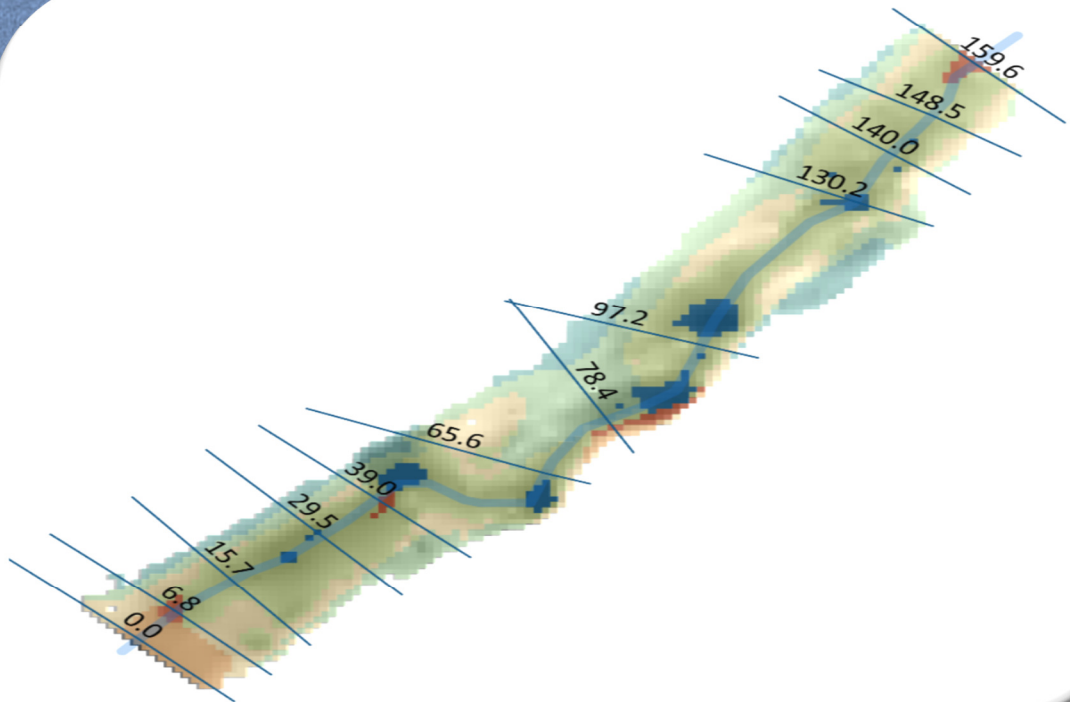




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥΠΟΛΗ ΖΩΓΡΑΦΟΥ, ΑΘΗΝΑ 157 80, ΤΗΛ.: 210 - 7722635, FAX: 210 - 7722748

Αξιολόγηση μεθόδων εκτίμησης των περιβαλλοντικών ροών με συνδυασμένη χρήση υδρολογικών, υδραυλικών και βιοτικών δεδομένων

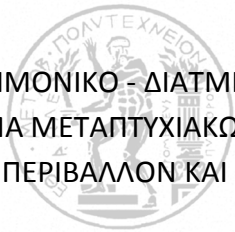


Δάφνη Χριστοφίδου, Γεωπόνος

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ:
ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Επιβλέπων: Ν. Μαμάσης
ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2016

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ



ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ - ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
(Δ.Π.Μ.Σ.) «ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ»

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

η οποία υποβάλλεται για την εκπλήρωση των υποχρεώσεων του ΔΠΜΣ
«Περιβάλλον και Ανάπτυξη»

**“Αξιολόγηση μεθόδων εκτίμησης των περιβαλλοντικών ροών με συνδυασμένη χρήση
υδρολογικών, υδραυλικών και βιοτικών δεδομένων”**

Δάφνη Χριστοφίδου, Γεωπόνος

Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής, Τομέας
Διαχείρισης Υδατικών Πόρων, Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών (2013)

Η παρούσα διπλωματική εξετάστηκε επιτυχώς.

Η τριμελής επιτροπή

.....
Νίκος Μαμάσης, (Υπεύθυνος)
Επ. Καθηγητής της Σχολής
Πολιτικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π.

.....
Ανδρέας Ευστρατιάδης,
(Επιβλέπων)
ΕΔΙΠ της Σχολής Πολιτικών
Μηχανικών του Ε.Μ.Π

.....
Βασίλης Τσιχριντζής
Καθηγητής της Σχολής
Αγρονόμων και Τοπογράφων
Μηχανικών του Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2016

Περιεχόμενα

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	5
1.1 Ανθρωπογενείς πιέσεις στα ποτάμια οικοσυστήματα	5
1.2 Η έννοια της οικολογικής παροχής	5
1.3 Η έννοια της Υδρομορφολογικής Μονάδας / Μεσοενδιαιτήματος.....	6
1.4 Αξιολόγηση των πιέσεων λόγω της μειωμένης ροής στο οικοσύστημα	9
1.5 Αντικείμενο της εργασίας	10
2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ	13
2.1 Περιοχή μελέτης	13
2.2 Σύνομη Περιγραφή Μεθόδων Εκτίμησης Οικολογικής Παροχής.....	15
2.2.1 Ανάλυση Εύρους Μεταβλητότητας και Δείκτες Υδρολογικής Τροποποίησης	15
2.2.1.1 Υδρολογικά δεδομένα.....	16
2.2.1.2 Δείκτες Υδρολογικής Τροποποίησης (Richter, et al., 1996)	18
2.2.1.3 Συνιστώσες Περιβαλλοντικής Ροής (Richter, et al., 1998)	20
2.2.2 Προσομοίωση ενδιαιτημάτων / Υδρο-οικολογικό εργαλείο ECOFLOW	23
2.2.2.1 Καμπύλες Καταλληλότητας Ενδιαιτήματος	23
2.2.2.2 Σταθμισμένη Κατάλληλη Έκταση	24
2.2.3 Οικολογική παροχή σύμφωνα με την ελληνική νομοθεσία	24
2.3 Αρχικές προτάσεις παροχών	25
2.3.1 Ανάλυση Εύρους Μεταβλητότητας	25
2.3.2 Αποτελέσματα Υδρο-οικολογικού εργαλείου Ecoflow	26
2.4 Βιοτικές παράμετροι ως κριτήρια αξιολόγησης	27
2.4.1 Οικοπεριοχή και βιοτικοί τύποι της περιοχής μελέτης	27
2.4.2 Επιλογή Ενδείκτη	29
2.4.3 Οικολογία πέστροφας.....	30
2.4.4 Υδρομορφολογικές Μονάδες και Επίδραση των μεταβολών ροής.....	30
2.5 Χαρτογράφηση Υδρομορφολογικών Μονάδων.....	33
2.5.1 Υδραυλική προσομοίωση	33
2.5.2 Καθορισμός παραμέτρων των υδρομορφολογικών μονάδων για την ταξινόμησή τους	37
2.5.3 Διαδικασία Χαρτογράφησης Υδρομορφολογικών Μονάδων	40
2.6 Χωρική Ανάλυση των ΥΜΜ και Αξιολόγηση των Οικολογικών Παροχών	41
2.6.1 Υπολογισμός Ωφέλιμης Επιφάνειας και Πίνακας Σχετικού Κινδύνου	41
2.6.2 Χωρική ανάλυση Υδρομορφολογικών Μονάδων	45
2.6.2.1 Ποσοστό Κάλυψης	45
2.6.2.2 Δείκτες Ετερογένειας και Κυριαρχίας	46
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	47
3.1 Προτεινόμενες παροχές	47
3.1.1 Προτεινόμενες παροχές μέσω της Ανάλυσης Εύρους Μεταβλητότητας	47

3.1.1.1	Ανάλυση Υδρολογικού Καθεστώτος	47
3.1.1.2	Καθορισμός αρχικών οικολογικών παροχών προς αξιολόγηση	50
3.1.2	Προτεινόμενες παροχές μέσω του υδρο-οικολογικού εργαλείου ECOFLOW	51
3.1.3	Προτεινόμενη παροχή σύμφωνα με την ελληνική νομοθεσία.....	53
3.2	Υδραυλική προσομοίωση	53
3.3	Χαρτογράφηση ΥΜΜ σε φυσικό υδρολογικό καθεστώς.....	54
3.3.1	Χαρτογράφηση ΥΜΜ στη βασική ροή.....	54
3.3.2	Χαρτογράφηση ΥΜΜ για τη φυσική ροή ανά μήνα.....	55
3.3.3	Καταλληλότητα για Ωοαπόθεση.....	58
3.4	Χαρτογράφηση των ΥΜΜ στις προτεινόμενες οικολογικές παροχές.....	60
3.4.1	Εφαρμογή των «χαμηλών ροών»	60
3.4.1.1	Χαρτογράφηση ΥΜΜ.....	60
3.4.1.2	Ζώνες Καταλληλότητας Ωοαπόθεσης.....	62
3.4.2	Εφαρμογή προτεινόμενης ελάχιστης οικολογικής παροχής με το υδρο-οικολογικό εργαλείο ECOFLOW	64
3.4.2.1	Χαρτογράφηση ΥΜΜ.....	64
3.4.2.2	Ζώνες Καταλληλότητας Ωοαπόθεσης.....	66
3.4.3	Εφαρμογή οριζόμενης από τη νομοθεσία ελάχιστης οικολογικής παροχής.....	67
4.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	72
4.1	Εκτίμηση της υφιστάμενης κατάστασης / Αξιολόγηση των ΥΜΜ στη φυσική ροή	72
4.2	Αξιολόγηση μεταβολών των ΥΜΜ στην οικολογική παροχή	73
4.2.1	Εφαρμογή «Χαμηλών Ροών».....	73
4.2.1.1	Χωρική Ανάλυση των ΥΜΜ.....	73
4.2.1.2	Ωφέλιμες Επιφάνειες και Πίνακας Σχετικού Κινδύνου	75
4.2.2	Εφαρμογή προτεινόμενης ελάχιστης παροχής με το υδρο-οικολογικό εργαλείο Ecoflow.....	76
4.2.2.1	Χωρική ανάλυση των ΥΜΜ.....	76
4.2.2.2	Ωφέλιμες Επιφάνειες και Πίνακας Σχετικού Κινδύνου	77
4.2.3	Εφαρμογή οριζόμενης από τη νομοθεσία ελάχιστης οικολογικής παροχής.....	78
4.2.3.1	Χωρική ανάλυση των ΥΜΜ.....	78
4.2.3.2	Ωφέλιμες Επιφάνειες και Πίνακας Σχετικού Κινδύνου	78
4.3	Μεταβολές των ΥΜΜ συναρτήσει της παροχής.....	80
4.3.1	Ποσοστό κάλυψης και επιφάνεια των ΥΜΜ	80
4.3.2	Ωφέλιμη Επιφάνεια	84
4.3.3	Δείκτες ετερογένειας και Κυριαρχίας.....	85
4.4	Εκτίμηση της οικολογικής παροχής μέσω των Ωφέλιμων Επιφανειών (ΥΗΑ).....	86
4.5	Περιθώρια βελτίωσης / ανάπτυξης της μεθοδολογίας	89
4.5.1	Εξέταση επιπλέον παραμέτρων.....	89
4.5.2	Εξέταση επιπλέον χωρικών δεικτών.....	90
4.5.3	Μελέτη επιπλέον ειδών.....	90
4.5.4	Δεδομένα τοπογραφίας.....	90

4.5.5	Πληρέστερη εκτίμηση οικολογικών παροχών	91
4.6	Συμπεράσματα.....	92
5.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	94
6.	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	98
	Ευρετήριο Πινάκων	113
	Ευρετήριο Εικόνων	114
	Ευρετήριο Σχημάτων	116

Περίληψη

Αναγνωρίζοντας τα πλεονεκτήματα της ανάλυσης στη μεσο-κλίμακα και, επακόλουθα, τη θεμελιώδη σημασία των μεσοενδιατημάτων/ υδρομορφολογικών μονάδων στη μελέτη των ποτάμιων οικοσυστημάτων, αναπτύχθηκε ένα μεθοδολογικό πλαίσιο με πρωταρχικό στόχο να συμβάλλει στην αξιολόγηση και, πιθανά, την αναθεώρηση των εκάστοτε προτεινόμενων οικολογικών παροχών. Οι Υδρομορφολογικές Μονάδες ταξινομούνται με κριτήριο το βάθος και την ταχύτητα ροής και χαρτογραφούνται έπειτα από την επεξεργασία των ψηφιδωτών αρχείων που προέκυψαν από την υδραυλική προσομοίωση σε τμήμα μήκους 160 m του Άνω Αχελώου, κατάντη του φράγματος της Μεσοχώρας. Η διαδικασία, που πλεονεκτεί στο ότι διενεργείται με αντικειμενικά κριτήρια τα προκαθορισμένα όρια των προαναφερθέντων παραμέτρων, σε αντίθεση με τις συνήθεις πρακτικές των εργασιών πεδίου, πραγματοποιείται στο φυσικό καθεστώς και στην ελάχιστη οικολογική παροχή που προτείνεται με την εφαρμογή των Δεικτών Υδρολογικής Τροποποίησης (Richter et. al. 1996, 1997) και με τη χρήση του Υδρο-οικολογικού εργαλείου ECOFLOW (προσομοίωση ενδιατημάτων στη μικρο-κλίμακα). Εξετάζοντας τις μεταβολές των YMM που παρατηρούνται στη φυσική και στην τροποποιημένη ροή, αξιολογούνται οι επιπτώσεις που επιφέρουν οι μειωμένες ροές, με κριτήρια αξιολόγησης τις βιοτικές παραμέτρους που αφορούν στην ιονική πέστροφα (*Salmo farioides*, Karaman, 1938) και προέρχονται από βιβλιογραφικά δεδομένα και Καμπύλες Καταλληλότητας Ενδιατηματος. Τέλος, βάσει των ως άνω κριτηρίων και των εποχιακών απαιτήσεων εκτιμάται η ένταση των επιπτώσεων λόγω των μειωμένων παροχών στο οικοσύστημα του ποταμού. Τα αποτελέσματα της αξιολόγησης μπορούν να αξιοποιηθούν για την αναπροσαρμογή των προτεινόμενων οικολογικών παροχών. Το μεθοδολογικό πλαίσιο αυτό μπορεί επιπρόσθετα να αξιοποιηθεί και ως ένα υποτυπώδες μοντέλο προσομοίωσης μεσο-ενδιατημάτων, δίνοντας ως αποτέλεσμα εποχιακές περιβαλλοντικές ροές, έχοντας λάβει υπόψη όλα τα παρόντα ανά εποχή στάδια του είδους- στόχου (ή και περισσότερων ειδών) στο ποτάμιο οικοσύστημα.

Abstract

Recognizing the benefits of meso-scale analysis and, subsequently, the fundamental importance of mesohabitats / hydromorphological units (HMU) in the study of fluvial ecosystems, a methodological framework is proposed with the primary objective to contribute in the assessment and –possibly– the revision of currently proposed environmental flow requirements. After processing raster files generated from hydraulic simulation in HEC-RAS of an 160 m length section of Upper Acheloos River, Hydromorphological Units were classified and mapped based on flow depth and velocity criteria. The advantage of this methodology is that the abovementioned parameters are predefined based on objective criteria, as opposed to the standard field work practices, and hydromorphological units are digitally mapped, thus making the process repeatable. An impact assessment on Ionic trout (*Salmo farioides*; Karaman, 1938) was carried out by comparing HMUs in natural flow regime and in minimum environmental flows. The output indicates the intensity of decreased flows' environmental impacts on the fluvial ecosystem and the results can be utilized for the reevaluation / adjustment of proposed minimum ecological flow requirements. This approach can be used as a Decision Support System or as a rudimental mesohabitat simulation model.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Ανθρωπογενείς πιέσεις στα ποτάμια οικοσυστήματα

Οι ανθρωπογενείς επεμβάσεις στα ποτάμια υδατικά συστήματα είναι πολυάριθμες και ποικίλες. Οι λόγοι που έχουν οδηγήσει στην κατασκευή υδραυλικών έργων μεγάλης ή μικρής κλίμακας είναι πολλοί: η αύξηση των αρδευτικών αναγκών λόγω της ανάπτυξης της γεωργίας, η βελτίωση του βιοτικού επιπέδου και η αστικοποίηση με την επακόλουθη αύξηση των υδρευτικών αναγκών, η αντιπλημμυρική προστασία, η παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας και, γενικά, η άνιση χωρική και χρονική κατανομή των υδατικών πόρων. Χαρακτηριστικότερο ελληνικό παράδειγμα του τελευταίου είναι η συνδιαχείριση του Υδατικού Διαμερίσματος Θεσσαλίας, φτωχότερου υδρολογικά αλλά με πολύ μεγαλύτερες, κυρίως αρδευτικές, ανάγκες και του Υδατικού Διαμερίσματος Δυτ. Στερεάς, αλλά και η κατακόρυφη αύξηση των υδατικών αναγκών λόγω της γεωργίας και του τουρισμού κατά τη θερινή περίοδο που οι βροχοπτώσεις μειώνονται σημαντικά.

Ως εκ τούτου η ροή των ποταμών να είναι σε μεγάλο βαθμό ρυθμιζόμενη. Η Brismar (2004) αναφέρει για τις επιπτώσεις λόγω της λειτουργίας των φραγμάτων ότι οι διαχειριστικές πρακτικές για τη ρύθμιση της ροής αφορούν: στην πλήρωση του ταμιευτήρα, τη διακοπή της ροής προς τα κατάντη, την ταμίευση του νερού και τη ρύθμιση της ροής που αφήνεται κατάντη του φράγματος. Τα ως άνω συντελούν αθροιστικά σε φυσικές, χημικές και βιολογικές αλλοιώσεις στο οικοσύστημα της τεχνητής λίμνης αλλά και του κατάντη ποταμού (βλ. Poff et al., 1997). Όσον αφορά, πιο συγκεκριμένα, στις επιπτώσεις που επιφέρει η ρυθμιζόμενη ροή στο κατάντη οικοσύστημα, στην προσπάθεια να σκιαγραφηθούν οι σύνθετες αλληλεπιδράσεις μεταξύ τους θα πρέπει να εξετάζονται παράμετροι όπως (ενδεικτικά): φαινόμενα διάβρωσης, μεταφορά φερτών, αλατότητα, επίδραση στο χρονισμό των μεταναστεύσεων των ιχθύων, κλπ¹. Οι Acreman και Dunbar (2004) διατυπώνουν ότι η υγεία και η βιωσιμότητα των οικοσυστημάτων των ποταμών εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, συμπεριλαμβανομένου του καθεστώτος ροής, τα υδραυλικά χαρακτηριστικά του ποταμού (π.χ. μορφολογία της κοίτης και παρόχθιας ζώνης), ο βαθμός εκμετάλλευσης, η παρουσία των φυσικών εμποδίων για την συνδεσιμότητα, κλπ (από Efstratiadis et. al. 2014).

1.2 Η έννοια της οικολογικής παροχής

Αναμενόμενα, ανέκυψε η αναγκαιότητα να διατηρηθεί η καλή υγεία του οικοσυστήματος, κάτι που στα πλαίσια της Οδηγίας 2000/60 για τα ύδατα μεταφράζεται ως διατήρηση της καλής οικολογικής κατάστασης του ποτάμιου υδατικού συστήματος. Σε αυτό το κλίμα, την τελευταία τριακονταετία αναπτύχθηκε ένας νέος επιστημονικός κλάδος για την εκτίμηση της οικολογικής παροχής ή, αλλιώς των περιβαλλοντικών ροών. Αρχικά, ως οικολογική παροχή εννοείτο η χαμηλότερη δυνατή ροή που θα έπρεπε να ρέει στον ποταμό προκειμένου το οικοσύστημα να διατηρήσει την ακεραιότητά του. Πλέον, όμως, υιοθετούνται πιο ολιστικές αντιλήψεις, όπως αυτή των Arthington και Pusey (2003) που θεώρησαν ως αντικείμενο της περιβαλλοντικής ροής τη «διατήρηση ή μερική αποκατάσταση σημαντικών χαρακτηριστικών, όπως είναι η ποιότητα, η συχνότητα, η εποχικότητα και η διάρκεια των φαινομένων ροής, ο ρυθμός μεταβολής και η προβλεψιμότητα/ μεταβλητότητα, του φυσικού καθεστώτος ροής που απαιτείται για τη διατήρηση ή αποκατάσταση των βιοφυσικών στοιχείων και των οικολογικών διεργασιών των συστημάτων εσωτερικών ή υπόγειων υδάτων, πλημμυρικών ζωνών και κατάντη υδατικών συστημάτων». Κάνοντας ένα ακόμα βήμα, σύμφωνα με το Ινστιτούτο Διαχείρισης Διεθνών Υδάτων (IWMI, 2004), η Οικολογική Παροχή ορίζεται ως η πρόνοια για το νερό για τα εξαρτώμενα

¹ Brismar A., 2004. Attention to impact pathways in EISs of large dam projects. Environ. Impact Asses. Rev. 24, 59–87. (βλ. ειδικότερα σχεδιάγραμμα στη σελ. 70 της ίδιας)

οικοσυστήματα εσωτερικών υδάτων, προκειμένου να διατηρηθούν η ακεραιότητά τους, η παραγωγικότητά τους, οι υπηρεσίες και τα οφέλη που προσφέρουν, στην περίπτωση που αυτά τα οικοσυστήματα υπόκεινται σε ρύθμιση ροής και σε ανταγωνισμό για διάφορες χρήσεις νερού. Αντιλαμβάνεται κανείς εύκολα ότι, προκειμένου να καθοριστεί η οικολογική παροχή/περιβαλλοντική ροή με την τόσο ευρεία έννοια, είναι απαραίτητη η σφαιρική κατανόηση της έννοιας του οικοσυστήματος ως «μιας οργανωμένης λειτουργικής μονάδας, στην οποία υπάρχει στενή αλληλεπίδραση και αλληλεξάρτηση μεταξύ των βιοτικών και των αβιοτικών παραγόντων, όπου υπάρχει δηλαδή μια συνεχής ροή ενέργειας και μια κυκλοφορία θρεπτικών στοιχείων μεταξύ των ζωντανών (βιοτικών) και μη (αβιοτικών) μερών της. Είναι, συνεπώς, τα οικοσυστήματα, πολύπλοκα δυναμικά πλέγματα αλληλεπιδράσεων και αλληλεξαρτήσεων μεταξύ των κοινοτήτων οι οποίες τα συνθέτουν και βρίσκονται σε μια συνεχή μεταβολή και εξέλιξη.» (πηγή: Κανδρέλης Σωτήριος, *Η έννοια του Οικοσυστήματος*, ΤΕΙ ΗΠΕΙΡΟΥ).

Ευνόητα, οι διάφορες μεθοδολογίες που αναπτύχθηκαν για την εκτίμηση της οικολογικής παροχής ακολούθησαν παράλληλη πορεία. Αρχικά, απλές υδρολογικές μέθοδοι όριζαν μια ελάχιστη παροχή ως ποσοστό της μέσης ετήσιας παροχής ή ποσοστό υπέρβασης της Καμπύλης Διάρκειας του ποταμού (π.χ. Q90, Tennant (Montana), κ.α.). Αργότερα, αναπτύχθηκαν περισσότερο πολύπλοκες μεθοδολογίες, όπως η Ανάλυση του Εύρους Μεταβλητότητας, με σκοπό να εντοπιστούν οι ιδιαιτερότητες του υδρολογικού καθεστώτος και με τον τρόπο αυτό να ενσωματωθούν, έστω μόνο έμμεσα, οι χρονικά μεταβαλλόμενες διεργασίες του οικοσυστήματος.

Από την άλλη, όμως, η ροή καθορίζει και τα υδραυλικά και γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά του ποταμού, την κατανομή των ταχυτήτων και του βάθους, τη μορφή των όχθων, το πλάτος και το είδος υποστρώματος του πυθμένα, που με τη σειρά τους καθορίζουν τόσο την αβιοτική δομή όσο και τη βιοτική σύνθεση των ποτάμιων οικοσυστημάτων (από Efstratiadis et. al. 2014). Ως απόρροια αυτού, οι υδραυλικές μεθοδολογίες επιχειρούν να καθορίσουν τη σχέση που επικρατεί μεταξύ του καθεστώτος ροής σε ένα ποτάμιο σύστημα και της ποσότητας και του τύπου του ενδαιτημάτος που αυτό το καθεστώς παρέχει (Arthington & Zalucki, 1998). Εξέλιξη των υδραυλικών μεθοδολογιών αποτέλεσαν τα μοντέλα προσομοίωσης ενδαιτημάτων. Σε αυτά οι αλλαγές στα φυσικά ενδαιτημάτα που σχετίζονται με τις μεταβολές της ροής (π.χ. βάθος, ταχύτητα, υπόστρωμα) προσομοιώνονται σε υδραυλικά μοντέλα. Οι προσομοιωμένες διαθέσιμες συνθήκες ενδαιτημάτος, στη συνέχεια, συνδέονται με πληροφορίες που αφορούν το εύρος των επιθυμητών ή ακατάλληλων συνθηκών ενδαιτημάτος για τα είδη-στόχους, όπως στάδια ανάπτυξης, συναθροίσεις και δραστηριότητα.

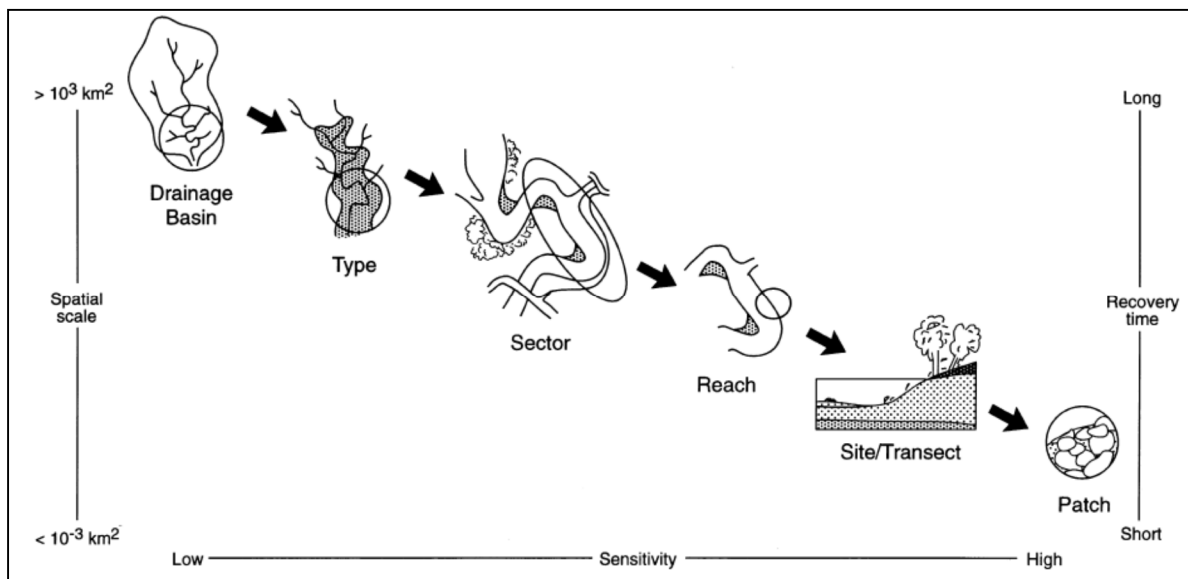
Ο απώτερος σκοπός είναι πάντα η διατήρηση της καλής οικολογικής κατάστασης του οικοσυστήματος μέσω της ρύθμισης της παροχής. Ωστόσο, κάθε μέθοδος τελικά εστιάζει σε ένα μόνο τμήμα της αλληλουχίας. Στις υδρολογικές μέθοδοι, αν και πλεονεκτούν λόγω της εύκολης εφαρμογής, κάτι που τις έχει καταστήσει ευρύτατα διαδεδομένες, υπονοείται η σχέση του υδρολογικού καθεστώτος με τα είδη που αφορούν στον ποταμό, χωρίς όμως να γίνεται ξεκάθαρη και να αποκωδικοποιείται. Στις μεθόδους προσομοίωσης ενδαιτημάτων, μέσω των δεικτών καταλληλότητας για το είδος/ στόχο, συνδέονται οι υδραυλικές παράμετροι με τις βιολογικές παραμέτρους. Κατ' επέκταση, προκύπτει η ελάχιστη αποδεκτή παροχή για αυτό το είδος, χωρίς όμως να αναλύεται ως υδρολογικό καθεστώς.

1.3 Η έννοια της Υδρομορφολογικής Μονάδας / Μεσοενδαιτημάτος

Είναι φανερό από τα παραπάνω ότι το πεδίο της εκτίμησης της περιβαλλοντικής ροής είναι διεπιστημονικό. Εφόσον αναζητείται η αλληλεξάρτηση ροής – υδραυλικών παραμέτρων –

οικοσυστήματος, απαιτείται και η συνεργασία επιστημόνων διαφόρων ειδικοτήτων. Οι υδρολόγοι και οι μηχανικοί που ασχολούνται με την ποτάμια υδραυλική πρέπει να συνυπολογίσουν τις βιοτικές παραμέτρους και έτσι να εντάξουν στις εκτιμήσεις τους τις οικολογικές απαιτήσεις και, επομένως, έχουν ανάγκη τη συμβολή των βιολόγων. Αλλά και αντίστροφα, οι βιολόγοι – περιβαλλοντολόγοι μελετούν τα έμβια όντα ενός οικοσυστήματος και διερευνούν τις συνθήκες στις οποίες τα είδη αυτά ευημερούν ή, αντίθετα, δεν μπορούν να ανεχτούν. Ωστόσο, είναι αναγκαίο αυτές οι βέλτιστες ή μη αποδεκτές συνθήκες να μπορούν να ερμηνευθούν και ως καθεστώς ροής.

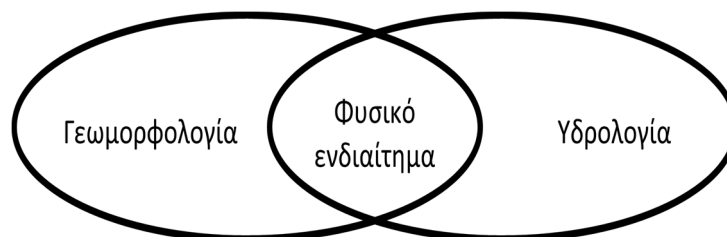
Στην αναζήτηση, λοιπόν, μιας έννοιας που θα αποτελούσε ιδανικά το σημείο σύγκλισης επιστημών και επιστημόνων, την απάντηση ίσως να δώσουν τα **Μεσοενδιαίτηματα (mesohabitats)**, δηλαδή τα χωρικά διακριτά τμήματα του ποταμού με σχετικά ομοιογενείς συνθήκες ροής, όπου λόγω αυτών των συνθηκών διαδραματίζουν συγκεκριμένο ρόλο κάθε φορά στις λειτουργίες του ποτάμιου οικοσυστήματος. Ας μην παραβλεφθεί, βέβαια, ότι η έννοια αυτή παραμένει αμφίσημη. Στη βιβλιογραφία υπάρχουν διάφοροι όροι: μονάδα κοίτης – “channel unit” (Grant et al., 1990, Bisson et al., 1996 κ.α.), μορφολογική μονάδα – “morphological unit” (Wadson, 1994) και φυσικός βιότοπος – “physical biotope” (Newson & Newson, 2000), όπως παραθέτουν ενδεικτικά οι Wyrick και Pasternack (2014). Εδώ, υιοθετείται ο όρος **Υδρομορφολογική Μονάδα**. Θεωρείται συνώνυμη έννοια του μεσοενδιαίτηματος, και μπορεί να συναντηθεί έτσι στο παρόν κείμενο, αφού δεν παραβλέπεται το γεγονός ότι «αποτελούν τη βάση, καθώς συνδέουν τους μηχανισμούς της υδραυλικής και υδρολογίας του ποτάμιου οικοσυστήματος (παροχή, στερεοπαροχή, διάβρωση, ιζηματογένεση, μορφολογία του υδρογραφικού δικτύου, φυσικοχημική ποιότητα του νερού) με τις βιολογικές διεργασίες (προσαρμοστικότητα, συμπεριφορά, θήρευση, ανταγωνισμός, παραγωγή βιομάζας) ερμηνεύοντας έτσι σε μεγάλο βαθμό την κατανομή της χλωρίδας και της πανίδας και τη διαφοροποίησή τους στο χρόνο.» (πηγή: Παραδοτέο Ecoflow “Π.2.1: Σχεδιασμός των προσαρμοσμένων στις Ελληνικές συνθήκες μοντέλων οικοτόπων και IFIM (2 water body types)”).



Εικόνα 1.3-1. Λειτουργική ταξινόμηση των ποταμών βάσει της κλίμακας (Frissell et al., 1986; Petts, 1984). (από Maddock, 1999)

Κατά τη συνήθη πρακτική στις μεθόδους προσομοίωσης ενδιαιτημάτων, καθώς αυτές στην πλειονότητά τους εστιάζουν στη μικρο-κλίμακα, τα μεσοενδιαιτήματα αποτυπώνονται από τους ερευνητές στο πεδίο με βάση τα οπτικά τους χαρακτηριστικά και μόνο ως προκαταρκτικό στάδιο των επόμενων εργασιών. Ακόμα και στο πεδίο, ακολουθούνται συγκεκριμένα πρότυπα αναγνώρισης και ταξινόμησης των μεσοενδιαιτημάτων, όπως το ιεραρχικό σύστημα ταξινόμησης των σε μακρο-, μέσο- και μικρο-μονάδες της Υπηρεσίας Δασών των ΗΠΑ (Bryant et. al. (USFS) 1992), το σύστημα του McCain και των συνεργατών του (USFS, 1990), οι οποίοι παραθέτουν και εικόνες για τη διάκριση των μεσοενδιαιτημάτων και στηρίζουν την ταξινόμηση αρχικά σε μία από τις τρεις βασικές κατηγορίες (pool-riffle-run) και έπειτα σε συνολικά 22 τύπους (υποκατηγορίες), το νορβηγικό μοντέλο των Borsanyi et al., (2004), το σύστημα των Dollof et al. (1993), κ.α.. Ο Poole και οι συνεργάτες του (1997) εκτιμούν ότι τα συστήματα αυτά αποδεικνύονται ακατάλληλα, όταν χρησιμοποιούνται για την ποσοτικοποιημένη εκτίμηση των ανθρωπογενών πιέσεων στα ποτάμια υδατικά συστήματα, καθώς διέπονται από την υποκειμενικότητα του εκάστοτε ερευνητή στο πεδίου, κάτι που οδηγεί τελικά σε επισφαλείς μετρήσεις.

Ωστόσο, ποτέ δεν αμφισβητείται η αξία τους στη μελέτη των ποταμών. Ο Maddock (1999) ήταν από τους πρώτους που έστρεψε την προσοχή στη μελέτη αυτών καθαυτών των μεσοενδιαιτημάτων ως δεικτών υγείας του οικοσυστήματος, έκανε δηλαδή ένα βήμα προς τη μεσο-κλίμακα. Τονίζει ότι παρά την ευρεία χρήση της έννοιας αυτής στις μέχρι τότε μελέτες και δημοσιεύσεις, ο ορισμός της παραμένει ασαφής. Έτσι, χρησιμοποιεί τον όρο «φυσικό ενδιαίτημα», το οποίο ορίζει ως το ζωτικό χώρο της ενδοποτάμιας βιωτής, αναγνωρίζοντας ότι είναι μια χωρικά και χρονικά δυναμική οντότητα που καθορίζεται από την αλληλεπίδραση των δομικών χαρακτηριστικών του ποταμού και το υδρολογικό καθεστώς. Σχολιάζει ότι το πλήθος και οι διαφορές μεταξύ των μεθοδολογιών ταξινόμησης των φυσικών ενδιαιτημάτων οφείλονται σε πολλούς παράγοντες, όπως το ότι η κάθε μελέτη χρησιμοποιεί διαφορετικό βιοδείκτη ή διαφορετική κλίμακα, αλλά και στις διαφορές στη μορφολογία της κοίτης κάθε περιοχής μελέτης. Καθώς, όμως, η σύνδεση των αβιοτικών παραμέτρων με τις ανάγκες των οργανισμών εντός του ποταμού είναι σε κάθε περίπτωση αδιαμφισβήτητη, εμμένει στην εύρεση αντικειμενικών και επαναλήψιμων μεθόδων για την αξιολόγηση των φυσικών ενδιαιτημάτων.



Εικόνα 1.3-2. Φυσικό ενδιαίτημα, όπως ορίζεται από αλληλεπίδραση της γεωμορφολογίας και της υδρολογίας (ακριβής απόδοση από Maddock, 1999)

Από τα παραπάνω, είναι φανερό ότι τα μεσοενδιαιτήματα, ή αλλιώς, οι Υδρομορφολογικές Μονάδες (YMM) αποτελούν το αναγκαίο σημείο σύγκλισης των δύο επιστημονικών κλάδων που ασχολούνται με τα ποτάμια συστήματα. Διαδραματίζουν, κατά μία έννοια, το ρόλο του διερμηνέα μεταξύ των υδρολόγων ή/και διαχειριστών των υδραυλικών έργων και των βιολόγων –ερευνητών (stream ecologists). Για το λόγο αυτό, η αξιολόγηση των μεταβολών των YMM αποτελεί ραγδαία εξελισσόμενο επιστημονικό πεδίο. Στη λογική αυτή, στα πλαίσια της εφαρμογής της Οδηγίας 2000/60, για την αξιολόγηση της οικολογικής κατάστασης των επιφανειακών υδατικών

συστημάτων, το ευρωπαϊκό ερευνητικό πρόγραμμα STAR, πλην των άλλων, εστίασε στην αξιολόγηση των υδρομορφολογικών χαρακτηριστικών των ευρωπαϊκών ποταμών αλλά και την αναζήτηση σαφών σχέσεων μεταξύ των οργανισμών που διαβιούν στον ποταμό και των υδρομορφολογικών μεταβολών. Ανάλογα και το, πιο πρόσφατο, ερευνητικό πρόγραμμα ReFORM (REstoring rivers FOR effective catchment Management) διερεύνησε σε βάθος τις υδρομορφολογικές αλλοιώσεις που παρατηρούνται στους ποταμούς λόγω των ανθρωπογενών πιέσεων και τις επιπτώσεις που αυτές οι αλλοιώσεις επιφέρουν επακόλουθα στα ποτάμια συστήματα. Αναλόγως, αρκετά μοντέλα προσομοίωσης ενδαιτημάτων έχουν προσανατολιστεί σε αναλύσεις στη μεσο-κλίμακα. Στο MesoHABSIM (Parasiewicz, 2001, 2007) στόχος είναι ο υπολογισμός της διαθεσιμότητας ενδαιτημάτων υπό διαφορετικές περιβαλλοντικές συνθήκες σε επίπεδο μεσοκλίμακας. Τονίζεται, ωστόσο, ότι η Υδρομορφολογική Μονάδα σύμφωνα με το μοντέλο αυτό δεν ταυτίζεται με το μεσοενδαιτημα. Εδώ, αναγνωρίζονται 10 τύποι YMM, βάσει μόνο του βάθους και της ταχύτητας ροής. Ο συνδυασμός και με άλλες παραμέτρους, όπως για παράδειγμα την κάλυψη (σκίαση), οδηγεί στη διάκριση των διαφορετικών μεσοενδαιτημάτων, δηλαδή -σύμφωνα με το μοντέλο αυτό- των ζωτικών περιοχών για κάθε είδος και για κάθε στάδιο ανάπτυξης του είδους. Ο Harby και οι συνεργάτες του (2007) διερεύνησαν τις επιπτώσεις που έχουν οι μεταβολές της ροής στην ιχθυοπανίδα και στα ασπόνδυλα του ποταμού Ροδανού της Γαλλίας, μέσω της χαρτογράφησης των μεσοενδαιτημάτων.

