενη λύση να είναι συμφέρουσα οικονομικά ως προς το κατασκευαστικό και το λειτουργικό σκέλος. (Ιστότοπος τμήματος Γεωλογίας ΑΠΘ).

Η εφαρμογή του τεχνητού εμπλουτισμού έχει ξεκινήσει ήδη από τη Ρωμαϊκή εποχή, μέσω ιχνών που έχουν βρεθεί στην Τυνησία και σε άλλες παραμεσόγειες χώρες. Σημαντικά έργα τεχνητού εμπλουτισμού σημειώνονται κατά τον 18^ο και 19^ο αιώνα στην Ευρώπη, τα οποία εντείνονται και επεκτείνονται σε όλο τον κόσμο κατά το δεύτερο μισό του 20^{ου} αιώνα. Ο βασικός λόγος της στροφής προς τον τεχνητό εμπλουτισμό είναι η ραγδαία πτώση της στάθμης των υπόγειων υδροφορέων, εξαιτίας της υπεράντλησης. Σήμερα, υπάρχουν σημαντικά έργα τεχνητού εμπλουτισμού σε πολλές χώρες της Ευρώπης (Γαλλία, Ρωσία, Ιταλία κλπ), αλλά και του κόσμου (Ιαπωνία, Αυστραλία). Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η πόλη της Γκρενόμπλ, όπου υδρεύεται σχεδόν αποκλειστικά μέσω κατασκευής έργου τεχνητού εμπλουτισμού. (Ιστότοπος τμήματος Γεωλογίας ΑΠΘ). Στην Ελλάδα έχει εφαρμοστεί ο τεχνητός εμπλουτισμός κυρίως μέσω γεωτρήσεων και πηγαδιών.

Η εφαρμογή του τεχνητού εμπλουτισμού γίνεται μέσω της ροής και της συγκεντρώσεως του νερού στην επιφάνεια του εδάφους με χρήση λεκανών κατάκλυσης, τάφρων και αυλακιών. Παράλληλα, το νερό τοποθετείται σε φρεάτια και τάφρους διήθησης στην ακόρεστη ζώνη ή διοχετεύεται στον υπόγειο υδροφόρο μέσω πηγαδιών. (Bouwer , 2002)

Άλλες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τεχνητό εμπλουτισμό είναι οι παρακάτω (Πλιάκας, 2012):

- Συστήματα SAT (Soil Aquifer treatment)
- Γεωτρήσεις αποθήκευσης – άντλησης
- Συνδυαστικά συστήματα τεχνητού εμπλουτισμού
- Επαγωγικός και συμπτωματικός εμπλουτισμός

Μικροφράγματα

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 διήθησης των υδάτων προς τα υπόγεια υδάτινα στρώματα. Στην Ελλάδα υπάρχουν πολλές περιπτώσεις όπου χρησιμοποιήθηκε η λύση των μικροφραγμάτων για την ενίσχυση των αποθεμάτων του υδροφόρου ορίζοντα και την εξασφάλιση νερού ύδρευσης και άρδευσης. Χαρακτηριστικό

παράδειγμα αποτελούν τα δεκάδες μικροφράγματα που κατασκευάστηκαν στη Θράκη, την Τήνο και άλλες περιοχές της χώρας κατά τη δεκαετία του 1990.

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. Για το σκοπό αυτό απαιτούνται τα εξής στοιχεία (προσωπική επικοινωνία με τον Γεωλόγο κ. Γερολυμάτο Ηλία):

- Ψηφιακό μοντέλο εδάφους, για τον προσδιορισμό του αναγλύφου της περιοχής και της διαδρομής που ακολουθεί η οικολογική παροχή
- Γεωλογικός χάρτης, για την επιλογή των θέσεων που απαρτίζονται από υδροπερατά πετρώματα
- Υδρολογικός χάρτης, για τον προσδιορισμό των διαδρόμων απορροής του νερού από την γύρω υδρολογική λεκάνη
- Ζεύγος αεροφωτογραφιών κατάλληλης κλίμακας ή ψηφιακό στερεομοντέλο, με σκοπό τον εντοπισμό χαρακτηριστικών ρηγματώσεων στην επιφάνεια του εδάφους.

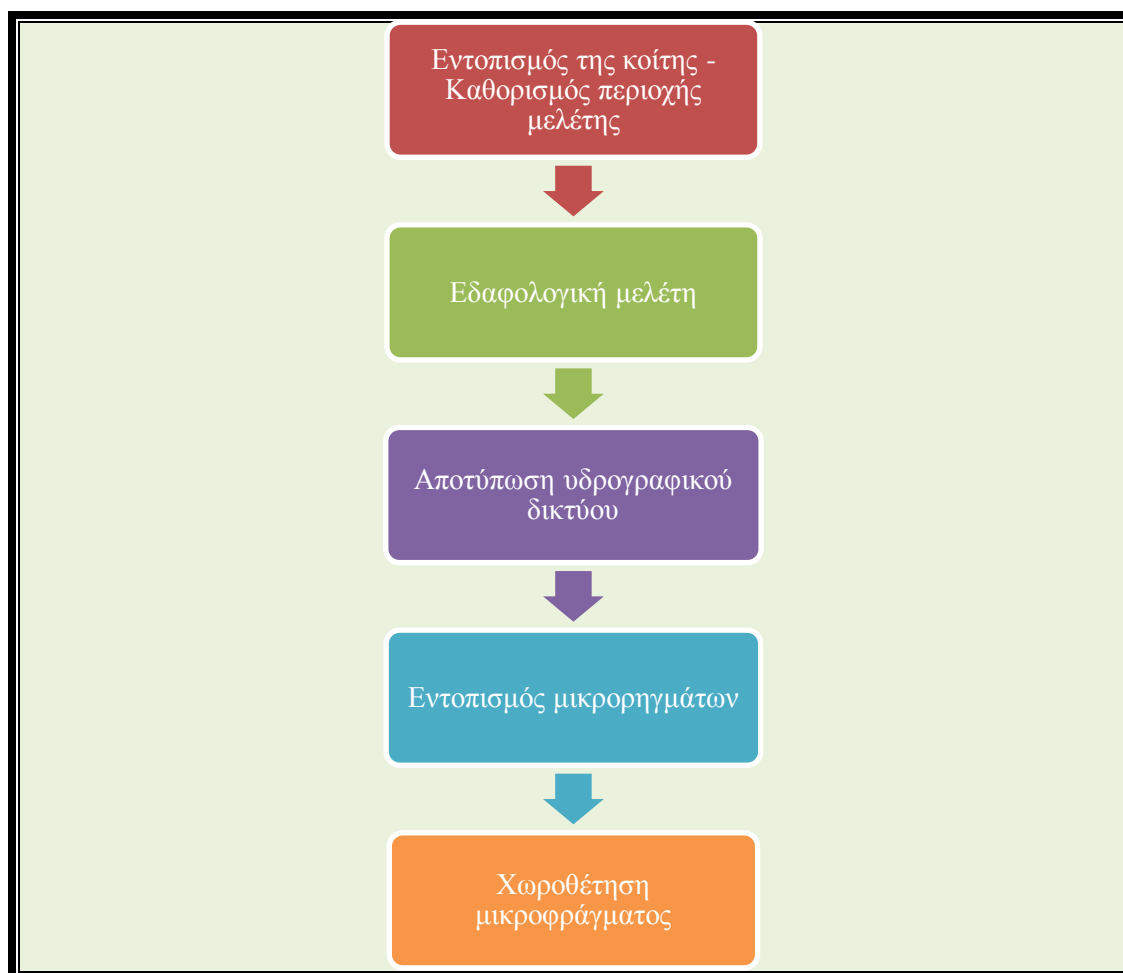
Με βάση τα παραπάνω δεδομένα, γίνεται εντοπισμός επί του υδατορεύματος, των περιοχών που διαθέτουν τα κατάλληλα υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά για να υποβοηθήσουν την διαδικασία της κατείδυσης των υδάτων και στα οποία ταυτόχρονα καταλήγουν οι δρόμοι αποστράγγισης του νερού. Παράλληλα, προσδιορίζονται τα σημεία, όπου υπάρχει συγκέντρωση ρηγμάτων. Ανάντη των σημείων αυτών είναι επιθυμητή η δημιουργία των μικροφραγμάτων, ώστε να επιταχυνθεί η κατακόρυφη ροή του νερού. Το τελευταίο βήμα της διαδικασίας αυτής είναι η επιτόπια επίσκεψη στην περιοχή για την επαλήθευση των εκτιμήσεων και τον ακριβή εντοπισμό των κατάλληλων θέσεων.