Όσον αφορά στην αυτόματη ταξινόμηση και οριοθέτηση των υδρομορφολογικών μονάδων/ μεσοενδαιτημάτων, ο Hauer και οι συνεργάτες του (2009) ανέπτυξαν το μοντέλο Αξιολόγησης Μεσοενδαιτημάτων (Mesohabitat Evaluation Model). Τα μεσοενδαιτηματά, τα οποία έχουν χαρτογραφηθεί -σε αντίθεση με τη συνήθη πρακτική- από δεδομένα Lidar, μελετώνται ως προς τις μεταβολές της ροής. Ωστόσο, έχει έναν σημαντικό περιορισμό. Έχοντας ως βασικό κριτήριο ταξινόμησης τη συρτική τάση, είναι κατάλληλο μόνο για ποταμούς με σχετικά λεπτόκοκκο υπόστρωμα κοίτης. Ακόμα, οι Wyrick και Pasternack το 2014 υλοποίησαν μια αυστηρά χωρική ανάλυση εξετάζοντας κάθε χωρική συσχέτιση που μπορεί να διέπει τις YMM, χωρίς όμως να δίνουν έμφαση στο ρόλο των υδρομορφολογικών μονάδων για τη βιωτή του ποταμού, καταλήγοντας έτσι σε ένα αξιολογικό εργαλείο για την αξιολόγηση των YMM και για άλλους σκοπούς.

Στην παρούσα εργασία, αναγνωρίζοντας την ανάγκη για μια επαναλήψιμη διαδικασία για την ταξινόμηση των YMM, χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο των Wyrick και Pasternack (2014). Ένας από τους λόγους που προτιμήθηκε το συγκεκριμένο μεθοδολογικό πλαίσιο είναι γιατί ήταν καταλληλότερο να προσαρμοστεί στις τοπικές συνθήκες του υπό μελέτη τμήματος του ποταμού, με απλή προσαρμογή των ορίων ταχύτητας και βάθους των YMM, ταξινομώντας ένα ικανοποιητικό εύρος ταχύρρων και βραδύρρων YMM.

1.4 Αξιολόγηση των πιέσεων λόγω της μειωμένης ροής στο οικοσύστημα

Η σημασία των Υδρομορφολογικών Μονάδων και ο ρόλος τους στη μελέτη των οικοσυστημάτων δεν αμφισβητούνται. Εγείρεται ωστόσο το ερώτημα πώς μπορούν να αξιοποιηθούν στα πλαίσια της ποσοτικής εκτίμησης και αξιολόγησης των επιπτώσεων που επιφέρει μία μειωμένη παροχή ή, γιατί όχι, και να συμβάλουν στον καθορισμό της οικ. παροχής με τις κατά το δυνατόν ηπιότερες επιπτώσεις στο φυσικό περιβάλλον. Η χαρτογράφηση των YMM στη φυσική και στην τροποποιημένη ροή μπορεί φυσικά να παράσχει πληροφορίες για τις χωρικές μεταβολές και, επομένως, τη διαθεσιμότητα των απαραίτητων μεσοενδαιτημάτων για τα υπό μελέτη είδη του ποταμού, ωστόσο αναζητά κανείς μία περισσότερο ποσοτική αξιολόγηση των μεταβολών αυτών.

Η ειδοποιός ερώτηση που πρέπει να απαντηθεί είναι το κατά πόσο διατηρούνται τα απαραίτητα ενδαιτήματα για την επιβίωση του εκάστοτε είδους/στόχου.

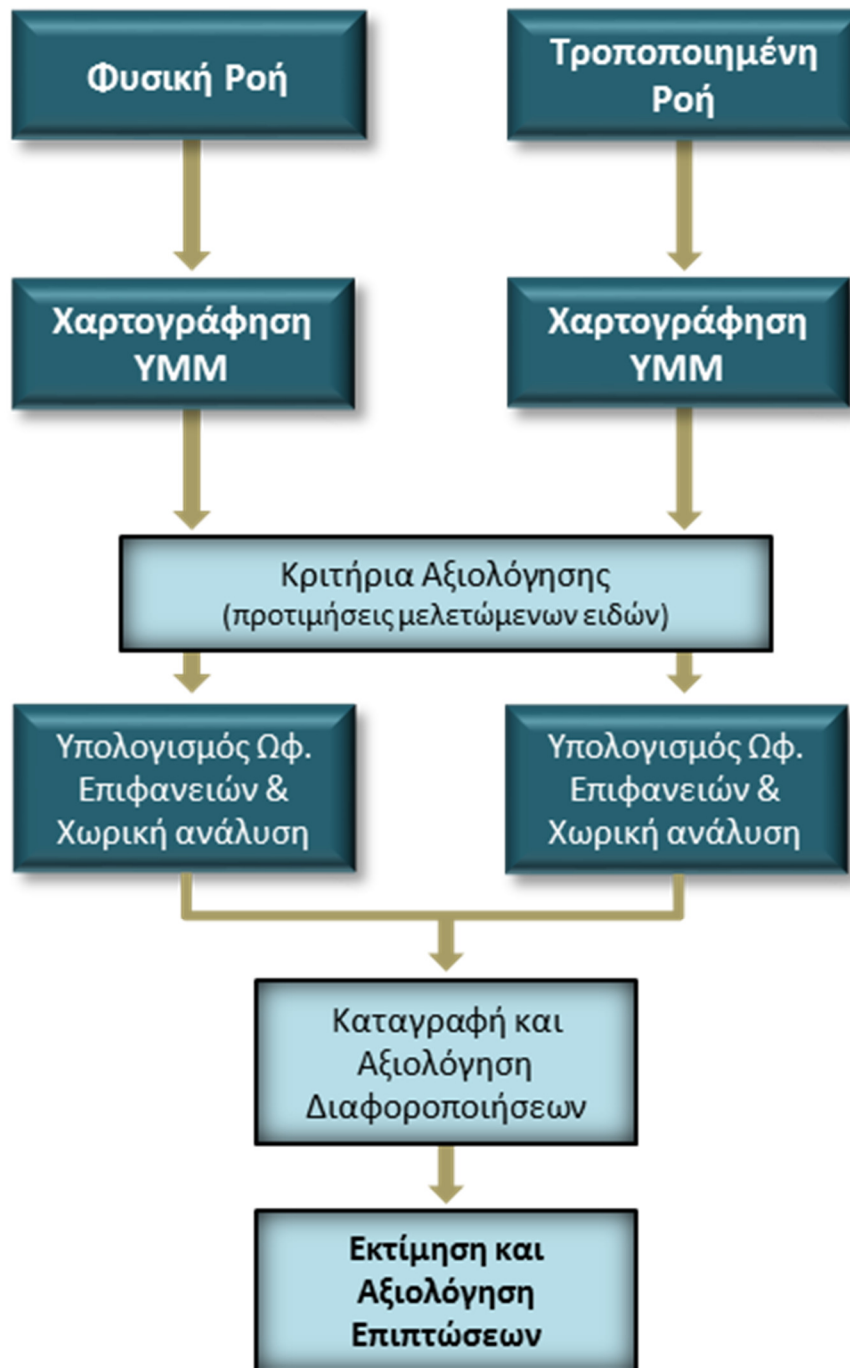
Από τις πιο ενδιαφέρουσες μεθοδολογίες στη διεθνή βιβλιογραφία, που εφαρμόζεται και στην παρούσα εργασία, είναι το Functional Habitat Assessment Tool (FHAT)² που παρουσιάστηκε το 2012 στο ετήσιο συνέδριο του Ινστιτούτου Διαχείρισης της Ιχθυοπανίδας. Πρόκειται για μια απλή διαδικασία, όπου στις ποσοστιαίες μεταβολές των μεσοενδαιτημάτων, έχοντας πρώτα λάβει υπόψη ποια από αυτά είναι χρήσιμα για τα εξεταζόμενα είδη του ποταμού αλλά και τις εποχιακές απαιτήσεις, αποδίδεται ένας *Βαθμός Επιπτώσεων* από -3 ως 3, ποσοτικοποιώντας έτσι την ένταση των πιέσεων στο οικοσύστημα λόγω της μείωσης της παροχής.

1.5 Αντικείμενο της εργασίας

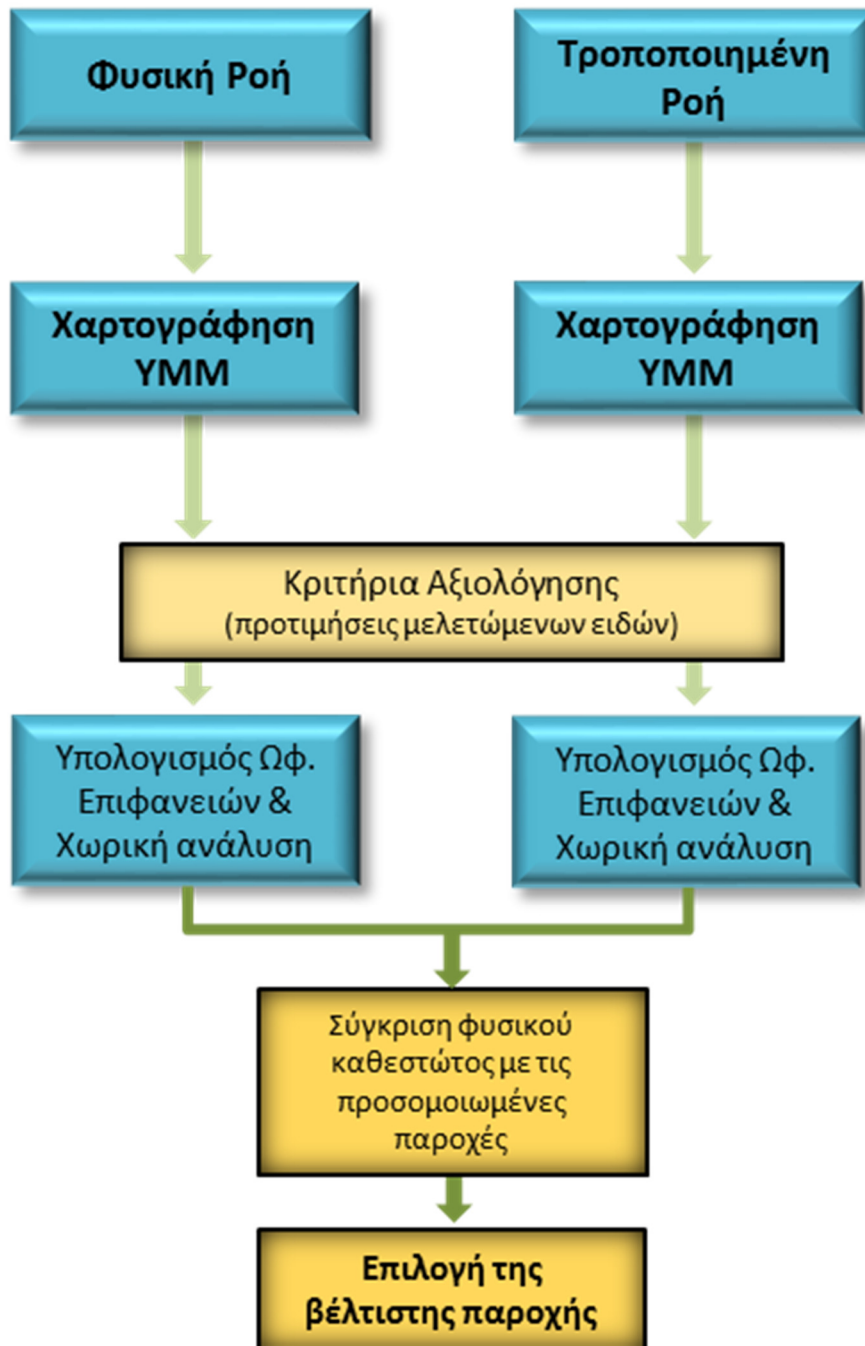
Στην παρούσα διπλωματική εργασία, οι Υδρομορφολογικές Μονάδες ταξινομούνται με κριτήριο το βάθος και την ταχύτητα ροής και χαρτογραφούνται έπειτα από την επεξεργασία των ψηφιδωτών αρχείων που προέκυψαν από την υδραυλική προσομοίωση σε τμήμα μήκους 160 m του Άνω Αχελώου, κατάντη του φράγματος της Μεσοχώρας. Η διαδικασία, που πλεονεκτεί στο ότι διενεργείται με αντικειμενικά κριτήρια τα προκαθορισμένα όρια των προαναφερθέντων παραμέτρων, σε αντίθεση με τις συνήθεις πρακτικές των εργασιών πεδίου, πραγματοποιείται στο φυσικό καθεστώς και στην ελάχιστη οικολογική παροχή που προτείνεται με την εφαρμογή των Δεικτών Υδρολογικής Τροποποίησης (Richter et. al. 1996, 1997) και με τη χρήση του Υδρο-οικολογικού εργαλείου ECOFLOW (προσομοίωση ενδαιτημάτων στη μικρο-κλίμακα). Εξετάζοντας τις μεταβολές των YMM που παρατηρούνται στη φυσική και στην τροποποιημένη ροή, αξιολογούνται οι επιπτώσεις που επιφέρουν οι μειωμένες ροές με κριτήρια αξιολόγησης τις βιοτικές παραμέτρους που αφορούν στην ιονική πέστροφα (*Salmo farioides*; Karaman, 1938) και προέρχονται από βιβλιογραφικά δεδομένα και Καμπύλες Καταλληλότητας Ενδαιτήματος. Τα αποτελέσματα της αξιολόγησης μπορούν να αξιοποιηθούν για την αναπροσαρμογή των προτεινόμενων οικολογικών παροχών. Τέλος, βάσει των ως άνω κριτηρίων και των εποχιακών απαιτήσεων εκτιμάται η ένταση των επιπτώσεων λόγω των μειωμένων παροχών στο οικοσύστημα του ποταμού.

Το μεθοδολογικό πλαίσιο αυτό μπορεί επιπρόσθετα να αξιοποιηθεί και ως ένα υποτυπώδες μοντέλο προσομοίωσης μεσο-ενδαιτημάτων, δίνοντας ως αποτέλεσμα εποχιακές περιβαλλοντικές ροές, έχοντας λάβει υπόψη όλα τα παρόντα ανά εποχή στάδια του είδους-στόχου (ή και περισσότερων ειδών) στο ποτάμιο οικοσύστημα.

² APEM (2012) Functional Habitat Assessment Tool (FHAT): A rapid assessment tool for the identification of ecologically acceptable flows for fish and other aquatic fauna and flora. Poster presentation, IFM Annual Conference 2012, Edinburgh.



Εικόνα 1.5-1. Διάγραμμα ροής του προτεινόμενου μεθοδολογικού πλαισίου για την αξιολόγηση των μεθόδων εκτίμησης οικολογικής παροχής



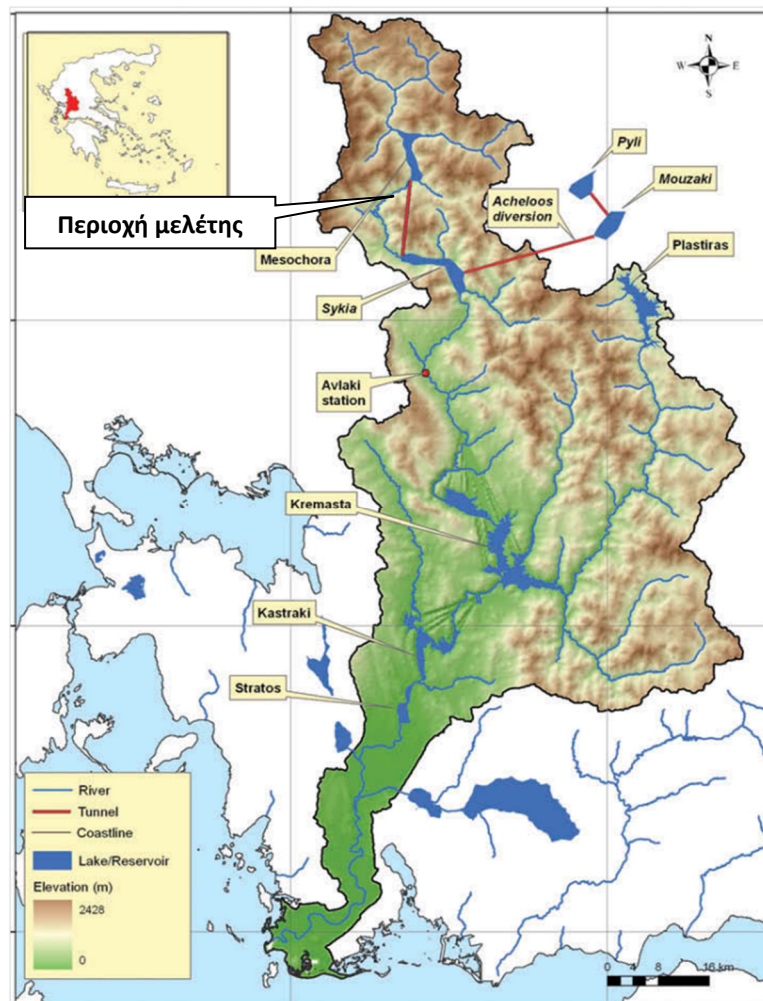
Εικόνα 1.5-2. Διάγραμμα ροής του προτεινόμενου μεθοδολογικού πλαισίου, ως απλού μοντέλου προσομοίωσης μεσοενδιατημάτων, για την εκτίμηση την εποχιακής οικολογικής παροχής

2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ

2.1 Περιοχή μελέτης

Η ευρύτερη περιοχή μελέτης αφορά στη Λεκάνη Απορροής του Ποταμού Αχελώου, και συγκεκριμένα στον Άνω Ρου, και ανήκει στο Υδατικό Διαμέρισμα Δυτικής Στερεάς Ελλάδας (GR04). Η ΛΑΠ Αχελώου έχει επιφάνεια 7.531 km² και ο Αχελώος αναπτύσσεται σε μήκος στα 220km. Η ροή του ποταμού στο μεγαλύτερο ποσοστό ρυθμίζεται από τα τέσσερα μεγάλα φράγματα υπό τη διαχείριση της ΔΕΗ με κυριότερα τα φράγματα, από τα ανάντη προς τα κατόντη, στα Κρεμαστά, στο Καστράκι και στο Στράτο (**Εικόνα 2.1-1**). Το τέταρτο, το φράγμα Ταυρωπού, σχηματίζει την ομώνυμη λίμνη, γνωστή και ως λίμνη Πλαστήρα, από όπου τα ύδατα εκτρέπονται στο Υδατικό Διαμέρισμα Θεσσαλίας.

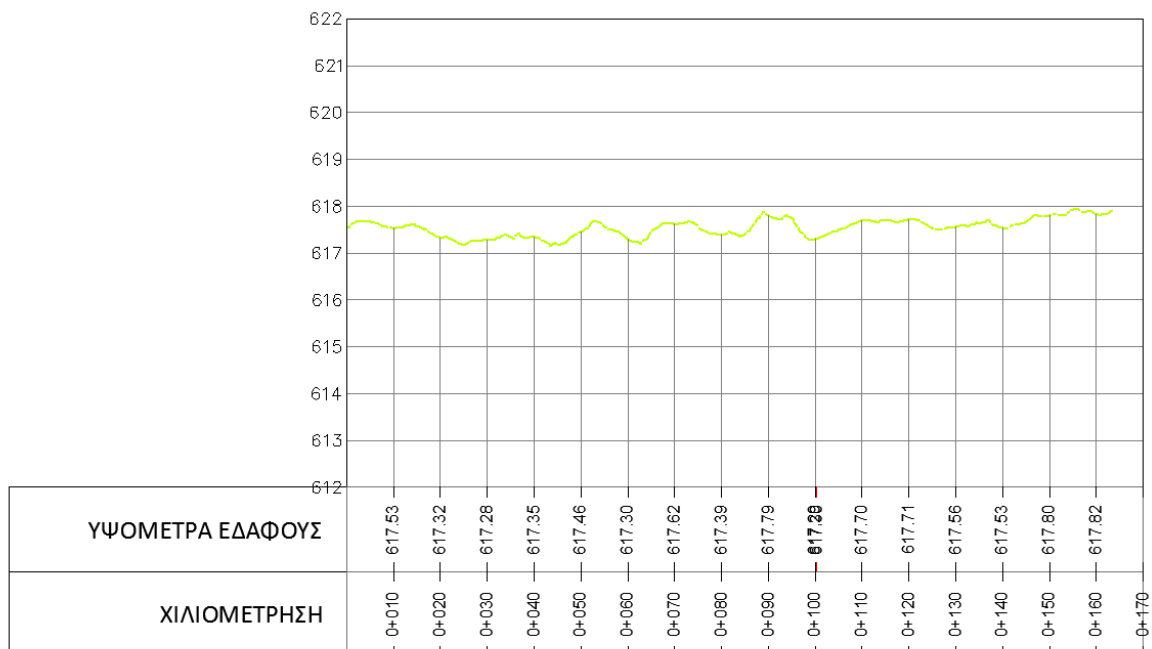
Από τα πιο πολυσυζητημένα υδραυλικά έργα στην Ελλάδα αποτελεί το λιθόρριπτο με ανάντη πλάκα σκυροδέματος φράγμα της Μεσοχώρας στον άνω ρου του Αχελώου. Το, ήδη κατασκευασμένο από το 1997, φράγμα ύψους 135 m παραμένει ανενεργό. Ας αναφερθεί για την ιστορία, ότι το φράγμα της Μεσοχώρας αποτελεί έργο του προγράμματος εκτροπής του Αχελώου, το οποίο σύμφωνα με το Εγκεκριμένο Σχέδιο Διαχείρισης των ΛΑΠ του Υδατικού Διαμερίσματος Δυτικής Στερεάς Ελλάδας (ΥΔ 04) “απεμπλέκεται πλήρως, τόσο λειτουργικά όσο και τεχνικά, από τα έργα εκτροπής και καθίσταται αμιγώς υδροηλεκτρικό”.



Εικόνα 2.1-1. Η Λεκάνη Απορροής του Ποταμού Αχελώου και το σύστημα ταμιευτήρων (μελλοντικών και υφιστάμενων), στα πλαίσια του έργου εκτροπής του Αχελώου (Α. Κουκουβίνος από Efstratiadis, et al., 2014)

Η λεκάνη απορροής ανάντη του φράγματος έχει έκταση 644.1km² (από Νικολόπουλος, 2015). Πιο συγκεκριμένα, το τμήμα του ποταμού που θα μελετηθεί αποτελεί τμήμα του επιφανειακού υδατικού συστήματος Αχελώου με κωδικό GR0415R000200052N και χαρακτηρίζεται ως υδατικό σύστημα της Ιόνιας βιογεωγραφικής περιοχής με μεσαία απορροή, χαμηλό υψόμετρο και μεγάλη κλίση (Τύπος : ImL1), ενώ στη θέση του φράγματος της Μεσοχώρας ο μέσος ετήσιος όγκος απορροής εκτιμάται στα 0,73 hm³.

Επιλέχθηκε αντιπροσωπευτικό τμήμα του ημιορεινού ποταμού, μήκους 160m και σε υψόμετρο περίπου 620m, με μέγιστη κλίση πυθμένα 2,5%. Το κυρίαρχο είδος υποστρώματος είναι οι μεσαίοι και μικροί τρόχμαλοι (boulders). Για την περιοχή αυτή, υπήρχαν διαθέσιμα τοπογραφικά δεδομένα από τις εργασίες πεδίου στα πλαίσια του ερευνητικού έργου ECOFLOW (2015)³.



Εικόνα 2.1-2. Μηκοτομή υπό μελέτη τμήματος ποταμού

³ «Σύστημα εκτίμησης της αποδεκτής Οικολογικής παροχής σε ποτάμια και ρέματα της Ελλάδας –ECOFLOW», Χρηματοδοτούμενο έργο από την Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας στα πλαίσια του Επιχειρησιακού Προγράμματος: “Συνεργασία 2011/ ΕΣΠΑ 2007-2013”

Πρόκειται για ερευνητικό πρόγραμμα με συντονιστή το Ινστιτούτο Εσωτερικών Υδάτων του ΕΛΚΕΘΕ με σκοπό την δημιουργία ενός υδρο-οικολογικού εργαλείου για την εκτίμηση της βέλτιστης ελάχιστης οικολογικής παροχής. Στα πλαίσια του έργου πιλοτικές περιοχές αποτέλεσαν τμήματα του Αχελώου ανάντη και κατάντη του φράγματος της Μεσοχώρας και η περιοχή Τριτόταμο.

2.2 Σύνομη Περιγραφή Μεθόδων Εκτίμησης Οικολογικής Παροχής

2.2.1 Ανάλυση Εύρους Μεταβλητότητας και Δείκτες Υδρολογικής Τροποποίησης

Η Ανάλυση Εύρους Μεταβλητότητας (Range of Variability Approach, εφεξής RVA) (Richter, et al., 1997) κατατάσσεται στις υδρολογικές μεθόδους και στηρίζεται στην ανάλυση των Δεικτών Υδρολογικής Τροποποίησης (Indicators of Hydrologic Alteration – IHA) και των Συνιστωσών Περιβαλλοντικών Ροών (Environmental Flow Components – EFC). Ουσιαστικά, έχοντας αναγνωρίσει την επίδραση των μεταβολών της ροής στον κύκλο ζωής των οργανισμών του οικοσυστήματος, και όχι μόνο, στόχος της μεθόδου αυτής είναι να συμβάλλει στο σχεδιασμό λειτουργίας και διαχείρισης ενός υδραυλικού έργου. Προκειμένου να ενσωματωθούν όλες οι παράμετροι του περιβάλλοντος στους κανόνες λειτουργίας του έργου, έχουν προταθεί τα παρακάτω έξι βασικά βήματα (Richter, et al., 1997).

Αρχικά, έχοντας χρονοσειρές παροχών τουλάχιστον είκοσι ετών για την περιοχή μελέτης, αναλύονται τα υδρολογικά δεδομένα με την εκτίμηση των Δεικτών Υδρολογικής Τροποποίησης (IHA) μέσω παραμετρικής ή μη παραμετρικής ανάλυσης υπολογίζονται 33 υδρολογικές παράμετροι, οι οποίες χαρακτηρίζουν τις στατιστικές ιδιότητες του καθεστώτος ροής. Σημαντικό, όμως, είναι να εντοπιστούν οι συσχετίσεις των μεταβολών της ροής με τις βιολογικές διεργασίες του οικοσυστήματος, αλλά και να ενσωματωθούν στη στατιστική ανάλυση. Σε αυτό εξυπηρετεί ο υπολογισμός 34 παραμέτρων, των Συνιστωσών Περιβαλλοντικών Ροών (EFC), οι οποίες χαρακτηρίζουν τους διαφορετικούς τύπους ροής που επιδρούν στο ποτάμιο οικοσύστημα. Τα ως άνω συνιστούν τις ανάγκες του οικοσυστήματος που θα πρέπει να ικανοποιούν οι τεχνητές συνθήκες ροής. Όλες οι προκαταρκτικές εργασίες αυτές αποτελούν το **1^ο Βήμα** της μεθόδου.

Έπειτα, έχοντας συλλεχθεί βιβλιογραφικά δεδομένα και έχοντας αναλυθεί τα υδρολογικά δεδομένα, μπορεί πλέον να γίνει κάποια εκτίμηση για το ποια είναι τα αποδεκτά όρια τροποποίησης (**Βήμα 2^ο**). Με άλλα λόγια, καθορίζονται τα όρια εντός των οποίων πρέπει να κινούνται οι –νέοι– Δείκτες Υδρολογικής Τροποποίησης κατά τη λειτουργία του έργου, ώστε να πληρούνται τα κριτήρια που τέθηκαν στο προηγούμενο Βήμα. Κατ’ επέκταση, προτείνονται κάποιες αρχικές παροχές με τις οποίες θα λειτουργήσει δοκιμαστικά το έργο τον πρώτο χρόνο, και με αυτόν τον τρόπο δύναται να αξιολογηθούν οι πραγματικές επιπτώσεις που επιφέρει στο οικοσύστημα το τροποποιημένο καθεστώς ροής (**Βήμα 3^ο**).

Χρήσιμη είναι η κατάρτιση ενός Προγράμματος Παρακολούθησης (monitoring) (**Βήμα 4^ο**), βάσει του οποίου θα καταγράφεται η επίτευξη ή μη των στόχων που τέθηκαν, κατά πόσο ικανοποιούνται τελικά με τις προτεινόμενες παροχές οι ανάγκες του υπό μελέτη οικοσυστήματος, κλπ. Ένας ακόμα τρόπος να εξεταστεί ο βαθμός τροποποίησης του καθεστώτος ροής είναι ο εκ νέου υπολογισμός των Δεικτών Υδρολογικής Τροποποίησης (**Βήμα 5^ο**).

Φυσικά, είναι πρακτικά αδύνατο να επιτευχθούν όλοι οι στόχοι με την πρώτη δοκιμή. Τα Βήματα 3 ως 5 επαναλαμβάνονται καθ’ όλη τη διάρκεια λειτουργίας του έργου, που σημαίνει ότι ανά τακτά χρονικά διαστήματα τα πορίσματα του Προγράμματος Παρακολούθησης, τυχόν νέα επιστημονικά δεδομένα που αφορούν στο οικοσύστημα ή/και αποτελέσματα ερευνών που πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή μελέτης λαμβάνονται υπόψη για τη διόρθωση/ αναθεώρηση των αποδεκτών ορίων μεταβλητότητας.

Σε επίπεδο εφαρμογής, κάτι τέτοιο απαιτεί καταρχάς την καταγραφή όλων των εμπλεκόμενων στο έργο, εκείνων δηλαδή που θα συμβάλουν στον καθορισμό των παραμέτρων μιας πολυκριτηριακής ανάλυσης, και τη συνεργασία επιστημόνων διαφόρων ειδικοτήτων, ενώ η περιοχή μελέτης θα αφορά τον ποταμό από το σημείο της παρέμβασης ως και τις εκβολές του (Mathews & Richter, 2007).

2.2.1.1 Υδρολογικά δεδομένα

Για την εφαρμογή της μεθόδου Ανάλυσης Εύρους Μεταβλητότητας – RVA και την κατάρτιση των Δεικτών Υδρολογικής Τροποποίησης ΙΗΑ βασικό προαπαιτούμενο είναι οι ημερήσιες μετρήσεις παροχής του ποταμού στο επιλεγμένο σημείο πριν την όποια επέμβαση τουλάχιστον 20 ετών. Όμως, δεν υπάρχουν υδρομετρικοί σταθμοί που να έχουν μετρήσεις για ανάλογο χρονικό διάστημα στην περιοχή του φράγματος της Μεσοχώρας. Ο μόνος σταθμός κατά μήκος του ποταμού, κατάλληλα εξοπλισμένος και ταυτόχρονα με σταθερή και αξιόπιστη λειτουργία βρίσκεται στη θέση Αυλάκι και λειτουργεί από το 1965. Στα πλαίσια της μελέτης για την εκτίμηση της οικολογικής παροχής στο φράγμα του Στράτου (ECOS ΜΕΛΕΤΗΤΙΚΗ Α.Ε, Μάιος 2009), ο σταθμός θεωρήθηκε «από τους πλέον αξιόπιστους και καλύτερα συντηρούμενους του ελληνικού χώρου». Στην ίδια μελέτη, στις χρονοσειρές ημερήσιων εισροών του ταμιευτήρα των Κρεμαστών που παρασχέθηκαν από τη ΔΕΗ, συμπεριλήφθηκε η εξάτμιση και οι υπόγειες διαφυγές και, συνεπώς, φυσικοποιήθηκαν, δηλαδή προσαρμόστηκαν ώστε να αντιπροσωπεύουν τη φυσική ροή του ποταμού.

Όστόσο, τα δεδομένα αυτά αναφέρονται στο φράγμα των Κρεμαστών. Σύμφωνα με το «Σχέδιο Διαχείρισης των Λεκανών Απορροής των Ποταμών Αχελώου και Πηνειού Θεσσαλίας» (ΥΠΕΧΩΔΕ, 2006), η χρονοσειρά των απορροών στο Αυλάκι αντικατοπτρίζει όλη την απορροή της λεκάνης του Άνω Αχελώου, οπότε και η εκτίμηση των παροχών στη Μεσοχώρα, στη θέση μελέτης, μπορεί να γίνει με την αναγωγή μεταξύ των λεκανών απορροής με την παρακάτω σχέση:

$$Q_1 = Q_2 \cdot [(P_1/P_2) \cdot (F_1/F_2)]$$

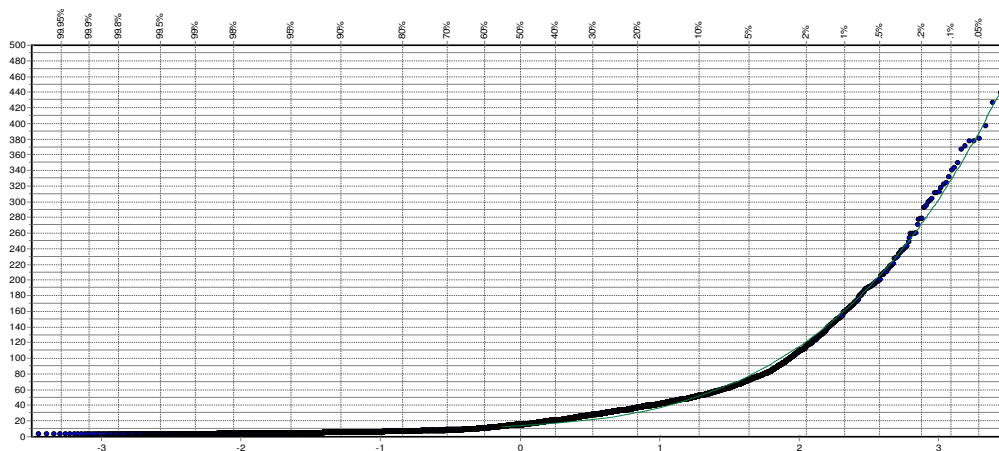
όπου Q = μέση παροχή στη λεκάνη απορροής

F = εμβαδόν της λεκάνης απορροής

P = επιφανειακή βροχόπτωση στη λεκάνη απορροής για την ίδια περίοδο,

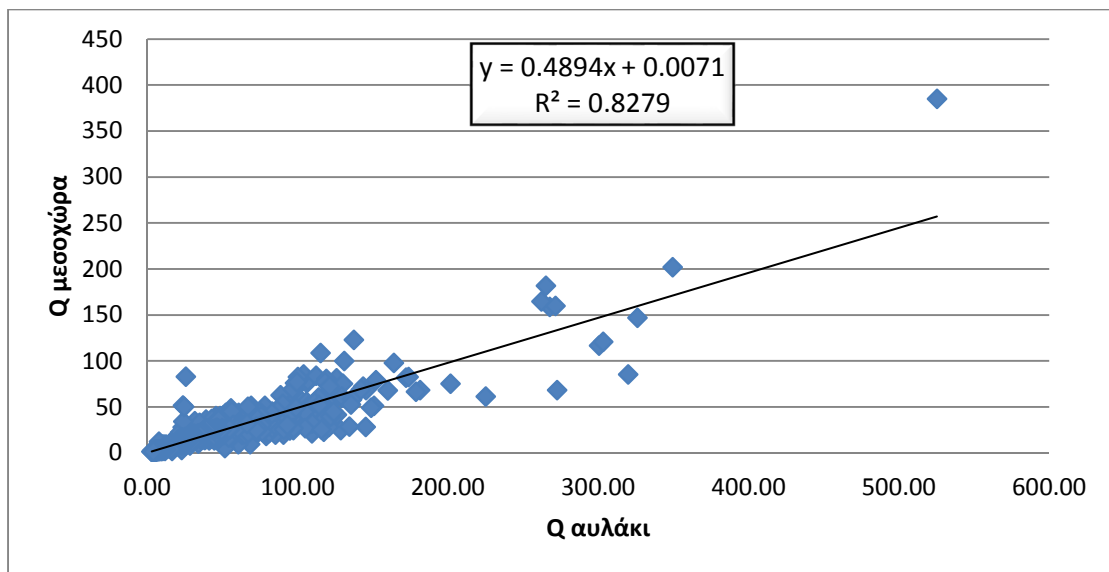
1 = κατάντη λεκάνη

2 = ανάντη λεκάνη

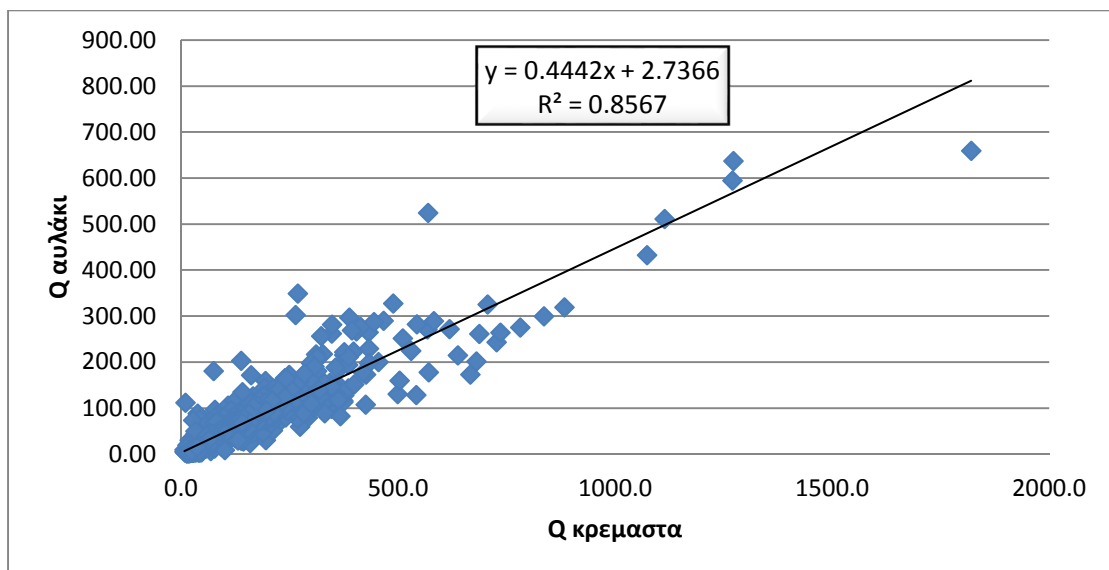


Σχήμα 2.2-1. Καμπύλη διάρκειας ημερήσιων παροχών για το σύνολο των δεδομένων για την περιοχή κατάντη του φράγματος Μεσοχώρας, όπως παράχθηκε με το εργαλείο *Πυθία* του λογισμικού *Υδρογνώμων*.

Όμως, δεν υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα για την επιφανειακή βροχόπτωση. Από τα δεδομένα απορροής από τους σταθμούς της ΔΕΗ στο Αυλάκι και στη Μεσοχώρα για τα υδρολογικά έτη 1986-1987 και 1987-1988, προκύπτει σαφής γραμμική σχέση μεταξύ των λεκανών απορροής. Το ίδιο επιβεβαιώνεται και για τις λεκάνες απορροής του Αυλακίου και των Κρεμαστών. Επομένως, η χρονοσειρά παροχών για την περιοχή του φράγματος της Μεσοχώρας προκύπτει μέσω της γραμμικής σχέσης που συνδέει τις λεκάνες απορροής και, συγκεκριμένα, της λεκάνης ανάντη των Κρεμαστών με τη λεκάνη ανάντη του σταθμού στο Αυλάκι και του τελευταίου με τη λεκάνη ανάντη του φράγματος της Μεσοχώρας. Τα δεδομένα που αξιοποιούνται αφορούν στα υδρολογικά έτη από το 10/1970 ως 09/2008.



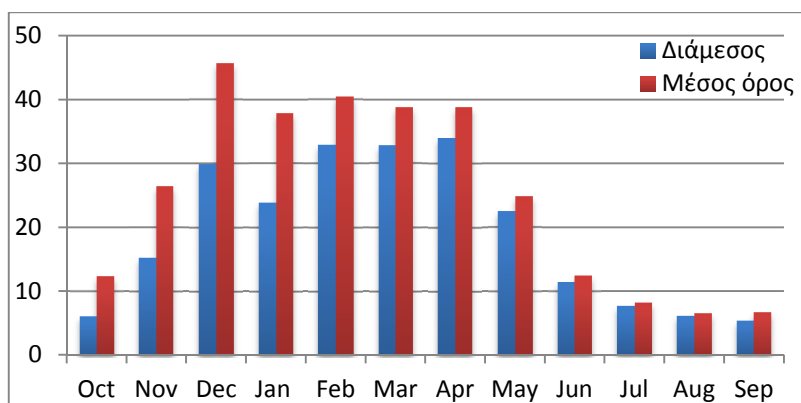
Σχήμα 2.2-2. Γραμμική σχέση των δεδομένων απορροής στη ΛΑΠ Αυλακίου και τη ΛΑΠ Μεσοχώρας



Σχήμα 2.2-3. Γραμμική σχέση των δεδομένων απορροής στη ΛΑΠ Κρεμαστών και ΛΑΠ Αυλακίου

2.2.1.2 Δείκτες Υδρολογικής Τροποποίησης (Richter, et al., 1996)

Χρησιμοποιείται το λογισμικό Indicators of Hydrologic Alteration (IHA) v.7.1, διαθέσιμο στο διαδίκτυο (The Nature Conservancy, 2009), το οποίο υλοποιεί μια πολύ λεπτομερή ανάλυση της χρονοσειράς ημερήσιων παροχών. Υπολογίζονται 33 υδρολογικές παράμετροι, οι οποίες χαρακτηρίζουν τις στατιστικές ιδιότητες του καθεστώτος ροής. Εφαρμόζεται η μη παραμετρική ανάλυση, οπότε τα δεδομένα θα αναλυθούν βάσει των διάμεσων τιμών και ποσοστών. Αυτό γίνεται γιατί τα δεδομένα δεν υπακούουν σε κανονική κατανομή και, άρα, μεμονωμένα έντονα φαινόμενα μετατοπίζουν το μέσο όρο της μηνιαίας παροχής δίνοντας εσφαλμένη εικόνα του υδρολογικού καθεστώτος. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι το Δεκέμβριο οι μεγάλες πλημμύρες που παρατηρούνται καταλήγουν σε ένα μέσο όρο $45,68\text{m}^3/\text{s}$ και από την άλλη η διάμεσος τιμή, που τελικά υποδεικνύει τη «συνηθισμένη» παροχή του ποταμού για την εποχή, είναι $29,9\text{m}^3/\text{s}$.



Σχήμα 2.2-4. Σύγκριση παραμετρικής (μέσοι όροι μηνιαίων παροχών) και μη παραμετρικής ανάλυσης (διάμεσες παροχές)

Οι 33 δείκτες ταξινομούνται σε 5 Ομάδες. Στον Πίνακα 2.2-1, πέρα από τους δείκτες παρουσιάζονται και κάποιες επιδράσεις, ενδεικτικά, που μπορεί να έχουν αυτού του είδους οι ροές στο οικοσύστημα (Richter, et al., 1998).

Πίνακας 2.2-1. Συνοπτική παρουσίαση των Δεικτών Υδρολογικής Τροποποίησης και ενδεικτικές επιδράσεις στο οικοσύστημα

Ομάδα Δεικτών IHA	Στατιστική ερμηνεία	Επιδράσεις στο οικοσύστημα
<u>Ομάδα #1</u> Μηνιαία ποσοτικά μεγέθη απορροής	Διάμεσος τιμή μηνιαίας παροχής, ή Μέση παροχή (m^3/s) (12 παράμετροι)	<ul style="list-style-type: none"> • Διαθεσιμότητα ενδιαιτημάτων για υδρόβιους οργανισμούς • Διαθεσιμότητα υγρασίας για παρόχθια βλάστηση • Διαθεσιμότητα και αξιοπιστία πόσιμου νερού για την πανίδα • Διαθεσιμότητα τροφής για γουνοφόρα θηλαστικά • Πρόσβαση αρπαχτικών σε φωλιές • Επίδραση στη θερμοκρασία του νερού, τα επίπεδα οξυγόνου και τη φωτοσύνθεση
<u>Ομάδα #2</u> Ποσοτικά μεγέθη και	• Ελάχιστη παροχή (κινούμενοι μέσοι όροι) σε χρονικές	• Ισοζύγιο ανταγωνιστικών, χερσαίων και ανθεκτικών σε συνθήκες πίεσης οργανισμών

<p>διάρκεια ακραίων ροών</p>	<p>κλίμακες 1, 3, 7, 30 και 90 ημερών (m^3/s)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Μέγιστη παροχή (κινούμενοι μέσοι όροι) σε χρονικές κλίμακες 1, 3, 7, 30 και 90 ημερών (m^3/s) • Πλήθος ημερών με μηδενική ροή • Δείκτης βασικής ροής (ελάχιστη παροχή 7 ημερών προς μέση ετήσια παροχή) <p>(12 παράμετροι)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Δημιουργία θέσεων αποικίας φυτών • Διαμόρφωση υδατικών οικοσυστημάτων μέσω βιοτικών και αβιοτικών παραγόντων • Διαμόρφωση μορφολογίας ποταμών και φυσικών συνθηκών για ενδειατήματα • Καταστάσεις πίεσης στα φυτά λόγω ανεπαρκούς διαθεσιμότητας υγρασίας • Αφυδάτωση ζώων • Καταστάσεις πίεσης στα φυτά λόγω αναερόβιων συνθηκών • Ανταλλαγές θρεπτικών μεταξύ ποταμού και πλημμυροπεδιάδας • Διάρκεια εντατικών καταστάσεων σχετικών με χαμηλή περιεκτικότητα οξυγόνου και συγκεντρώσεις χημικών στο υδατικό περιβάλλον • Κατανομή κοινοτήτων χλωρίδας σε λίμνες, τέλματα και πλημμυροπεδιάδες • Διάρκεια υψηλών ροών για απόθεση αποβλήτων και αερισμό των περιοχών ωοτοκίας στον πυθμένα
<p><u>Ομάδα #3</u> Χρόνος πραγματοποίησης ακραίων τιμών</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Ιουλιανή ημέρα εμφάνισης μέγιστης ημερήσιας παροχής • Ιουλιανή ημέρα εμφάνισης ελάχιστης ημερήσιας παροχής <p>(2 παράμετροι)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Συμβατότητα με τους κύκλους ζωής των οργανισμών • Προβλεψιμότητα /αποφυγή συνθηκών πίεσης για τους οργανισμούς • Πρόσβαση σε ειδικά ενδειατήματα κατά τη διάρκεια της αναπαραγωγής ή για την αποφυγή θήρευσης • Ορόσημα για την αναπαραγωγή των αποδημητικών ψαριών
<p><u>Ομάδα #4</u> Συχνότητα και διάρκεια χαμηλών και υψηλών παλμών</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Πλήθος χαμηλών παλμών στη διάρκεια του υδρολογικού έτους • Μέση ή διάμεσος διάρκεια χαμηλών παλμών (ημέρες) • Πλήθος υψηλών παλμών στη διάρκεια του υδρολογικού έτους • Μέση ή διάμεσος διάρκεια υψηλών παλμών (ημέρες) <p>(4 παράμετροι)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Συμβατότητα με τους κύκλους ζωής των οργανισμών • Προβλεψιμότητα/αποφυγή συνθηκών πίεσης για τους οργανισμούς • Πρόσβαση σε ειδικά ενδειατήματα κατά τη διάρκεια της αναπαραγωγής ή για την αποφυγή θήρευσης • Ορόσημα για την αναπαραγωγή των αποδημητικών ψαριών πλημμυροπεδιάδας • Διαθεσιμότητα μεταλλικών ουσιών εδάφους • Πρόσβαση πουλιών σε τροφή, ανάπαυση και θέσεις αναπαραγωγής • Επίδραση στη στερεομεταφορά στην κοίτη και το ποτάμι, και διάρκεια διαταραχών στο υπόστρωμα (υψηλοί παλμοί)
<p><u>Ομάδα #5</u> Ρυθμός και συχνότητα αλλαγών στις συνθήκες ροής</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Ρυθμός ανόδου (μέση ή διάμεσος τιμή θετικών διαφορών μεταξύ διαδοχικών τιμών ημερήσιων παροχών, $m^3/s/d$) • Ρυθμός πτώσης (μέση ή διάμεσος τιμή αρνητικών διαφορών μεταξύ διαδοχικών τιμών ημερήσιων παροχών, 	<ul style="list-style-type: none"> • Πιέσεις στα φυτά λόγω ξηρασίας (επίπεδα πτώσης) • Παγίδευση οργανισμών σε νησίδες και πλημμυροπεδιάδες (επίπεδα ανόδου) • Ένταση οργανισμών χαμηλής κινητικότητας λόγω αποξήρανσης

	$m^3/s/d$ • Πλήθος υδρολογικών αντι-στροφών (3 παράμετροι)	
--	--	--

(πηγή: The Nature Conservancy, 2009)

2.2.1.3 Συνιστώσες Περιβαλλοντικής Ροής (Richter, et al., 1998)

Στη διεθνή βιβλιογραφία έχει δοθεί μεγάλη έμφαση στο γεγονός ότι η ένταση, η διάρκεια και ο χρονισμός (timing) των ακραίων συνθηκών, αλλά και ο ρυθμός μεταβολής της ροής αποτελούν καταλληλότερες παραμέτρους για τη συσχέτιση των συνθηκών ροής με τις λειτουργίες του οικοσυστήματος (Richter, et al., 1997, Mathews & Richter, 2007, Graciela et. al. 2009).

Για την παρακολούθηση αυτών των παραμέτρων, ενδείκνυνται οι 34 δείκτες που υπολογίζει το λογισμικό IHA (The Nature Conservancy, 2009) για τους πέντε διαφορετικούς τύπους ροής ή, αλλιώς, *Συνιστώσες Περιβαλλοντικών Ροών* (Environmental Flow Components, EFC) (Richter, et al., 1998), οι οποίες περιγράφονται παρακάτω (The Nature Conservancy, 2009. Indicators of Hydrologic Alteration Version 7.1 User's Manual).

Οι **χαμηλές ροές (low flows)** αποτελούν τον κυρίαρχο τύπο ροής στα περισσότερα ποτάμια. Οφείλονται στην αργή εκφόρτιση της βροχόπτωσης διαμέσου του εδάφους και υδροφορέα (βασική ροή). Τα εποχιακά μεταβαλλόμενα επίπεδα της βασικής ροής καθορίζουν τα διαθέσιμα για το μεγαλύτερο ποσοστό του χρόνου ενδιαιτήματα και προσδιορίζουν τους οργανισμούς που δύναται να αναπτυχθούν στον ποταμό. Στη διάρκεια των **εξαιρετικά χαμηλών ροών (extreme low flows)** η χημεία του νερού, η θερμοκρασία του καθώς και η διαθεσιμότητα του διαλυμένου οξυγόνου μπορούν να δημιουργήσουν συνθήκες έντονης πίεσης, οδηγώντας σε σημαντική θνησιμότητα. Από την άλλη πλευρά, μπορεί να συγκεντρώσουν άφθονη λεία για κάποια είδη, ή μπορεί να είναι αναγκαίες για την αποστράγγιση των χαμηλότερων πεδινών περιοχών, επιτρέποντας την αναγέννηση συγκεκριμένων τύπων φυτών. Στη διάρκεια σύντομων καταιγίδων ή περιόδων τήξης του χιονιού, η στάθμη του ποταμού ανεβαίνει πάνω από τα συνήθη επίπεδα της βασικής ροής. Οι **παλμοί υψηλών ροών (high flow pulses)** περιλαμβάνουν κάθε άνοδο της στάθμης που δεν υπερβαίνει ωστόσο τα όρια της συνήθους κοίτης του ποταμού. Αυτοί οι παλμοί παρέχουν σημαντικές και απαραίτητες διαταραχές στη συνήθη ροή του ποταμού. Μάλιστα, όπως θα αναφέρεται και στη συνέχεια, οι παλμοί υψηλών ροών «ειδοποιούν» τις πέστροφες για την έναρξη της αναπαραγωγικής περιόδου και των ανάδρομων μεταναστεύσεων.

Ένα βασικό προκαταρκτικό βήμα για την εφαρμογή της μεθόδου είναι ο ορθός διαχωρισμός των υψηλών και χαμηλών ροών, δηλαδή της επιφανειακής απορροής και της βασικής ροής (base flow). Βάσει του υδρογραφήματος φαίνεται ότι οι θερινές – χαμηλές ροές, οι παροχές δηλαδή Ιουλίου, Αυγούστου, Σεπτεμβρίου, αντιστοιχούν στην πιθανότητα υπέρβασης 75% και με αυτό το κριτήριο θα ταξινομηθούν οι χαμηλές παροχές, που αποτελεί μάλιστα την προεπιλεγμένη τιμή του λογισμικού. Αντίστοιχα, ως υψηλές παροχές ταξινομούνται οι παροχές με πιθανότητα υπέρβασης 20%. Η διαδικασία αυτή αναφέρεται ως «βαθμονόμηση» του λογισμικού.

Στη μέθοδο IHA, ο όρος “**μικρή πλημμύρα**” (**small floods**) υποδηλώνει όλες τις περιπτώσεις που η στάθμη του νερού υπερβαίνει τη συνήθη κοίτη του ποταμού, χωρίς ωστόσο να περιλαμβάνει τις πιο ακραίες, χαμηλής συχνότητας πλημμύρες. Τα ισχυρά πλημμυρικά επεισόδια διευκολύνουν τα ψάρια κι άλλους οργανισμούς να κινηθούν ανάντη και κατάντη της ροής καθώς και πλευρικά (σε

πλημμυροπεδιάδες και πλημμυρισμένα έλη), αποκτώντας πρόσβαση σε άλλα ενδιαιτήματα. Οι **μεγάλες πλημμύρες (large floods)** συνήθως αναδιαμορφώνουν τόσο την φυσική όσο και την βιολογική δομή του ποταμού και των πλημμυροπεδιάδων του. Τέτοιου μεγέθους πλημμύρες μπορούν να εκτοξεύσουν μακριά στην κυριολεξία πολλούς οργανισμούς, με συνέπεια την καταστροφή ορισμένων πληθυσμών, αλλά μπορούν και να δημιουργήσουν νέες πλεονεκτικές συνθήκες για κάποια είδη. Και σε αυτήν την περίπτωση, δεν προέκυψε λόγος να μην επιλεχθούν οι προεπιλεγμένες τιμές του λογισμικού. Επομένως, για τις μικρές πλημμύρες ως περίοδος επαναφοράς ορίστηκαν τα 2 έτη, ενώ για τις μεγάλες τα 10 έτη.

Πίνακας 2.2-2. Συνοπτική παρουσίαση των Συνιστωσών Περιβαλλοντικών Ροών και ενδεικτικές επιδράσεις στο οικοσύστημα

Ομάδα Τύπων Ροών	Στατιστική ερμηνεία	Επιδράσεις στο οικοσύστημα
#1 Μηνιαίες χαμηλές ροές	Διάμεσος τιμή μηνιαίας παροχής, ή Μέση παροχή (m^3/s) (12 παράμετροι)	<ul style="list-style-type: none"> • Διαθεσιμότητα ενδιαιτημάτων για υδρόβιους οργανισμούς • Διατήρηση κατάλληλων τιμών θερμοκρασίας νερού, διαλυμένου οξυγόνου και χημικών ιδιοτήτων του νερού • Διατήρηση κατάλληλου επιπέδου στάθμης στις πλημμυροπεδιάδες και υγρασίας για την παρόχθια βλάστηση • Διαθεσιμότητα και αξιοπιστία πόσιμου νερού για την πανίδα • Διευκόλυνση μετακίνησης των ψαριών προς τις περιοχές ωοτοκίας • Κάλυψη των αυγών ιχθύων και αμφίβιων • Προστασία των οργανισμών που ζουν στα κορεσμένο υπόστρωμα του ποταμού
#2 Εξαιρετικά χαμηλές παροχές	Συχνότητα εμφάνισης εξαιρετικά χαμηλών ροών ανά υδρολογικό έτος ή ορισμένη περίοδο Μέση ή Διάμεσος τιμή: <ul style="list-style-type: none"> • Διάρκεια (μέρες) • Αιχμή ροής (ελάχιστη τιμή παροχής στη διάρκεια του φαινομένου) • Χρονισμός (Ιουλιανή μέρα της αιχμής της ροής) (4 παράμετροι)	<ul style="list-style-type: none"> • Ενίσχυση κάποιων φυτικών ειδών των πλημμυροπεδιάδων • Αποβολή αλλόχθονων ειδών • Συγκέντρωση θηραμάτων σε περιορισμένες περιοχές προς όφελος των αρπακτικών
#3 Παλμοί υψηλών ροών	Συχνότητα εμφάνισης παλμών υψηλών ροών ανά υδρολογικό έτος ή ορισμένη περίοδο Μέση ή Διάμεσος τιμή: <ul style="list-style-type: none"> • Διάρκεια (μέρες) • Αιχμή ροής (μέγιστη τιμή παροχής στη διάρκεια του φαινομένου) • Χρονισμός (Ιουλιανή μέρα της αιχμής της ροής) • Ρυθμός αύξησης και μείωσης της παροχής 	<ul style="list-style-type: none"> • Σχηματισμός του φυσικού χαρακτήρα του ποταμού, συμπεριλαμβανομένων των ποταμολίμνιων, κλπ • Καθορίζεται το μέγεθος των υλικών του υποστρώματος (άμμος, χαλίκια, κροκάλες) • Αποτρέπεται η εισβολή της παρόχθιας βλάστησης στην κοίτη του ποταμού • Επαναφορά κανονικών συνθηκών ποιότητας νερού έπειτα από παρατεταμένες χαμηλές ροής μέσω της έκλυσης αποβλήτων και ρύπων • Δημιουργία ευνοϊκών συνθηκών αερισμού των αυγών ανάμεσα στα χαλίκια και πρόληψη

	(6 παράμετροι)	<p>προσάμμιωσης</p> <ul style="list-style-type: none"> • Διατήρηση καλών συνθηκών αλατότητας στις εκβολές του ποταμού
#4 Μικρές πλημμύρες	<p>Συχνότητα εμφάνισης μικρών πλημμυρών ανά υδρολογικό έτος ή ορισμένη περίοδο</p> <p>Μέση ή Διάμεσος τιμή:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Διάρκεια (μέρες) • Αιχμή ροής (μέγιστη τιμή παροχής στη διάρκεια του φαινομένου) • Χρονισμός (Ιουλιανή μέρα της αιχμής της ροής) • Ρυθμός αύξησης και μείωσης της παροχής <p>(6 παράμετροι)</p>	<p>Ισχύει για μικρές και μεγάλες πλημμύρες:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Σηματοδοτεί την έναρξη της μετανάστευσης και της αναπαραγωγικής περιόδου • Δίνεται έναυσμα για την έναρξη νέου κύκλου ζωής (επί παραδείγματι των εντόμων) • Διευκόλυνση εναπόθεσης των αυγών των ψαριών στις πλημμυροπεδιάδες • Νέες περιοχές για την ανεύρεση τροφής για τα διάφορα είδη ιχθύων και υδρόβιων πτηνών • Φόρτιση πλημμυρικών υδροφόρων οριζόντων • Διατήρηση της ποικιλομορφίας στα παρόχθια δάση • Απόθεση θρεπτικών στοιχείων στις όχθες του ποταμού
#5 Μεγάλες πλημμύρες	<p>Συχνότητα εμφάνισης μεγάλων πλημμυρών ανά υδρολογικό έτος ή ορισμένη περίοδο</p> <p>Μέση ή Διάμεσος τιμή:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Διάρκεια (μέρες) • Αιχμή ροής (μέγιστη τιμή παροχής στη διάρκεια του φαινομένου) • Χρονισμός (Ιουλιανή μέρα της αιχμής της ροής) • Ρυθμός αύξησης και μείωσης της παροχής <p>(6 παράμετροι)</p>	<p>Ισχύει για μικρές και μεγάλες πλημμύρες:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Διατήρηση ισορροπίας μεταξύ υδρόβιων και παρόχθιων ειδών • Δημιουργία νέων θέσεων για την επέκταση των φυτικών ειδών • Σχηματισμός φυσικών ενδιαιτημάτων και εναπόθεση χαλικιών και κροκάλων για την ωτοκία των ψαριών • Έκπλυση οργανικών υλικών (τροφή) και υπολειμμάτων ξύλου (χρήσιμων ως υλικά φωλιών) • Αποβολή αλλόχθονων ειδών • Μεταφορά σπόρων παρόχθιων φυτών σε μεγάλες αποστάσεις • Δημιουργία παράπλευρων ενδιαιτημάτων (δευτερεύοντες κλάδοι, κοίλων λιμνών, κλπ) • Δημιουργία ευνοϊκών συνθηκών υγρασίας για τα παρόχθια φυτά

(πηγή: The Nature Conservancy, 2009)

Όπως επισημαίνεται στην παράγραφο 2.4. Βιοτικές παράμετροι ως κριτήρια αξιολόγησης, μία σημαντική παράμετρος που πρέπει να εξεταστεί είναι η σταθερότητα της ροής, καθώς εκτιμάται ότι οι πέστροφες αλλά και οι υπόλοιποι οργανισμοί που διαβιούν στο ποτάμιο οικοσύστημα αντιδρούν στις μεταβολές της ροής. Το καθεστώς ροής ενός ποταμού μπορεί να χαρακτηρίζεται από σταθερή ροή, δηλαδή ροή χωρίς πολλές μεταβολές, ή από περιοδικότητα, δηλαδή οι μεταβολές της ροής να επαναλαμβάνονται σε σταθερό χρονικό βήμα. Με αυτόν τον τρόπο εκτιμάται και η προβλεψιμότητα της ροής του ποταμού. Με το λογισμικό IHA υπολογίζεται ο λόγος Σταθερότητας/Προβλεψιμότητας της ροής και ο Δείκτης Προβλεψιμότητας. Έτσι, όσο μεγαλύτερος είναι ο λόγος Σταθερότητας/Προβλεψιμότητας τότε η ροή του ποταμού τείνει να είναι σταθερή χωρίς πολλές μεταβολές. Αντίθετα, αν ο λόγος αυτός είναι μικρός και ο Δείκτης Προβλεψιμότητας μεγαλύτερος, τότε, ευνόητα, η ροή του ποταμού εμφανίζει περισσότερες και εποχικές μεταβολές.

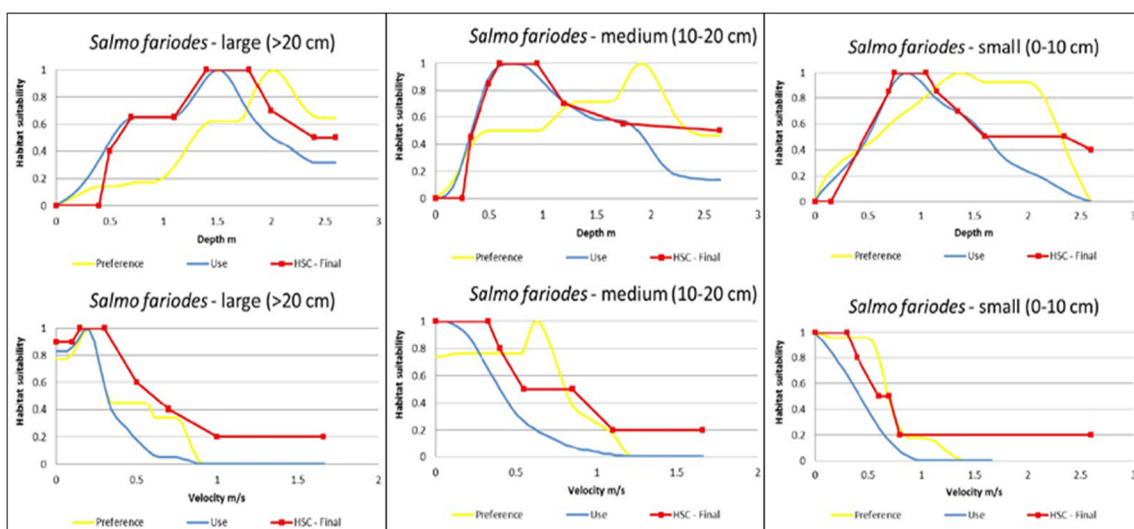
2.2.2 Προσομοίωση ενδιαιτημάτων / Υδρο-οικολογικό εργαλείο ECOFLOW

Η Μέθοδος Ενδοποτάμιας Αυξητικής Ροής (In-stream Flow Incremental Methodology, IFIM) ανήκει στην κατηγορία των μεθόδων προσομοίωσης ενδιαιτημάτων και διεθνώς έχει εφαρμοστεί περισσότερο από όλες τις μεθοδολογίες της κατηγορίας (Tharme, 2003). Με τη μέθοδο αυτή ποσοτικοποιείται η σχέση μεταξύ της ροής και των ενδιαιτημάτων. Προϊόν της μεθόδου αποτελεί η Σταθμισμένη Κατάλληλη Έκταση (WUA) για κάθε είδος ενδιαιτημάτων που εξετάζεται. Στη μέθοδο αυτή εμπεριέχονται οι υδραυλικές και υδρολογικές συνθήκες της περιοχής μελέτης, οι οποίες λαμβάνονται υπόψη για το σχεδιασμό και την εκτίμηση των Καμπυλών Καταλληλότητας Ενδιαιτήματος. Η Σταθμισμένη Κατάλληλη Έκταση Ενδιαιτήματος προκύπτει από το συνδυασμό των Καμπυλών Καταλληλότητας Ενδιαιτήματος και από τα αποτελέσματα των υδραυλικών μοντέλων (PHABSIM).

Στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος ECOFLOW (2015) αναπτύχθηκε ένα υδρο-οικολογικό μοντέλο το οποίο συνδυάζει τα υδραυλικά χαρακτηριστικά της ροής του ποταμού με την βιολογία των ψαριών, ώστε να υπολογίζει την βέλτιστη ελάχιστη οικολογική παροχή σε ποτάμια συστήματα κατόπιν υδραυλικών έργων. Η μεθοδολογία που εφαρμόστηκε ακολούθησε τις ίδιες αρχές με την IFIM και η εκτίμηση της οικολογικής παροχής προέκυψε ως συνδυασμός των υδραυλικών χαρακτηριστικών της ροής και των αποτελεσμάτων από την παρατήρηση που αφορούν τις «προτιμήσεις» των ψαριών σε τέσσερις βασικές παραμέτρους (βάθος, ταχύτητα, υπόστρωμα και κάλυψη) σε επίπεδο μικροενδιαιτήματος, όπως περιγράφεται λεπτομερέστερα στις επόμενες παραγράφους.

2.2.2.1 Καμπύλες Καταλληλότητας Ενδιαιτήματος

Με τις Καμπύλες Καταλληλότητας Ενδιαιτήματος (Habitat Suitability Curves - HSC) αποδίδεται δείκτης καταλληλότητας από μηδέν ως ένα σε κάθε εξεταζόμενη παράμετρο. Διακρίνονται, ανάλογα με τον τρόπο που έχουν αναπτυχθεί (Bovee, 1986), σε εκείνες που βασίζονται στη γνώμη των ειδικών (Τύπος I), σε εκείνες που παράγονται με επιτόπια παρατήρηση (Καμπύλες Καταλληλότητας Χρήσης Ενδιαιτήματος – Τύπος II) και, τέλος, στις Καμπύλες Καταλληλότητας Προτιμήσεως Ενδιαιτήματος (Τύπος III). Στο έργο Ecoflow χρησιμοποιήθηκαν οι δύο τελευταίοι τύποι καμπυλών, για να προκύψει μία τελική καμπύλη για κάθε μελετώμενη παράμετρο.



Εικόνα 2.2-1. Καμπύλες καταλληλότητας (προτίμησης, χρήσης και τελικές) για τα τρία μεγέθη πέστροφας

(πηγή: Παραδοτέο Ecoflow “Π.3.1: Δείκτες καταλληλότητας οικοτόπων και οι σχετικοί αλγόριθμοι για την ανάπτυξη του υδροοικολογικού μοντέλου”)

Ως περιοχή μελέτης για την Ιονική πέστροφα (*Salmo farioides*; Karaman, 1938) επιλέχθηκε ο ποταμός Βοϊδομάτης, όπου εφαρμόστηκε η τεχνική της υποβρύχιας παρατήρησης, δηλαδή καταγράφηκαν τα σημεία όπου παρατηρήθηκε η παρουσία (ή απουσία) του ψαριού ανά τμήμα του ποταμού ή διατομή, όπως και το είδος και το μέγεθος του ψαριού, το υπόστρωμα, η κάλυψη, η δραστηριότητα, η απόσταση από το έδαφος και ο αριθμός των ψαριών και, τέλος, το βάθος, η μέση ταχύτητα και η σημειακή ταχύτητα (στη μύτη των ψαριών). Με τα δεδομένα αυτά και μέσω κατάλληλου λογισμικού (R Core Team (2013)) υπολογίζονται οι Καμπύλες Καταλληλότητας για τρία μεγέθη: 0-10cm, 10-20cm, >20cm.

2.2.2.2 Σταθμισμένη Κατάλληλη Έκταση

Η σταθμισμένη κατάλληλη έκταση (Weighted Usable Area – WUA) προκύπτει από τον συνδυασμό των αποτελεσμάτων του υδραυλικού μοντέλου και του μοντέλου προσομοίωσης ενδαιτημάτων, δηλαδή από τον πολλαπλασιασμό της έκτασης του κάθε κελιού του ψηφιδωτού αρχείου του υδραυλικού μοντέλου με τις αντίστοιχες τιμές του σύνθετου δείκτη καταλληλότητας για όλες τις παραμέτρους που προσομοιώθηκαν (βάθος, ταχύτητα, είδος υποστρώματος), για μία τιμή παροχής. Υπολογίζεται η κατάλληλη σταθμισμένη έκταση για κάθε σενάριο παροχής, υπολογίζοντας τα αντίστοιχα βάθη, ταχύτητες και τύπους υποστρώματος. Η γραφική παράσταση των ζευγών WUA – Q αποτελεί την καμπύλη της Σταθμισμένης Κατάλληλης Έκτασης ενδιαίτηματος για κάθε παροχή για ένα συγκεκριμένο είδος ενδιαφέροντος και στάδιο ανάπτυξης και απεικονίζει το ποσοστό της έκτασης διαθέσιμου ενδιαίτηματος με δείκτη καταλληλότητας μεγαλύτερο από 0,5 για τα διάφορα σενάρια παροχών. Η παροχή για την οποία μεγιστοποιείται το ποσοστό κατάλληλης έκτασης αποτελεί και τη βέλτιστη ελάχιστη οικολογική παροχή.

2.2.3 Οικολογική παροχή σύμφωνα με την ελληνική νομοθεσία

Κρίνεται σκόπιμο η ίδια διαδικασία αξιολόγησης να εφαρμοστεί και για την οικολογική παροχή που προτείνεται από την ελληνική νομοθεσία. Αρχικά, στο Άρθρο 2 της υπ’ αρ. Δ6/Φ1/οικ. 12160 (ΦΕΚ Β’ 1552/3.8-1999) Υπουργικής Απόφασης ορίστηκε ως κριτήριο πρόκρισης των υποβαλλόμενων αιτήσεων για παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας ο βαθμός ενεργειακής αξιοποίησης, με σκοπό τη βέλτιστη αξιοποίηση του υφιστάμενου ανά θέση υδατικού δυναμικού χωρίς επίπτωση στην οικολογική παροχή και τις ποσότητες νερού που απαιτούνται για άλλες χρήσεις (π.χ. ύδρευση). Η οικολογική παροχή σε αυτή την περίπτωση προσδιορίστηκε στο 30% της μέσης παροχής θερινών μηνών. Σύμφωνα με την υπ’ αρ. 49828 Απόφαση (ΦΕΚ Β’ 2464/3-12-2008) της Επιτροπής Συντονισμού της Κυβερνητικής Επιτροπής στον Τομέα του Χωροταξικού Σχεδιασμού και της Αειφόρου Ανάπτυξης και το Άρθρο 16 αυτής προβλέπεται ότι μέχρι να καθορισθούν τα κριτήρια της ελάχιστης απαιτούμενης οικολογικής παροχής ανά λεκάνη απορροής, ως ελάχιστη απαιτούμενη οικολογική παροχή νερού που παραμένει στη φυσική κοίτη υδατορεύματος αμέσως κατάντη του έργου υδροληψίας του υπό χωροθέτηση Μ.ΥΗ.Ε. πρέπει να εκλαμβάνεται το μεγαλύτερο από τα πιο κάτω μεγέθη, εκτός αν απαιτείται τεκμηριωμένα η αύξησή της, λόγω των απαιτήσεων του κατάντη οικοσυστήματος (ύπαρξη σημαντικού οικοσυστήματος):

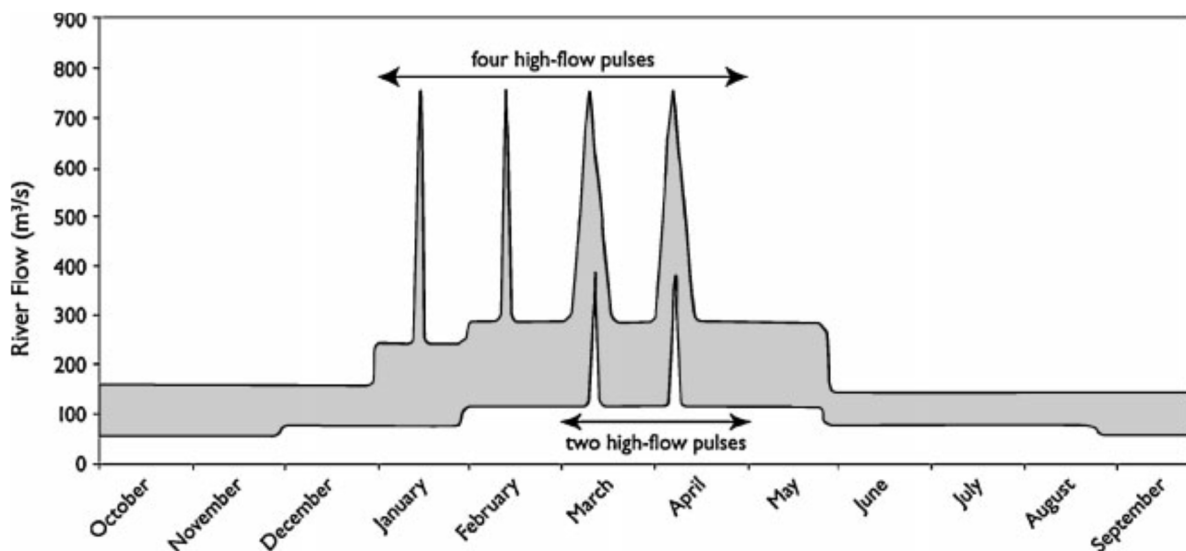
- 30% της μέσης παροχής των θερινών μηνών Ιουνίου – Ιουλίου – Αυγούστου ή
- 50% της μέσης παροχής του μηνός Σεπτεμβρίου ή
- 30 lt/sec σε κάθε περίπτωση

Η κατεύθυνση αυτή, παρόλο που αφορά στην αδειοδότηση μικρών υδροηλεκτρικών έργων, εφαρμόζεται και σε άλλα έργα υδατικής αξιοποίησης καθώς δεν έχει θεσπιστεί σχετική νομοθεσία που να τα αφορά. Ως μέθοδος μπορεί να ενταχθεί στις υδρολογικές μεθοδολογίες υπολογισμού, καθώς για τον υπολογισμό χρησιμοποιούνται υδρολογικά δεδομένα μηνιαίων παροχών.

2.3 Αρχικές προτάσεις παροχών

2.3.1 Ανάλυση Εύρους Μεταβλητότητας

Σύμφωνα με τη μέθοδο Ανάλυσης Εύρους Μεταβλητότητας στο στάδιο αυτό προτείνονται τα επιτρεπτά όρια των Δεικτών Υδρολογικής Τροποποίησης που θα πρέπει να τηρούνται κατά τη λειτουργία του έργου, περιγράφοντας έτσι το νέο υδρολογικό καθεστώς. Τα όρια αυτά μπορεί να περιγράφονται από κάποιο πολλαπλάσιο της τυπικής απόκλισης προσθαφαιρούμενο στη μέση τιμή του δείκτη, για την παραμετρική ανάλυση, ή μεταξύ 25^{ου} και 75^{ου} ποσοστημορίου, για τη μη παραμετρική ανάλυση (Richter, et al., 1998).