5.5.3 Τεχνητός εμπλουτισμός στο Μαραθώνα

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 ισουΰψεις καμπύλες, δορυφορικές εικόνες και γεωλογικούς χάρτες, καθώς και τις δυνατότητες πακέτων λογισμικών όπως το ArcGIS για την

Εκτίμηση Οικολογικής Παροχής από το Φράγμα του Μαραθώνα και Διαχείριση Διατιθέμενων Υδάτων

αλληλεπίθεση των διαφόρων επιπέδων πληροφορίας. Οι τελικές προτεινόμενες θέσεις λαμβάνουν υπόψη τα γεωμορφολογικά και υδρογραφικά στοιχεία, χωρίς να υπεισέρχονται στην εξέταση των ρηγματογενών ζωνών, καθώς αυτή απαιτεί τη διενέργεια λεπτομερούς γεωφυσικής μελέτης. Πιο συγκεκριμένα, η διαδικασία που ακολουθείται είναι η εξής:



Εικόνα 19: Διάγραμμα ροής μελέτης τεχνητού εμπλουτισμού υδροφόρου ορίζοντα στην περιοχή του Μαραθώνα.

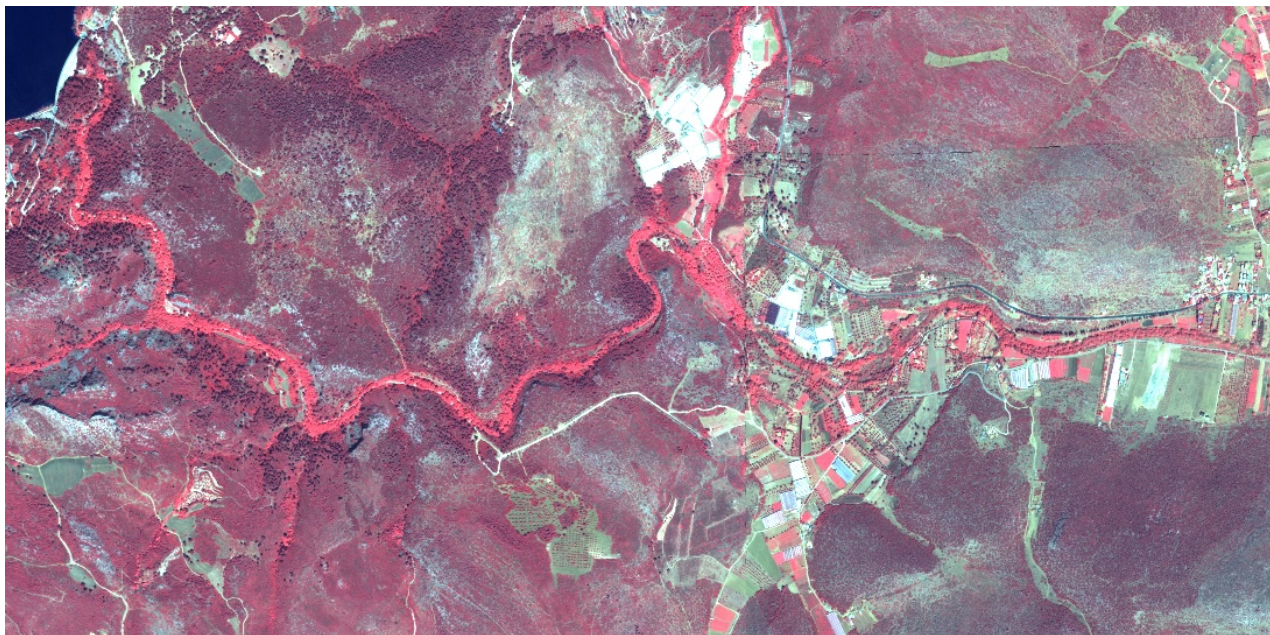
1) Εντοπισμός της κοίτης - Καθορισμός περιοχής μελέτης

Το πρώτο στάδιο της μελέτης αφορούσε τον ακριβή εντοπισμό του υδατορεύματος του Οινόη ποταμού. 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). Η επιλογή των συγκεκριμένων εικόνων έγινε καθώς, η πολύ υψηλή διακριτική τους ικανότητα διευκολύνει τη χρησιμοποίησή τους σε πληθώρα εφαρμογών που απαιτούν λεπτομερή αναγνώριση, αντικαθιστώντας τις αεροφωτογραφίες.

Οι δορυφορικές εικόνες διαθέτουν 4 κανάλια (φασματικές ζώνες). Τα κανάλια 1,2 και 3 είναι ευαίσθητα στο ορατό μέρος του φάσματος (B-μπλε, G-πράσινο, R-κόκκινο) και το τέταρτο κανάλι στο εγγύς υπέρυθρο(NiR). Ο συνδυασμός των καναλιών και των χρωμάτων που προβάλλονται στον υπολογιστή δίνει την δυνατότητα παραγωγής έγχρωμων σύνθετων εικόνων. Το έγχρωμο σύνθετο που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του υδατορεύματος είναι το 432-RGB. Σε αυτό το συνδυασμό, το κανάλι που είναι ευαίσθητο στο εγγύς υπέρυθρο αντιστοιχίζεται στο κόκκινο χρώμα, το κόκκινο κανάλι στο πράσινο χρώμα και το πράσινο κανάλι στο μπλε χρώμα. Η εφαρμογή του παραπάνω έγχρωμου σύνθετου έχει ως στόχο την απεικόνιση με κόκκινο χρώμα των αντικειμένων που ανακλούν το εγγύς υπέρυθρο, ώστε αυτά να είναι εύκολα αναγνωρίσιμα στην εικόνα. Η υγιής βλάστηση απορροφά το κόκκινο και το μπλε για τη λειτουργία της φωτοσύνθεσης και την παραγωγή χλωροφύλλης και εμφανίζει μεγάλη ανάκλαση στην περιοχή του εγγύς υπέρυθρου, το οποίο δεν χρησιμοποιεί. Άρα τα υγιή φυτά ή οι περιοχές με έντονη βλάστηση θα απεικονίζονται έντονα κόκκινες σε αυτό το συνδυασμό καναλιών. Η ιδιότητα αυτή της βλάστησης να ανακλά το εγγύς υπέρυθρο δίνει τη δυνατότητα για τον ακριβή προσδιορισμό και τη χαρτογράφηση της φυσικής ροής των υδάτων της οικολογικής παροχής κατά μήκος της κοίτης του Οινόη.