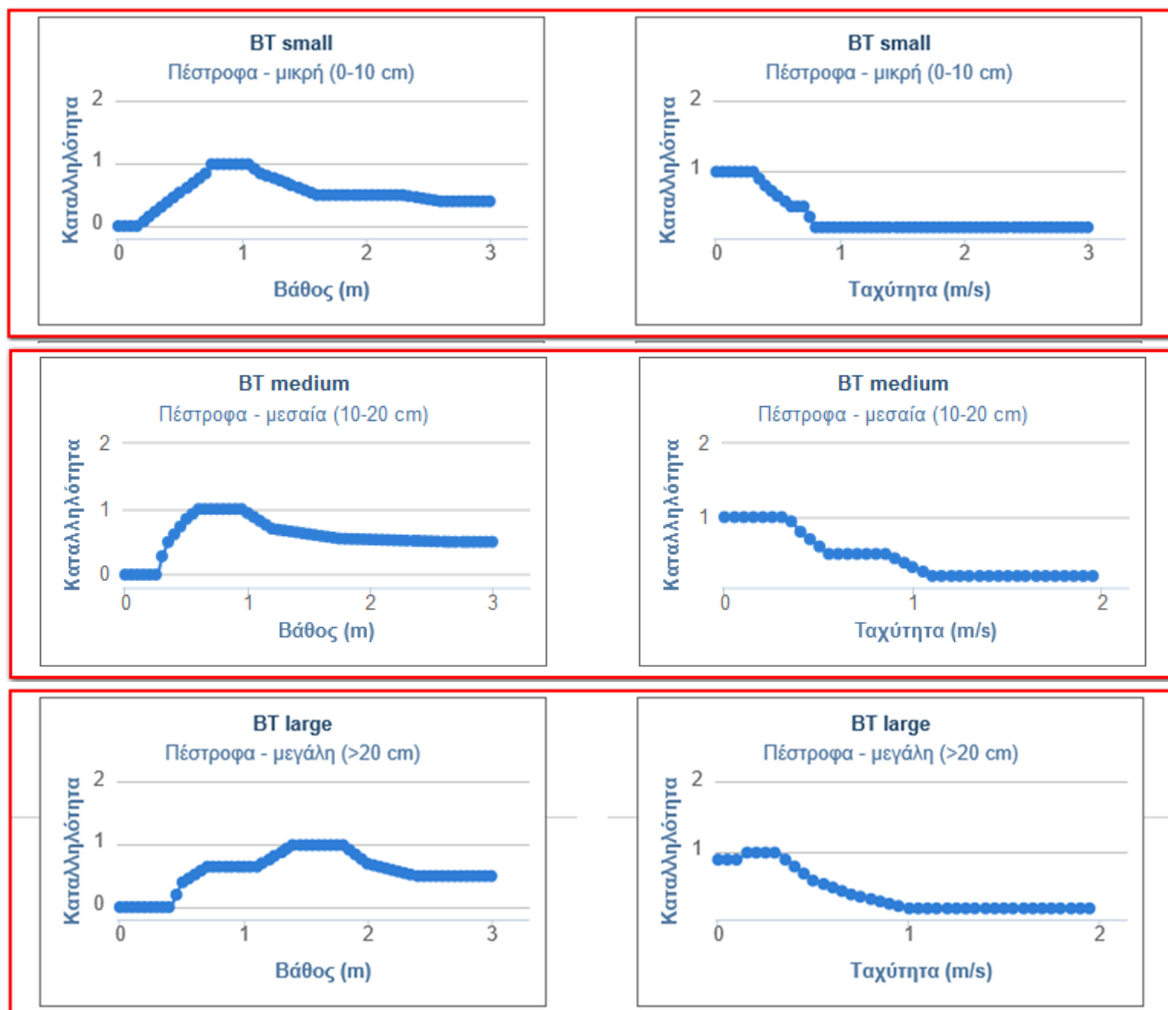
Εικόνα 2.3-1. Διάγραμμα προτεινόμενων παροχών μέσω της Ανάλυσης του Εύρους Μεταβλητότητας (μέση μηνιαία παροχή και υψηλοί παλμοί). Η σκιαγραφημένη περιοχή του διαγράμματος συμβολίζει την παροχή μεταξύ των ποσοστημορίων 25% και 75%. (Richter, et al., 2006)

Ο Richter και οι συνεργάτες (2006, 2007) περιγράφουν την περίπτωση της μελέτης του μέσου ρου του ποταμού Savannah των ΗΠΑ, όπου αποδεκτό εύρος της μέσης μηνιαίας παροχής ήταν η μέση απορροή που εμπίπτει στο 50% συχνότητας εμφάνισης, η οποία στην **Εικόνα 2.3-1** απεικονίζεται ως σκιαγραφημένη περιοχή και πρακτικά αποτελεί το $\pm 25\%$ της διαμέσου τιμής της παροχής του φυσικού καθεστώτος ροής. Με άλλα λόγια, το αποδεκτό εύρος παροχών προσδιορίστηκε βάσει των συνιστωσών περιβαλλοντικών ροών. Οι χαμηλές (κάτω όριο) και υψηλές ροές στην καμπύλη διάρκειας αντιστοιχούν σε πιθανότητα υπέρβασης κατά 75% και 25%, αντίστοιχα. Με τον τρόπο αυτό, κατηγοριοποιήθηκαν τα προσεχή υδρολογικά έτη ως χαμηλής, μέσης ή υψηλής απορροής (dry, average, wet). Θεωρήθηκε ότι στα πιο ξηρά έτη θα πρέπει να τηρείται τουλάχιστον το όριο του ποσοστημορίου 25%, δηλαδή οι “χαμηλές ροές” (κάτω όριο στην Εικόνα 2.3-1), ενώ σε ένα πιο υγρό έτος η παροχή του ποταμού θα πλησιάζει περισσότερο στο άνω όριο του διαγράμματος.

Η προεπιλεγμένη τιμή 25% των μετρημένων ημερήσιων παροχών για τον ορισμό των χαμηλών ροών φαίνεται να είναι κατάλληλη και για την υπό μελέτη περίπτωση. Εν κατακλείδι, οι χαμηλές ροές αποτελούν την ελάχιστη (μηνιαία) οικολογική παροχή που προτείνεται να αφήνεται στον ποταμό, και εφεξής θα αναφέρεται εν συντομία ως «οικολογική παροχή».

2.3.2 Αποτελέσματα Υδρο-οικολογικού εργαλείου Ecoflow

Για το ερευνητικό έργο ecoflow εφαρμόστηκε μεθοδολογία, η οποία ανήκει στην κατηγορία της προσομοίωσης ενδιατημάτων και περιγράφεται λεπτομερέστερα στην παράγραφο 2.2.2, για την εκτίμηση της βέλτιστης ελάχιστης οικολογικής παροχής. Για τις ανάγκες του έργου χρησιμοποιήθηκαν δύο είδη-στόχοι, η ιονική πέστροφα (*Salmo farioides*; Karaman, 1938) και ο Ποταμοκέφαλος (*Squalius* sp. *Eninos*), τα οποία θεωρήθηκαν ενδημικά της περιοχής του Άνω Ρου του Αχελώου. Σε ανάλογη λογική της μεθόδου IFIM, η ελάχιστη οικολογική παροχή προκύπτει ως το μέγιστο της καμπύλης της Σταθμισμένης Κατάλληλης Έκτασης. Στη διαδικτυακή πλατφόρμα <http://ecoplatform.mygis.gr/> είναι ελεύθερα διαθέσιμες οι καμπύλες των δεικτών καταλληλότητας για το βάθος και την ταχύτητα για τα δύο αυτά είδη και για τα τρία στάδια ανάπτυξης (0-10cm (fry), 10-20cm (juvenile), >20cm (adult)) (Εικόνα 2.3-2).



Εικόνα 2.3-2. Καμπύλες δείκτη καταλληλότητας ενδιατημάτων για (από πάνω προς τα κάτω) τη μικρή, τη μεσαία και τη μεγάλη πέστροφα. (πηγή: <http://ecoplatform.mygis.gr/>)

Στην εν λόγω διαδικτυακή πλατφόρμα δίνεται η δυνατότητα ο εκάστοτε χρήστης να αξιοποιήσει τα δεδομένα ενδιαίτηματος των δύο αυτών ειδών και εισάγοντας τα αποτελέσματα της υδραυλικής προσομοίωσης για την περιοχή που μελετά, να καταλήξει σε μία τιμή οικολογικής παροχής. Έχοντας αυτή τη δυνατότητα, θεωρήθηκε ωφέλιμο να αξιολογηθούν με την προτεινόμενη μεθοδολογία τα αποτελέσματα ενός ακόμα τρόπου εκτίμησης της οικολογικής παροχής, αυτού της προσομοίωσης ενδιαιτημάτων. Έτσι, πραγματοποιήθηκε η υδραυλική προσομοίωση για διάφορες παροχές (0.7, 1.2, 1.5, 2, 2.5, 3.5, 5, 6.7, 7.9, 9, 13 και 18m³/s) και τα αρχεία που προέκυψαν εισήχθησαν στην διαδικτυακή πλατφόρμα. Τα αποτελέσματα της διαδικασίας αυτής παρατίθενται στην παράγραφο 3.1.2.

2.4 Βιοτικές παράμετροι ως κριτήρια αξιολόγησης

Στις προηγούμενες παραγράφους περιγράφονται τρεις διαφορετικές μέθοδοι για την εκτίμηση της ελάχιστης οικολογικής παροχής στο υπό μελέτη τμήμα του Άνω Αχελώου. Έχοντας κάνει την ανάλυση αυτή, απομένει να εξεταστεί το κατά πόσο οι προτεινόμενες παροχές πράγματι καλύπτουν τις ανάγκες του οικοσυστήματος. Προκειμένου να εξακριβωθεί κάτι τέτοιο καθορίστηκαν κάποια οικολογικά κριτήρια με βάση τις προτιμήσεις ενός συγκεκριμένου είδους του ποταμού (βιοδείκτη). Στις επόμενες παραγράφους περιγράφεται το πώς επιλέχθηκε ο κατάλληλος βιοδείκτης, εν προκειμένω η Ιονική πέστροφα (*Salmo farioides*), καθώς και τα χαρακτηριστικά της οικολογίας του. Σημειώνεται, ακόμα, ότι οι παρακάτω βιβλιογραφικές πληροφορίες λήφθηκαν υπόψη και κατά τη διαδικασία βαθμονόμησης του λογισμικού ΙΗΑ, στο βαθμό που αυτό ήταν δυνατό.

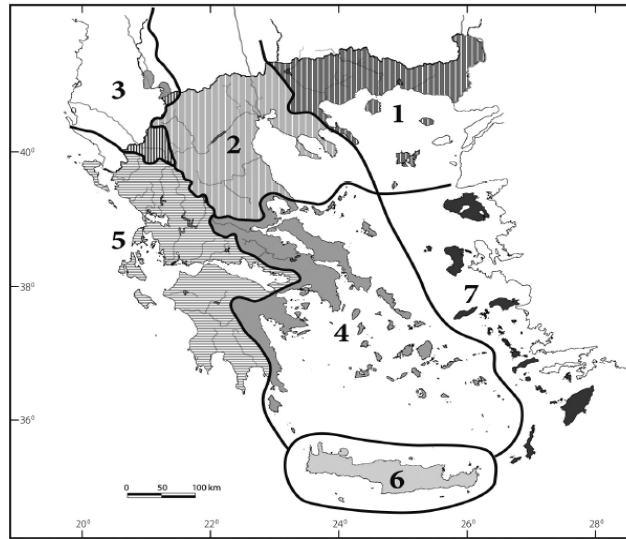
2.4.1 Οικοπεριοχή και βιοτικοί τύποι της περιοχής μελέτης

Αν και δεν αποτελεί αντικείμενο της παρούσας εργασίας το πώς οριοθετούνται οι οικοπεριφέρειες, είναι σημαντικό να αποδοθεί η σωστή ερμηνεία του όρου. Οικοπεριφέρειες αποτελούν οι γεωγραφικές ενότητες εκείνες με κοινά βιογεωγραφικά γνωρίσματα. Ο Ζόγκαρης (2009) συνοψίζει:

«Η έννοια της οικοπεριφέρειας γενικά αναφέρεται σε “διακριτές και αναγνωρίσιμες περιφέρειες που έχουν κοινά χαρακτηριστικά ως προς τα οικοσυστήματά τους”, δηλαδή σχετική ομοιογένεια ή κοινά πρότυπα στα οικοσυστήματα που εμπεριέχουν (ABELL 2002, BAILEY 2005). Αυτές οι οικογεωγραφικές ενότητες γενικά εμπεριέχουν διακριτές φυσικές βιοκοινότητες και περιβαλλοντικές συνθήκες.»

Σύμφωνα με την Οδηγία 2000/60/ΕΚ (Χάρτης Α Παραρτήματος XI), στην Ελλάδα εντοπίζονται 2 Οικοπεριφέρειες για τα επιφανειακά υδατικά συστήματα και, συγκεκριμένα, η Οικοπεριφέρεια 6. Ελληνικά δυτικά Βαλκάνια και 7. Ανατολικά Βαλκάνια. Σύμφωνα με το Ζόγκαρη (2009), οι ζώνες αυτές εξειδικεύονται βάσει, κυρίως, των ζωογεωγραφικών ασυνεχειών (ιχθυοπεριφερειών) μεταξύ των λεκανών απορροής στις εξής προκαταρκτικές οικοπεριφέρειες εσωτερικών υδάτων της Ελλάδας (Ζόγκαρης, 2009):

1. Θράκης,
2. Μακεδονίας-Θεσσαλίας,
3. Νοτιοανατολικής Αδριατικής,
4. Δυτικού Αιγαίου,
5. Ιονίου, (όπου ανήκει η περιοχή μελέτης)
6. Κρήτης,
7. Ανατολικού Αιγαίου.



Εικόνα 2.4-1. Προκαταρκτικός χάρτης προκαταρκτικών οικοπεριφερειών εσωτερικών υδάτων της Ελλάδας.

(πηγή: Ζόγκαρης, 2009)

Ανάλογα με τα ως άνω, στα ορεινά ποτάμια της Δυτικής Ελλάδας εντοπίζονται οι παρακάτω βιοτικοί τύποι βάσει των χαρακτηριστικών των ειδών ιχθυοπανίδας, όπως ρεοφιλία, τρόπος/ενδιαίτημα αναπαραγωγής, κλπ.

A: Βιοτικός Τύπος Πέστροφας. Κυριαρχεί το είδος της *Salmo trutta* (πέστροφα). Σε τμήματα του ποταμού με χαμηλές θερμοκρασίες, μεγάλη κλίση και μεγάλη ταχύτητα ροής αποτελεί το μοναδικό είδος, ενώ σε σχετικά θερμότερα τμήματα συνυπάρχει με το είδος *Barbus peloroponnesius*.

B: Τύπος Πέστροφας-Μπριάνας (Trout -Southern Barbel). Απαντώνται σε αφθονία τα είδη *Salmo trutta* και *Barbus peloroponnesius*, και σε μικρότερο ποσοστό τα είδη *Leuciscus pleurobipunctatus* και *L. cephalus*. Ο τύπος πέστροφας-μπριάνας χαρακτηρίζεται από σχετικά ψυχρά νερά, ηπιότερες κλίσεις σε σύγκριση με τον τύπο πέστροφας και μικρό έως μέτριο πλάτος ενεργού κοίτης.

C: Τύπος Ορεινών Κυπρινοειδών (Montane Cyprinid). Στον τύπο αυτό απαντώνται περισσότερα είδη και κυρίως τα είδη *Leuciscus cephalus*, *L. pleurobipunctatus*, *Barbus peloroponnesius* και *Barbus albanicus* και πολύ σπανιότερα του *Salmo trutta*. Εδώ οι κλίσεις είναι ήπιες και η ταχύτητα ροής μικρή. Η θερμοκρασία είναι υψηλή κατά τους θερινούς μήνες, ενώ συχνά το βάθος και το πλάτος της κοίτης είναι μεγάλο. Έτσι, ο τύπος αυτός διακρίνεται σε δύο υποτύπους. Στον υποτύπο των μικρότερων ποταμών επικρατούν κυρίως τα ψάρια *Barbus peloroponnesius*, *Leuciscus pleurobipunctatus*, *Leuciscus cephalus* και, σε μικρή αφθονία, *Salmo trutta*, ενώ στον υποτύπο των μεγαλύτερων ποταμών συναντώνται και λιμνόφιλα είδη.

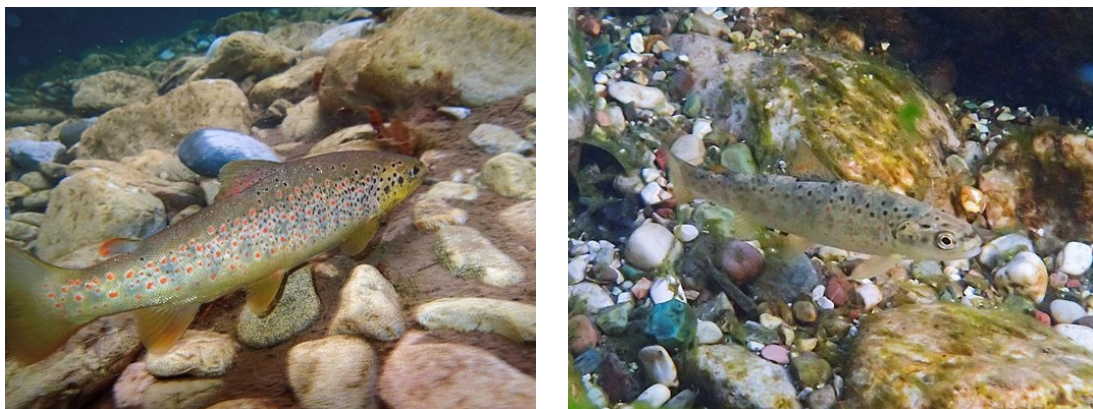
Στον παρακάτω πίνακα (Εικόνα 2.4-2) φαίνονται συνοπτικά οι αβιοτικές παράμετροι που χαρακτηρίζουν τον κάθε βιοτικό τύπο.

	ΤΥΠΟΣ Α (ΠΕΣΤΡΟΦΑΣ)	ΤΥΠΟΣ Β (ΠΕΣΤΡΟΦΑΣ- ΜΠΡΙΑΝΑΣ)	ΤΥΠΟΣ C (ΟΡΕΙΝ. ΚΥΠΡΙΝΟΕΙΔΩΝ)
ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΠΟ ΠΗΓΗ	ΜΙΚΡΗ	ΜΙΚΡΗ – ΜΕΣΑΙΑ	ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΗ
ΕΚΤΑΣΗ ΥΠΟΛΕΚΑΝΗΣ	ΜΙΚΡΗ	ΜΙΚΡΗ – ΜΕΣΑΙΑ	ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΗ
ΥΨΟΜΕΤΡΟ	ΣΥΝΗΘΩΣ > 500 Μ (ΣΠΑΝΙΑ ΕΩΣ 350 Μ)		250– 600 Μ (ΣΠΑΝΙΑ ΕΩΣ 800 Μ)
ΚΛΙΣΗ	> 2 %	≈ 2 %	< 2 %
ΘΕΡΙΝΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΝΕΡΟΥ	< 17 °C	15 - 20 °C	16 - 26 °C
ΣΚΙΑΣΗ	>50% (ΠΟΙΚΙΛΜΕΙ ΠΟΛΥ)	30-60	<30
ΠΛΑΤΟΣ ΚΟΙΤΗΣ	< 6 Μ	5 – 10 Μ	7 – 20 Μ
ΜΕΣΟ ΒΑΘΟΣ	< 30 CM	25 – 35 CM	> 30 CM
ΜΕΓΙΣΤΟ ΒΑΘΟΣ	< 1.5 Μ	< 2 Μ	< 2.5 Μ
ΥΠΟΣΤΡΩΜΑ	> 50 % ΒΡΑΧΟΙ, ΟΓΚΟΛΙΘΟΙ, ΚΡΟΚΑΛΕΣ (ΔΙΑΒΡΩΣΙΓΕΝΗΣ ΖΩΝΗ)	ΜΕΤΑΒΛΗΤΟ ΑΛΛΑ ΠΙΟ ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΟ ΑΠΟ ΤΩΝ ΤΥΠΟ Α	
ΡΟΗ	ΤΑΧΕΙΑ ΚΑΙ ΤΥΡΒΩΔΗΣ ΣΥΧΝΑ ΜΕ ΥΔΑΤΟΠΤΩΣΕΙΣ	ΤΑΧΕΙΑ ΜΕ ΤΥΡΒΩΔΗ ΣΗΜΕΙΑ	ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ ΕΩΣ ΣΤΑΘΕΡΗ
ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΚΟΙΤΗΣ	ΣΤΕΝΟΣ ΔΙΑΥΛΟΣ	ΣΥΝΗΘΩΣ ΣΤΕΝΟΣ Η ΕΛΑΦΡΩΣ ΜΕΑΝΔΡΙΣΤΩΝ ΔΙΑΥΛΟΣ	ΠΟΙΚΙΛΙΑ ΤΥΠΩΝ, ΠΕΡΙΛΑΜΒΑΝΟΝΤΑΣ ΚΑΙ ΔΙΑΚΛΑΔΙΖΟΜΕΝΟ ΠΟΤΑΜΟ
ΟΙΚΟΤΟΠΟΙ	ΥΔΑΤΟΠΤΩΣΕΙΣ, ΤΑΧΥΡΟΑ ΚΑΙ ΑΒΑΘΗ ΤΜΗΜΑΤΑ, ΠΟΛΛΑ ΕΜΠΟΔΙΑ ΚΑΙ ΒΑΘΕΙΣ ΜΙΚΡΕΣ ΠΟΤΑΜΟΛΙΜΝΕΣ	ΜΙΚΡΕΣ ΠΟΤΑΜΟΛΙΜΝΕΣ ΚΑΙ ΚΥΜΑΤΙΣΜΑΤΑ (ΑΒΑΘΕΙΣ ΥΦΑΛΟΙ)	ΜΑΚΡΙΕΣ ΚΑΙ ΗΡΕΜΕΣ ΠΟΤΑΜΟΛΙΜΝΕΣ, ΣΥΧΝΑ ΚΑΙ ΑΒΑΘΗ ΚΥΜΑΤΙΣΜΑΤΑ, ΣΥΧΝΑ ΑΠΑΝΤΟΥΝ ΚΑΙ ΜΙΚΡΑ ΕΛΗ

Εικόνα 2.4-2. Διαμήκης ζώνωση των βιοτικών τύπων και των αβιοτικών τους χαρακτηριστικών.
(πηγή: Ζόγκαρης, 2009)

2.4.2 Επιλογή Ενδείκτη

Σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία, αλλά και με τις επιταγές της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ, χρησιμοποιούνται ενδείκτες ή βιοδείκτες, δηλαδή ομάδες ή/και χαρακτηριστικά είδη ζώων και φυτών για κάθε τύπο οικοσυστήματος, οι οποίοι έχουν συγκεκριμένο εύρος ανοχής στις διάφορες ενδοποτάμιες παραμέτρους. Έτσι, για τη μελέτη ενός υδατικού συστήματος επιλέγεται κάθε φορά ένας συγκεκριμένος οργανισμός, είτε γιατί εκφράζει τις δομικές και λειτουργικές πτυχές της βιοκοινωνίας είτε γιατί είναι περισσότερο ευαίσθητος σε συγκεκριμένες ανθρωπογενείς πιέσεις. Άρα, έπειτα από την όποια μεταβολή, εξετάζεται βάσει του βιοδείκτη αν διατηρείται η καλή οικολογική κατάσταση του υπό μελέτη οικοσυστήματος.



Εικόνα 2.4-3. *Salmo farioides* (πηγή: www.ecoflow.gr)

Για τους σκοπούς της παρούσας μελέτης, ως βιοδείκτης χρησιμοποιείται το είδος *Salmo farioides* (Karaman, 1938), δηλαδή η Ιονική Πέστροφα, της οικογένειας Salmonidae. Το είδος αυτό είναι ενδημικό των δυτικών Βαλκανίων. Αποτελεί προστατευόμενο είδος και έχει χαρακτηριστεί ως “τρωτό” (VU) σύμφωνα με το Κόκκινο Βιβλίο των Απειλούμενων Ζώων της Ελλάδας. Πέραν των ως άνω, σημαντικό ρόλο για την επιλογή του είδους ως βιοδείκτη αποτέλεσε το ότι στη διεθνή και ελληνική βιβλιογραφία μπορούν να βρεθούν αρκετά στοιχεία για την οικολογία του. Ας σημειωθεί εδώ ότι πολλές από τις πληροφορίες που παρατίθενται σε αυτό το κεφάλαιο προέρχονται από το ερευνητικό πρόγραμμα ECOFLOW⁴ όπου το είδος αυτό μελετήθηκε ως βιοδείκτης στην περιοχή του φράγματος της Μεσοχώρας, ενώ άλλες προέρχονται από τη διεθνή βιβλιογραφία και συχνά αναφέρονται στο είδος *Salmo trutta* (Linnaeus, 1758) που εκδηλώνει παρόμοια συμπεριφορά, κάτι που αποδείχτηκε άλλωστε και από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων των εργασιών πεδίου στα πλαίσια του ως άνω έργου με τα βιβλιογραφικά δεδομένα.

2.4.3 Οικολογία πέστροφας

Η πέστροφα και τα σαλμονοειδή γενικότερα είναι ψυχρόφιλο είδος και διαβιώνει σχεδόν αποκλειστικά στα ψυχρά νερά ορεινών και ημιορεινών ποταμών και ρεμάτων. Σε ποταμούς όπου η θερμοκρασία των υδάτων αυξάνεται κατά τους θερινούς μήνες οι πέστροφες αναζητούν θερμικά καταφύγια σε θέσεις με μεγαλύτερες ταχύτητες. Οι **μεταναστεύσεις** αυτές πιθανά να παρατηρηθούν κατά τον Απρίλιο – Μάιο, οπότε και αυξάνεται η παροχή του ποταμού με την τήξη των χιονιών. Μάλιστα, έχει παρατηρηθεί ότι η παλμοί υψηλών ροών αποτελούν το έναυσμα για τις μεταναστεύσεις της πέστροφας (Ruggerone et al., 2004 από Mathews & Richter, 2007). Υπάρχουν αναφορές (π.χ. Arthington & Zalucki, 1998), ότι οι μεταναστεύσεις των σαλμονοειδών, είτε πρόκειται για τις ανάδρομες μεταναστεύσεις για την αναπαραγωγή είτε για τις θερινές μεταναστεύσεις, συσχετίζονται ισχυρά με τις υψηλές ροές/ πλημμύρες.

Όσον αφορά στην **αναπαραγωγή** της πέστροφας, σύμφωνα με το Κόκκινο Βιβλίο Απειλούμενων Ζώων, πραγματοποιείται σε φυσικούς ρύακες με αμμοχαλικώδες υπόστρωμα κυρίως κατά τους χειμερινούς μήνες (Νοέμβριο- Ιανουάριο), διαδικασία που μπορεί να διαρκέσει 2 ή 4 εβδομάδες. Τα αυγά, που εναποτίθενται σε διάφορες «φωλιές» από κάθε θηλυκή πέστροφα, εκτιμάται ότι κυμαίνονται στα 1600-1800/ κιλό βάρους του θηλυκού. Σε μεσογειακές περιοχές, όπως η Ισπανία, τα ιχθύδια αναδύονται από τα χαλίκια κατά το Μάιο. Η πέστροφα φτάνει σε ηλικία αναπαραγωγής στα δύο με τρία χρόνια, έχοντας ξεπεράσει τα 12 cm. Το είδος μπορεί να ξεπεράσει τα 500 mm σε **μέγεθος**, αλλά τα μεγέθη άνω των 350 mm είναι πλέον σπάνια.

Το είδος είναι αρπακτικό και **τρέφεται** με προνύμφες εντόμων, ενήλικα έντομα (υδρόβια και υπτάμενα), καρκινοειδή, αμφίβια και μικρά ψάρια. Πολλές από τις μεγαλύτερες πέστροφες είναι συχνά κυρίως ιχθυοφάγες.

2.4.4 Υδρομορφολογικές Μονάδες και Επίδραση των μεταβολών ροής

Η πέστροφα αποτελεί είδος που μπορεί να προσαρμοστεί και να ευδοκιμήσει σε μεγάλο εύρος ενδιαίτημάτων. Τα σαλμονοειδή προτιμούν νερά με υψηλές ταχύτητες. Όπως αναφέρθηκε προηγούμενα, είναι ψυχρόφιλο είδος. Για το λόγο αυτό κατά τους θερινούς μήνες αναζητά

⁴ Στα πλαίσια του έργου πραγματοποιήθηκαν δειγματοληψίες για τα είδη *Salmo farioides* (Ιονική Πέστροφα) και *Squalius peloropensis* (Ποταμοκέφαλος), τα οποία αποτέλεσαν τους βιοδείκτες για την περιοχή ανάντη και κατάντη του φράγματος της Μεσοχώρας και Τριπόταμου.

θερμικά καταφύγια και μεταναστεύει σε τμήματα του ποταμού με υψηλότερες ταχύτητες και άρα χαμηλότερη θερμοκρασία (Klemetsen et al., 2003), αλλά εξαιτίας των αλλαγών του ρυθμού μεταβολής των βιοχημικών αντιδράσεων. Τέτοιες μετακινήσεις καθίστανται ευκολότερες για μεγαλύτερα ψάρια που έχουν αποκτήσει ικανό μέγεθος. Οι εργασίες πεδίου στο Βοϊδομάτη στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος ECOFLOW υπέδειξαν στενότερο εύρος προτιμητέας ταχύτητας σε σχέση με άλλες μελέτες. Αυτό πιθανά οφείλεται στις ούτως ή άλλως χαμηλές θερινές θερμοκρασίες του ποταμού και, κατά συνέπεια, στο ότι δεν προκύπτει η ανάγκη για μετανάστευση σε πιο ταχύρροα τμήματα.

Από την άλλη, τα ενήλικα σαλμονοειδή επιλέγουν τις θέσεις εκείνες όπου δεν χρειάζεται να καταναλώνουν πολύ μεγάλη ενέργεια (Rincon & Lobon - Cervia, 1993). Οι θέσεις αυτές αναφέρονται συχνά ως ενδιαίτηματα ανάπαυσης (resting habitats). Συνεπώς, αν και αρέσκονται στις μεγάλες ταχύτητες, όταν η σωματική υπεροχή τους το επιτρέπει, αναζητούν υδρομορφολογικές μονάδες μεγαλύτερου βάθους και με βραδύτερη ροή (ποταμολίμνια) (Eiso & Giller, 2001, Maki-Petays et al., 1997). Το πλεονέκτημα που παρέχουν αυτές οι θέσεις είναι η προστασία από τους θηρευτές, παρά την μικρή διαθεσιμότητα τροφής (Hauer et al., 2012). Έτσι, η έλλειψη ποταμολίμνιων, ειδικά σε μικρούς ποταμούς θεωρείται από τους σημαντικούς περιοριστικούς παράγοντες για την ενήλικη πέστροφα (Heggenes, 1996).

Το στάδιο της επώασης αφορά στην περίοδο από όταν τα ιχθύδια αναδύονται από τα χαλίκια που ήταν θαμμένα ως τη διεκδίκηση και κατάκτηση περιοχών ανεύρεσης τροφής. Πρόκειται, ουσιαστικά, για το πρώτο καλοκαίρι των νεαρών ιχθύων. Τα ψάρια αυτής της ηλικίας κατηγοριοποιούνται ως μικρότερα του έτους (Young Of the Year, εν συντομία “YOY”). Ζωτικής σημασίας για αυτά είναι να αυξήσουν το σωματικό τους βάρος, ωστόσο δεν διαθέτουν την αναγκαία μάζα για να κολυμπήσουν στα ταχύρροα νερά με μεγαλύτερη διαθεσιμότητα σε τροφή. Καθώς, όμως το είδος αυτό είναι ιδιαίτερα ανταγωνιστικό, οι νεαρές πέστροφες μπορούν να καταλαμβάνουν όσες θέσεις απομένουν από τις ενήλικες και πιθανά για αυτό βρίσκονται συχνότερα σε ρηχά και ταχύρροα νερά. Ιδανικά, περιμένουν σε μεσοενδιαίτηματα βραδύτερης ροής που, όμως, γειτνιάζουν με ταχύρροα, προκειμένου να αρπάξουν την τροφή χωρίς, όμως, να καταναλώσουν μεγάλη ενέργεια (Arthington & Zalucki, 1998). Τα νεαρά ιχθύδια προτιμούν ρηχά ενδιαίτηματα με μέτρια ροή (riffles) κοντά στις όχθες και με μεγαλύτερο αριθμό Froude σε σχέση με τις πέστροφες μετρίου μεγέθους και ακόμα περισσότερο με τις ενήλικες πέστροφες (Ayllon et al., 2010), καθώς εκεί είναι περισσότερο προστατευμένα από θηρευτές (Grant et al. 1998; Ayllon et al. 2009).

Οι υψηλές ροές μπορεί να επιφέρουν μετατοπίσεις των γόνων και των ιχθυδίων στα κατάντη ή/και σε ακατάλληλα ενδιαίτηματα με μικρή διαθεσιμότητα τροφής, ωστόσο τα αποτελέσματα έδειξαν ότι δεν γίνεται σε μεγάλο βαθμό. Αυτό επιβεβαιώνεται και από μελέτη σε ποταμό της κεντρικής Καλιφόρνια των ΗΠΑ (Thompson et al., 2011), όπου φάνηκε ότι τα περισσότερα ψάρια είτε δεν παρασύρθηκαν κατάντη κατά πολύ είτε κατάφεραν να επιστρέψουν στις αρχικές τους θέσεις μέχρι την επόμενη δειγματοληψία. Οι Heggenes και Traaen το 1998 επιβεβαίωσαν μέσω πειραμάτων ότι οι πέστροφες κατά το στάδιο της ανάδρομης μετανάστευσης παρασύρθηκαν από ταχύτητες μεγαλύτερες από 0,1-0,25 m/sec.

Ένας ακόμα παράγοντας επιλογής μεσοενδιαίτηματος για τις πέστροφες είναι και ο **τύπος του υποστρώματος**. Και σε αυτήν την παράμετρο, ρόλο παίζει και η ηλικία του ψαριού. Για παράδειγμα, τα μεσαίου μεγέθους και μικρού μεγέθους ψάρια προτιμούν τα βότσαλα, ενώ τα μεγάλα ψάρια προτιμούν περισσότερο τα βράχια και πολύ λιγότερο τα βότσαλα και τα χαλίκια. Ακόμα, αποφεύγουν την άμμο και την ιλύ για λόγους που σχετίζονται με την απόθεση των αυγών και τη μειωμένη παρουσία τροφής.

Η επιλογή της τοποθεσίας για την **ωτοκία (spawning)** είναι καθοριστική για την επιβίωση των εμβρύων (Bardonnnet and Bagliniere, 2000). Η Nicola και οι συνεργάτες της μελέτησαν το 2009 ποταμούς της Ισπανίας και αξιολόγησαν τις επιπτώσεις της μεταβολής της ροής στην πέστροφα μέσω της εκτίμησης υδρολογικών παραμέτρων όπως προτάθηκαν από τους Richter et al. (1996) και τους Olden και Poff (2003). Διακρίθηκαν δύο περίοδοι: 1) η ξηρή – θερινή περίοδος και 2) η περίοδος από την απόθεση των αυγών μέχρι και την ανάδυση των ιχθυδίων. Φάνηκε ότι η αυξημένη και κυρίως η σταθερή ροή κατά τη διάρκεια της απόθεσης ευνόησε τις νεαρές πέστροφες. Σημαντικό είναι, ακόμα, η ταχύτητα της ροής να μην είναι πολύ χαμηλή, διότι αυτό θα στερούσε θρεπτικά συστατικά από τους γόνους. Το μέγεθος του ψαριού καθορίζει και το εύρος των ταχυτήτων που μπορεί να κρατηθεί σταθερό για αυτή τη διαδικασία. Έτσι, στη βιβλιογραφία αναφέρονται ταχύτητες από 11cm/s ως 80cm/s (Shirvell & Dungey, 1983) ή 15cm/s ως 75cm/s (Witzel & MacCrimmon, 1983). Επιπλέον, ιδανικές θεωρούνται οι θέσεις με βάθος από 6cm ως 82cm, κάτι που επίσης εξαρτάται από το μέγεθος του ψαριού.

Τα θηλυκά ψάρια καλύπτουν τα αυγά τους με χαλίκια, ώστε να είναι περισσότερο προστατευμένα. Εύλογο είναι ότι καθοριστικό παράγοντα στην αναπαραγωγή της πέστροφας να παίζει και η διαθεσιμότητα κατάλληλου είδους υποστρώματος. Για το λόγο αυτό, δεν είναι λίγες οι περιπτώσεις που συμπληρώθηκαν χαλίκια σε ποταμούς κατάντη του φράγματος, για την ενίσχυση των μεσοενδαιτημάτων αναπαραγωγής (Arthington & Zalucki, 1998). Και πάλι, τα πιο μεγάλωσα ψάρια μπορούν να μεταφέρουν μεγαλύτερης διαμέτρου υλικά.

Ως προς την επίδραση των μεταβολών της ροής στα σαλμονοειδή, θεωρείται ότι, γενικά, οι σταθερές συνθήκες ανεξαρτήτως τύπου ροής είχαν ασήμαντες επιπτώσεις. Αντίθετα, οι διακυμάνσεις της ροής κατά τη δεύτερη περίοδο, αλλά και κατά τη θερινή περίοδο, επέδρασαν αρνητικά (Nicola et. al., 2009). Οι παλμοί υψηλών ροών σχετίζονται με τη μεταφορά φερτών και την ανατάραξη του υποστρώματος, κάτι που μπορεί να οδηγήσει στην παγίδευση των γόνων ή ακόμα και τη μετατόπισή τους. Ακόμα, στην επιλογή της τοποθεσίας συμβάλλουν και τα φαινόμενα ανταγωνισμού μεταξύ των ψαριών του ίδιου είδους, καθώς σε περιπτώσεις πολυάριθμων πληθυσμών κάποιες από τις πέστροφες θα αναγκαστούν να εναποθέσουν τα αυγά τους σε λιγότερο κατάλληλα σημεία (Shirvell & Dungey, 1983).

Εύλογα, από τα ως άνω συμπεραίνεται ότι σημαντικότερο ρόλο διαδραματίζει η ένταση, η διάρκεια και η εποχή (timing) των ακραίων συνθηκών. Ειδικότερα, μεγαλύτερη συσχέτιση παρατηρείται με τις υδραυλικές παραμέτρους (91 - 97%) παρά με το υδρολογικό καθεστώς (Nicola et. al., 2009).

Για τους σκοπούς της παρούσας διπλωματικής εργασίας, αξιοποιούνται δύο πηγές πληροφοριών προκειμένου να καθοριστούν επακριβώς τα κριτήρια αξιολόγησης βάσει των βιοτικών παραμέτρων. Στην εγχώρια και διεθνή βιβλιογραφία υπάρχει πλήθος αναφορών για τον επιλεγμένο ενδείκτη, διόλου τυχαία αφού η οικογένεια των σαλμονοειδών έχει χρησιμοποιηθεί κατά κόρον σε ανάλογες μελέτες και μεθοδολογίας προσομοίωσης ενδαιτημάτων. Επιπλέον, υπήρξαν διαθέσιμες Καμπύλες Καταλληλότητας Ενδαιτήματος που επιβεβαιωμένα ταιριάζουν στον υπό μελέτη ποταμό (transferability) και, επομένως, προσφέρουν περισσότερο εξειδικευμένες στις τοπικές συνθήκες του Άνω Αχελώου και –άρα– πολύτιμες πληροφορίες. Όλα τα παραπάνω, χρησιμοποιούνται για μια ποιοτική και ποσοτική αξιολόγηση των διαφόρων μεθοδολογιών εκτίμησης της οικολογικής παροχής, όπως περιγράφεται λεπτομερώς στις επόμενες παραγράφους.

2.5 Χαρτογράφηση Υδρομορφολογικών Μονάδων

2.5.1 Υδραυλική προσομοίωση

Σημαντικό βήμα στη διαδικασία της χαρτογράφησης των μεσοενδιαίτημάτων είναι η υδραυλική προσομοίωση στο υπό μελέτη τμήμα του ποταμού, καθώς με τον τρόπο αυτό προκύπτουν τα δεδομένα ταχύτητας και βάθους και, μάλιστα, σε μορφή raster αρχείου, εύκολα επεξεργάσιμη σε λογισμικό GIS.

Για την υδραυλική προσομοίωση χρησιμοποιείται το λογισμικό HEC-RAS v.4.1.0. Το πρόγραμμα HEC-RAS παρέχει τη δυνατότητα υπολογισμού της ελεύθερης επιφάνειας ροής υπό συνθήκες μονοδιάστατης, βαθμιαία μεταβαλλόμενης, μόνιμης ή μη μόνιμης ροής. Το προφίλ της ελεύθερης επιφάνειας, από τη μια διατομή στην επόμενη, υπολογίζεται με την επίλυση της εξίσωσης ενέργειας, εφαρμόζοντας μια επαναληπτική διαδικασία που ονομάζεται μέθοδος ολοκληρώσεως σταθερού βήματος (standard step method). Η εξίσωση ενέργειας γράφεται με την ακόλουθη μορφή:

$$Y_2 + Z_2 + \frac{a_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{a_1 V_1^2}{2g} + h_e \quad (1)$$

Όπου

Y_1 και Y_2 = τα βάθη ροής στις διατομές 1 και 2, αντίστοιχα

Z_1 και Z_2 = τα αντίστοιχα υψόμετρα πυθμένα

V_1 και V_2 = οι αντίστοιχες μέσες ταχύτητες ροής

α_1 και α_2 = σταθμικοί συντελεστές της ταχύτητας

g = η επιτάχυνση της βαρύτητας

h_e = η απώλεια ενέργειας

Οι απώλειες ενέργειας μεταξύ δύο διατομών περιλαμβάνουν τις απώλειες λόγω τριβών και τις απώλειες λόγω στενώσεων και διευρύνσεων των διατομών. Η εξίσωση από την οποία υπολογίζονται είναι η ακόλουθη:

$$h_e = LS_f + C \left| \frac{a_2 V_2^2}{2g} - \frac{a_1 V_1^2}{2g} \right| \quad (2)$$

όπου:

L = το μήκος μεταξύ των διατομών 1 και 2

S_f = η κλίση της γραμμής ενέργειας μεταξύ των δύο διατομών που υπολογίζεται με την εξίσωση του Manning

C = ο συντελεστής στενώσεως ή διευρύνσεως όπου τυπικές τιμές είναι 0,1 για στένωση και 0,3 για διεύρυνση

Πρώτο στάδιο για την υδραυλική προσομοίωση αποτελεί ο καθορισμός της γεωμετρίας του υπό μελέτη τμήματος, δηλαδή η καταχώρηση των διατομών, η διάκριση κύριας και πλημμυρικής κοίτης και η απόδοση του συντελεστή τραχύτητας Manning.

Για το υπό μελέτη τμήμα ποταμού, τα τοπογραφικά δεδομένα παρασχέθηκαν από το ερευνητικό πρόγραμμα Ecoflow (2015) σε .dwg αρχείο και προέρχονται από αναλυτική τοπογραφική αποτύπωση με γεωδαιτικό GPS Geomax - Zenith 20, με παράλληλη καταγραφή του τύπου υποστρώματος. Η προ-επεξεργασία των τοπογραφικών δεδομένων για τη δημιουργία του γεωμετρικού αρχείου του HEC-RAS έγινε στο λογισμικό Autocad Civil3D 2014. Το τμήμα ποταμού μήκους 160 m χωρίστηκε σε 12 διατομές σε κρίσιμες θέσεις, όπως σημαντικές αλλαγές κλίσης και αλλαγές στην μορφολογία των διατομών.

Η τιμή του συντελεστή τραχύτητας εξαρτάται από πολλές παραμέτρους, μεταξύ αυτών το είδος και το μέγεθος του υλικού του υποστρώματος, αλλά και η μορφολογία της κοίτης, και υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$n = (n_b + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) \cdot m \quad (3)$$

Όπου

- n_b = η τιμή του συντελεστή για φυσικά υλικά, σε ευθεία, ομαλή και ομοιόμορφη κοίτη
- n_1 = διορθωτικός συντελεστής για ανωμαλίες στην επιφάνεια του πυθμένα
- n_2 = τιμή μεταβολές στο σχήμα και στο πλάτος της διατομής της κοίτης
- n_3 = τιμή για τυχόν εμπόδια
- n_4 = τιμή του συντελεστή για τη βλάστηση και τις συνθήκες ροής
- m = διορθωτικός συντελεστής για την περίπτωση μαιανδρισμού της κοίτης

Πρωταρχικό μέλημα είναι να αποδοθούν οι σωστοί συντελεστές τραχύτητας, αφού επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό τα αποτελέσματα των ταχυτήτων ροής. Αν και η βασική προσομοίωση του μοντέλου απαιτεί την εισαγωγή μόνο τριών τιμών του συντελεστή Manning (για την κύρια κοίτη και την δεξιά/αριστερή πλημμυρική), στην παρούσα εργασία ο συντελεστής μεταβάλλεται κατά πλάτος των διατομών, για μεγαλύτερη ακρίβεια υπολογισμών και ρεαλιστικότερα αποτελέσματα, αφού υπήρχαν διαθέσιμες αναλυτικές παρατηρήσεις πεδίου για το υλικό του πυθμένα για τις 7 από τις 12 διατομές, ενώ στις υπόλοιπες διατομές συμπληρώθηκαν κατά προσέγγιση και με τη βοήθεια φωτογραφικού υλικού για την περιοχή μελέτης⁵ σε αντιπαραβολή με περιγραφικά βιβλιογραφικά δεδομένα⁶.

Η τιμή του συντελεστή κυμαίνεται από 0,024 ως 0,075 υπό κανονικές συνθήκες σύμφωνα με τον Barnes, (1967) ενώ σύμφωνα με το εγχειρίδιο χρήσης του λογισμικού, για ορεινούς ποταμούς με κροκάλες και τρόχμαλους από 0,04 ως 0,07. Ας αναφερθεί εδώ ότι ο συντελεστής τραχύτητας manning για την περιοχή μελέτης είναι αρκετά μεγάλος, αφού κυρίαρχο υλικό υποστρώματος είναι οι μεσαίοι και μικροί τρόχμαλοι (boulder).

⁵ Πηγή: Ecoflow, 2015

⁶ Barnes H. Jr., Roughness Characteristics of Natural Channels. USGS, 1967



Εικόνα 2.5-1. Περιοχή μελέτης κατάντη του φράγματος της Μεσοχώρας (θέαση προς τα ανάντη)

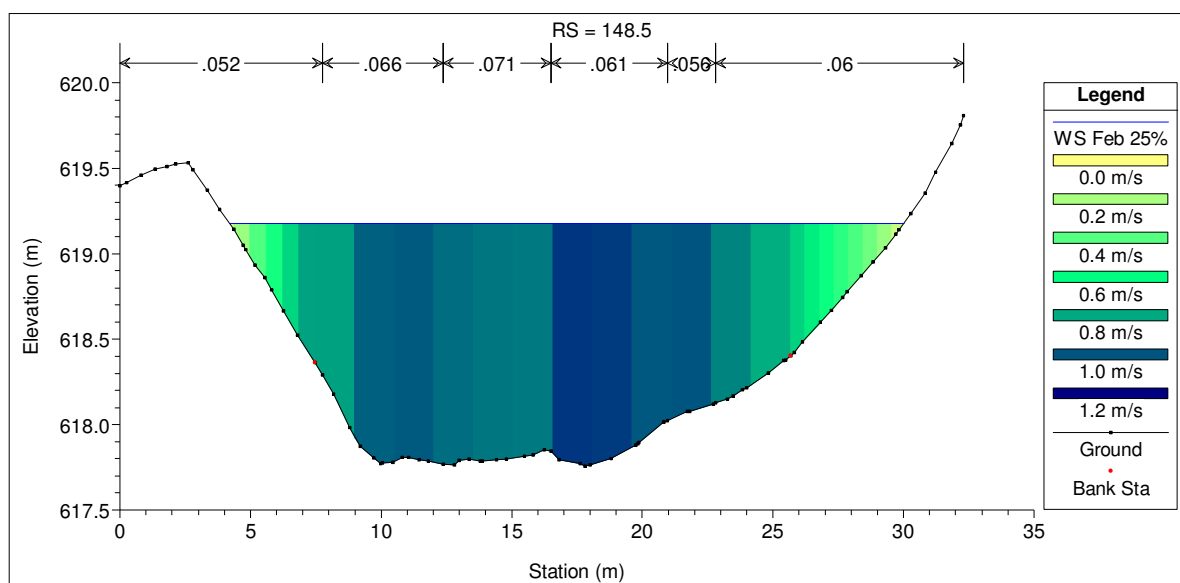


Εικόνα 2.5-2. Περιοχή μελέτης κατάντη του φράγματος της Μεσοχώρας (θέαση προς τα κατάντη)

Πίνακας 2.5-1. Συντελεστής τραχύτητας Manning για κάθε είδος υποστρώματος (προσαρμοσμένο από Benson & Dalrymple, Chow (1959), Julien (1995))

Είδος υποστρώματος	Διάμετρος (mm)	Συντελεστής τραχύτητας Manning
Βράχοι (Bedrock)	> 2,048	–
Μεγάλοι τρόχμαλοι (large boulders)	1,024-2,048	0.04-0.07
Μεσαίοι τρόχμαλοι (medium boulders)	512-1,024	
Μικροί τρόχμαλοι (small boulders)	256-512	
Μεγάλες κροκάλες (large cobbles)	128-256	0.03-0.05
Μικρές κροκάλες (small cobbles)	64-128	
Χαλίκια (coarse gravels)	16-32	0.026
Χαλίκια (gravels)	8-16	0.028-0.035
Λεπτά χαλίκια (fine gravels)	4-8	0.024

Εφόσον υπήρχαν αναλυτικά διαθέσιμα δεδομένα για το είδος υποστρώματος που συναντάται στην περιοχή μελέτης και αναλυτική αποτύπωση της γεωμετρίας, στην παρούσα εργασία αξιοποιήθηκε η δυνατότητα του λογισμικού HEC-RAS v.4.1.0 για την εκτέλεση υπολογισμών σε Ψευδο-Δισδιάστατες συνθήκες ροής (Pseudo-2D simulation). Με τον τρόπο αυτό, επιτελείται υδραυλική προσομοίωση που προσομοιάζει σε δισδιάστατο υδραυλικό μοντέλο και συνεπώς παρέχεται αναλυτικότερη κατανομή των ταχυτήτων ροής εντός κάθε διατομής, όπως φαίνεται στο **Σχήμα 2.5-1** ενδεικτικά για τη δεύτερη από τα ανάντη διατομή του ποταμού και για τη χαμηλή ροή του Φεβρουαρίου, αντί μιας μέσης τιμής. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για την ταξινόμηση των μεσοενδιατημάτων, καθώς εντός μιας διατομής μπορεί να παρατηρούνται 2 ή και περισσότεροι τύποι Υδρομορφολογικών Μονάδων.



Σχήμα 2.5-1. Αποτελέσματα του ψευδο-δισδιάστατου υδραυλικού μοντέλου στη δεύτερη από τα ανάντη διατομή.

Η ψευδο-δισδιάστατη προσομοίωση επιτυγχάνεται με την διακριτοποίηση κάθε διατομής σε ένα αριθμό κελιών. Ο αριθμός των κελιών αυτών εξαρτάται κυρίως από τον αριθμό των υδρομετρήσεων που έγιναν σε κάθε διατομή και από τις εναλλαγές του υλικού υποστρώματος. Στο υπό μελέτη τμήμα του Αχελώου, η διακριτοποίηση έγινε σε 12 κελιά.

Για κάθε διατομή υπολογίζεται η στάθμη ροής σύμφωνα με την τυπική διαδικασία του σταθερού βήματος, ενώ για αυτή την στάθμη ακολούθως υπολογίζεται ξεχωριστά για κάθε κελί μια τιμή ταχύτητας (η διαδικασία υπολογισμών περιγράφεται αναλυτικά στο HEC-RAS v4.1 Hydraulic Reference Manual).

Επόμενο βήμα είναι ο καθορισμός των **οριακών συνθηκών**. Το λογισμικό έχει δυνατότητα εισαγωγής πολλών μορφών οριακών συνθηκών. Ωστόσο, είναι συνήθως πρακτική σε περιπτώσεις φυσικών υδατορευμάτων να γίνεται χρήση του ομοιόμορφου βάθους, ελλείψει μετρήσεων στάθμης - παροχής. Στην περίπτωση αυτή, ζητείται η κλίση της γραμμής ενέργειας στις οριακές διατομές. Στην ομοιόμορφη ροή, όμως, η κλίση της γραμμής ενέργειας, της επιφάνειας νερού και του πυθμένα είναι παράλληλες και συνεπώς μπορεί να εισαχθεί η κλίση του πυθμένα η οποία είναι εύκολα υπολογίσιμη. Η κλίση του πυθμένα ανάντη υπολογίστηκε 0,3% και κατάντη 2,5%. Η πρώτη - δοκιμαστική - προσομοίωση του μοντέλου έγινε για συνθήκες μικτής ροής (mixed flow regime) από όπου φάνηκε ότι ο αριθμός Froude σε όλες τις διατομές και για όλες τις παροχές είναι σημαντικά μικρότερος από 1, μάλιστα με μέγιστη τιμή 0,45. Συνεπώς, η ροή θεωρείται υποκρίσιμη και στις επόμενες προσομοιώσεις διατηρήθηκε μόνο η κατάντη οριακή συνθήκη.

Στο σημείο αυτό, πρέπει να αναφερθεί πως για το υπό μελέτη τμήμα ποταμού υπήρχαν διαθέσιμες υδρομετρήσεις, από την επεξεργασία των οποίων όμως διαπιστώθηκαν σημαντικές ασυμφωνίες στάθμης ροής και παροχής μεταξύ των διατομών και για τον λόγο αυτό επιλέχθηκε να μην αξιοποιηθούν τόσο στον καθορισμό των οριακών συνθηκών όσο και για την βαθμονόμηση των αποτελεσμάτων. Ωστόσο, αξιοποιήθηκαν οι μετρήσεις ταχύτητας για τον εποπτικό έλεγχο των αποτελεσμάτων ταχύτητας του μοντέλου και έγιναν προσαρμογές -όπου κρίθηκε αναγκαίο- του συντελεστή τραχύτητας.

Από την υδραυλική προσομοίωση προκύπτουν raster αρχεία, στα οποία κάθε εικονοστοιχείο (pixel) φέρει την τιμή της ταχύτητας ή τους βάθους, κατά περίπτωση. Τα αρχεία αυτά θα αξιοποιηθούν σε επόμενο βήμα (βλ. παράγραφο 2.5.3). Εδώ, ως αναφερθεί ότι η οριακή συνθήκη επηρεάζει τα αποτελέσματα της υδραυλικής προσομοίωσης στις 2 πιο κατάντη διατομές και συνεπώς, από τα τελικά αρχεία αφαιρείται το τμήμα του ποταμού μεταξύ των 2 διατομών.

2.5.2 Καθορισμός παραμέτρων των υδρομορφολογικών μονάδων για την ταξινόμησή τους

Παρά το γεγονός ότι οι υδρομορφολογικές μονάδες/ μεσοενδιαίτηματα αφορούν σε μετρήσιμα μεγέθη και υπάρχει ένας κοινά αποδεκτός ορισμός τους, παραμένει ασαφής ο καθορισμός των ορίων των παραμέτρων για την ταξινόμησή τους. Αυτό πιθανά να οφείλεται στο ότι σημαντικό ρόλο παίζουν και οι ιδιαιτερότητες του κάθε ποταμού. Άλλωστε, σε καμία βιβλιογραφική αναφορά δεν παραλείπεται να σημειωθεί η σημαντική συμβολή των ειδικών επιστημόνων και της γνώσης των ιδιαίτερων τοπικών συνθηκών. Ειδικότερα, σε αυτή την εργασία οι ΥΜΜ ταξινομούνται μόνο βάσει της ταχύτητας και του βάθους ροής, για τα όρια των οποίων (**Πίνακας 2.5-2**), έπειτα και από την ανασκόπηση των αναφορών στη διεθνή και εγχώρια βιβλιογραφία σε ανάλογες μεθοδολογίες, καθοριστικό ρόλο έπαιξαν οι μετρήσεις πεδίου σε ανάλογο τύπο ποταμού (πηγή: Παραδοτέο Ecoflow “Π.2.1: Σχεδιασμός των προσαρμοσμένων στις Ελληνικές συνθήκες μοντέλων οικοτόπων και IFIM (2 water body types)”), ώστε να προσαρμοστούν αναλόγως.

Η οριοθέτηση των Υδρομορφολογικών Μονάδων βασίζεται στο σύστημα που πρότειναν οι Wyrick και Pasternack το 2014. Ένας από τους λόγους που προτιμήθηκε το συγκεκριμένο μεθοδολογικό πλαίσιο είναι το γεγονός ότι αναγνωρίζονται αρκετοί τύποι ΥΜΜ, που μπορούν να φανούν ωφέλιμοι σε διάφορους οργανισμούς και όχι μόνο στον επιλεγμένο ενδείκτη, κάτι σε επίπεδο εφαρμογής θα ωφελούσε στο να συνεκτιμηθούν σφαιρικότερα οι επιπτώσεις στο οικοσύστημα. Επιπροσθέτως, το μοντέλο αυτό ήταν καταλληλότερο να προσαρμοστεί στις τοπικές συνθήκες του υπό μελέτη τμήματος του ποταμού, σε αντίθεση με άλλα μοντέλα. Για παράδειγμα, το Μοντέλο Αξιολόγησης Μεσοενδιαιτημάτων (Mesohabitat Evaluation Model (Hauer et. al., 2009), έχοντας ως βασικό κριτήριο ταξινόμησης τη συρτική τάση, ήταν κατάλληλο για ποταμούς με σχετικά λεπτόκοκκο υπόστρωμα κοίτης και άρα παντελώς ακατάλληλο για ορεινούς ποταμούς, όπως εδώ.

Σε πρώτο στάδιο, το μοντέλο εφαρμόστηκε δοκιμαστικά με τα προτεινόμενα όρια, στη βασική ροή του ποταμού παροχή, ως προκαταρκτική αξιολόγηση και επιβεβαίωση ότι με το προτεινόμενο μοντέλο μπορούν να διακριθούν όλοι οι τύποι μεσοενδιαιτημάτων που αναμενόταν να εμφανιστούν. Η βασική ροή υπολογίστηκε σύμφωνα με τη μεθοδολογία που προτείνουν οι Poff και Ward (1989) ως η ελάχιστη παροχή (κινούμενος μέσος όρος) σε διάρκεια 7 ημερών (Δείκτης Υδρολογικής Τροποποίησης της Ομάδας 2 του λογισμικού IHA) για το σύνολο του υδρολογικού έτους, ενώ συμπίπτει με την πιθανότητα υπέρβασης 95% στην Καμπύλη Διάρκειας Παροχών. Παρακάτω, περιγράφονται οι τύποι Υδρομορφολογικών Μονάδων που θα μελετηθούν, όπως μπορεί να παρατηρηθούν στο πεδίο, καθώς και τα όρια ταχύτητας και βάθους για την ταξινόμησή τους.

Ποταμολίμνιο (Pool)

Τμήμα του ποταμού με μεγάλο βάθος και αργή ή πολύ αργή ροή, ανάμεσα σε τμήματα περισσότερο αβαθή και με μεγαλύτερη ταχύτητα. Τα ποταμολίμνια παρατηρούνται σε τμήματα του ποταμού με μικρή κλίση (<1) και, συνηθέστερα, με σχετικά λεπτόκοκκο υπόστρωμα. Ανάλογα με τον τρόπο σχηματισμού, μπορούν να διακριθούν και υποκατηγορίες του μεσοενδιαιτηματος αυτού. Έτσι, ενδέχεται να σχηματίζεται από κάποιο εμπόδιο στην ροή του ποταμού (backwater pool), ή σε δευτερεύον τμήμα του ποταμού παράπλευρα της κύριας κοίτης (secondary channel pool), ή στο κοίλο πλευρικό τμήμα του ποταμού έντονου μαιανδρισμού (corner pool).

Σχεδόν στάσιμα ύδατα (Slackwater)

Πρόκειται για μεσοενδιαιτημα αργής ροής και σχεδόν στάσιμα νερά σε χαμηλές παροχές, σε ρηχά τμήματα στις όχθες του ποταμού, συχνά με λεπτόκοκκο υλικό.

Ολισθαίνοντα ύδατα (Fast / Slow Glide)

Τα μεσοενδιαιτήματα αυτά εμφανίζουν ομαλή ροή, είτε αργή (slow glide) είτε μέτριας ταχύτητας (fast glide), και μικρότερο βάθος από τα ποταμολίμνια. Μπορεί να ακολουθούν την κύρια ροή του ποταμού ή να πλαισιώνουν τα ποταμολίμνια. Σε κάθε περίπτωση, στην επιφάνεια του νερού παρατηρούνται πολύ μικρές ως καθόλου αναταράξεις.

Μετάβαση σε Αβαθές ταχύρροο τμήμα (Riffle transition)

Το βάθος αλλά και η ταχύτητα του νερού είναι σχετικά χαμηλά. Αποτελεί τη μετάβαση από ένα ανάντη μεσοενδιαιτήμα σε riffle ή από riffle σε κάποιο άλλο είδος μεσοενδιαιτηματος κατάντη. Μπορεί, ωστόσο, να θεωρηθεί μια υποκατηγορία του αβαθούς ταχύρροου μικρής κλίσης, που εμφανίζεται σε υπόστρωμα με μεσαίας διαμέτρου κροκάλες⁷.

⁷ McCain, M., Fuller, D., Decker, L., 1990. Stream Habitat Classification and Inventory Procedures for Northern California. Forest Service of US Department of Agriculture (US Government Printing Office: 1990-786-951)

Αβαθή ταχύρροα τμήματα (Riffle)

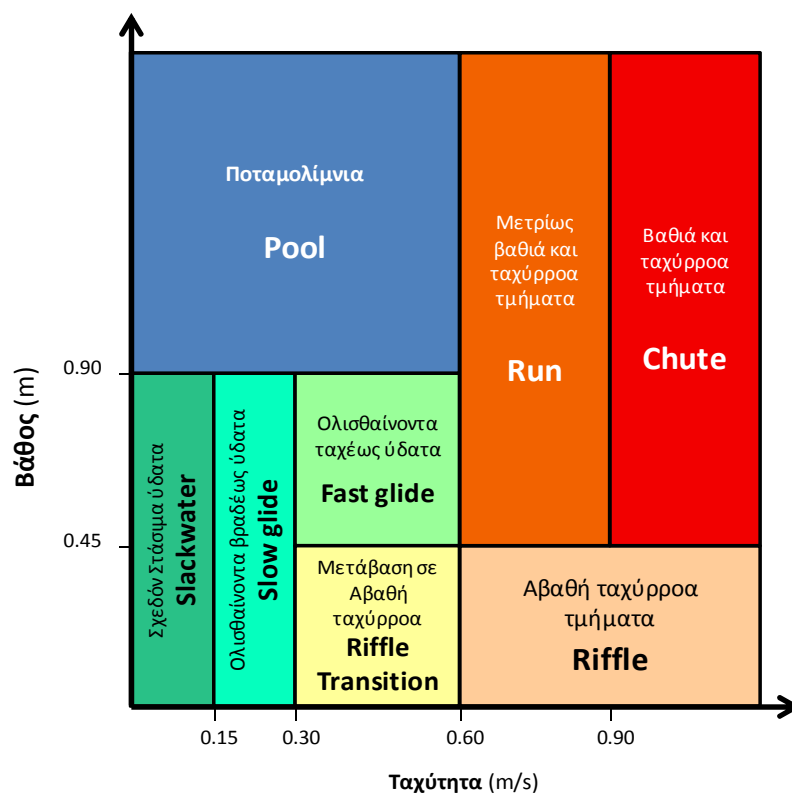
Αβαθή τμήματα με μέτρια ως μεγάλη ταχύτητα ροής. Παρουσιάζουν ελαφρώς τυρβώδη ροή, σχετικά μεγάλη κλίση.

Μετρίως βαθιά και ταχύρροα τμήματα (Run)

Τμήματα του ποταμού με μεγάλο βάθος και σχετικά μεγάλη ταχύτητα. Η επιφάνεια του νερού εμφανίζει ελαφριά ανατάραξη και μέτρια κλίση. Παρατηρούνται συχνότερα σε μη περιπλεγμένους ποταμούς και με μεγάλο εύρος τύπων υποστρώματος.

Βαθιά και ταχύρροα τμήματα (Chute)

Περιοχή που ποταμού όπου εμφανίζει ομοιόμορφη και ταχεία ροή, συχνά όταν η κοίτη έχει σχήμα U και χονδρόκοκκο υπόστρωμα. Λόγω του σχηματισμού αυτού μπορεί να έχει παραπλήσια μορφή με ποταμολίμνιο.



Σχήμα 2.5-2. Όρια βάθους και ταχύτητας για τη χαρτογράφηση των υδρομορφολογικών μονάδων

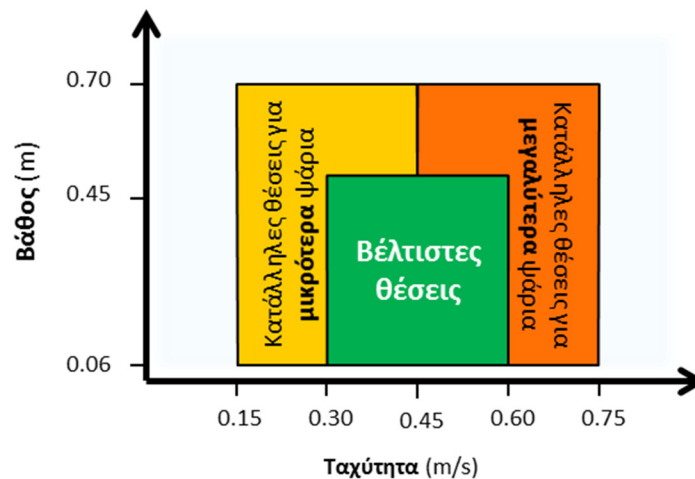
Πίνακας 2.5-2. Όρια βάθους και ταχύτητας βάσει των οποίων εφαρμόστηκε η ταξινόμηση των υδρομορφολογικών μονάδων. Εδώ, παρουσιάζονται σε κλάσεις τιμών προς διευκόλυνση του αναγνώστη

Ταχύτητα		Βάθος	
Κλάση	v (m/s)	Κλάση	d (m)
1	0,00 – 0,15	1	0,01 – 0,45
2	0,16 – 0,30	2	0,46 – 0,90
3	0,31 – 0,60	3	>0,90
4	0,61 – 0,90		
5	>0,90		

Ενδιαιτήματα Ωοτοκίας

Η διαθεσιμότητα κατάλληλων θέσεων για την ωοαπόθεση είναι ζωτικής σημασίας για την επιβίωση του είδους. Για το λόγο αυτό, κρίθηκε ωφέλιμο η συγκεκριμένη παράμετρος να αξιολογηθεί και ξεχωριστά, δεδομένης μάλιστα της ευκολίας. Γίνεται μία ακόμα χαρτογράφηση, αυτή τη φορά για το δείκτη καταλληλότητας των θέσεων του ποταμού για την απόθεση των αυγών, συναρτήσει των υδραυλικών παραμέτρων, για την περίοδο Νοεμβρίου – Ιανουαρίου.

Σύμφωνα με τα όσα έχουν καταγραφεί στην παράγραφο 2.4.4, για τη διαδικασία αυτή χρειάζεται σταθερή και μέτρια προς μεγάλη ταχύτητα ροής (Nicola et. al., 2009). Άλλες αναφορές (Witzel & MacCrimmon, 1983, Shirvell & Dungey, 1983, Moir et. al., 1998) δηλώνουν ως συνηθέστερο/προτιμότερο εύρος τιμών για την ωοτοκία τα 25 ή 30 cm βάθος και 0,40 ή 0,47 m/s ταχύτητα υποδεικνύοντας ως ιδανικά ενδιαιτήματα για την ωοτοκία τις μεταβατικές σε αβαθής ταχύρροες YMM (*riffle transition*). Σύμφωνα με τα βιβλιογραφικά δεδομένα που συγκεντρώνονται από τον Armstrong και τους συνεργάτες τους (2003), το βάθος και η ταχύτητα στη θέση που θα επιλεγεί σχετίζεται με το μέγεθος του ψαριού (Witzel and MacCrimmon, 1983, Crisp and Carling, 1989, Crisp, 1993) ή στα φαινόμενα ανταγωνισμού ανάμεσα στο είδος (Shirvell and Dungey, 1983), ενώ και το μέγεθος των χαλικιών που μπορούν να μεταφέρουν για να καλύψουν τις «φωλιές» τους εξαρτάται από το μήκος του σώματός τους (Kondolf and Wolman, 1993). Εν κατακλείδι, το βέλτιστο μεσοενδιαιτήμα φαίνεται να είναι το μεταβατικό προς αβαθές ταχύρροο (*riffle transition*), ενώ τα βραδύτερης ή ταχύτερης ροής τμήματα του ποταμού μπορεί να κατάλληλα για μικρόσωμες ή μεγαλόσωμες πέστροφες, αντίστοιχα.



Σχήμα 2.5-3. Όρια βάθους και ταχύτητας για τη χαρτογράφηση των ζωνών καταλληλότητας για την ωοαπόθεση

2.5.3 Διαδικασία Χαρτογράφησης Υδρομορφολογικών Μονάδων

Τα αρχεία raster που προέκυψαν από την υδραυλική προσομοίωση εισάγονται στο λογισμικό QGIS v. 2.12.2 (ελεύθερα διαθέσιμο στο διαδίκτυο). Με την απλή εφαρμογή των αλγορίθμων του

Πίνακας 2.5-3, το κάθε εικονοστοιχείο ταξινομείται σε μία από τις 8 κατηγορίες Υδρομορφολογικών Μονάδων συναρτήσει των τιμών της ταχύτητας και του βάθους. Τέλος, αποδίδεται χαρακτηριστικό χρώμα σε κάθε τύπο μεσοενδιαιτήματος (Σχήμα 2.5-2). Ανάλογη διαδικασία ακολουθείται και για τις ζώνες καταλληλότητας για ωαπόθεση (Σχήμα 2.5-3).

Πίνακας 2.5-3. Πίνακας αλγορίθμων για την ταξινόμηση των εικονοστοιχείων στην κατάλληλη κατηγορία

α/α	Περιγραφή	Αλγόριθμος
1	Ταξινόμηση Υδρομορφολογικών Μονάδων	1 * ("Depth0@1" >= 0.9 AND "Velocity0@1" < 0.6) + 2 * ("Depth0@1" < 0.9 AND "Velocity0@1" < 0.15) + 3 * ("Depth0@1" < 0.9 AND "Velocity0@1" >= 0.15 AND "Velocity0@1" < 0.3) + 4 * ("Depth0@1" >= 0.45 AND "Depth0@1" < 0.9 AND "Velocity0@1" >= 0.3 AND "Velocity0@1" < 0.6) + 5 * ("Depth0@1" < 0.45 AND "Velocity0@1" >= 0.3 AND "Velocity0@1" < 0.6) + 6 * ("Depth0@1" < 0.45 AND "Velocity0@1" >= 0.6) + 7 * ("Depth0@1" >= 0.45 AND "Velocity0@1" >= 0.6 AND "Velocity0@1" < 0.9) + 8 * ("Depth0@1" >= 0.45 AND "Velocity0@1" >= 0.9)
2	Ζώνες καταλληλότητας για την ωοαπόθεση	1 * ("Depth0@1" >= 0.06 AND "Depth0@1" <= 0.45 AND "Velocity0@1" >= 0.3 AND "Velocity0@1" <= 0.6) + 2 * ("Depth0@1" >= 0.06 AND "Depth0@1" <= 0.75 AND "Velocity0@1" >= 0.15 AND "Velocity0@1" < 0.3) + 3 * ("Depth0@1" > 0.45 AND "Depth0@1" <= 0.75 AND "Velocity0@1" > 0.3 AND "Velocity0@1" < 0.45) + 4 * ("Depth0@1" >= 0.06 AND "Depth0@1" <= 0.75 AND "Velocity0@1" > 0.45 AND "Velocity0@1" <= 0.6) + 5 * ("Depth0@1" > 0.45 AND "Depth0@1" <= 0.75 AND "Velocity0@1" > 0.6 AND "Velocity0@1" <= 0.75)

2.6 Χωρική Ανάλυση των ΥΜΜ και Αξιολόγηση των Οικολογικών Παροχών

Η σημασία των Υδρομορφολογικών Μονάδων και ο ρόλος τους στη μελέτη των οικοσυστημάτων δεν αμφισβητούνται. Εγείρεται ωστόσο το ερώτημα πώς μπορούν να αξιοποιηθούν στα πλαίσια της ποσοτικής εκτίμησης και αξιολόγησης των επιπτώσεων που επιφέρει μία μειωμένη, οικολογική παροχή ή, γιατί όχι, και να συμβάλουν στον καθορισμό αυτής της οικ. παροχής με τις κατά το δυνατόν ηπιότερες επιπτώσεις στο φυσικό περιβάλλον.

Από τις πιο ενδιαφέρουσες μεθοδολογίες στη διεθνή βιβλιογραφία είναι το Functional Habitat Assessment Tool (FHAT)⁸ που παρουσιάστηκε το 2012 στο ετήσιο συνέδριο του Ινστιτούτου Διαχείρισης της Ιχθυοπανίδας. Το ενδιαφέρον έγκειται στο ότι στη μέσο-κλίμακα λαμβάνονται υπόψη διαφορετικά είδη ή και διάφορα στάδια του ίδιου είδους, ταυτόχρονα. Ακολουθώντας, έστω προσαρμοσμένα στην παρούσα εργασία, τα ίδια βασικά βήματα του FHAT, επιχειρείται να αξιολογηθούν οι επιπτώσεις στην πέστροφα που προκύπτουν από τις προτεινόμενες των υπό εξέταση μεθοδολογιών παροχές.

2.6.1 Υπολογισμός Ωφέλιμης Επιφάνειας και Πίνακας Σχετικού Κινδύνου

Έχει περιγραφεί ήδη ότι για το είδος της πέστροφας, γενικότερα, και στα διάφορα στάδια, ειδικότερα, επιδεικνύονται συγκεκριμένες συμπεριφορές. Συμπερασματικά, κάποιες ΥΜΜ είναι περισσότερο ή λιγότερο κατάλληλες, ή αλλιώς χρήσιμες, για το κάθε στάδιο ανάπτυξης του είδους. Συνεπώς, δύναται σε κάθε ένα από τα τρία μεγέθη πέστροφας και για την περίοδο αναπαραγωγής (4 στάδια, συνολικά) να αποδοθούν αντιπροσωπευτικές ΥΜΜ, η σοβαρή απώλεια των οποίων σε μειωμένες παροχές θα ισοδυναμεί με δυσμενείς επιπτώσεις.

⁸ APEM (2012) Functional Habitat Assessment Tool (FHAT): A rapid assessment tool for the identification of ecologically acceptable flows for fish and other aquatic fauna and flora. Poster presentation, IFM Annual Conference 2012, Edinburgh.

Με δεδομένα τα όσα έχουν αναφερθεί για τα κριτήρια αξιολόγησης (παράγραφος 2.4), δεν εκπλήσσει το γεγονός ότι σε κάποιες περιπτώσεις τα όρια «προτιμησης» είναι ασαφή. Επιπρόσθετα, μπορεί να προτιμάται κάποιο μεσοενδιαίτημα, μολαταύτα να χρησιμοποιείται για διάφορους λόγους και κάποιο άλλο, λιγότερο ή περισσότερο συγγενές. Επομένως, οι προτιμήσεις είναι ευρείες και οι YMM είναι αντιπροσωπευτικές για το κάθε στάδιο σε μεγαλύτερο ή μικρότερο βαθμό. Βασιζόμενοι κυρίως στις Καμπύλες Καταλληλότητας Ενδιαιτήματος (Εικόνα 2.3-2), αλλά και στα βιβλιογραφικά δεδομένα, προκύπτει ο **Πίνακας 2.6-1**, όπου σε κάθε στάδιο και για την κάθε Υδρομορφολογική Μονάδα αντιστοιχείται ένας Δείκτης Καταλληλότητας Μεσοενδιαιτήματος. Ευνόητα, κάποια πεδία του πίνακα παραμένουν κενά, αφού ορισμένες YMM δεν ενδείκνυνται για το υπό μελέτη είδος. Τονίζεται, ωστόσο, ότι σε επίπεδο εφαρμογής ενδέχεται άλλοι οργανισμοί να αρέσκονται σε διαφορετικές συνθήκες ροές και τα κενά πεδία να συμπληρωθούν για αυτούς. Ύστερα, οι Δείκτες Καταλληλότητας Μεσοενδιαιτήματος χρησιμοποιούνται, κατά κάποιο, τρόπο ως συντελεστές βαρύτητας. Σε κάθε παροχή, αφού χαρτογραφηθούν οι YMM (Παράγραφος 2.5), η συνολική επιφάνεια της κάθε κατηγορίας YMM πολλαπλασιάζεται με το συντελεστή του **Πίνακας 2.6-1**. Με τον τρόπο αυτό, μπορεί να δει κανείς πόση επιφάνεια είναι αξιοποιήσιμη από το κάθε είδος, με άλλα λόγια ποια είναι η Ωφέλιμη Επιφάνεια (Usable Habitat Area) για κάθε στάδιο της πέστροφας. Σε κάθε παροχή αναδεικνύονται τέσσερις Ωφέλιμες Επιφάνειες, κατά το μέγιστο, μία για κάθε στάδιο. Έτσι, λοιπόν, για κάθε παροχή που προσομοιώνουμε δεν έχουμε απλώς μια χαρτογράφηση των YMM, η οποία παρέχει μια καλή εικόνα για τα υδραυλικά χαρακτηριστικά της ροής, αλλά παραμένει θολή η σύνδεση με τις βιοτικές παραμέτρους, αλλά εξακριβώνεται πλέον η σχέση της παροχής με τους ζωντανούς οργανισμούς του ποταμού. Αυτό σημαίνει ότι συγκρίνοντας την Ωφέλιμη Επιφάνεια στο φυσικό καθεστώς και στην όποια προτεινόμενη οικολογική παροχή, μπορεί να συμπεράνει κανείς κατά πόσο καλύπτονται οι βιοτικές ανάγκες, και όχι μόνο ενός είδους.

Πίνακας 2.6-1. Καταλληλότητα Μεσοενδιαιτημάτων (Υδρομορφολογικών Μονάδων) για κάθε στάδιο της πέστροφας

Τύπος YMM	Δείκτης Καταλληλότητας Μεσοενδιαιτήματος			
	Μικρή πέστροφα	Μεσαία πέστροφα	Μεγάλη πέστροφα	Αναπαραγωγή
Pool	0.5	0.6	1	
Slackwater	0.3	0.4	0.3	
Slow glide	0.4	0.4	0.4	0.5
Fast glide	0.5	0.3	0.4	0.4
Riffle trans	0.2	0.3		1
Riffle		0.2		0.2
Run	0.2	0.5	0.3	
Chute				

Στη λογική αυτή στηρίζεται η αξιολόγηση των μεθόδων εκτίμησης οικολογικής παροχής, που πραγματοποιείται με την παρούσα εργασία. Έχοντας ως δεδομένο το φυσικό υδρολογικό καθεστώς (baseline scenario), και ακριβέστερα τις διάμεσες παροχές κάθε μήνα, πέρα από την ποιοτική αξιολόγηση της μεταβολής όλων των YMM με την εφαρμογή των υπό εξέταση οικολογικών παροχών, πραγματοποιείται η επισκόπηση των μεταβολών των Ωφέλιμων Επιφανειών, καθώς αυτές είναι που προδίδουν, τελικά, κατά πόσο απομένει στην πέστροφα

αξιοποιήσιμος χώρος στον ποταμό και όχι απλώς χώρος. Για παράδειγμα, μία μείωση της παροχής φαινομενικά μικρή ενδέχεται να αποδειχθεί ότι δεν είναι αποδεκτή, διότι μειώνονται σημαντικά οι χρήσιμες ΥΜΜ για την πέστροφα ή και το αντίστροφο. Προκειμένου αυτό να γίνει ευκολότερα αντιληπτό, διευκολύνοντας έτσι την αξιολόγηση των προτεινόμενων παροχών, στην ποσοστιαία μεταβολή των ΥΜΜ για κάθε στάδιο ανάπτυξης αποδίδεται ένας Βαθμός Επιπτώσεων (Habitat Impact Factor), ανάλογα με το μέγεθος της μεταβολής των ΥΜΜ, όπως φαίνεται στον **Πίνακα 2.6-2**.