Εικόνα 20: Ανίχνευση κοίτης Οινόη με χρήση έγχρωμου σύνθετου 432-RGB.

Στην παραπάνω εικόνα διακρίνεται ξεκάθαρα η πορεία του ρέματος από την έντονη κόκκινη γραμμή που σχηματίζεται και ξεκινάει από το φράγμα του Μαραθώνα, διασχίζει περιμετρικά τον λόφο Ραβδί και καταλήγει στον οικισμό του Μαραθώνα. Στα όρια του οικισμού δεν ανιχνεύεται κάποιο έντονο κόκκινο επίμηκες σχήμα που να υποδηλώνει την ύπαρξη αυξημένης φυτοκάλυψης. Εντούτοις, στο έγχρωμο σύνθετο 321-RGB, που αποτελεί την απεικόνιση της φυσικής πραγματικότητας, διακρίνονται με αποχρώσεις του καφέ οι αλουβιακές αποθέσεις καθώς το ρέμα διατρέχει τον Μαραθώνα και δημιουργεί αντίθεση με τις αποχρώσεις των κτιρίων και των δρόμων. Ταυτόχρονα, ως φωτοερμηνευτικό κλειδί λειτουργεί και το επίμηκες σχήμα της κοίτης, σε αντιδιαστολή με τις καλλιέργειες που έχουν παρόμοιες αποχρώσεις αλλά σχήμα κλειστού πολυγώνου. Κατά την έξοδο από τον οικισμό η κοίτη αποκτά και πάλι έντονα κόκκινη απόχρωση μέχρι το σημείο που εκβάλλει στη θάλασσα.



Εικόνα 21: Ανίχνευση κοίτης Οινόη στον οικισμό Μαραθώνας με χρήση έγχρωμου σύνθετου 321-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 στον χάρτη 3.

2) Εδαφολογική μελέτη

Γεωλογία

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 Ανατολική Αττική ανήκει στη γεωτεκτονική ζώνη της Πελαγονικής, μαζί με την περιοχή των Κυκλάδων. Η περιοχή αυτή χαρακτηρίζεται από μάζες κρυσταλλοσχιστωδών πετρωμάτων με παρεμβολές οφιόλιθων, ηλικίας από το Κατ. Τριαδικό μέχρι το Ιουρασικό. Ακολουθούν αποθέσεις της Ανωκρητιδικής επίκλυσης και φλύσχης. (Λειβαδίτη, 2005)

Σύμφωνα με τον γεωλογικό χάρτη, στην περιοχή του φύλλου Κηφισιάς, που περιλαμβάνει την περιοχή μελέτης, οι σχηματισμοί της Πελαγονικής ζώνης είναι εξ' ολοκλήρου αμεταμόρφωτοι. Για την περιοχή της ΒΑ Αττικής, διακρίνονται οι εξής ενότητες:

- Τεκτονική Ενότητα Σφενδάλης
- Τεκτονική Ενότητα Μαυρηγόρας – Κατσιμιδίου
- Ενότητα Αφιδνών - Τουρκοβουνίου
- Ενότητα Νεοελληνικού Τεκτονικού Καλύμματος
- Αυτόχθονη Ενότητα Αλμυροπόταμου Αττικής

Η ενότητα Αλμυροπόταμου Αττικής περιλαμβάνει τους σχηματισμούς που απαντώνται στη Νότια Εύβοια και στην Αττική την περιοχή κατάντη του φράγματος του Μαραθώνα. Αποτελεί μια μεγάλη ενότητα σχηματισμών που εμφανίζεται στο χώρο των εσωτερικών ζωνών με τη μορφή τεκτονικών παραθύρων, η οποία ανήκει στην τεράστια πλατφόρμα της ζώνης Γαβρόβου Τρίπολης. Η ενότητα αποτελείται από μάρμαρα μεσοζωϊκού η Μεσοηωκαινικού σχηματισμού μεγάλου πάχους. Τα πετρώματα αυτά συνοδεύονται από σχηματισμούς μεταφλύσχη και από μεταμορφωμένους κάτω-μεσοτριάδικους και πιθανώς από νεοπαλαιοζωϊκούς σχηματισμούς, που αποτελούν το υπόβαθρό τους. Οι σχηματισμοί που εντοπίζονται διακρίνονται από πάνω προς τα κάτω σε:

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

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 Οινόη ποταμού και στα υλικά που μεταφέρει. Η σχεδόν επίπεδη επιφάνεια της πεδιάδας συντελεί στο να μειώνεται η ταχύτητα ροής του ποταμού με ταυτόχρονη απόθεση των υλικών που μεταφέρει. Οι προσχωματικές αποθέσεις αποτελούνται από χαλαρά αργιλοαμμώδη υλικά με διάσπαρτες κροκαλολατύπες και κατά θέσεις από χαλαρά κροκαλολατυποπαγή. Επιπλέον εντοπίζονται πλευρικά κορήματα και κώνοι

ΧΑΡΤΗΣ 3: ΦΥΣΙΚΗ ΡΟΗ ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΗΣ ΠΑΡΟΧΗΣ



Ποταμός Οινόης

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

— Κοίτη Ποτάμιας Ροής

1:40.000

492000

496000

500000

4224000

4224000

4220000

4220000

492000

496000

500000

κορημάτων από ασύνδετα υλικά, κατά κανόνα αδρομερή και γωνιώδη (χάρτης ΙΓΜΕ, φύλλο Κηφισιάς)

Ο γεωλογικός χάρτης του ΙΓΜΕ γεωαναφέρθηκε πάνω στην δορυφορική εικόνα Ικονος του Μαραθώνα. Η περιοχή ενδιαφέροντος περιορίζεται κατά μήκος της κοίτης του ποταμού.

Υδρογεωλογία

Τα πετρώματα που επιτρέπουν την κατείσδυση και κυκλοφορία του νερού διαμέσου του όγκου τους ονομάζονται υδροπερατά. Η υδροπερατότητα των πετρωμάτων οφείλεται είτε στο πρωτογενές είτε στο δευτερογενές πορώδες. Το πρωτογενές πορώδες αναφέρεται στα διάκενα που υπάρχουν στα πετρώματα και σχετίζονται με τη φάση σχηματισμού τους. Η κυκλοφορία του νερού γίνεται μέσα από αυτούς τους πόρους. Το δευτερογενές πορώδες προσδιορίζεται ως ένα δίκτυο ρηγματώσεων και διακένων που συναντάται σε διάφορα πετρώματα, τα οποία επιτρέπουν τη διέλευση του νερού, παρά το μικρό πρωτογενές πορώδες του υλικού. Πετρώματα με μεγάλη πρωτογενή πορότητα ονομάζονται μικροπερατά και σε αυτά εντάσσονται η άμμος, τα κροκαλοπαγή οι ψαμμίτες κ.α.. Τα πετρώματα που η υδροπερατότητά τους οφείλεται στο δευτερογενές πορώδες ονομάζονται μακροπερατά. Στα τελευταία περιλαμβάνονται οι ασβεστόλιθοι, οι δολομίτες και τα μάρμαρα.

Αντίθετα, υδατοστεγανοί ονομάζονται οι σχηματισμοί που δεν επιτρέπουν τη διέλευση του νερού από το εσωτερικό τους. Και σε αυτή την κατηγορία πετρωμάτων διακρίνονται 2 κατηγορίες. Τα πετρώματα που δεν έχουν πόρους, όπως είναι τα μεταμορφωμένα πλην των μαρμάρων και οι μη αποσαθρωμένοι πλουτωνίτες και αυτά που διαθέτουν πόρους αλλά η κίνηση του νερού δεν επιτυγχάνεται λόγω μεγέθους ή διάταξης των πόρων στο χώρο. Στους τελευταίους ανήκουν η άργιλος, οι σχιστολιθικοί σχηματισμοί και η μάργα.

Εκτίμηση Οικολογικής Παροχής από το Φράγμα του Μαραθώνα και Διαχείριση Διατιθέμενων Υδάτων

Προσχώσεις	Πορώδες (%)	Ιζηματογενή πετρώματα	Πορώδες (%)	Κρυσταλλικά πετρώματα	Πορώδες (%)
Μικρά χαλίκια	24-36	Ψαμμίτες	5-30	Ρωγματοωμένα	0-10
Μεγάλα χαλίκια	25-38	Ιλυόλιθοι	21-41	Μη ρωγματοωμένα	0-5
Χονδρόκοκκη άμμος	31-48	Ασβεστόλιθοι	0-40	Βασάλτες	3-35
Λεπτόκοκκη άμμος	26-53	Καρστοποιημένοι ασβεστόλιθοι	0-40	Αποσαθρωμένοι γρανίτες	34-57
Πύς	34-61	Σχιστόλιθοι	0-10		
Άργιλος	34-60				

Εικόνα 22: Τιμές ολικού πορώδους πετρωμάτων

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, στην αυτόχθονη ενότητα Αλμυροπόταμου-Αττικής, όπου εντάσσεται η περιοχή του Μαραθώνα, ανιχνεύονται τόσο υδροπερατά όσο και υδατοστεγή πετρώματα. Κατά μήκος της κοίτης του Οινόη το νερό συναντά αρχικά σχιστολιθικά πετρώματα, τα οποία δεν επιτρέπουν την κατακόρυφη ροή του νερού. Ακολούθως διακρίνεται μια αρκετά μεγάλη έκταση που καλύπτεται από τα μάρμαρα της ΒΑ Αττικής. Τα πετρώματα αυτά είναι έντονα καρστικοποιημένα και ευνοούν την κίνηση του νερού στο εσωτερικό τους. Παράλληλα έχει διαπιστωθεί και η ύπαρξη υδροφορέων στο εσωτερικό τους. Ακολουθεί ο κάμπος του Μαραθώνα, όπου διακρίνονται οι αλλουβιακές αποθέσεις, οι οποίες έχουν πάχος μόλις λίγων μέτρων. Σε μεγαλύτερα βάθη εντοπίζονται και πάλι μάρμαρα (Χάρτης 4).

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 κατείσδυση 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 υφαλμύρωσης.

3) Αποτύπωση υδρογραφικού δικτύου

Η απεικόνιση του υδρογραφικού δικτύου γίνεται με τη βοήθεια των αντίστοιχων ψηφιακών αρχείων που διαθέτει η ΕΥΔΑΠ. Τα δεδομένα εισήχθησαν στο λογισμικό ArcMap. Παράλληλα, δημιουργήθηκε ένα ψηφιακό μοντέλο εδάφους για την περιοχή κατάντη του φράγματος, μέχρι τον κάμπο του Μαραθώνα. Χρησιμοποιούνται οι κύριες και οι δευτερεύουσες ισοϋψείς της περιοχής μελέτης με ισοδιάσταση 20m και 4m αντίστοιχα. Μέσω αυτών παράγεται ένα ψηφιακό μοντέλο εδάφους tin, που αποτελείται από τρισδιάστατα τρίγωνα με κορυφές τα σημεία του μοντέλου. Το υδρογραφικό δίκτυο απεικονίζεται πάνω στο ανάγλυφο της περιοχής μελέτης, όπου φαίνεται ότι το ψηφιακό αρχείο των ρεμάτων συμπίπτει με τις μισογάγγειες που σχηματίζονται από το μοντέλο επιφάνειας (Χάρτης 5).

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 (Χάρτης 6).

4) Εντοπισμός μικρορηγμάτων

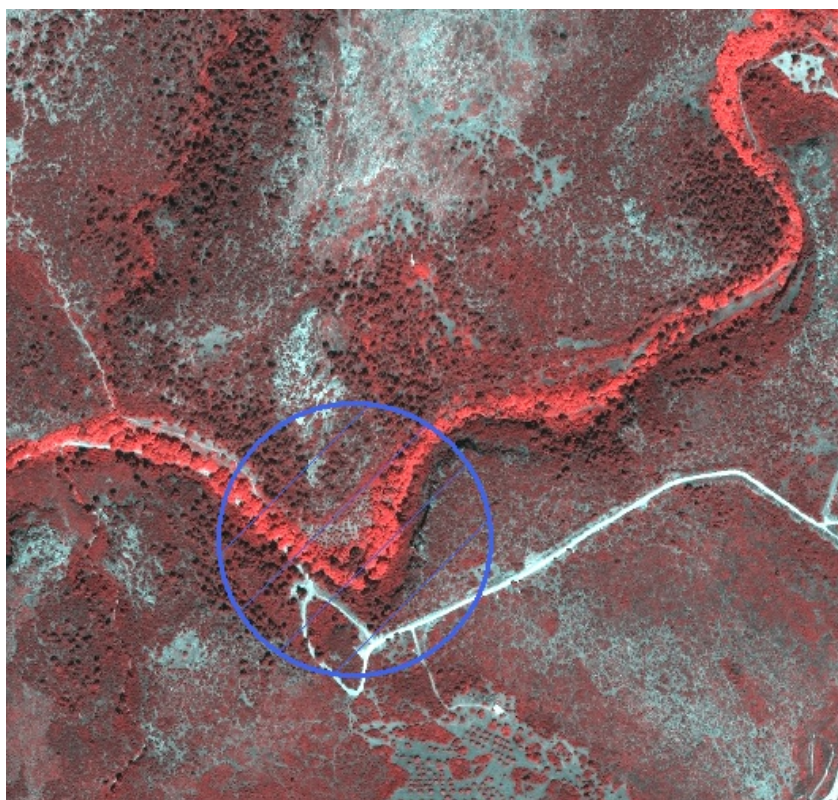
Κατά το στάδιο αυτό, η εξεταζόμενη περιοχή έχει μειωθεί αισθητά βάσει των 3 πρώτων βημάτων της μελέτης. Η ακριβής χωροθέτηση μιας λεκάνης κατάκλυσης μικρής κλίμακας προϋποθέτει τον εντοπισμό ζωνών που καλύπτονται από μικρορήγματα. Τα φράγματα τοποθετούνται κατάντη των ρηγμάτων, ώστε το νερό να συγκεντρώνεται στην περιοχή του ρήγματος και να επιταχύνεται η διαδικασία της κατακόρυφης προς τα κάτω ροής του. 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 μικρορηγμάτων.