Πίνακας 2.6-2. Βαθμός Επιπτώσεων (Habitat Impact Factor)

Περιγραφή	Μέγεθος Μεταβολής	Βαθμός Επιπτώσεων
Μεγάλο Όφελος	> 35%	3
Μέτριο Όφελος	20% – 35%	2
Μικρό Όφελος	5% – 20%	1
Αμελητέα διαφορά	-5% – 5%	0
Μικρή Επίπτωση	-5% – -20%	-1
Μέτρια Επίπτωση	-20% – -35%	-2
Μεγάλη Επίπτωση	> -35%	-3

(πηγή: APEM, 2013 (© Sniffer 2013). WFD 122. Final Report -Physical habitat estimation for ecological river flow requirements. www.sniffer.org.uk)

Δεν είναι, όμως, όλα τα στάδια της πέστροφας παρόντα στον ποταμό την ίδια χρονική περίοδο. Για παράδειγμα, τα ιχθύδια (fry) υπάρχουν μόνο τους θερινούς μήνες, έχοντας γεννηθεί συνηθέστερα το Μάιο. Τους επόμενους μήνες έχουν αυξήσει το σωματικό τους βάρος και άρα έχουν αλλάξει οι προτιμήσεις και οι δυνατότητες επιλογής συνθηκών ροής. Ακόμα, οι υψηλές ροές παρατηρούνται από το Νοέμβριο και, ταυτόχρονα η περίοδος αναπαραγωγής διαρκεί από το Νοέμβριο ως τον Ιανουάριο, επομένως δεν έχει νόημα να αναζητήσουμε τα κατάλληλα για ωοαπόθεση μεσοενδιαίτηματα τους υπόλοιπους μήνες. Το φαινόμενο αυτό στο εργαλείο FHAT αντιμετωπίζεται με Συντελεστές Εποχιακής Ευαισθησίας που αντιστοιχούνται σε κάθε μήνα και στάδιο ανάπτυξης/είδος. Αναλόγως και εδώ, σε κάθε μήνα αποδίδεται ένας συντελεστής για κάθε στάδιο ανάπτυξης της πέστροφας (

Πίνακας 2.6-3), που πολλαπλασιάζεται με το Βαθμό Επίπτωσης που αποδόθηκε στη μεταβολή των ΥΜΜ. Ευνόητα, ο συντελεστής 0 υπονοεί απουσία και ο συντελεστής 1 παρουσία του είδους/σταδίου. Αναγνωρίζεται, όμως, και η περίπτωση όπου το είδος είναι παρόν αλλά σε μεταβατικό στάδιο, όπως το Σεπτέμβριο όπου τα ιχθύδια μεταβαίνουν στο στάδιο της νεαρής πέστροφας (juvenile), ή η ενήλικη πέστροφα είναι παρούσα όλο το χρόνο και τους μήνες που δεν αναπαράγεται μπορεί να προσαρμοστεί ευκολότερα. Στις περιπτώσεις αυτές αποδίδεται ο συντελεστής 0,5.

Τα αποτελέσματα της παραπάνω διαδικασίας συγκεντρώνονται σε έναν Πίνακα Σχετικού Κινδύνου (Relative Risk Matrix), ο οποίος παρέχει ευδιάκριτα πληροφορίες για το μέγεθος των επιπτώσεων που έχει η εφαρμογή μιας παροχής, έχοντας λάβει υπόψη τις «προτιμήσεις» κάθε σταδίου ανάπτυξης που εμφανίζεται τη συγκεκριμένη εποχή και «ειδοποιεί» τους ειδικούς

επιστήμονες για ενδεχομένως αναγκαίες διορθωτικές κινήσεις ως προς την παροχή που αφήνεται στον ποταμό κατάντη ενός υδραυλικού έργου.

Πίνακας 2.6-3. Συντελεστής Εποχιακής Ευαισθησίας (Seasonal Sensitivity Scores) για κάθε στάδιο ανάπτυξης της πέστοφας και για κάθε μήνα

Μήνας	Συντελεστής Εποχιακής Ευαισθησίας			
	Μικρή πέστοφα	Μεσαία πέστοφα	Μεγάλη πέστοφα	Αναπαραγωγή
Jan	0	1	1	1
Feb	0	1	0.5	0
Mar	0	1	0.5	0
Apr	0	1	0.5	0
May	1	1	0.5	0
Jun	1	1	0.5	0
Jul	1	1	0.5	0
Aug	1	1	0.5	0
Sep	1	1	0.5	0
Oct	0.5	1	0.5	0
Nov	0	1	1	1
Dec	0	1	1	1

Η ως άνω διαδικασία πραγματοποιείται για τη σύγκριση των αποτελεσμάτων κάποιων από τις πολλές μεθόδους εκτίμησης οικολογικής παροχής που χρησιμοποιούνται ευρέως σε σχέση με τη φυσική ροή:

- Μέθοδος Ανάλυσης Εύρους Μεταβλητότητας.
Συγκρίνεται η μηνιαία διάμεσος παροχή της φυσικής ροής και η μηνιαία Χαμηλή Ροή στο τροποποιημένο υδρ. καθεστώς, όπως υπολογίστηκαν από το λογισμικό IHA (The Nature Conservancy, 2009)
- Υδρο-οικολογικό Εργαλείο ECOFLOW
Πρόκειται για μία μεθοδολογία που ανήκει στην κατηγορία προσομοίωσης ενδαιτημάτων και ακολουθεί τη λογική της IFIM. Τα αποτελέσματα, μία προτεινόμενη οικολογική παροχή για κάθε στάδιο της πέστοφας, συγκρίνονται με τις παροχές του φυσικού υδρ. καθεστώτος για την εποχή που εμφανίζονται αυτά τα στάδια στον ποταμό.
- Προτεινόμενη οικολογική παροχή από τη νομοθεσία
Είναι μια απλή υδρολογική μέθοδος που προτείνει μία ελάχιστη παροχή που, όμως, δεν αφορά σε συγκεκριμένη περίοδο. Για το λόγο αυτό, θα συγκριθεί μόνο με τη βασική ροή.

Πίνακας 2.6-4. Σύγκριση της φυσικής ροής με τα σενάρια των οικολογικών παροχών των διαφόρων μεθοδολογιών (οι παροχές δίνονται σε m³/s)

	Φυσικό Υδρολογικό καθεστώς	RVA - Χαμηλές ροές	Υδρο-οικολογικό ecoflow	Παροχή νομοθεσίας
Jan	23.86	19.36	2.5	
Feb	32.93	23.34	5	
Mar	32.83	22.59	5	
Apr	33.98	28.06	5	
May	22.46	19.57	3.55	
Jun	11.44	10.54	3.55	
Jul	7.62	6.855	3.55	
Aug	6.13	6.14	3.55	
Sep	5.45	6.025	3.55	
Oct	6.15	6.56	3.55	
Nov	15.2	8.36	2.5	
Dec	29.9	17.77	2.5	
Βασική ροή	4.38			2,725

2.6.2 Χωρική ανάλυση Υδρομορφολογικών Μονάδων

Σε αντίστοιχες μελέτες, και γενικότερα σε μελέτες οικολογίας (landscape ecology), χρησιμοποιούνται διάφοροι δείκτες χωρικής ανάλυσης, ή –όπως αλλιώς αναφέρεται– Μετρικής Τοπολογίας (Landscape Metrics), για την καλύτερη κατανόηση των λειτουργιών εντός των οικοσυστημάτων, οι οποίοι αφορούν στην ετερογένεια, την κυριαρχία, τη συνδεσιμότητα, κλπ., των χωρικών τμημάτων ή πληθυσμών. Εδώ, επιλέχθηκαν δύο σχετικά απλοί δείκτες, οι οποίοι –έχοντας μετατρέψει τα raster αρχεία σε vector μορφή– υπολογίζονται από το εμβαδόν των πολυγώνων των YMM και, πιο συγκεκριμένα, από την επεξεργασία των δεδομένων του πίνακα ιδιοτήτων (attribute table) σε λογιστικά φύλλα.

2.6.2.1 Ποσοστό Κάλυψης

Υπολογίζοντας την επιφάνεια που καταλαμβάνει κάθε υδρομορφολογική μονάδα, γίνεται πιο σαφής η όποια μεταβολή στα μεσοενδιαίτηματα συναρτήσει της ροής. Η παρακάτω εξίσωση αφορά στη συνολική επιφάνεια που καταλαμβάνει ένας τύπος μεσοενδιαίτηματος στο σύνολο της βρεχόμενης επιφάνειας και όχι κάθε ξεχωριστή μονάδα.

$$PK_{(i)} = \frac{A_i}{A_t} \quad (4)$$

Όπου PK = Ποσοστό κάλυψης του ενδιαίτηματος i

i = κατηγορία μεσοενδιαιτήματος

A_i = επιφάνεια που καταλαμβάνει το μεσοενδιαίτημα i

A_t = συνολική βρεχόμενη επιφάνεια

2.6.2.2 Δείκτες Ετερογένειας και Κυριαρχίας

Ο O'Neill και οι συνεργάτες του (1988) πρότειναν δύο δείκτες για την ανάλυση χωρικών προτύπων, οι οποίοι –αν και αρχικά αναπτύχθηκαν για την ποσοτικοποίηση της εντροπίας ενός κειμένου ή αλλιώς την πρόβλεψη εμφάνισης κάποιου γράμματος σε ένα κείμενο– είναι ευρέως διαδεδομένοι στον κλάδο των φυσικών/βιολογικών επιστημών. Έχουν, δε, εφαρμοστεί για την ανάλυση των χωρικών προτύπων των υδρομορφολογικών μονάδων και σε προηγούμενες μελέτες (Maddock et al., 2008, Wyrick & Pasternack, 2014, Harby et. al., 2007, κ.α.).

Ο πρώτος δείκτης αφορά στη μέτρηση της Ετερογένειας H (Shannon Diversity Index⁹):

$$H = - \sum(p_i \times \ln p_i) \quad (5)$$

Όπου P_i = το ποσοστό κάλυψης του μεσοενδιαιτήματος τύπου i

Για N τύπους Υδρομορφολογικών Μονάδων, η μέγιστη ετερογένεια θα εμφανίζεται όταν κάθε τύπος μεσοενδιαιτήματος καταλαμβάνει περίπου ίδια επιφάνεια, δηλαδή $1/N$ της βρεχόμενης επιφάνειας. Εν προκειμένω, οι κατηγορίες Υδρομορφολογικών Μονάδων είναι 8, άρα ο μέγιστος βαθμός ετερογένειας 2,079. Ωστόσο, στην παρούσα εργασία τα αποτελέσματα θα παρουσιαστούν ως ποσοστά.

Από την άλλη, ο Δείκτης Κυριαρχίας D υποδεικνύει το ποσοστό κυριαρχίας κάποιου τύπου ΥΜΜ σε μία περιοχή. Αποτελεί, δε, συμπληρωματικό μέγεθος του Δείκτη Ετερογένειας.

$$D = \ln N - H \quad (6)$$

Όπου N = ο συνολικός αριθμός των τύπων Υδρομορφολογικών Μονάδων που παρατηρούνται

H = ο δείκτης ετερογένειας

Αν και οι δείκτες αυτοί συναντώνται συχνότερα σε μελέτες βιοποικιλότητας, πληθυσμιακής οικολογίας, κλπ, μπορούν και σε αυτήν την περίπτωση να δώσουν μια εικόνα για τη χωρική διάταξη των ΥΜΜ ενός ποταμού. Για παράδειγμα, σε τμήμα ποταμού όπου δεν παρουσιάζει κάποιο κυρίαρχο τύπο μεσοενδιαιτήματος, ο δείκτης D θα τείνει στο 0 και ο δείκτης J στο 1. Κάτι τέτοιο υποδεικνύει ετερογένεια μεσοενδιαιτημάτων στον ποταμό αυτό.

⁹ Shannon, C.E. & Weaver, W. (1962) The mathematical theory of communication. University of Illinois Press, Urbana, 125pp.

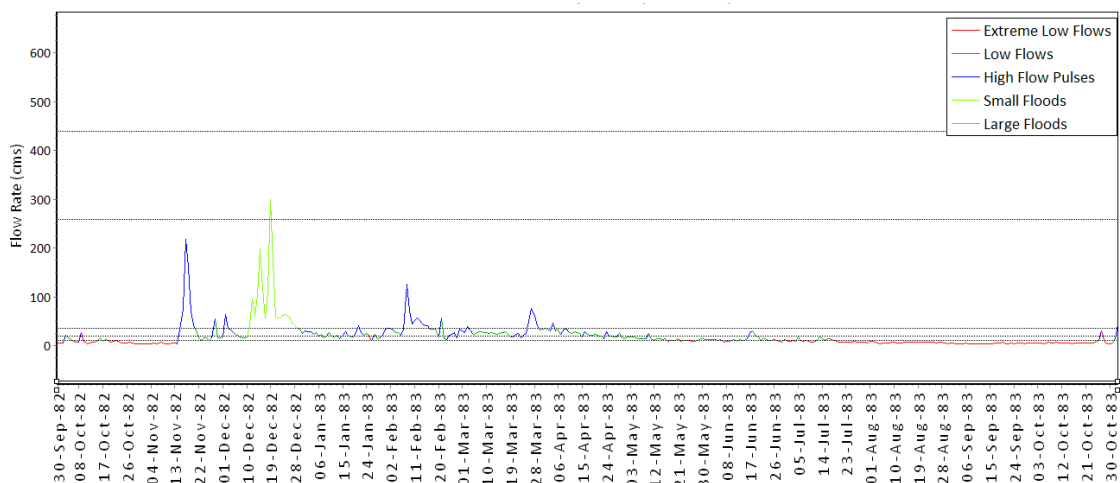
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1 Προτεινόμενες παροχές

3.1.1 Προτεινόμενες παροχές μέσω της Ανάλυσης Εύρους Μεταβλητότητας

3.1.1.1 Ανάλυση Υδρολογικού Καθεστώτος

Με τον τρόπο που περιγράφηκε αναλυτικά στο Κεφάλαιο 2.2.1, υπολογίστηκαν οι Δείκτες Υδρολογικής Τροποποίησης (Richter, et al., 1996) και οι Συνιστώσες Περιβαλλοντικών Ροών (Richter et al., 1998) με το λογισμικό IHA v.7.1. Από την ανάλυση των παροχών φάνηκε ότι και ο Οκτώβριος είναι μήνας χαμηλών παροχών, ενδεχομένως λόγω του ότι οι βροχοπτώσεις κατά το μήνα αυτό διηθούνται στο ξηρό έδαφος και δεν μετατρέπονται ακόμα σε σημαντική επιφανειακή απορροή. Στο **Σχήμα 3.1-1** παρουσιάζεται ενδεικτικά το υδρολογικό έτος 1982-1983, όπου φαίνεται ότι η αύξηση της παροχής σημειώνεται στα μέσα Νοεμβρίου. Γενικά, παρατηρήθηκε ότι οι παροχές αρχίζουν να αυξάνονται σημαντικά από τα μέσα Οκτωβρίου ως μέσα Νοεμβρίου. Υπενθυμίζεται ότι, όπως εξηγείται αναλυτικότερα στο κεφάλαιο της Μεθοδολογίας (2.2.1.2), έγινε η επιλογή να πραγματοποιηθεί η μη παραμετρική ανάλυση με το λογισμικό IHA, δηλαδή να υπολογιστούν οι διάμεσες τιμές της παροχής και όχι οι μέσες, καθώς τα υδρολογικά δεδομένα δεν υπακούουν σε κανονική κατανομή. Οι εξαιρετικά χαμηλές ροές παρατηρούνται κατά τα μέσα Ιουλίου, έχοντας μικρή διάρκεια, ενώ οι υψηλές ροές κατά τους χειμερινούς μήνες, κυρίως Δεκέμβριο και Φεβρουάριο. Επιπλέον, οι αντιστροφές της ροής – (reversals) (Ομάδα 5 των Δεικτών Υδρολογικής Τροποποίησης), δηλαδή οι μεταβάσεις της ροής από το ένα καθεστώς σε άλλο, για το υπό μελέτη τμήμα του ποταμού αριθμούν στις 197 και ο ρυθμός μεταβολής της ροής περίπου $\pm 2,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Η προβλεψιμότητα της ροής εκτιμάται στο 54% για το έτος, ενώ ο συντελεστής της σταθερότητας προς τη μεταβλητότητα της ροής εκτιμάται στο 61%. Οι δείκτες αυτοί επιβεβαιώνουν την περιοδικότητα του καθεστώτος ροής.



Σχήμα 3.1-1. Συνιστώσες περιβαλλοντικών ροών στο φράγμα της Μεσοχώρας ενδεικτικά για το έτος 1982.

Το γεγονός αυτό συνηγορεί στην ανάλυση των δεικτών ανά περιόδους και όχι στο σύνολο του υδρολογικού έτους. Από το Μάιο και έπειτα η μέση παροχή μειώνεται σταδιακά, ενώ τους μήνες Ιούλιο ως Οκτώβριο η μέση παροχή κυμαίνεται στα 5,5 ως 7,5 m^3/s , υποδεικνύοντας τη χρονική διάρκεια της ξηρής περιόδου του υδρολογικού έτους. Η μεγάλη αύξηση της μέσης μηνιαίας παροχής παρατηρείται το Νοέμβριο και, έπειτα από μία πτώση τον Ιανουάριο, για την περίοδο Φεβρουαρίου – Μαρτίου – Απριλίου η παροχή διατηρείται σε πολύ υψηλά επίπεδα. (**Σχήμα 3.1-2**). Η επισκόπηση των δεικτών για συγκεκριμένες περιόδους θα συμβάλει στην ορθότερη αξιολόγηση των επιπτώσεων στο βιοδείκτη. Συνεπώς, πέρα από το υδρογράφημα και το

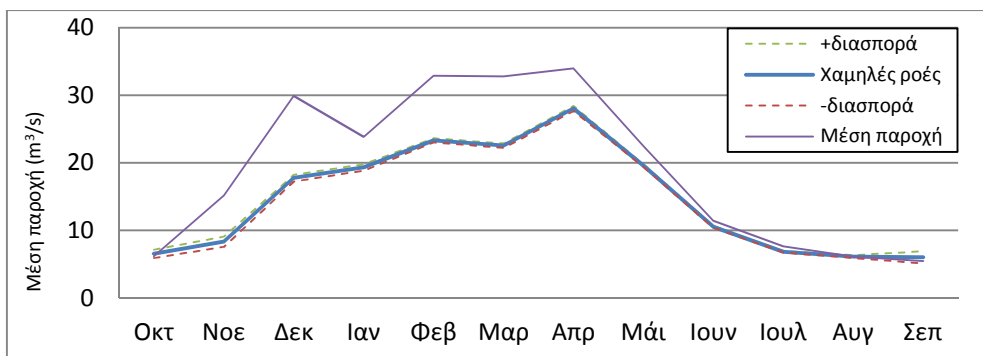
διαχωρισμό των περιόδων υψηλών και χαμηλών ροών, λαμβάνονται υπόψη και οι πληροφορίες για την οικολογία της πέστροφας. Η αύξηση της παροχής το Νοέμβριο σηματοδοτεί την έναρξη των ανάδρομων μεταναστεύσεων της πέστροφας με σκοπό την αναπαραγωγή. Πράγματι, η αναπαραγωγική περίοδος σύμφωνα με το «Κόκκινο Βιβλίο των Απειλούμενων Ζώων της Ελλάδας» παρατηρείται τους μήνες από Νοέμβριο ως Ιανουάριο. Οι υψηλές ροές συνεχίζουν μέχρι τον Απρίλιο, ενώ οι πρώτες εμφανίσεις των ιχθυδίων παρατηρούνται συνήθως το Μάιο. Αναφορές έχουν γίνει για μεταναστεύσεις στα κατάντη προς αναζήτηση θερμικών καταφυγίων από τα μέσα Ιουνίου ως τις αρχές Νοεμβρίου και εντονότερα τον Αύγουστο, επομένως στην περιοχή μελέτης ταυτίζονται πιθανά με τις χαμηλές ροές Αυγούστου ως Οκτωβρίου.

Βάσει των ως άνω, καταλήγουμε στις παρακάτω περιόδους:

- Νοέμβριος – Ιανουάριος
- Φεβρουάριος – Απρίλιος
- Μάιος – Ιούλιος
- Αύγουστος – Οκτώβριος

Πίνακας 3.1-1. Μέση μηνιαία παροχή (διάμεσος τιμή), σύμφωνα με το λογισμικό IHA, για την περιοχή μελέτης

	Μέση Παροχή	
	Διάμεσος	Διασπορά
Οκτώβριος	6.15	0.6715
Νοέμβριος	15.2	0.7839
Δεκέμβριος	29.9	1.034
Ιανουάριος	23.86	0.9912
Φεβρουάριος	32.93	0.539
Μάρτιος	32.83	0.5498
Απρίλιος	33.98	0.3772
Μάιος	22.46	0.5209
Ιούνιος	11.44	0.3808
Ιούλιος	7.62	0.2612
Αύγουστος	6.13	0.2088
Σεπτέμβριος	5.45	0.2642



Σχήμα 3.1-2. Μέση μηνιαία παροχή (διάμεσος τιμή) και μηνιαίες χαμηλές ροές, σύμφωνα με το λογισμικό IHA, για την περιοχή μελέτης

Πολύ σημαντικό ρόλο διαδραματίζουν η ένταση, η διάρκεια και ο χρονισμός (timing) των ακραίων συνθηκών, αλλά και ο ρυθμός μεταβολής της ροής (Richter, et al., 1997, Mathews & Richter, 2007, Graciela et. al. 2009).

Αναμενόμενα, κατά τη θερινή περίοδο δεν παρατηρούνται πλημμύρες. Τα πλημμυρικά φαινόμενα εμφανίζονται το νωρίτερο στα τέλη Οκτωβρίου και κυρίως κατά στα τέλη του Δεκεμβρίου ή τα μέσα Φεβρουαρίου. Υψηλότερες ροές παρατηρούνται κατά το δεύτερο μισό της χειμερινής περιόδου, μεγαλύτερες και διαρκέστερες μικρές πλημμύρες, αλλά εντονότερες (μικρότερης διάρκειας και σαφώς μεγαλύτερης παροχής) μεγάλες πλημμύρες. Σημαντικά μεγαλύτερος ρυθμός αύξησης της παροχής παρατηρείται κατά την περίοδο Φεβρουαρίου – Απριλίου.

Τα επίπεδα παροχών είναι πολύ χαμηλότερα κατά τη θερινή περίοδο, αν και οι ακραία χαμηλές ροές δεν διαφοροποιούνται σημαντικά. Οι υψηλές ροές, αναμενόμενα, εκκινούν από πολύ χαμηλότερο επίπεδο, ειδικά για την περίοδο Αυγούστου – Οκτωβρίου.

Τέλος, εξετάζοντας το λόγο σταθερότητας/ προβλεψιμότητας φαίνεται ότι είναι σαφώς μεγαλύτερος σε κάθε τρίμηνη περίοδο από ότι στο σύνολο του υδρολογικού έτους, κάτι που επαληθεύει την εποχικότητα των μεταβολών ροής σε αυτή τη χρονική βάση.

Πίνακας 3.1-2. Χαρακτηριστικά υψηλών ροών ανά μελετώμενη περίοδο του υδρολογικού έτους

Περίοδος	Υψηλές ροές				
	Παροχή	Διάρκεια	Χρονισμός	Συχνότητα	Ρυθμός μεταβολής
	m ³ /s	(μέρες)	(Ιουλιανή μέρα)		m ³ /s /day
Νοε – Ιαν	36.3	4	353.5	7	+9.387 -5.651
Φεβ – Απρ	48,51	6,5	75,5	5	+7,79 -4455
Μαι – Ιουλ	15.64	2	170	9	+4.24 -2.39
Αυγ - Οκτ	11.25	1.5	262	7	+4.185 -3.92
Υδρολ. Έτος	21.2	3	122	30	+5.52 -3.585

Πίνακας 3.1-3. Χαρακτηριστικά χαμηλών ροών ανά μελετώμενη περίοδο του υδρολογικού έτους

Περίοδος	Χαμηλές ροές			
	Παροχή	Διάρκεια	Χρονισμός	Συχνότητα
	m ³ /s	(μέρες)	(Ιουλιανή μέρα)	
Νοε – Ιαν	3.895	1.5	317.5	2
Φεβ – Απρ	4.29	1	46.25	0
Μαι – Ιουλ	4.61	1	196	1
Αυγ - Οκτ	4.405	2	253.5	10
Υδρολ. Έτος	4.425	1	258	13

Πίνακας 3.1-4. Χαρακτηριστικά του καθεστώτος ροής (αριθμός αντιστροφών, σταθερότητα, προβλεψιμότητα) ανά μελετώμενη περίοδο του υδρολογικού έτους

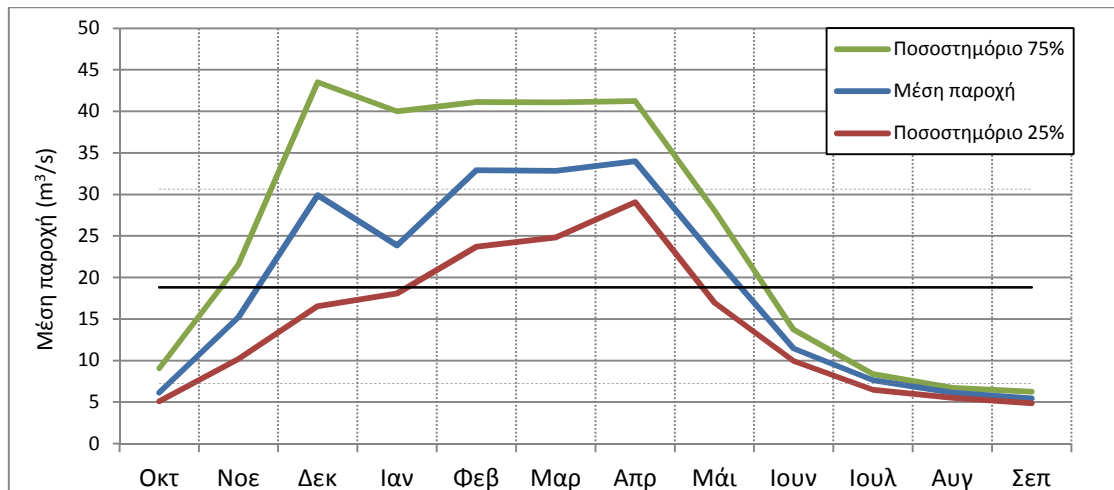
	Αριθμός αντιστροφών	Προβλεψιμότητα ροής	Σταθερότητα / Προβλεψιμότητα
Νοε – Ιαν	45	0.36	0.82
Φεβ – Απρ	47	0.49	0.91
Μαι – Ιουλ	51	0.65	0.74
Αυγ - Οκτ	51	0.63	0.92
Υδρολ. Έτος	197	0.54	0.61

3.1.1.2 Καθορισμός αρχικών οικολογικών παροχών προς αξιολόγηση

Στην ανάλυση του υδρολογικού καθεστώτος με το λογισμικό IHA, μείζονος σημασίας συνιστώσα είναι οι «χαμηλές ροές», οι οποίες συμβολίζουν τη βασική ροή του ποταμού. Χαμηλότερες παροχές συνιστούν στρεσογόνες συνθήκες για τους οργανισμούς του οικοσυστήματος. Εύλογο είναι, λοιπόν, η παράμετρος αυτή να αποτελεί το κάτω όριο του αποδεκτού εύρους παροχών του τροποποιημένου καθεστώτος ροής. Στην παρούσα εργασία οι χαμηλές ροές, οι οποίες ορίστηκαν ως οι παροχές μικρότερες του 25% των ημερήσιων παροχών, αποτελούν την ελάχιστη (μηνιαία) οικολογική παροχή που προτείνεται να αφήνεται στον ποταμό, που αναφέρεται εν συντομία και ως «οικολογική παροχή». Στο **Σχήμα 3.1-3** η μέση απορροή απεικονίζεται με μπλε χρώμα, ενώ οι χαμηλές και υψηλές ροές με κόκκινο και πράσινο χρώμα, αντίστοιχα.

Πίνακας 3.1-5. Μέση μηνιαία χαμηλή ροή (διάμεσος τιμή), με το λογισμικό IHA

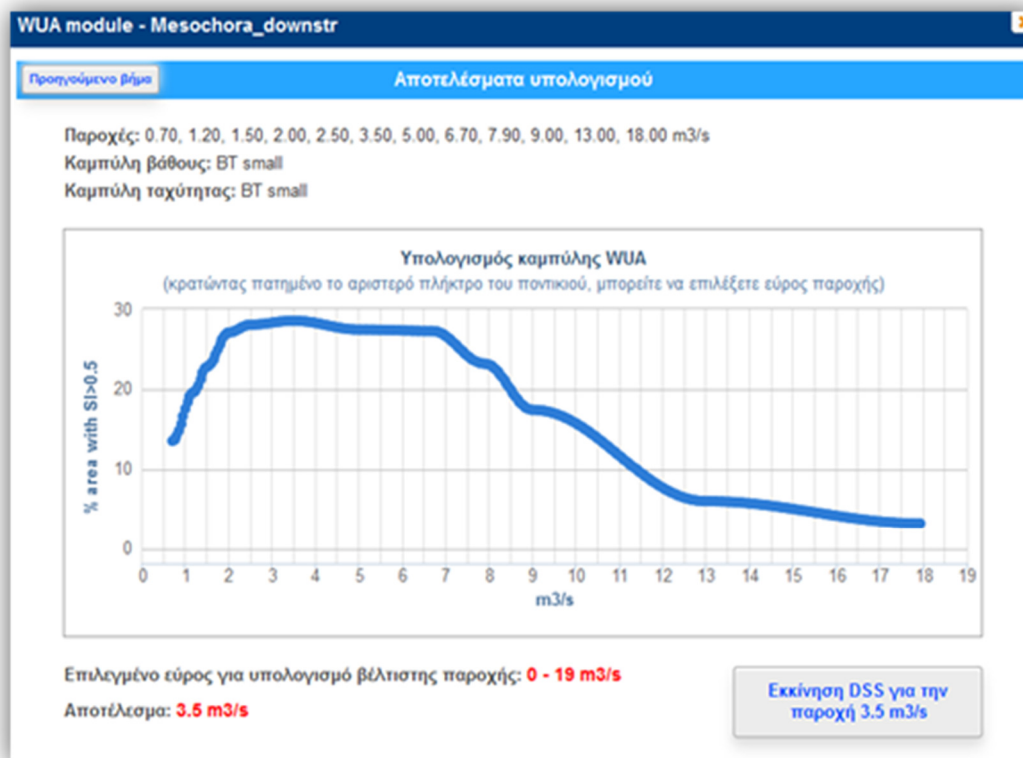
	Χαμηλές Ροές	
	Διάμεσος	Διασπορά
Οκτώβριος	6.56	0.1951
Νοέμβριος	8.36	0.9091
Δεκέμβριος	17.77	0.6075
Ιανουάριος	19.36	0.7513
Φεβρουάριος	23.34	0.5071
Μάρτιος	22.59	0.4674
Απρίλιος	28.06	0.3061
Μάιος	19.57	0.3301
Ιούνιος	10.54	0.3814
Ιούλιος	6.855	0.2028
Αύγουστος	6.14	0.1482
Σεπτέμβριος	6.025	0.1481



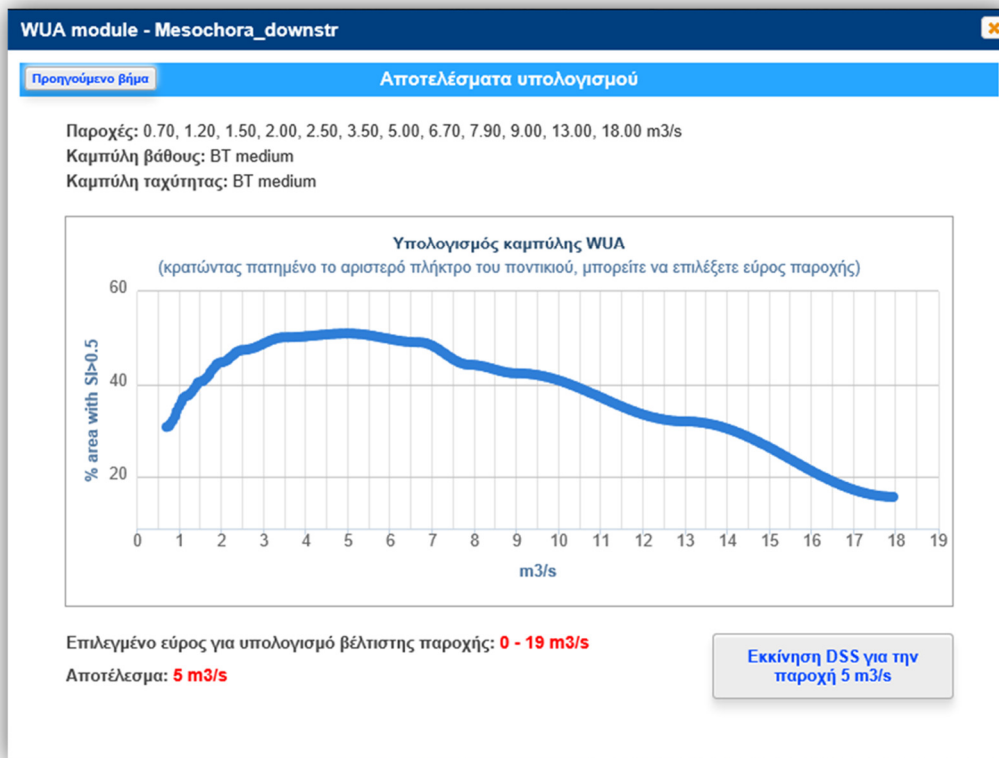
Σχήμα 3.1-3. Διάγραμμα προτεινόμενων παροχών μέσω της Ανάλυσης του Εύρους Μεταβλητότητας (μέση μηνιαία παροχή).

3.1.2 Προτεινόμενες παροχές μέσω του υδρο-οικολογικού εργαλείου ECOFLOW

Με τη διαδικασία που περιγράφεται λεπτομερέστερα στην παράγραφο 2.3.2, εισήχθησαν στην διαδικτυακή πλατφόρμα <http://ecorplatform.mygis.gr> τα αποτελέσματα της υδραυλικής προσομοίωσης για την περιοχή μελέτης για διάφορες παροχές από 0,7 ως 18m³/s και υπολογίστηκαν οι καμπύλες Σταθμισμένης Κατάλληλης Έκτασης για κάθε μέγεθος ψαριού/στάδιο ανάπτυξης, όπως φαίνονται στις παρακάτω εικόνες. Στον Πίνακα 3.1-6 συνοψίζονται οι προτεινόμενες οικολογικές παροχές που θα αξιολογηθούν επόμενα.



Εικόνα 3.1-1. Σταθμισμένη Κατάλληλη Έκταση για τη μικρή πέστροφα με την εφαρμογή του Υδρο-οικολογικού εργαλείου ECOFLOW στην περιοχή μελέτης



Εικόνα 3.1-2. Σταθμισμένη Κατάλληλη Έκταση για τη μεσαία πέστροφα με την εφαρμογή του Υδρο-οικολογικού εργαλείου ECOFLOW στην περιοχή μελέτης



Εικόνα 3.1-3. Σταθμισμένη Κατάλληλη Έκταση για τη μεγάλη πέστροφα με την εφαρμογή του Υδρο-οικολογικού εργαλείου ECOFLOW στην περιοχή μελέτης

Πίνακας 3.1-6. Προτεινόμενη οικολογική παροχή για τα τρία στάδια ανάπτυξης της πέστροφας μέσω του υδρο-οικολογικού εργαλείου ECOFLOW

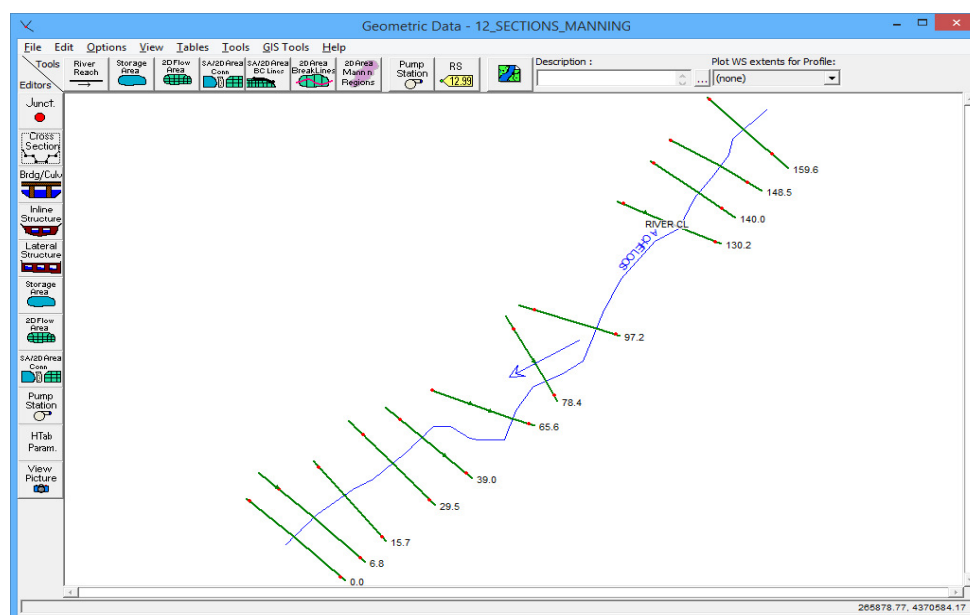
Στάδιο ανάπτυξης	Μέγεθος (cm)	Προτεινόμενη Οικ. Παροχή (m ³ /s)
Μικρή πέστροφα	0-10	3,5
Μεσαία πέστροφα	10-20	5
Μεγάλη πέστροφα	>20	2,5

3.1.3 Προτεινόμενη παροχή σύμφωνα με την ελληνική νομοθεσία

Σύμφωνα με την ελληνική νομοθεσία, η οικολογική παροχή ορίζεται ως το 30% της μέσης θερινής παροχής (Ιουνίου – Ιουλίου – Αυγούστου) ή ως το 50% της μέσης παροχής του Σεπτεμβρίου. Στο υπό μελέτη τμήμα του ποταμού αυτό μεταφράζεται στα 2,519 ή 2,725 m³/s, οπότε επιλέγεται η μεγαλύτερη εξ αυτών. Ας σημειωθεί ότι η προτεινόμενη ελάχιστη οικολογική παροχή καθ’ όλη την διάρκεια του έτους, σύμφωνα με τη ΜΠΕ¹⁰ του φράγματος της Μεσοχώρας υπολογίστηκε στο 1,5 m³/s.