Αρχικά, οι δορυφορικές εικόνες εισήχθησαν στο περιβάλλον του λογισμικού ERDAS και εφαρμόστηκαν φίλτρα ενίσχυσης και ανίχνευσης ακμών. Παρά το γεγονός ότι οι εικόνες διαθέτουν ιδιαίτερα υψηλή χωρική διακριτική, αυτή δεν είναι αρκετή για την

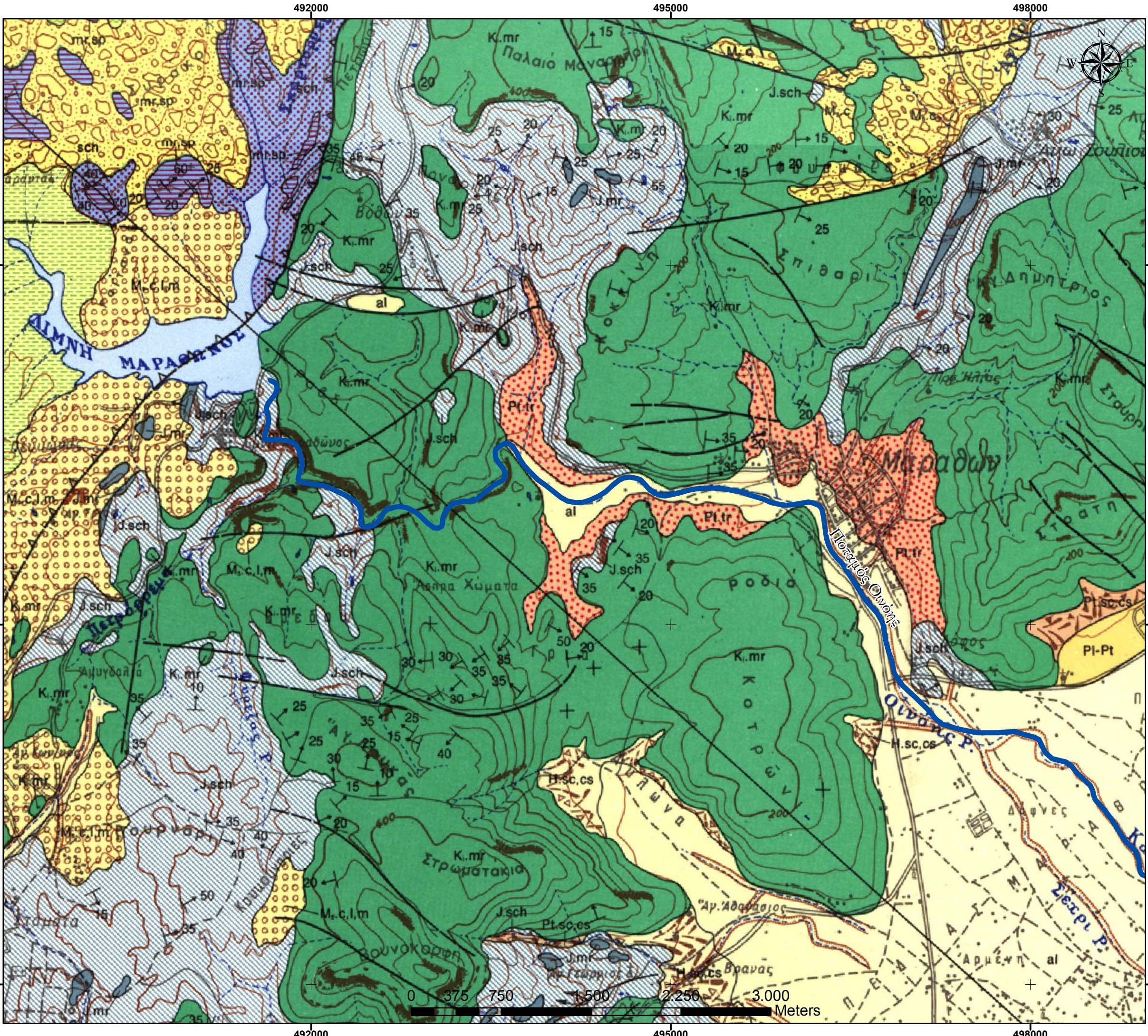
Εκτίμηση Οικολογικής Παροχής από το Φράγμα του Μαραθώνα και Διαχείριση Διατιθέμενων Υδάτων

παρατήρηση μικρών πτυχώσεων στην επιφάνεια του εδάφους. Επιπλέον, η έλλειψη περισσότερων διαθέσιμων καναλιών δεν επέτρεψε την αναγνώριση ρηγμάτων με τις τεχνικές ενίσχυσης της εικόνας. Ακολούθως, 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 και την αύξηση της βλάστησης.

Ένα τέτοιο σημείο εντοπίστηκε στην πρώτη καμπή που εμφανίζεται στην τελική περιοχή μελέτης (Χάρτης 6). 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 επιλεχθείσα περιοχή κρίνεται σκόπιμο να μελετηθούν στο πεδίο, ώστε να διαπιστωθεί η δυνατότητα βέλτιστης αξιοποίησης και διαχείρισης της οικολογικής παροχής από τον ταμιευτήρα του Μαραθώνα.



Εικόνα 23: Εντοπισμός πιθανού σημείου ύπαρξης μικρορηγμάτων στην προτεινόμενη περιοχή χωροθέτησης μικροφραγμάτων.



ΧΑΡΤΗΣ 4: ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΜΑΡΑΘΩΝΑ

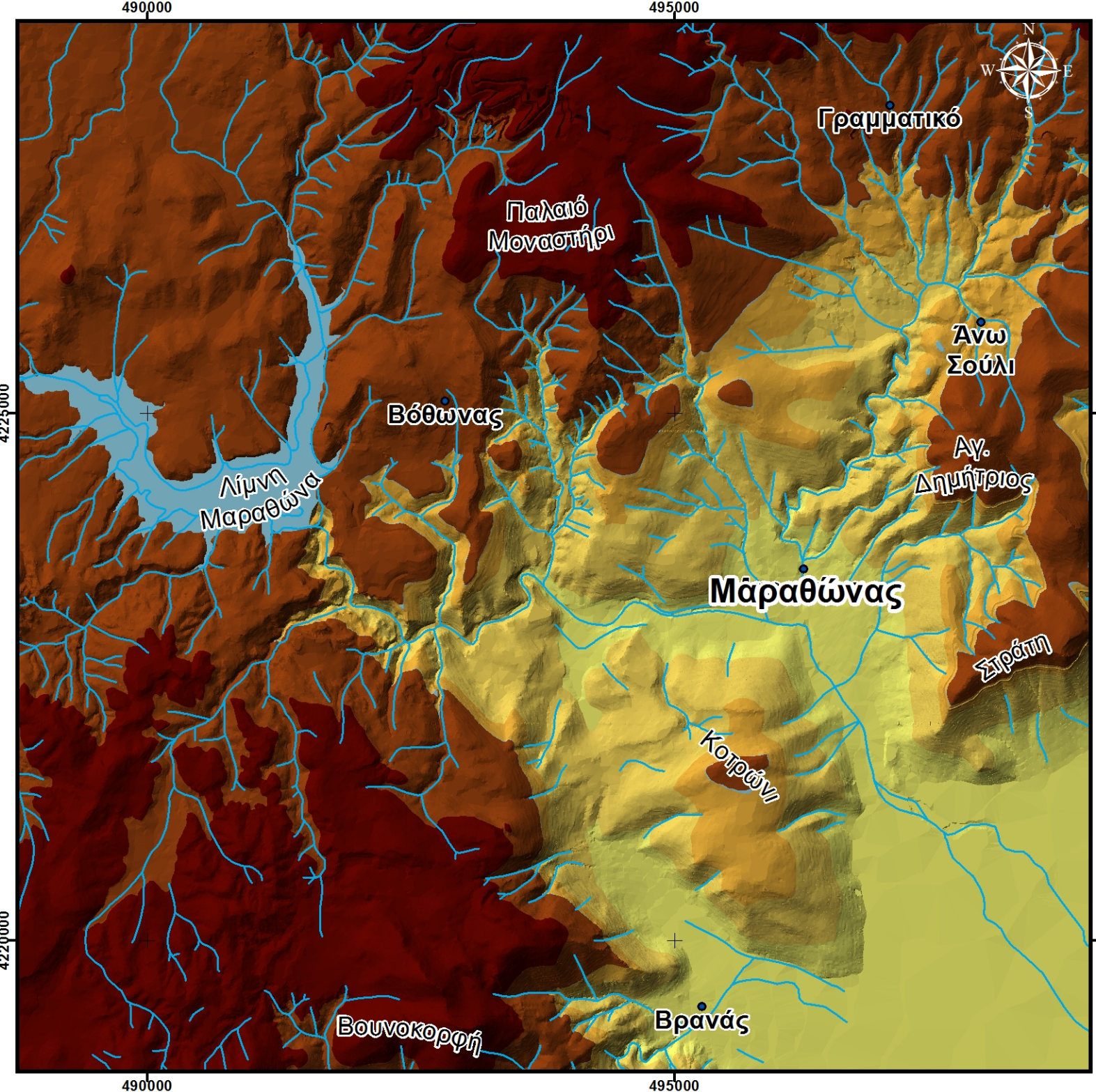
ΚΛΙΜΑΚΑ 1:30.000

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

- Κοίτη Ποταμού Οινόης
- Ποταμοθαλάσσιοι Σχηματισμοί
- Ενστρώσεις Μαρμάρων
- Κροκαλολατυποπαγή Καπανδριτίου
- Λιμνοχερσαίοι σχηματισμοί Κηφισού
- Αδρομερείς Ποταμολιμναίοι Σχηματισμοί
- Σχιστολιθικοί Σχηματισμοί
- Σχηματισμοί Μεταφλύση
- Αλλουβιακές Αποθέσεις
- Μάρμαρα ΒΑ Αττικής

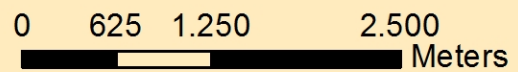
492000 495000 498000

0 375 750 1.500 2.250 3.000 Meters



ΧΑΡΤΗΣ 5: ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΜΑΡΑΘΩΝΑ

ΚΛΙΜΑΚΑ 1:50000



ΥΠΟΜΝΗΜΑ

— Υδρογραφικό Δίκτυο

Υψόμετρο (m)



- 350 - 762
- 220 - 350
- 219 - 220
- 180 - 219
- 80 - 180
- 4 - 80

ΧΑΡΤΗΣ 6: ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ ΜΙΚΡΟΦΡΑΓΜΑΤΩΝ



Ποταμός Οινόης

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

-  Κοίτη Ποτάμιας Ροής
-  Περιοχή Χωροθέτησης Μικροφραγμάτων

1:20.000

492000

494000

496000

4224000

4224000

4222000

4222000

492000

494000

496000

5) Χωροθέτηση μικροφραγμάτων

Η τελική προτεινόμενη θέση για την κατασκευή των μικροφραγμάτων, όπως προέκυψε από τη μελέτη παρουσιάζεται στο χάρτη 6 και την εικόνα 24. Προτείνεται η κατασκευή περισσότερων του ενός μικροφραγμάτων, ώστε να είναι περισσότερο αποδοτική η διαδικασία κατεΐσδυσης των υδάτων.

Συνήθως σε τέτοια έργα προτείνεται η χρήση συρματοκιβωτίων (Εικ. 24). Τα συρματοκιβώτια είναι ορθογώνια ή κυλινδρικά συρμάτινα καλάθια κατασκευασμένα από πλέγμα και πληρωμένα με λίθους κατάλληλου μεγέθους για την εξάλειψη των κενών ανάμεσά τους και τη συγκράτηση του νερού. Η επιλογή τους γίνεται λόγω των πολλών πλεονεκτημάτων τους που συνοψίζονται στο χαμηλό κόστος, την μεγάλη αντοχή και την ενσωμάτωσή τους στο φυσικό περιβάλλον.



Εικόνα 24: Χρήση συρματοκιβωτίων για τη διευθέτηση της ροής ποταμού.

Πηγή: Ιστότοπος ΠΑΝΜΕΤΑΛ Α.Ε.Β.Ε.

Ειδικά για το τελευταίο προτείνεται η χρήση φυσικών λίθων της περιοχής εφαρμογής και η πλήρωση των κενών ανάμεσα στους λίθους με κλαδιά και βλάστηση που συναντώνται στη γύρω περιοχή. Το γεγονός αυτό θα βοηθήσει την κατασκευή να

διατηρήσει την αισθητική του τοπίου, ενώ θα αποφευχθούν οι κίνδυνοι από την εισαγωγή ξένων προς το περιβάλλον εφαρμογής στοιχείων.

5.6 Τροφοδότηση Εθνικού Πάρκου Σχινιά-Μαραθώνα

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 συνομιλίες 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 2 πηγές. Επιπλέον θα ενισχυθεί η διαδικασία υπερχειλίσεως του ώστε να τροφοδοτείται συχνότερα ο υγρότοπος με τα απαραίτητα για την επιβίωσή του ύδατα.

Εντούτοις, παρά τα προφανή περιβαλλοντικά οφέλη της παραπάνω πρότασης είναι σημαντικό να τονιστούν οι εγγενείς πρακτικές δυσκολίες που θα αντιμετωπίσει ένα τέτοιο εγχείρημα. Η παραχώρηση εκτάσεων στην περιοχή του Πάρκου τα προηγούμενα χρόνια με σκοπό την αγροτική και οικιστική ανάπτυξη έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση πλημμυρικών φαινομένων στις ιδιοκτησίες των κατοίκων. Κατά συνέπεια αναμένεται να υπάρξουν αντιδράσεις σε κάθε προσπάθεια υδρολογικού εμπλουτισμού του Πάρκου, οι οποίες θα πρέπει να ληφθούν σοβαρά υπόψιν.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΣΥΝΟΨΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η διπλωματική εργασία με τίτλο «Εκτίμηση Οικολογικής Παροχής από το Φράγμα του Μαραθώνα και Διαχείριση Διατιθέμενων Υδάτων» εκπονήθηκε στα πλαίσια της διερεύνησης της δυνατότητας απόδοσης οικολογικής παροχής από το φράγμα του Μαραθώνα και της μετέπειτα αξιοποίησης του υδατικού αυτού πόρου. Ο προσδιορισμός της απαιτούμενης οικολογικής παροχής πραγματοποιήθηκε με χρήση υδρολογικών μεθόδων, εφαρμοσμένων στο ημερήσιο και μηνιαίο υδατικό ισοζύγιο του ταμιευτήρα του Μαραθώνα. Η διαχείριση της παροχής επικεντρώθηκε στη μελέτη και ανάλυση προτάσεων για την ενίσχυση του υδατικού δυναμικού της περιοχής κατάντη του φράγματος.