3.2 Υδραυλική προσομοίωση

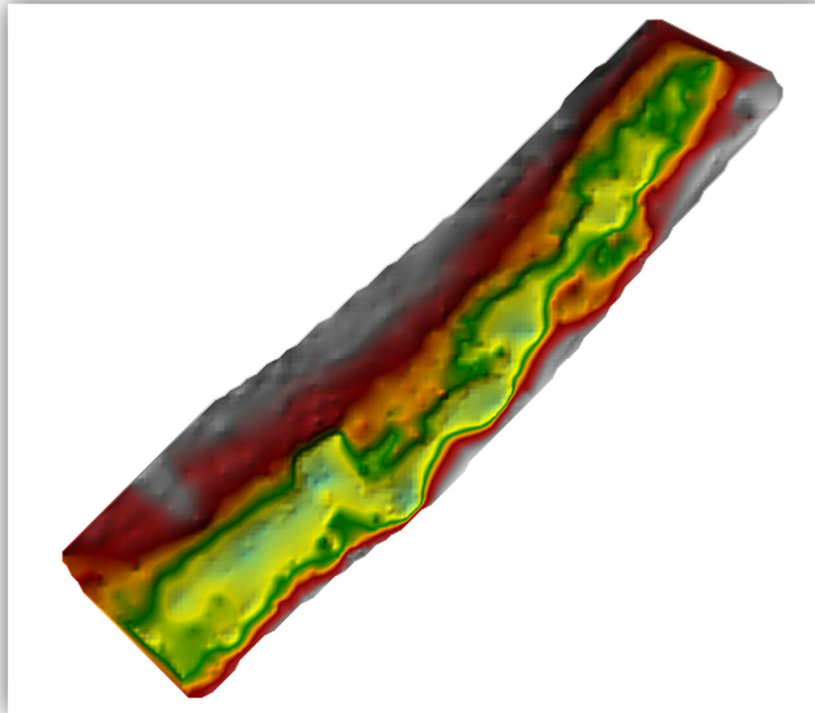
Το υδραυλικό μοντέλο εφαρμόστηκε με το λογισμικό HEC-RAS v.4.1.0 σύμφωνα με τα γραφόμενα της παραγράφου 2.5.1. Καθώς πρόκειται για ορεινό ποταμό, αναμενόμενο είναι να παρατηρούνται τιμές για το συντελεστή τραχύτητας κοντά στο 0,07. Οι συντελεστές τραχύτητας που αποδόθηκαν κατά μήκος κάθε διατομής συμφωνούν και με τα αποτελέσματα της βαθμονόμησης για το συντελεστή manning (0,06≤n≤0,08) στην ίδια περιοχή μελέτης¹¹, όπου το υδραυλικό μοντέλο εφαρμόστηκε με ανάλογη μεθοδολογία.



Εικόνα 3.2-1. Διατομές κατά μήκος του υπό μελέτη τμήματος του ποταμού

¹⁰ Ε.Υ.Δ.Ε. ΑΧΕΛΩΟΥ /ΥΠΕΧΩΔΕ. Εκτροπή Αχελώου – Συνολική Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων. Αθήνα, 1995

¹¹ Papadaki et. al., (in press)



Εικόνα 3.2-2. Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους της περιοχής μελέτης

3.3 Χαρτογράφηση ΥΜΜ σε φυσικό υδρολογικό καθεστώς

3.3.1 Χαρτογράφηση ΥΜΜ στη βασική ροή

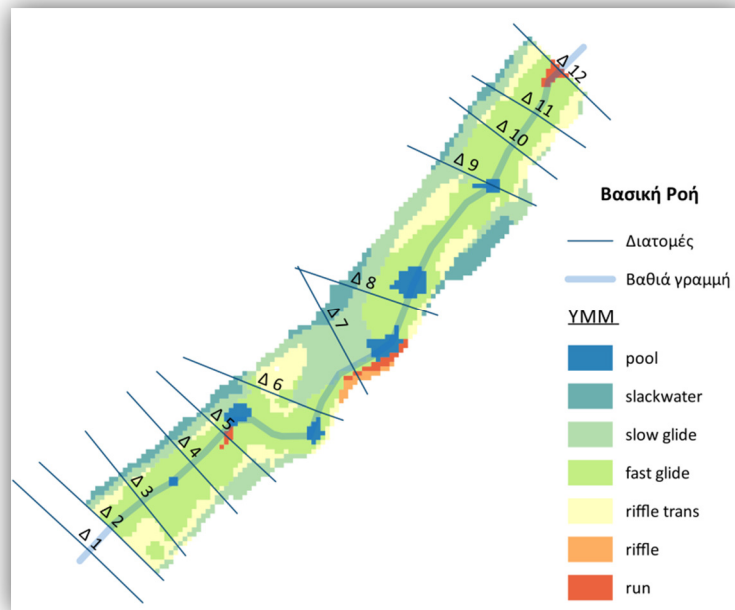
Εν είδη βαθμονόμησης του αλγόριθμου, είθισται το μοντέλο να εφαρμόζεται αρχικά στη βασική ροή. Το λογισμικό IHA v.7.1 (The Nature Conservancy, 2009) υπολογίζει το δείκτη βασικής ροής (Base Flow Index) σύμφωνα με τη μεθοδολογία που προτείνουν οι Poff και Ward (1989), όπου στην περίπτωση του υπό μελέτη τμήματος του Αχελώου είναι 0,1764. Όταν ο δείκτης αυτός πολλαπλασιαστεί με την ετήσια απορροή ($24,83 \text{ m}^3/\text{s}$), δίνει μια βασική ροή $4,38 \text{ m}^3/\text{s}$, που αντιστοιχεί σε 95% πιθανότητα υπέρβασης. Υπενθυμίζεται ότι στη χαρτογράφηση των Υδρομορφολογικών Μονάδων (ΥΜΜ) δεν περιλαμβάνεται το κατάντη τμήμα, δηλαδή το τμήμα μεταξύ Δ1 και Δ2 που στην **Εικόνα 3.3-1** εμφανίζεται κενό .

Η ανάλυση των ψηφιακών απεικονίσεων του HEC-RAS είναι 1×1 (1 m^2). Έτσι, κάποιες υδρομορφολογικές μονάδες που καταλαμβάνουν μόνο ένα εικονοστοιχείο μπορούν να θεωρηθούν ανάξιες λόγω εξαιτίας του μικρού μεγέθους τους. Κρίθηκε προτιμότερο, λοιπόν, τα ρίxel αυτά να ενσωματωθούν σε κάποιο άλλο μεσοενδιαίτημα που τα πλαισιώνει. Η λογική αυτή αποτελεί παραδοχή για όλες τις επόμενες αναλύσεις.

Αναμενόμενα για τόσο χαμηλή παροχή, δεν υπάρχει κανένα βαθύ και ταχύρροο μεσοενδιαίτημα (chute), ενώ η κυρίαρχη υδρομορφολογική μονάδα είναι τα ταχέως ολισθαίνοντα ύδατα (fast glide) με ποσοστό κάλυψης 44,5% και ακολουθούν τα βραδέως ολισθαίνοντα ύδατα (slow glide) με ποσοστό κάλυψης 23,3%. Ο Δείκτης Ετερογένειας H για τις 7 Υδρομορφολογικές Μονάδες που παρατηρούνται τελικά είναι 74.6%.

Σημαντικά είναι τα μικρά, πλευρικά ποταμολίμνια (pool) που σχηματίζονται στα σημεία που ο ποταμός εμφανίζει μικρό μαιανδρισμό, καθώς και δύο ακόμα ποταμολίμνια στα ανάντη (**Εικόνα 3.3-1**). Οι –μικρού ή μεγάλου βάθους– ταχύρροες ΥΜΜ (riffle, run) παρατηρούνται κυρίως κοντά

στις όχθες του ποταμού με πολύ μικρό ποσοστό κάλυψης, ενώ κάπως μεγαλύτερο ποσοστό καταλαμβάνουν οι μεταβατικές σε ταχύρροες ΥΜΜ (riffle transition).



Εικόνα 3.3-1. Υδρομορφολογικές μονάδες που παρατηρούνται κατά τη βασική ροή του ποταμού (4,38 m³/s)

3.3.2 Χαρτογράφηση ΥΜΜ για τη φυσική ροή ανά μήνα

Εξ όσων έχουν περιγραφεί σε προηγούμενα κεφάλαια για τις υδρομορφολογικές μονάδες και το πώς αυτές ορίζονται, εύκολα συμπεραίνει κανείς ότι οι διαφοροποιήσεις για τις διάφορες παροχές ανά μήνα αποτελούν κατά μία έννοια και ανάλυση των μεταβολών του υδρολογικού καθεστώτος. Ακόμα, με τον τρόπο αυτό λαμβάνονται υπόψη και τα διάφορα βιολογικά στάδια του επιλεγμένου βιοδείκτη (Παράγραφοι 2.4.4 και 2.6.1).

Όπως περιγράφεται λεπτομερέστερα και σε προηγούμενη παράγραφο, **κατά τη χειμερινή περίοδο** παρατηρείται μέση παροχή ανά μήνα πάνω από 20m³/s (με εξαίρεση τον Νοέμβριο με 15m³/s), μέχρι και το Μάιο. Υπενθυμίζεται ότι από την ανάλυση του υδρολογικού καθεστώτος η χειμερινή περίοδος ή αλλιώς η περίοδος των υψηλών παροχών φαίνεται να είναι η περίοδος από Νοέμβριο (15,2m³/s) ως και Μάιο (22,46m³/s), όσο αφορά στις παροχές του ποταμού. Αυτό αποτυπώνεται και στις ΥΜΜ του ποταμού. Συνεπώς, τότε επικρατούν οι ταχύρροες μονάδες. Από το Νοέμβριο, κυρίαρχα είναι τα μετρίως βαθιά και ταχύρροα τμήματα (*run*) με ποσοστό κάλυψης σχεδόν 60%, ενώ τους επόμενους μήνες, και ιδιαίτερα για την περίοδο Φεβρουαρίου – Απριλίου, κυρίαρχα είναι τα βαθιά και ταχύρροα τμήματα (*chute*), με ανάλογα ποσοστά κάλυψης. Το γεγονός αυτό ενδεχομένως να περιορίσει τις πείστροφες –κυρίως τις νεαρές– δυσκολεύοντας την κολύμβηση. Στην πλευρική ροή του ποταμού, όμως, εντοπίζονται και οι υδρομορφολογικές μονάδες της κατηγορίας των αβαθών και ταχύρροων τμημάτων (*riffle*), που διατηρούν αυτά τα υψηλά επίπεδα σε όλη τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου, με τα μεταβατικά προς αβαθή και ταχύρροα (*riffle transition*) να καταλαμβάνουν έως και διπλάσια έκταση. Οι ΥΜΜ αυτές διευκολύνουν περισσότερο τη διέλευση των ιχθύων, πολύ περισσότερο, δε, διότι ίσως να παρέχουν μεγαλύτερη κάλυψη λόγω της παρόχθιας βλάστησης από τους θηρευτές.

Τα βραδείας ροής μεσοενδιαιτήματα παρατηρούνται μόνο στις όχθες. Όσο αυξάνεται η ροή αυξάνονται και τα πλευρικά στάσιμα ρηγά νερά και μειώνονται ελαφρά τα ολισθαίνοντα. Η αύξηση αυτή, όμως, σε καμία περίπτωση δεν μπορεί να συγκριθεί με εκείνη των ταχύρροων ΥΜΜ. Όσο για τα ποταμολίμνια, τα οποία αποτελούν πολύτιμα καταφύγια για τις ενήλικες πέστροφες, τα 3 σχετικά μικρότερα, μέσου μεγέθους 25m^2 , ($\pm 6\text{m}^2$) που παρατηρούνται το Νοέμβριο, τους επόμενους μήνες τα μικρότερα σχεδόν εξαφανίζονται, ενώ το μεγαλύτερο από αυτά αυξάνει σε εμβαδό φτάνοντας στα 80m^2 (και πάντα $>65\text{m}^2$ σε όλη τη χειμερινή περίοδο). Αυτή η συγκεκριμένη υδρομορφολογική μονάδα είναι σημαντική και λόγω της θέσης της, αφού προσφέρει και μεγαλύτερη προστασία από τους θηρευτές.

Κατά την περίοδο των χαμηλότερων παροχών, το βάθος ροής είναι μικρότερο, ενώ και η ταχύτητα ροής δεν θα μπορούσε να πλησιάζει τα επίπεδα του χειμώνα. Συνεπώς, αναμενόμενα παρατηρούνται συχνότερα ΥΜΜ βραδύτερης ροής και η συνολική εικόνα πλησιάζει περισσότερο εκείνη της βασικής ροής του ποταμού.

Από τον Ιούνιο και μετά, τα ταχύρροα μεσοενδιαιτήματα αρχίζουν να δίνουν τη θέση τους στα βραδείας ροής. Έτσι, τον Ιούνιο και Ιούλιο, που παραμένει κάπως μεγαλύτερη η ροή ακόμα από τους χειμερινούς μήνες, οι μετρίως βαθιές και ταχύρροες ΥΜΜ αντικαθίστανται σε μεγάλο βαθμό από τα ολισθαίνοντα ύδατα. Τον Ιούνιο κυρίαρχα είναι τα μετρίως βαθιά και ταχύρροα (*run*) με 47.5% ποσοστό κάλυψης και ουσιαστικά αποτελούν την κύρια ροή του ποταμού. Ακολουθούν τα αβαθή ταχύρροα (*riffle*) και τα ολισθαίνοντα ύδατα (*glide*) με 20% ποσοστό κάλυψης η κάθε κατηγορία. Τον Ιούλιο με την περεταίρω μείωση της παροχής αρχίζουν να επικρατούν τελικά τα, κυρίως ταχείας ροής, ολισθαίνοντα ύδατα, αν και τα μετρίως βαθιά και ταχύρροα ύδατα (*run*) παραμένουν να ορίζουν την κύρια ροή του ποταμού. Για τους μήνες από Αύγουστο ως Οκτώβριο, όπου η παροχή μετά βίας ξεπερνά τα περίπου $6\text{m}^3/\text{s}$, η χωρική διάταξη των υδρομορφολογικών μονάδων μπορεί να συγκριθεί με αυτή στη βασική ροή του ποταμού. Για τους μήνες αυτούς, το κυρίαρχο μεσοενδιαίτημα είναι τα ταχέως ολισθαίνοντα ύδατα (*fast glide*) με ποσοστό κάλυψης πάνω από 40%, όπως και στη βασική ροή, με το Δείκτη Ετερογένειας, όμως, να αυξάνεται από 74% της βασικής ροής σε 84%.

Το αντιστρόφως ανάλογο συμβαίνει με τα ποταμολίμνια. Ωστόσο, πέρα από την αισθητή αύξηση της επιφάνειας κάλυψης χαρακτηριστικό είναι ότι στις χαμηλές παροχές πλέον εντοπίζονται όλο και πιο κοντά στην κύρια ροή και απομακρύνονται από τις όχθες. Τη μέγιστη επιφάνεια καταλαμβάνουν τον Ιούλιο, πιθανά γιατί τότε υπάρχει ακόμα ικανή ροή για το απαιτούμενο βάθος, αλλά ταυτόχρονα έχει μειωθεί σημαντικά η παροχή και κατ' επέκταση και η ταχύτητα ροής. Κάτι ακόμα που αξίζει να σημειωθεί είναι ότι τα ποταμολίμνια αυξάνονται κατά μήκος της ροής, κυρίως προς τα ανάντη, καθώς εκεί βρίσκονται και τα βαθύτερα σημεία της κοίτης του ποταμού. Προς τα κατάντη όπου η κλίση της κοίτης είναι μεγαλύτερη, φαίνεται να δίνεται προβάδισμα στα πιο ταχύρροα μεσοενδιαιτήματα (*run*). Εύλογο είναι οι πέστροφες να μετακινούνται συχνά προς τα κατάντη, λοιπόν, αναζητώντας θερμικά καταφύγια.

Οι εικόνες των χαρτογραφημένων ΥΜΜ για κάθε μήνα παρατίθενται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.

Την περίοδο των χειμερινών μηνών εκτιμάται ότι εμφανίζονται οι νεαρές (μεσαίες) και οι ενήλικες πέστροφες. Σε αυτή την περίπτωση η Ωφέλιμη Επιφάνεια υπολογίζεται κατά μέσο όρο 935 και 593m^2 , αντίστοιχα για κάθε στάδιο. Την περίοδο των θερινών μηνών εμφανίζονται και οι μικρές πέστροφες στον ποταμό. Η Ωφέλιμη Επιφάνεια υπολογίζεται κατά μέσο όρο 1074 , 1175 και 1071m^2 , αντίστοιχα.

Πίνακας 3.3-1. Ωφέλιμες Επιφάνειες στη φυσική ροή

Scenario	Q	Μικρή πέστροφα	Μεσαία πέστροφα	Μεγάλη πέστροφα	Αναπαραγωγή	TOTAL AREA
M. Jan	23.86	562.16	1082.43	667.22	482.58	3996.40
M. Feb	32.93	402.11	637.36	415.70	466.64	4383.51
M. Mar	32.83	404.23	642.59	421.30	470.76	4379.33
M. Apr	33.98	395.42	637.22	414.20	457.55	4419.77
M. May	22.46	591.55	1174.39	717.27	468.87	3918.10
M. Jun	11.44	920.61	1380.66	1039.38	745.08	3340.04
M. Jul	7.62	1062.12	1235.06	1130.40	1011.77	3094.71
M. Aug	6.13	1130.34	1105.01	1077.32	1243.16	2991.34
M. Sep	5.45	1128.10	1047.33	1031.07	1303.69	2909.28
M. Oct	6.15	1129.12	1105.71	1076.08	1240.73	2992.58
M. Nov	15.2	824.15	1570.92	999.83	548.16	3951.36
M. Dec	29.9	464.68	801.64	514.13	486.51	4262.98

Ο Βαθμός Ετερογένειας (H) φαίνεται να αυξάνεται αντιστρόφως ανάλογα ως ένα βαθμό με την παροχή. Στις μεγάλες παροχές κυμαίνεται από 62% ως 71,6%. Από τον Ιούνιο, που η παροχή πέφτει στα 11,5 m³/s, ο H αυξάνεται στο 77% και μέχρι το 87,5%. Ενδεχομένως, αυτό να οφείλεται στο ότι σε υψηλότερες παροχές ο Βαθμός Κυριαρχίας (D) αυξάνεται αναλόγως, αφού τα δύο μεγέθη αυτά είναι συμπληρωματικά. Για παράδειγμα, ο Απρίλιος που εμφανίζεται η μέγιστη (διάμεσο) παροχή του έτους, έχει, από τη μία, το μεγαλύτερο D (38,1%) με κυρίαρχο οι βαθιές και ταχύρροες ΥΜΜ (*chute*) με πάνω από 60% ποσοστό κάλυψης και, από την άλλη, το μικρότερο H (61,9%).

Πίνακας 3.3-2. Βαθμός Ετερογένειας και Βαθμός Κυριαρχία

	Βαθμός Ετερογένειας	Βαθμός Κυριαρχίας
	H	D
Οκτώβριος	1.629	0.317
Νοέμβριος	1.378	0.701
Δεκέμβριος	1.415	0.665
Ιανουάριος	1.488	0.591
Φεβρουάριος	1.306	0.774
Μάρτιος	1.307	0.772
Απρίλιος	1.287	0.792
Μάιος	1.470	0.609
Ιούνιος	1.598	0.482
Ιούλιος	1.703	0.243
Αύγουστος	1.629	0.317
Σεπτέμβριος	1.561	0.385

Πίνακας 3.3-3. Βαθμός Ετερογένειας και Βαθμός Κυριαρχίας σε ποσοστά

	Βαθμός Ετερογένειας	Βαθμός Κυριαρχίας
	$H\%$	$D\%$
Οκτώβριος	83.69%	16.31%
Νοέμβριος	66.29%	33.71%
Δεκέμβριος	68.04%	31.96%
Ιανουάριος	71.57%	28.43%
Φεβρουάριος	62.78%	37.22%
Μάρτιος	62.86%	37.14%
Απρίλιος	61.90%	38.10%
Μάιος	70.71%	29.29%
Ιούνιος	76.84%	23.16%
Ιούλιος	87.50%	12.50%
Αύγουστος	83.70%	16.30%
Σεπτέμβριος	80.21%	19.79%

Διευκρινίζεται, όμως, ότι, αν και διαφαίνεται κάποια συσχέτιση, δεν υπάρχει αυστηρή σχέση μεταξύ των αυξομειώσεων των δεικτών και των μεταβολών της παροχής. Αν και ο Σεπτέμβριος είναι ο μήνας με τη χαμηλότερη μέση παροχή, ο Ιούλιος είναι ο μήνας με το μεγαλύτερο H και μικρότερο D . Συνεπώς, οι δείκτες αυτοί δεν μπορούν να αξιοποιηθούν ως αποκλειστικά δεδομένα, ωστόσο ίσως μπορούν να φανούν χρήσιμοι για μια πρώτη εκτίμηση στη μελέτη του ποταμού.

3.3.3 Καταλληλότητα για Ωοαπόθεση

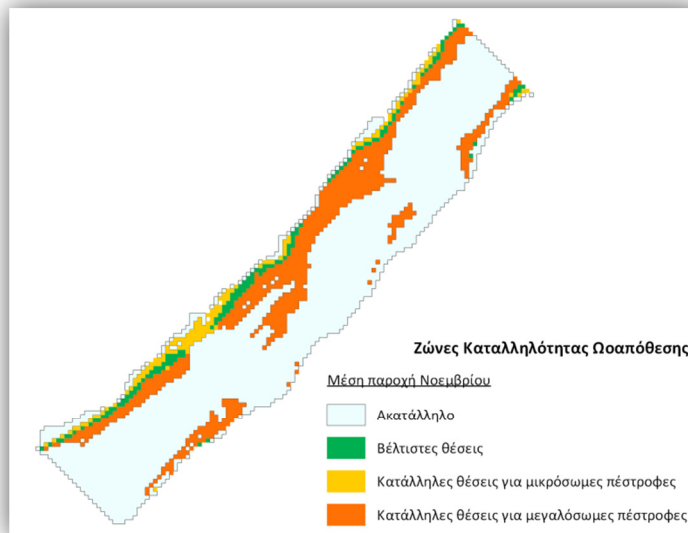
Η κατάλληλη έκταση για ωοαπόθεση υπολογίζεται με δύο τρόπους. Στον

Πίνακας 3.3-1 φαίνεται η Ωφέλιμη Επιφάνεια που αντιστοιχεί στο στάδιο αναπαραγωγής (υπενθυμίζεται ότι λαμβάνεται υπόψη μόνο η περίοδος Νοεμβρίου – Ιανουαρίου), η οποία υπολογίστηκε με τους συντελεστές του **Πίνακας 2.6-1**. Επιπρόσθετα, βάσει των κριτηρίων που περιγράφονται στην Παράγραφο 2.4.4, φαίνεται ότι το Νοέμβριο κατά μήκος της δεξιάς όχθης εντοπίζεται ένα τμήμα πλάτους 1m προς τα ανάντη ή μεγαλύτερου προς τα κατόντη που παρέχει τις βέλτιστες συνθήκες ωοαπόθεσης.

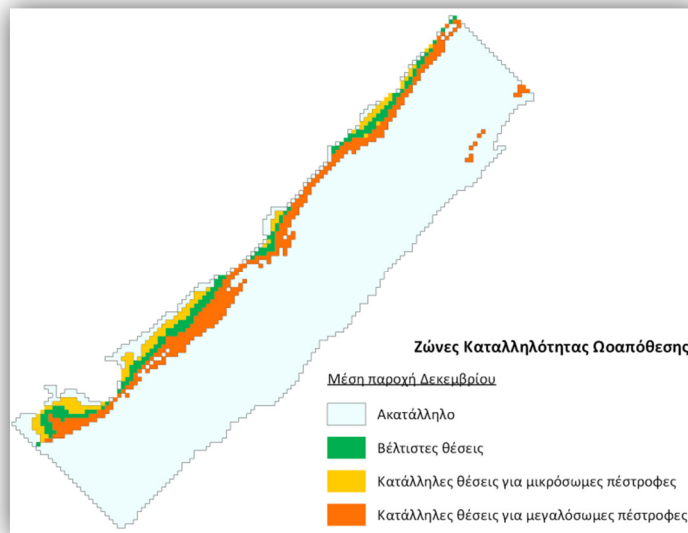
Οι πιο μικρόσωμες πέστροφες έχουν τη δυνατότητα να αφήσουν τα αυγά τους σε βραδύτερης ροής νερά (με ανοιχτό πορτοκαλί χρώμα στην **Εικόνα 3.3-2**), ενώ οι μεγαλύτερες πέστροφες μπορούν σε ένα πολύ μεγαλύτερο τμήμα (με σκούρο πορτοκαλί χρώμα στην **Εικόνα 3.3-2**). Τα ανάλογα ισχύουν και για τους δύο επόμενους μήνες. Αυτές είναι ενδεχόμενες ζώνες ωοαπόθεσης, αν και κάτι τέτοιο θα μπορούσε να επιβεβαιωθεί μόνο μέσω δειγματοληψίας.

Πίνακας 3.3-4. Επιφάνεια ζωνών καταλληλότητας και ποσοστό κάλυψης στη φυσική ροή.

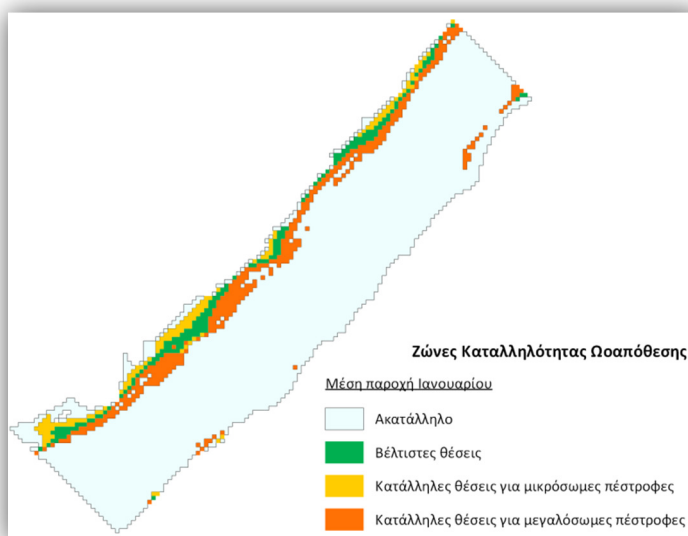
Δείκτης Καταλληλότητας	Νοέμβριος		Δεκέμβριος		Ιανουάριος	
	Επιφάνεια	Ποσοστό (σε σχέση με τη συν. βρ.επιφάνεια)	Επιφάνεια	Ποσοστό (σε σχέση με τη συν. βρ.επιφάνεια)	Επιφάνεια	Ποσοστό (σε σχέση με τη συν. βρ.επιφάνεια)
0	738.68	28.73%	3638.98	85.28%	3341.08	83.58%
1	285.18	11.09%	164.34	3.85%	174.94	4.38%
2	1420.81	55.25%	117.00	2.74%	121.68	3.04%
3	126.77	4.93%	346.81	8.13%	359.90	9.00%
Σύνολο	1832.76		628.15		656.51	



(α)



(β)



(γ)

Εικόνα 3.3-2. Ζώνες καταλληλότητας ωαπόθεσης για Νοέμβριο – Δεκέμβριο – Ιανουάριο

3.4 Χαρτογράφηση των ΥΜΜ στις προτεινόμενες οικολογικές παροχές

3.4.1 Εφαρμογή των «χαμηλών ροών»

3.4.1.1 Χαρτογράφηση ΥΜΜ

Τα αποτελέσματα της χαρτογράφησης δείχνουν ότι η **περίοδος των υψηλών παροχών** ξεκινά το Δεκέμβριο, καθώς η παροχή του Νοεμβρίου αντιστοιχεί σε συνθήκες Ιουνίου. Επομένως, από το Δεκέμβριο ως και τον Απρίλιο, οπότε και η παροχή σταδιακά αυξάνεται από τα 17,77 m³/s στα 28,06 m³/s, επικρατούν οι ταχύρροες και μεγαλύτερου βάθους υδρομορφολογικές μονάδες, ενώ όσο μεγαλύτερη είναι η παροχή τόσο περισσότερο αυξάνονται τα βαθύτερα ταχύρροα (*chute*).

Όσο για τα ποταμολίμνια που, όπως αναφέρθηκε προηγουμένα, αποτελούν ένα είδος καταφυγίου για τις ενήλικες πέστροφες, παραμένουν τουλάχιστον δύο μονάδες καθ' όλη τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου. Το μέγεθός τους είναι ικανοποιητικό, κυρίως, όμως για παροχή >20 m³/s, δηλαδή μεταξύ Φεβρουαρίου και Απριλίου.

Τα αβαθή και ταχύρροα ή μετρίως ταχύρροα (*riffle* και *riffle transition*) εντοπίζονται στις όχθες του ποταμού και κυρίως κατά μήκος της δεξιάς όχθης. Στις μικρότερες παροχές του Δεκεμβρίου ή του Ιανουαρίου, για παράδειγμα, τα βραδύτερα *riffle* είναι έως και 5 φορές περισσότερα από τα ταχύτερα *riffle*. Ωστόσο, με την αύξηση της παροχής από το Φεβρουάριο και μετά επεκτείνονται και τα ταχύτερα αβαθή τμήματα. Τα στάσιμα και τα ολισθαίνοντα νερά δεν μεταβάλλονται σημαντικά. Οι συνθήκες αυτές φαίνεται γενικότερα να είναι ευνοϊκές για τις νεαρές πέστροφες.

Τέλος, το Μάιο που η παροχή αρχίζει να μειώνεται και φτάνει πάλι στα 19,5 m³/s, αντίστοιχα του Δεκεμβρίου, οι υδρομορφολογικές μονάδες της κατηγορίας *run* μειώνονται ελαφρά, ενώ πλέον επικρατούν τα μετρίως βαθιά και ταχύρροα (*run*) έναντι των βαθιών και ταχύρροων (*chute*). Σημαντικότερη είναι η μείωση των αβαθών ταχύρροων (*riffle*), παρόλα αυτά παραμένουν μεγάλα και ενιαία τμήματα, ικανής έκτασης για τις νεαρές πέστροφες και τα ιχθύδια.

Από τον Ιούνιο, ξεκινά πλέον η **θερινή περίοδος**, η παροχή μειώνεται στα 10,54 m³/s και, έτσι, υποχωρούν σημαντικά οι ταχύρροες υδρομορφολογικές μονάδες και περιορίζονται στην κύρια ροή του ποταμού (βαθιά γραμμή). Μέχρι και τον Οκτώβριο, με την παροχή να μην ξεπερνά τα 6,56 m³/s αυτό το χρονικό διάστημα, τα ταχύρροα τμήματα μειώνονται όλο και περισσότερο. Κάτι τέτοιο υποδηλώνει την έναρξη των μεταναστεύσεων της πέστροφας κατά τον Ιούνιο στα κατάντη του ποταμού προς αναζήτηση ψυχρότερων υδάτων και την ανάδρομη επιστροφή της από το Νοέμβριο και κυρίως από το Δεκέμβριο. Τη θέση τους παίρνουν τα, είτε ταχέως είτε βραδέως, ολισθαίνοντα ύδατα, τα οποία διπλασιάζονται σε έκταση με τη μείωση της παροχής.

Τα μεσοενδιαίτηματα της κατηγορίας *riffle* συνολικά καταλαμβάνουν το 20% περίπου της βρεχόμενης επιφάνειας κατά τους θερινούς μήνες, αν και τα ταχύρροα μειώνονται αρκετά, ενώ τα μετρίως ταχύρροα σχεδόν διπλασιάζονται και «απομακρύνονται» από τις όχθες.

Τα ποταμολίμνια αυξάνονται, κυρίως στο τμήμα του ποταμού με ομαλότερη κλίση, προσφέροντας στάσεις ανάπαυλας στα ψάρια.

Πίνακας 3.4-1. Ωφέλιμες Επιφάνειες στις χαμηλές ροές

Scenario	Q	Μικρή πέστροφα	Μεσαία πέστροφα	Μεγάλη πέστροφα	Αναπα- ραγωγή	TOTAL AREA
L. Jan	19.36	644,78	1292,10	787,37	452,27	3777,96
L. Feb	23.34	575,88	1118,81	693,03	472,74	3968,57
L. Mar	22.59	592,13	1166,03	716,75	470,06	3926,33
L. Apr	28.06	481,93	860,74	545,09	484,58	4178,77
L. May	19.57	641,24	1285,75	782,16	452,64	3784,24
L. Jun	10.54	1005,39	1341,83	1123,97	848,16	3292,28
L. Jul	6.855	1108,41	1158,21	1096,73	1157,97	3043,84
L. Aug	6.14	1130,37	1106,47	1077,50	1244,49	2991,63
L. Sep	6.025	1138,72	1100,75	1083,46	1234,09	2981,48
L. Oct	6.56	1116,58	1134,52	1081,25	1192,82	3025,11
L. Nov	8.36	1083,87	1261,25	1163,92	1012,32	3148,48
L. Dec	17.77	677,93	1333,71	821,25	474,84	3706,78

Πίνακας 3.4-2. Βαθμός Ετερογένειας και Βαθμός Κυριαρχίας (χαμηλές ροές)

	Βαθμός Ετερογένειας	Βαθμός Κυριαρχίας
	H	D
Οκτώβριος	1.536	0.410
Νοέμβριος	1.685	0.394
Δεκέμβριος	1.451	0.629
Ιανουάριος	1.442	0.638
Φεβρουάριος	1.485	0.594
Μάρτιος	1.481	0.599
Απρίλιος	1.427	0.652
Μάιος	1.453	0.626
Ιούνιος	1.689	0.390
Ιούλιος	1.652	0.294
Αύγουστος	1.587	0.359
Σεπτέμβριος	1.519	0.426

Πίνακας 3.4-3. Βαθμός Ετερογένειας και Βαθμός Κυριαρχίας σε ποσοστά (χαμηλές ροές)

	Βαθμός Ετερογένειας	Βαθμός Κυριαρχίας
	H%	D%
Οκτώβριος	78.93%	21.07%
Νοέμβριος	81.04%	18.96%
Δεκέμβριος	69.77%	30.23%
Ιανουάριος	69.32%	30.68%
Φεβρουάριος	71.43%	28.57%
Μάρτιος	71.22%	28.78%
Απρίλιος	68.64%	31.36%
Μάιος	69.88%	30.12%
Ιούνιος	81.24%	18.76%
Ιούλιος	84.90%	15.10%
Αύγουστος	81.55%	18.45%
Σεπτέμβριος	78.09%	21.91%

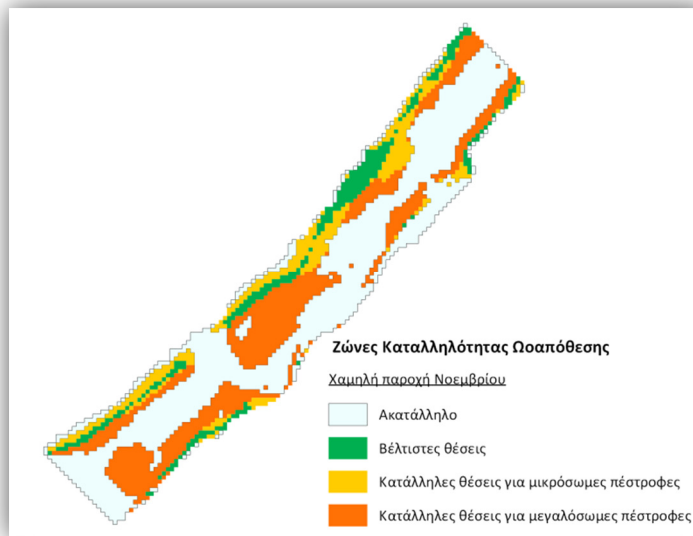
3.4.1.2 Ζώνες Καταλληλότητας Ωοαπόθεσης

Οι βέλτιστες θέσεις για την ωοαπόθεση παραμένουν αρκετές και στην τροποποιημένη ροή. Ειδικότερα για το Νοέμβριο, η έκταση με δείκτη καταλληλότητας 1 είναι διπλάσια από αυτή στη φυσική ροή, αλλά και σε σχέση με τους επόμενους μήνες. Αυτό, άλλωστε φαίνεται και από τον Πίνακα Σχετικού Κινδύνου (Πίνακας 4.2-1), όπου ο Βαθμός Επιπτώσεων είναι +3, υποδηλώνοντας μεγάλο όφελος. Ωστόσο, όπως έχει εξηγηθεί προηγούμενα, εκτιμάται ότι αυτό το όφελος θα πρέπει ληφθούν υπόψη με προσοχή, αφού δεν έχουν αρχίσει οι υψηλές ροές. Όσον αφορά στους επόμενους μήνες, παρατηρείται μία πολύ μικρή μείωση της έκτασης των βέλτιστων θέσεων (μικρότερη της ποσοστιαίας μονάδας), η οποία, με Βαθμό Επιπτώσεων -1 τον Ιανουάριο και 0 το Δεκέμβριο, κρίνεται από μικρής έντασης ως αμελητέα.

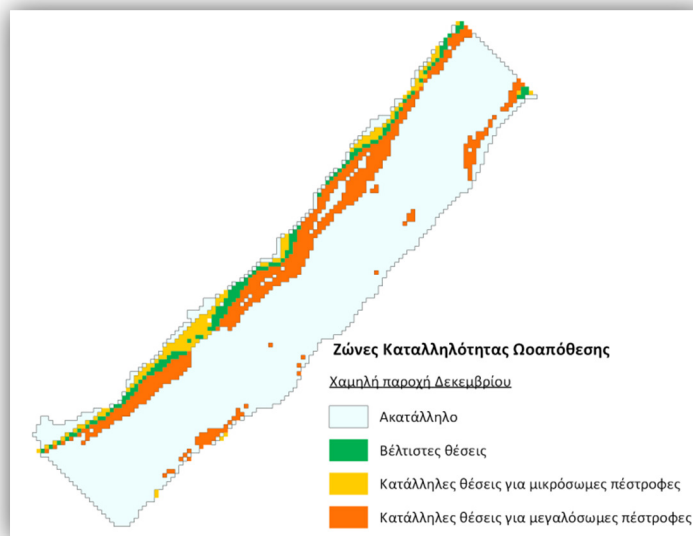
Συνολικά, οι κατάλληλες θέσεις αυξήθηκαν και για τους δείκτες καταλληλότητας 2 και 3. Φαίνεται ότι οι μεγαλόσωμες πέστροφες, περισσότερο από τις μικρόσωμες, με τις προτεινόμενες παροχές μπορούν ευκολότερα να εντοπίσουν σημεία όπου θα μπορούν να αφήσουν τα αυγά τους. Αυτό βέβαια, θα εξαρτηθεί και από το είδος του υποστρώματος, κάτι που όμως δεν εξετάζεται εδώ.

Πίνακας 3.4-4. Επιφάνεια ζωνών καταλληλότητας και ποσοστό κάλυψης στις χαμηλές ροές.