Η ανάγκη απόδοσης οικολογικής παροχής και η διαδικασία εκτίμησής της αποτελούν ζητήματα, τα οποία αποκτούν ολοένα αυξανόμενο ενδιαφέρον, καθώς η διεθνής επιστημονική κοινότητα επικεντρώνεται στη βιώσιμη διαχείριση των υδατικών πόρων. Στην Ελλάδα τα τελευταία χρόνια λαμβάνεται υπόψη η απαίτηση για διάθεση νερού προς το περιβάλλον στα σχεδιαζόμενα νέα φράγματα και εφαρμόζεται κατά τη λειτουργία τους. Εντούτοις, η αναζήτηση πηγών για τη μελέτη εκτίμησης της οικολογικής παροχής ανέδειξε το πρόβλημα της σχεδόν πλήρους απουσίας αντίστοιχων εργασιών στην Ελληνική βιβλιογραφία. Κατά συνέπεια, η αναζήτηση υλικού για το αντίστοιχο στάδιο της παρούσας μελέτης στράφηκε στη διεθνή βιβλιογραφία, όπου εντοπίστηκε πληθώρα αναφορών στις τεχνικές υπολογισμού της οικολογικής παροχής και την εξέλιξή τους στη διάρκεια των τεσσάρων τελευταίων δεκαετιών.

Οι προσεγγίσεις που ακολουθούνται για τον προσδιορισμό της απαιτούμενης ροής σε έναν ποταμό διαφοροποιούνται θεμελιωδώς από τα δεδομένα που χρησιμοποιούν και μελετούν. Αφενός υπάρχει η λογική του μηχανικού, ο οποίος στηρίζεται σε υδραυλικά και υδρολογικά χαρακτηριστικά του ποταμού και αφετέρου των επιστημόνων της βιολογίας και του περιβάλλοντος, που καταγράφουν την επίδραση του ποταμού στα ενδιαιτήματα και τις λειτουργίες τους. Στην παρούσα εργασία ακολουθήθηκε η πρώτη προσέγγιση, λόγω των διαθέσιμων δεδομένων, των χαρακτηριστικών της μελέτης περίπτωσης και της σαφώς μεγαλύτερης συνάφειας και ενασχόλησης με το αντικείμενο της υδρολογίας.

Η χρήση υδρολογικών μεθόδων για την εκτίμηση της οικολογικής παροχής απέδειξε ότι η εξέταση των ιστορικών ημερήσιων παροχών ενός ποτάμιου συστήματος είναι αρκετή, ώστε να αναδειχθεί πλήρως το υδρολογικό του προφίλ. Μελετήθηκαν οι παροχές του ποταμού σε βάθος εικοσαετίας, η διακύμανση των παροχών στη διάρκεια του υδρολογικού έτους και οι ελάχιστες εισροές που ανέχεται το σύστημα. Μέσω της ανάλυσης των ιστορικών παροχών αποτυπώνεται η εικόνα του ποταμού σε οριακές συνθήκες και εκτιμώνται τα επιτρεπτά μεγέθη της παροχής για την ενίσχυση της υγείας των κατάντη οικοσυστημάτων και ταυτόχρονα τη διατήρηση της προσδοκώμενης λειτουργίας του ταμιευτήρα.

Παράλληλα, η εφαρμογή της μελέτης αυτής σε ένα υπάρχον τεχνικό έργο ανάσχεσης της ροής αποτελεί μια καινοτόμα ιδέα που έρχεται να δώσει λύσεις στις μεγάλες πιέσεις που έχουν δεχτεί τα οικοσυστήματα από την κατασκευή μεγάλων φραγμάτων. Αποδεικνύεται ότι η παροχή νερού για οικολογική χρήση δεν μελετάται αποκλειστικά βάσει των υδρολογικών και βιολογικών χαρακτηριστικών του ποταμού, αλλά μπορεί να στηριχτεί στις απορροές των υπάρχοντων ταμιευτήρων για να προσομοιωθεί η λειτουργία του ποταμού. Επιπλέον η παροχή οικολογικού νερού από ένα φράγμα μπορεί να γίνεται αδιάλειπτα, βάσει των υπολογισθέντων μεγεθών, ακόμα και σε εποχές όπου η ροή του ποταμού θα ήταν πολύ μικρότερη. Συνεπώς, η εργασία αυτή μπορεί και πρέπει να αποτελέσει το έναυσμα για τη διεύρυνση των εφαρμογών διάθεσης οικολογικής παροχής και σε άλλα φράγματα του Ελληνικού χώρου, που έχουν ανακόψει πλήρως τη ροή του νερού.

Ακολούθως, η μελέτη αξιοποίησης της διαθέσιμης υδάτινης μάζας προσανατολίστηκε στη χρήση απλών και οικονομικών μηχανικών διατάξεων, που δεν επηρεάζουν την αισθητική του περιβάλλοντος χώρου. Τα μικροφράγματα από φυσικά υλικά προκρίθηκαν στην τελική πρόταση, καθώς είναι έργα φιλικά προς το περιβάλλον και κατασκευάζονται με χαμηλό κόστος και σε σύντομο χρονικό διάστημα. Εδώ πρέπει να προστεθεί η ανάγκη για διενέργεια ειδικής γεωφυσικής μελέτης για να αποδειχθεί η καταλληλότητα των εδαφών για τη χωροθέτηση μικροφραγμάτων και να επαληθευτεί η ύπαρξη μικρορηγμάτων στην επιλεγμένη έκταση. Ακολούθως, προτείνεται η ολοκλήρωση της παρούσας έρευνας με την χαρτογράφηση του υδροφόρου ορίζοντα και τον προσδιορισμό του ρυθμού αύξησης των αποθεμάτων του βάσει της διατιθέμενης ποσότητας υδάτων. Με αυτόν τον τρόπο θα διαπιστωθεί η

επάρκεια της οικολογικής παροχής για τον τεχνητό εμπλουτισμό και η ενδεχόμενη ανάγκη λήψης πρόσθετων μέτρων. (π.χ. περιορισμός αντλήσεων)

Συνολικά, η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελεί μία πρόταση για τη διαχείριση ενός υδρολογικού φορτίου, το οποίο δεσμεύεται πλήρως από το φράγμα του Μαραθώνα και πλέον χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο για αποθήκευση και μελλοντική χρήση.. Αποδεικνύεται από τη μελέτη ότι με χρήση απλών και εφαρμοσμένων επιστημονικών μεθοδολογικών εργαλείων είναι δυνατή η πλήρης αξιοποίηση κάθε σταγόνας νερού, προς όφελος του φυσικού και του ανθρωπογενούς περιβάλλοντος.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Διεθνής

- Alcacer-Santos C. (2004). *Environment Flow Assessment for the Ebro Delta in Spain – Improving Links Between Wetland and Catchment Management*. Assessment and Provision of Environmental Flows in Mediterranean Watercourses, Mediterranean Case Study, Διαθέσιμο στον Ιστότοπο: <http://cmsdata.iucn.org/downloads/spain.pdf> [πρόσβαση 28/08/2014]
- Bouwer H. (2002). Artificial Recharge of Groundwater: Hydrogeology and Engineering. *Hydrogeology Journal*, 10, 121-142
- Collier M., Webb R. H., Schmidt J. C., (1996). *Dams and Rivers. A Primer on the Downstream Effects of Dams*. US Geological Survey, Tucson, Arizona
- Dunbar M.J., Gustard A., Acreman M.C. and Elliott C.R.N. (1998). *Overseas approaches to setting river flow objectives*. Environment Agency R&D Technical Report W6-161.
- Dyson M., Bergkamp G., Scanlon J. (2003). *Flow. The Essentials of Environmental Flows*. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK
- Gopal B. (2013). *Environmental Flows An Introduction for Water Resources Manager*. National Institute of Ecology, New Delhi
- Jowett I. G. (1997). *Instream Flow Methods. A Comparison of Approaches*. Regulated Rivers Research & Management, 13, 115–127
- Le Quesne T, Kendy E, Weston D. (2010). *The implementation challenge. Taking stock of Government Policies to Protect and Restore Environmental Flows*. The Nature Conservancy and WWF Report, WWF.
- Moore, M., (2004), *Perceptions and interpretations of "environmental flows" and implications for future water resource management: A survey study*. Department of Water and Environmental Studies, Linköping University, Sweden
- Poff N. L., Allan J. D., Bain M. B., Karr J. R., Prestegard K. L., Richter B. D., Sparks R. E., and Stromberg J. C. (1997). *The Natural Flow Regime*. American Institute of Biological Sciences, Vol 47, No 11, pp 769-784
- 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

The Brisbane Declaration. (2007). *Environmental Flows are Essential for Freshwater Ecosystem Health and Human Well-Being*. Brisbane, Australia Διαθέσιμο στον Ιστότοπο http://www.eflownet.org/download_documents/brisbane-declaration-english.pdf [πρόσβαση 11/04/2014]

Ελληνική

Αλεξούλη-Λειβαδίτη Α. (2005). *Γενική Γεωλογία (Γεωμορφολογία)*. Εκδόσεις ΕΜΠ

Αφτιάς Ε., Τσολακίδης Κ., Μαμάσης Ν. (1990). *Υδατικές Καταναλώσεις Μείζονος Περιοχής Αθηνών*. Διερεύνηση Προσφερόμενων Δυνατοτήτων για την Ενίσχυση της Ύδρευσης Μείζονος Περιοχής Αθηνών, Τεύχος 12, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τομέας Υδατικών Πόρων Υδραυλικών και Θαλάσσιων έργων

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

ECOS Μελετητική Α.Ε. (2009). *Ειδική Τεχνική Μελέτη για την Οικολογική Παροχή από το Φράγμα Στράτου*. ΔΕΗ, Διεύθυνση Υδροηλεκτρικής Παραγωγής, Αθήνα

Κοσμάς Κ. (2006). *Ερημοποίησης Γης – Προβλήματα και Μέτρα Αντιμετώπισης*. Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τομέας Εδαφολογίας και Γεωργικής Χημείας

ΚΥΑ 49828. (2008). *Έγκριση Ειδικού Πλαισίου Χωροταξικού Σχεδιασμού και Αειφόρου Ανάπτυξης για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και της Στρατηγικής Μελέτης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων αυτού*. ΦΕΚ 2464B/2008, Εθνικό Τυπογραφείο, Αθήνα

Κωνσταντάκος Μ. (2002). *Φράγμα Μόρνου*. Ένθετο Επτά Ημέρες, Εφημερίδα Καθημερινή, Διαθέσιμο στον ιστότοπο: <http://wwk.kathimerini.gr/kath/7days/2002/03/24032002.pdf>

Μαμάσης Ν. (2012). *Υδατικό Περιβάλλον και ανάπτυξη*. Εκπαιδευτικές Σημειώσεις Μαθήματος Υδατικό Περιβάλλον και Ανάπτυξη, ΔΠΜΣ Περιβάλλον και Ανάπτυξη, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Νεστορίδου Ε. (2002). *Το υδρευτικό πρόβλημα και οι πρώτες μελέτες*. Ένθετο Επτά Ημέρες, Εφημερίδα Καθημερινή, Διαθέσιμο στον ιστότοπο: <http://wwk.kathimerini.gr/kath/7days/2002/03/24032002.pdf>

Εκτίμηση Οικολογικής Παροχής από το Φράγμα του Μαραθώνα και Διαχείριση Διατιθέμενων Υδάτων

Νεστορίδου Ε. (2002). *Φράγμα Μαραθώνα*. Ένθετο Επτά Ημέρες, Εφημερίδα Καθημερινή, Διαθέσιμο στον ιστότοπο: <http://wwk.kathimerini.gr/kath/7days/2002/03/24032002.pdf>

Νικολόπουλος Δ., Νασίκας Α., Ευστρατιάδης Α., Καραβοκύρος Γ., Μαμάσης Μ. (2009). *Σχέδιο Διαχείρισης του Υδροδοτικού Συστήματος της Αθήνα. Υδρολογικό Έτος 2008-2009*, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος

Ξανθάκης Μ. και 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

Πλιάκας Φ.Κ. (2012). Έρευνες και Προτάσεις Διαχείρισης Εμπλουτισμού των Υπόγειων Νερών σε Πεδινές Περιοχές της Ανατολικής Μακεδονίας με Έμφαση στα Παράκτια Πεδία. Ημερίδα Αειφορική Διαχείριση Υδατικών Πόρων στην Ανατολική Μακεδονία. Διαθέσιμο στον Ιστότοπο: <http://www.geotee-anmak.gr/> [πρόσβαση 05/07/2014]

Προεδρικό Διάταγμα 22/6/2000. *Χαρακτηρισμός Χερσαίων και Θαλάσσιων Περιοχών του Σχινιά-Μαραθώνα Αττικής ως εθνικού Πάρκου*. ΦΕΚ 395Δ/2000, Εθνικό Τυπογραφείο, Αθήνα

Σταυρόπουλος Ξ. και Τζίμα Μ. (2001). *Διερεύνηση του Μηχανισμού Υφαλμύρινσης των Πηγών Κάτω Σουλίου Μαραθώνα Ν. Αττικής*. Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας, Τόμος XXXIV/5, 1967-1972

Τάσιος Θ. Π. (2002). *Από το Πεισιστράτιο στον Εύηνο*. Ένθετο Επτά Ημέρες, Εφημερίδα Καθημερινή, Διαθέσιμο στον ιστότοπο: <http://wwk.kathimerini.gr/kath/7days/2002/03/24032002.pdf>

Τσακίρης Γ. (1995). *Υδατικοί Πόροι: Ι.Τεχνική Υδρολογία*. Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα

Ιστότοποι

Global Environmental Flows Network. <http://www.eflownet.org/> [πρόσβαση 18/05/2014]

Journal Regional Environmental Change, <http://www.springer.com/environment/global+change+-+climate+change/journal/10113>

Εκτίμηση Οικολογικής Παροχής από το Φράγμα του Μαραθώνα και Διαχείριση Διατιθέμενων Υδάτων

Εθνικό Πάρκο Σχινιά Μαραθώνα <https://www.itia.ntua.gr/greenmarathon/> [πρόσβαση 13/05/2014]

Ελληνική Εταιρεία Προστασίας της Φύσης – Προστατευόμενες Περιοχές <http://naturacd.akrino.net/catalog.html>

Ελληνική Στατιστική Αρχή <http://www.statistics.gr/>

Εταιρεία Ύδρευσης και Αποχέτευσης Πρωτεύουσας. <http://www.eydap.gr/> [πρόσβαση 25/07/2014]

Τμήμα Γεωλογίας ΑΠΘ <http://www.geo.auth.gr/> [πρόσβαση 03/06/2014]

Φωτογραφικό Αρχείο ΕΥΔΑΠ. Διαθέσιμο στον ιστότοπο: <https://www.itia.ntua.gr/courses/ayeydap.html> [πρόσβαση 30/08/2014]