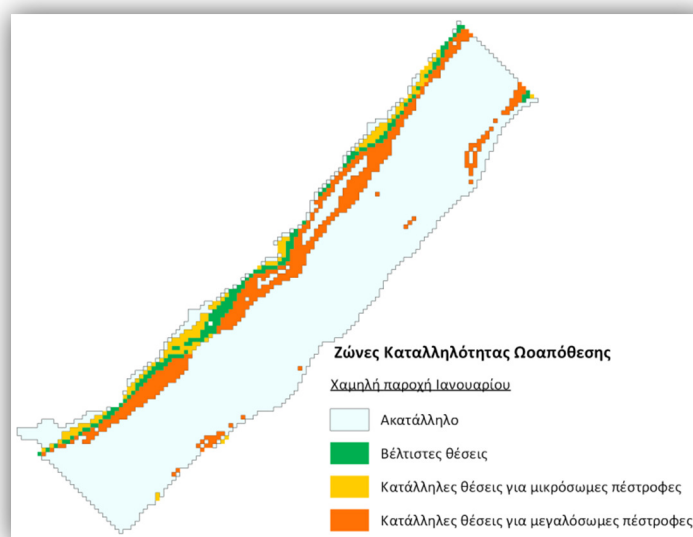
Δείκτης Καταλληλότητας	Νοέμβριος		Δεκέμβριος		Ιανουάριος	
	Επιφάνεια	Ποσοστό (σε σχέση με τη συν. βρ.επιφάνεια)	Επιφάνεια	Ποσοστό (σε σχέση με τη συν. βρ.επιφάνεια)	Επιφάνεια	Ποσοστό (σε σχέση με τη συν. βρ.επιφάνεια)
0	1551.73	49.29%	2877.57	77.56%	3018.76	79.81%
1	298.68	9.49%	146.00	3.94%	160.00	4.23%
2	375.50	11.93%	139.78	3.77%	134.88	3.57%
3	922.56	29.30%	546.71	14.74%	468.82	12.39%
Σύνολο	1596.74		832.49		763.70	



(α)



(β)



(γ)

Εικόνα 3.4-1. Ζώνες καταλληλότητας ωσαπόθεσης για Νοέμβριο – Δεκέμβριο – Ιανουάριο (τροποποιημένο καθεστώς)

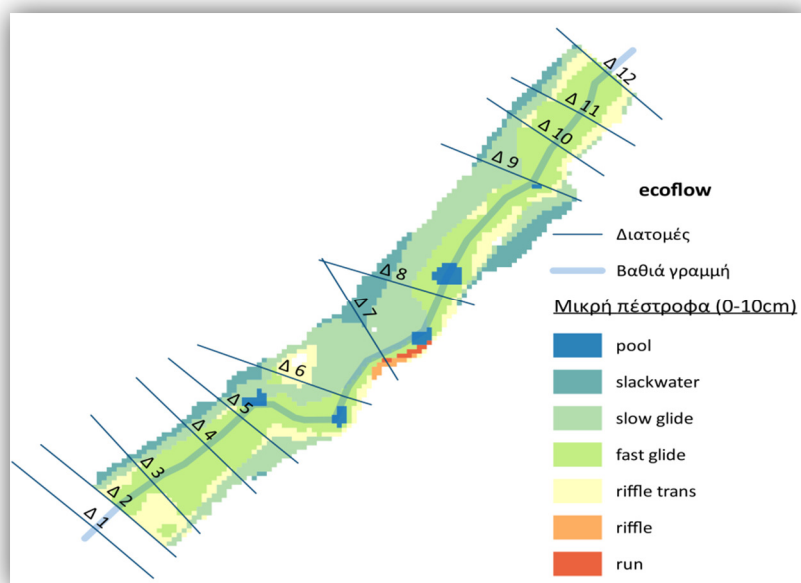
3.4.2 Εφαρμογή προτεινόμενης ελάχιστης οικολογικής παροχής με το υδρο-οικολογικό εργαλείο ECOFLOW

3.4.2.1 Χαρτογράφηση ΥΜΜ

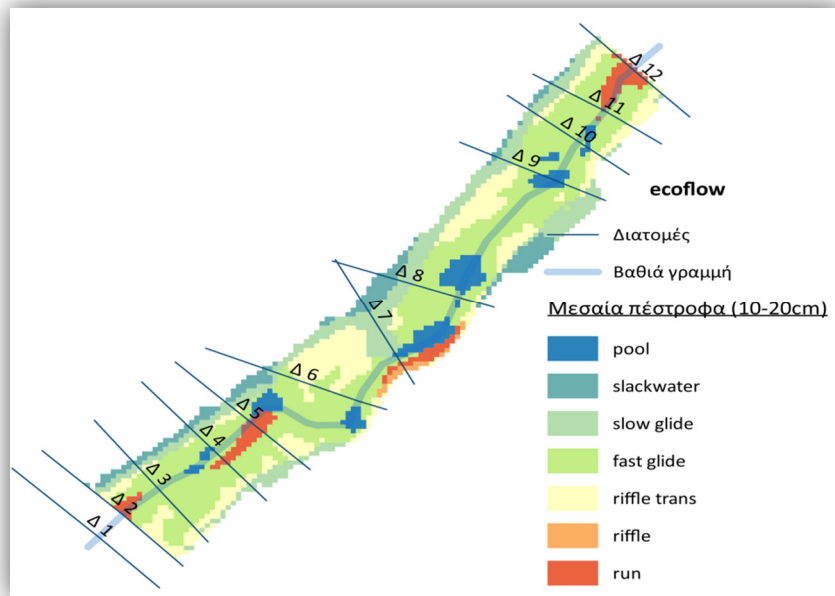
Η οικολογική παροχή που προτείνεται για τη μικρή πέστροφα είναι $3,55\text{m}^3/\text{s}$, με αποτέλεσμα οι ταχύρροες υδρομορφολογικές μονάδες να λείπουν (**Εικόνα 3.4-2**). Υπάρχουν μόνο ένα μετρίως βαθύ, ταχύρροο τμήμα (*run*) και ένα αβαθές ταχύρροο (*riffle*). Κυρίαρχα είναι τα ολισθαίνοντα ύδατα, με ένα μικρό προβάδισμα τα ταχέως ολισθαίνοντα. Πράγματι, αυτές οι ΥΜΜ είναι κατάλληλες για τις μικρόσωμες πέστροφες που θα δυσκολεύονταν σε μεγαλύτερες ταχύτητες. Οι διάσπαρτες ΥΜΜ που μεταβαίνουν σε αβαθές ταχύρροες (*riffle transition*) παρέχουν μεγαλύτερη διαθεσιμότητα τροφής προκειμένου να αυξήσουν το σωματικό τους βάρος. Παράπλευρα του ποταμού εντοπίζονται ρηγά και στάσιμα νερά, με συνολικό ποσοστό κάλυψης. Η παροχή αυτή επιτρέπει την εμφάνιση τεσσάρων ποταμολίμνιων κατά μήκος της κύριας ροής του ποταμού, παρέχοντας –αν δεν ληφθούν υπόψη τα φαινόμενα ανταγωνισμού του είδους– θέσεις ανάπαυλας.

Η αύξηση της παροχής στα $5\text{m}^3/\text{s}$ για τη μεσαία πέστροφα έχει ως αποτέλεσμα το βάθος να είναι μεγαλύτερο και κατά συνέπεια αυξάνονται τα ποταμολίμνια, και σε αριθμό και σε επιφάνεια, και να μειώνονται τα στάσιμα, ρηγά και τα βραδέως ολισθαίνοντα νερά. Αντίστοιχα, αυξάνονται οι μεταβατικές σε αβαθές ταχύρροες ΥΜΜ (*riffle transition*) και, πλέον, εμφανίζονται πολύ περισσότερες υδρομορφολογικές μονάδες της κατηγορίας *riffle* και *run*. Η αύξηση του βάθους συνάδει με την αύξηση του μεγέθους.

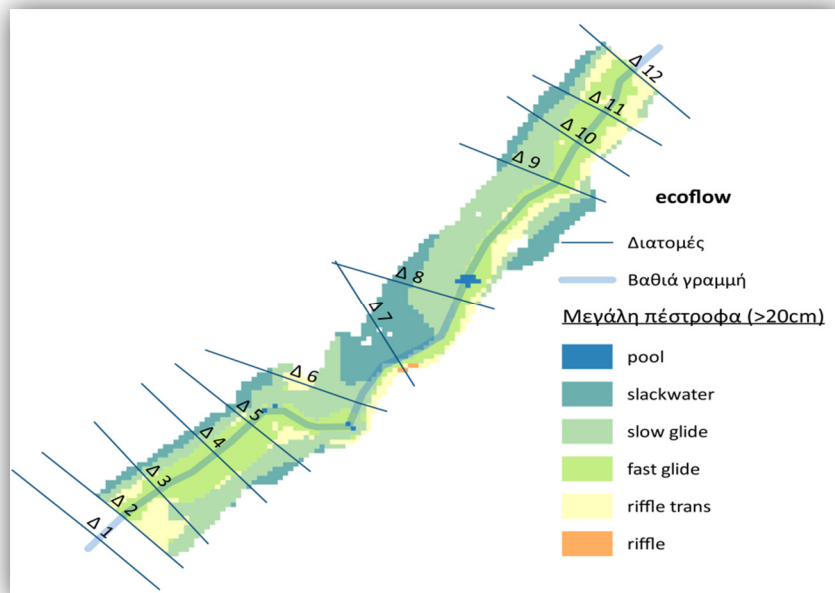
Με το υδρο-οικολογικό εργαλείο Ecoflow, η βέλτιστη ελάχιστη οικολογική παροχή για την ενήλικη πέστροφα είναι αρκετά μικρότερη ($2,5\text{m}^3/\text{s}$). Εύλογα, οι ταχύρροες ΥΜΜ σχεδόν εξαφανίζονται, παραμένει μόνο ένα πολύ μικρό αβαθές ταχύρροο τμήμα (*riffle*), μόλις 4m^2 . Από την **Εικόνα 3.4-4** και μόνο είναι φανερό ότι επικρατούν ιδανικές συνθήκες για άνετη κολύμβηση χωρίς μεγάλη κατανάλωση ενέργειας. Ταυτόχρονα, όμως, εκλείπουν και τα ποταμολίμνια, αφού παραμένει μόνο ένα άξιο λόγου, κάτι που σίγουρα θα αποτελούσε δυσμενή κατάσταση. Επιπλέον, στις μικρές ταχύτητες αυτές, εάν πρόκειται για θερινούς μήνες, εκτιμάται ότι η θερμοκρασία ενδέχεται να είναι μεγαλύτερη, κάτι που θα παρακινήσει τις πέστροφες να μεταναστεύσουν κατάντη προς αναζήτηση θερμικών καταφυγίων.



Εικόνα 3.4-2. Υδρομορφολογικές μονάδες εφαρμόζοντας της βέλτιστη ελάχιστη οικολογική παροχή για τη μικρή πέστροφα με το υδρο-οικολογικό εργαλείου Ecoflow ($3,55\text{m}^3/\text{s}$)



Εικόνα 3.4-3. Υδρομορφολογικές μονάδες εφαρμόζοντας της βέλτιστη ελάχιστη οικολογική παροχή για τη μεσαία πέστροφα με το υδρο-οικολογικό εργαλείου Ecoflow ($5 \text{ m}^3/\text{s}$)



Εικόνα 3.4-4. Υδρομορφολογικές μονάδες εφαρμόζοντας της βέλτιστη ελάχιστη οικολογική παροχή για τη μεγάλη πέστροφα με το υδρο-οικολογικό εργαλείου Ecoflow ($2,5 \text{ m}^3/\text{s}$)

Πίνακας 3.4-5. Βαθμός Ετερογένειας και Βαθμός Κυριαρχίας (υδρο-οικολογικό εργαλείο Ecoflow)

	Βαθμός Ετερογένειας	Βαθμός Κυριαρχίας
	H	D
Μικρή Πέστροφα	1,385	0,561
Μεσ. Πέστροφα	1,532	0,414
Μεγ. Πέστροφα	1,358	0,434

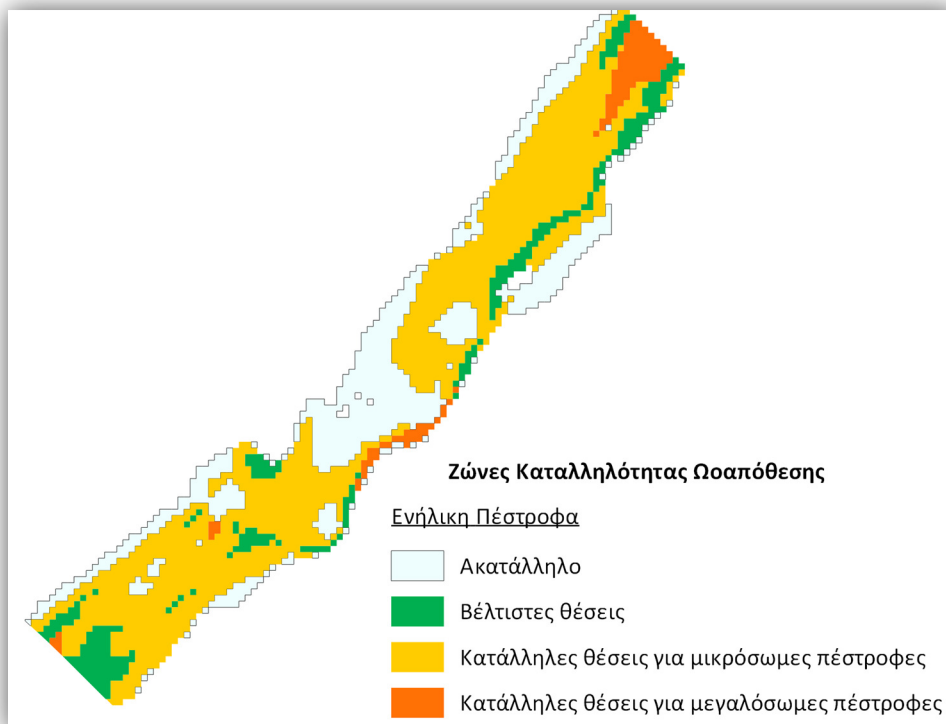
Πίνακας 3.4-6. Βαθμός Ετερογένειας και Βαθμός Κυριαρχίας σε ποσοστά (υδρο-οικολογικό εργαλείο Ecoflow)

	Βαθμός Ετερογένειας	Βαθμός Κυριαρχίας
	H%	D%
Μικρή Πέστροφα	71.2%	28.8%
Μεσ. Πέστροφα	78,7%	21,3%
Μεγ. Πέστροφα	75,8%	24,2%

Πίνακας 3.4-7. Ωφέλιμες Επιφάνειες (υδρο-οικολογικό εργαλείο Ecoflow)

Scenario	Q	Μικρή πέστροφα	Μεσαία πέστροφα	Μεγάλη πέστροφα	Αναπα-ραγωγή	TOTAL AREA
Μεγάλη Πέστροφα	2.5	960.33	912.54	829.96	1091.11	2534.03
Μεσαία Πέστροφα	5	1138.07	1023.04	1011.63	1311.43	2892.86
Μικρή Πέστροφα	3.55	1092.91	962.28	945.02	1257.11	2735.30

3.4.2.2 Ζώνες Καταλληλότητας Ωοαπόθεσης



Εικόνα 3.4-5. Ζώνες Καταλληλότητας Ωοαπόθεσης για βέλτιστη ελάχιστη οικολογική παροχή για την ενήλικη πέστροφα με το υδρο-οικολογικό εργαλείο Ecoflow

Ως προς την καταλληλότητα των θέσεων ωτοκίας, εξετάζεται μόνο η μία από τις τρεις παροχές, εκείνη της βέλτιστης ελάχιστης παροχής για την μεγάλη (ενήλικη) πέστροφα ($2,5 \text{ m}^3/\text{s}$), καθώς μόνο σε αυτό το στάδιο ανάπτυξης η πέστροφα είναι ώριμη για αναπαραγωγή.

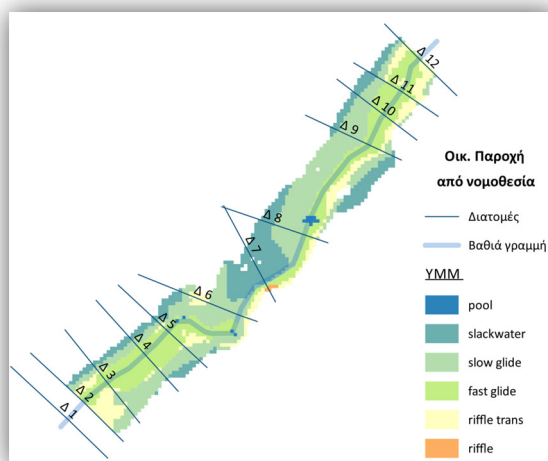
Από την **Εικόνα 3.4-5** είναι φανερό ότι οι κατάλληλες θέσεις ωοαπόθεσης αυξάνονται κατακόρυφα, ειδικότερα για τις μικρόσωμες πέστροφες. Συγκεκριμένα, οι βέλτιστες θέσεις καλύπτουν τουλάχιστον 100m^2 περισσότερα από ότι στη φυσική ροή. Οι βραδύτερης ροής θέσεις, κατάλληλες για τις μικρόσωμες πέστροφες διπλασιάζονται σε σχέση με το Νοέμβριο του φυσικού καθεστώτος. Αυτό αποδεικνύεται και από τον υπολογισμό της Ωφέλιμης Επιφάνειας.

Πίνακας 3.4-8. Επιφάνεια ζωνών καταλληλότητας και ποσοστό κάλυψης για το τροποποιημένο καθεστώς (υδρο-οικολογικό εργαλείο Ecoflow)

Δείκτης Καταλληλότητας	Επιφάνεια	Ποσοστό (σε σχέση με τη συν. βρ.επιφάνεια)
0	803	30.11%
1	313	11.74%
2	1390	52.12%
3	161	6.04%
Σύνολο	1864.00	

3.4.3 Εφαρμογή οριζόμενης από τη νομοθεσία ελάχιστης οικολογικής παροχής

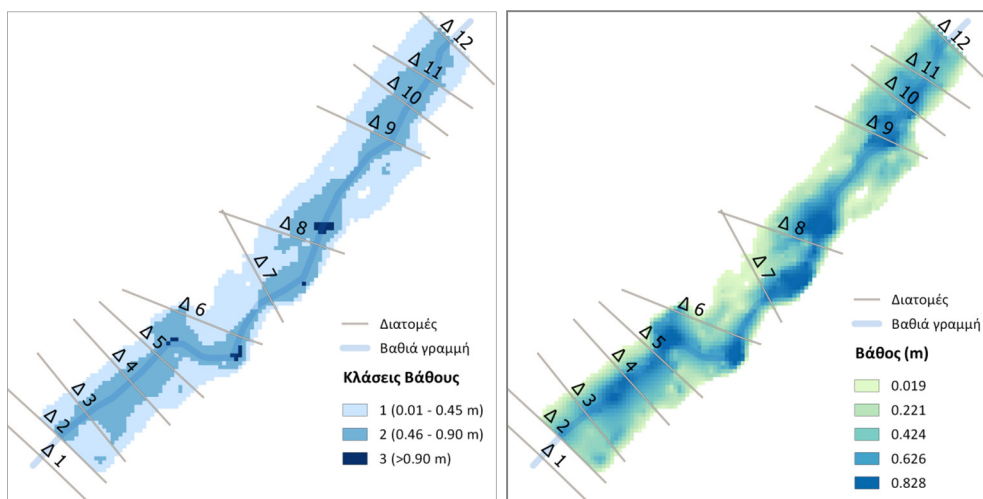
Είναι φανερό, ακόμα και μόνο από την **Εικόνα 3.4-6**, ότι με την παροχή των μόλις $2,725 \text{ m}^3/\text{s}$ εξαφανίζονται εντελώς οι ταχύρροες υδρομορφολογικές μονάδες, αλλά και τα ποταμολίμνια. Τα τμήματα που πληρούν τις προϋποθέσεις για να ταξινομηθούν ως ποταμολίμνια είναι και πολύ μικρής έκτασης και σποραδικά. Για αυτό το λόγο δεν μπορούν καν να λογιστούν ως ξεχωριστά μεσοενδιαίτηματα για να ικανοποιήσουν τις ανάγκες των ιχθύων. Συνεπώς, ως επί το πλείστον η ροή του ποταμού θεωρείται ολισθαίνουσα ($\approx 64\%$ της βρεχόμενης επιφάνειας), ενώ και τα στάσιμα νερά καταλαμβάνουν το 20% της βρεχόμενης επιφάνειας. Κάτι τέτοιο είναι αναμενόμενο αν αναλογιστεί κανείς ότι η μέγιστη ταχύτητα που παρατηρείται στον ποταμό είναι $0,61\text{m/s}$ (**Εικόνα 3.4-8.**) και, μάλιστα, σε ένα πολύ μικρό τμήμα. Αντίστοιχα για το βάθος, κατά μήκος της βαθιάς γραμμής μόνο παρατηρούνται βάθη μεταξύ 60 και 80cm (**Εικόνα 3.4-7**).



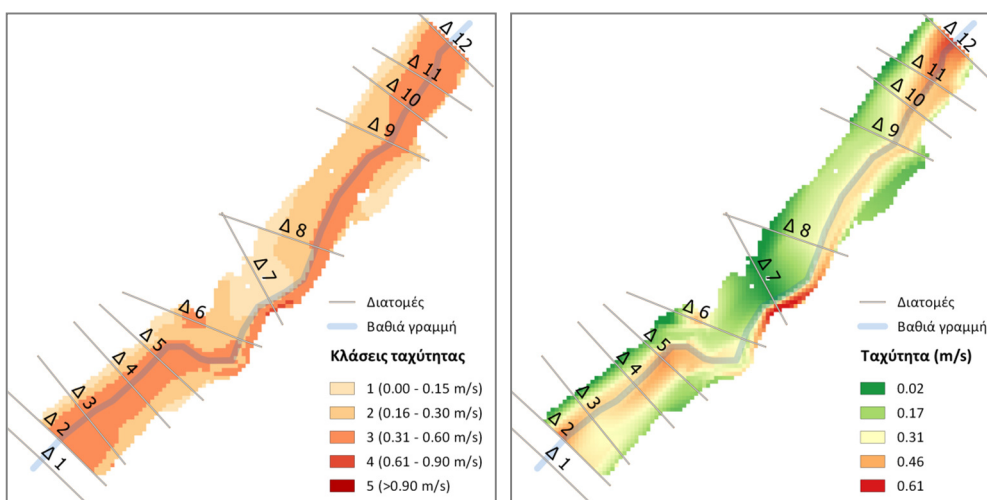
Εικόνα 3.4-6. Αποτελέσματα της χαρτογράφησης των YMM έπειτα από την εφαρμογή της οριζόμενης από τη νομοθεσία οικολογικής παροχής ($2,725 \text{ m}^3/\text{s}$)

Η οριζόμενη από τη νομοθεσία οικολογική παροχή ταυτίζεται με την προτεινόμενη με το υδρο-οικολογικό εργαλείο Ecoflow για την ενήλικη πέστροφα. Συνεπώς, η επεξεργασία των δεδομένων για τις ζώνες καταλληλότητας ωοαπόθεσης και τη χωρική ανάλυση των Υδρομορφολογικών Μονάδων δεν θα επαναληφθεί, καθώς καλύπτονται στις παραγράφους 3.4.2.1 και 3.4.2.2.

Υπενθυμίζεται ότι η παροχή αυτή, σε αντίθεση με τις προηγούμενες, δεν προτείνεται για κάποια συγκεκριμένη εποχή, επομένως μπορεί να συγκριθεί μόνο με τη βασική ροή του ποταμού για την εκτίμηση των επιπτώσεων. Παρακάτω, στον Πίνακα 4.2-3 φαίνεται ότι σε σχέση με την βασική ροή και χωρίς να λάβουμε υπόψη την εποχικότητα, οι επιπτώσεις της παροχής των $2,725\text{m}^3/\text{s}$ είναι μικρής έντασης. Αν πάλι, συγκρίνουμε την παροχή αυτή με τη φυσική ροή κάθε μήνα, λαμβάνοντας υπόψη και το συντελεστή εποχιακής ευαισθησίας, τότε φαίνεται ότι σε γενικές γραμμές η χαμηλή αυτή παροχή προσφέρει μεγαλύτερη Ωφέλιμη Επιφάνεια στις πέστροφες σε σχέση με μεγάλες παροχές, γιατί μειώνονται οι ταχύρροες ΥΜΜ και αυξάνονται ο βραδύρροες που ευνοούν στην άνετη κολύμβηση. Αντίθετα, υστερεί στη σύγκριση με τις χαμηλότερες ούτως ή άλλως παροχές των θερινών μηνών.



Εικόνα 3.4-7. Κλάσεις βάθους (αριστερά) και πραγματικά βάθη (δεξιά) που παρατηρούνται στο μελετώμενο τμήμα του ποταμού έπειτα από την εφαρμογή της οριζόμενης από τη νομοθεσία οικολογικής παροχής ($2,5\text{m}^3/\text{s}$)



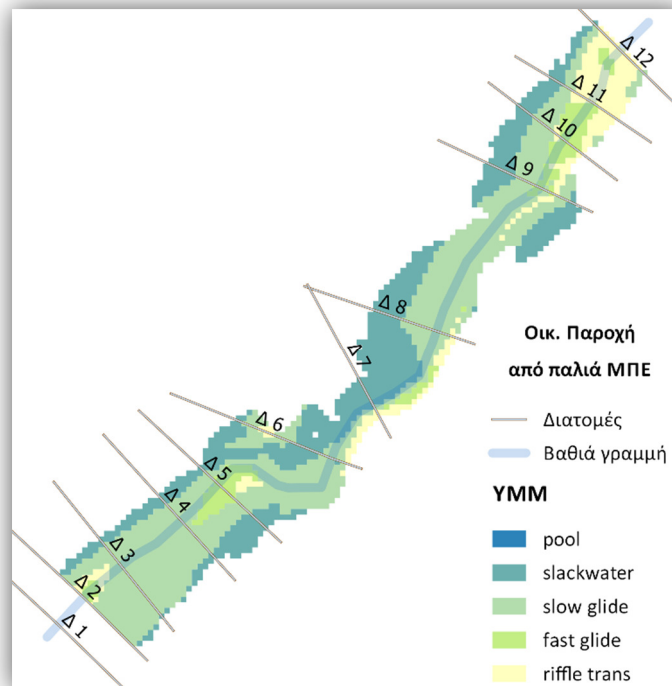
Εικόνα 3.4-8. Κλάσεις ταχύτητας (αριστερά) και πραγματικές ταχύτητες (δεξιά) που παρατηρούνται στο μελετώμενο τμήμα του ποταμού έπειτα από την εφαρμογή της οριζόμενης από τη νομοθεσία οικολογικής παροχής ($2,5\text{m}^3/\text{s}$)

Αν και πλέον δεν ισχύει η ΜΠΕ του 1995 για τα έργα Εκτροπής του Αχελώου, εδώ γίνεται η προσομοίωση της προτεινόμενης ως οικολογικής παροχής ($1,5 \text{ m}^3/\text{s}$), προκειμένου να υπάρχει ένα σενάριο πολύ χαμηλής παροχής για την πλήρη αποτύπωση των ενδεχόμενων επιπτώσεων. Υπογραμμίζεται ότι η τιμή αυτή της παροχής δεν εμφανίζεται στα υδρολογικά δεδομένα για το φράγμα της Μεσοχώρας, αφού η ελάχιστη παροχή που παρατηρήθηκε κατά τα έτη 1969-2008 είναι $2,6 \text{ m}^3/\text{s}$.

Φαίνεται ότι με την εφαρμογή της παροχής $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$ δεν υπάρχουν πλέον ούτε ταχύρροες ΥΜΜ ούτε ποταμολίμνια. Κυρίαρχη ΥΜΜ με Δείκτη Κυριαρχίας 75% και ποσοστό κάλυψης 50% είναι τα βραδέως ολισθαίνοντα ύδατα (Εικόνα 3.4-9), εύλογα αφού το βάθος δεν ξεπερνά σε κανένα σημείο τα 75 cm βάρους ή $0,5 \text{ m/s}$ ταχύτητας. Έτσι, οι ωφέλιμες επιφάνειες για κάθε στάδιο της πέστροφας διαμορφώνονται όπως παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.4-9. Επιπλέον, όσον αφορά στις ζώνες καταλληλότητας για ωσαπόθεση, οι βέλτιστες θέσεις περιορίζονται πλέον στα 202 m^2 σε όλο το τμήμα του ποταμού. Η μεγάλη μείωση της παροχής και η επακόλουθη μείωση της ταχύτητας, ωστόσο, προσφέρει πολύ περισσότερες θέσεις στις πιο μικρόσωμες πέστροφες.

Πίνακας 3.4-9. Ωφέλιμες Επιφάνειες με την εφαρμογή της οριζόμενης από τη ΜΠΕ των έργων εκτροπής του Αχελώου (1995) οικολογικής παροχής ($1,5 \text{ m}^3/\text{s}$)

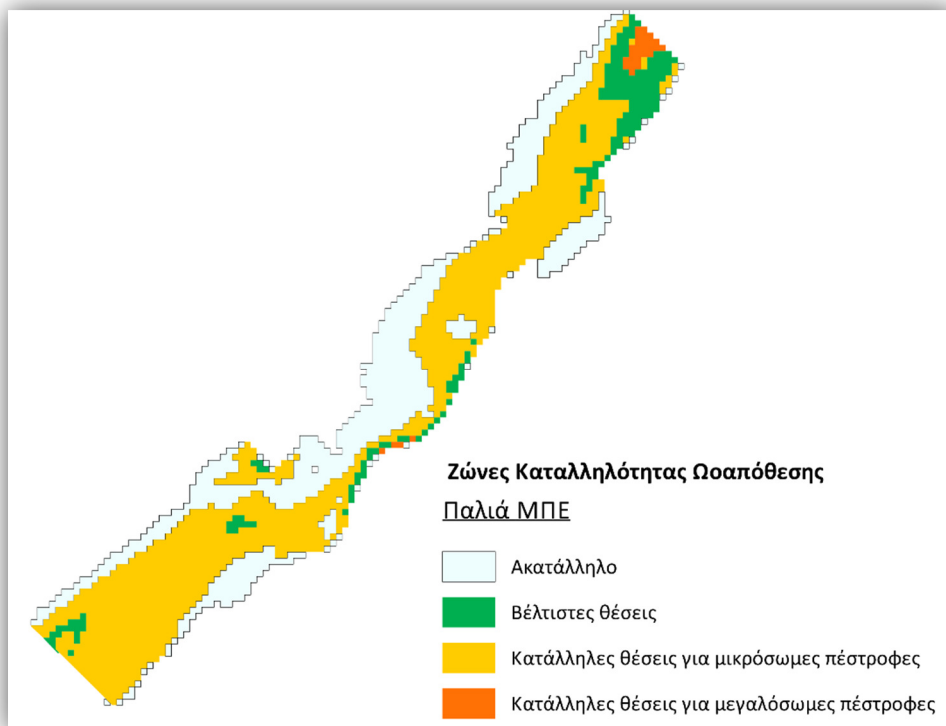
Scenario	Q	Μικρή πέστροφα	Μεσαία πέστροφα	Μεγάλη πέστροφα	Αναπα-ραγωγή	TOTAL AREA
Παλιά ΜΠΕ	1.5	774.98	838.39	712.50	840.53	2193.76



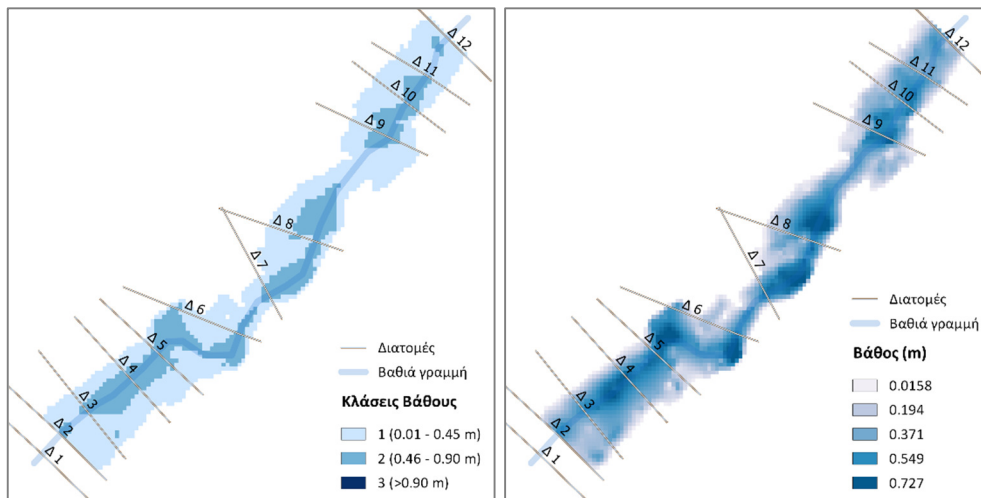
Εικόνα 3.4-9. Αποτελέσματα της χαρτογράφησης των ΥΜΜ έπειτα από την εφαρμογή της οριζόμενης από τη ΜΠΕ των έργων εκτροπής του Αχελώου (1995) οικολογικής παροχής ($1,5 \text{ m}^3/\text{s}$)

Πίνακας 3.4-10. Επιφάνεια ζωνών καταλληλότητας και ποσοστό κάλυψης έπειτα από την εφαρμογή της οριζόμενης από τη ΜΠΕ των έργων εκτροπής του Αχελώου (1995) ($1,5 \text{ m}^3/\text{s}$)

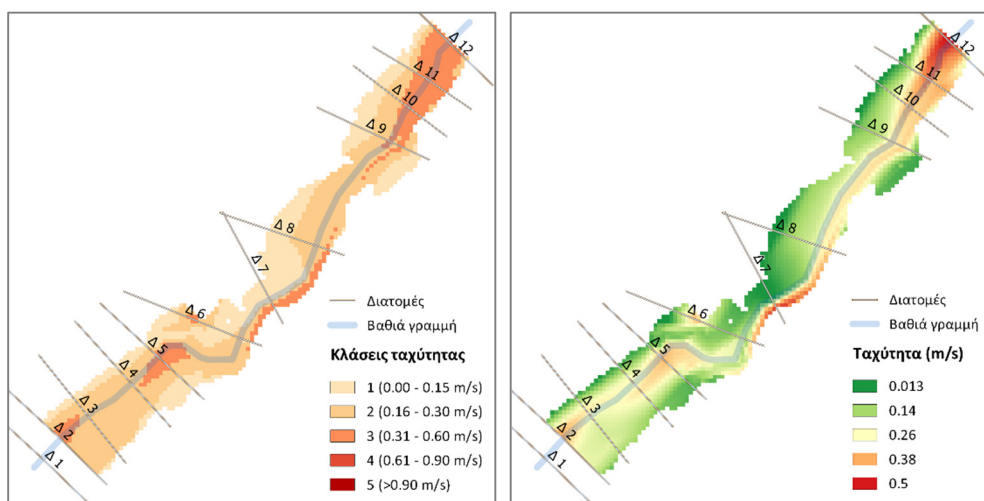
Δείκτης Καταλληλότητας	Επιφάνεια	Ποσοστό (σε σχέση με τη συν. βρ.επιφάνεια)
0	778	29.16%
1	202	7.59%
2	1204	45.16%
3	30	1.12%
Σύνολο	1436.79	



Εικόνα 3.4-10. Ζώνες Καταλληλότητας Ωαπόθεσης έπειτα από την εφαρμογή της οριζόμενης από τη ΜΠΕ των έργων εκτροπής του Αχελώου (1995) ($1,5 \text{ m}^3/\text{s}$)



Εικόνα 3.4-11. Κλάσεις βάθους (αριστερά) και πραγματικά βάθη (δεξιά) που παρατηρούνται στο μελετώμενο τμήμα του ποταμού έπειτα από την εφαρμογή της οριζόμενης από τη ΜΠΕ των έργων εκτροπής του Αχελώου (1995) οικολογικής παροχής (1,5 m³/s)



Εικόνα 3.4-12. Κλάσεις ταχύτητας (αριστερά) και πραγματικές ταχύτητες (δεξιά) που παρατηρούνται στο μελετώμενο τμήμα του ποταμού έπειτα από την εφαρμογή της οριζόμενης από τη ΜΠΕ των έργων εκτροπής του Αχελώου (1995) οικολογικής παροχής (1,5 m³/s)

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

4.1 Εκτίμηση της υφιστάμενης κατάστασης / Αξιολόγηση των YMM στη φυσική ροή

Τα αποτελέσματα της χαρτογράφησης των Υδρομορφολογικών Μονάδων για τη μέση παροχή κάθε μήνα παρέχει σημαντικές πληροφορίες για τις συνθήκες διαβίωσης της πέστροφας. Σύμφωνα με βιβλιογραφικά δεδομένα (Ruggerone et al., 2004, Arthington & Zalucki, 1998, κ.α.), οι υψηλές ροές έχει παρατηρηθεί ότι αποτελούν το έναυσμα για τις μεταναστεύσεις της πέστροφας. Αυτές φαίνεται να ξεκινούν το Νοέμβριο, οπότε επικρατούν οι μεσαίου ή μεγάλους βάθους YMM (*run – chute*). Τα μετρίως βαθιά και ταχύρροα προτιμούνται κυρίως από τις νεαρές (μεσαίες) πέστροφες. Στις βαθύτερες ταχύρροες YMM οι ταχύτητες είναι αρκετά μεγαλύτερες και για αυτό δεν έχει αποδοθεί Δείκτης Καταλληλότητας Μεσοενδιαιτήματος, μολαταύτα εκτιμάται ότι λόγω της ομοιόμορφης ροής δεν παρεμποδίζονται σημαντικά οι τοπικές μετακινήσεις των ιχθύων, ενώ προσφέρουν μεγαλύτερη διαθεσιμότητα τροφής στις –ενήλικες ή νεαρές– πέστροφες. Σε κάθε περίπτωση, είναι ακατάλληλες για την απόθεση των αυγών. Οι συνθήκες που επικρατούν στον ποταμό την περίοδο αναπαραγωγής, σύμφωνα με τα όσα έχουν εξηγηθεί για τα κριτήρια επιλογής των κατάλληλων θέσεων, προσφέρουν επαρκείς θέσεις για ωοαπόθεση.

Έχοντας εξασφαλίσει τα ενδιαίτηματα ωοτοκίας, η πέστροφα θα αναζητήσει περιοχές για την εύρεση τροφής ή για ανάπαυση. Όπως ήδη αναφέρθηκε, επικρατούν τα ταχύρροα ύδατα. Οι YMM μεγαλύτερης ταχύτητας, όπως τα βαθιά ή μετρίως βαθιά και ταχύρροα τμήματα (*chute – run*) ενδείκνυνται μόνο για τις πιο μεγαλόσωμες πέστροφες. Οι πιο μικρόσωμες πέστροφες, δηλαδή εκείνες που δεν έχουν συμπληρώσει τον πρώτο χρόνο, δίνουν προτεραιότητα στο αυξήσουν τη μάζα τους, και σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία (π.χ. Armstrong et al., 2003), θα αναζητήσουν αβαθή και ταχύρροα νερά (*riffle & riffle transition*). Μάλιστα, έχει διατυπωθεί η θεωρία («sit-and-wait feeding strategy») ότι κινούνται σε νερά μικρής ταχύτητας που, όμως, γεινιάζουν με ταχύρροα και αρπάζουν την τροφή που θα βρουν (Kalleberg, 1958 από Armstrong et al., 2003). Εάν ανατρέξει κανείς στις εικόνες του ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΟΣ μπορεί να διαπιστώσει ότι οι YMM των αβαθών και μετρίως αβαθών ταχύρροων (*riffle, riffle transition*) και των ολισθαινόντων υδάτων (*fast & slow glide*) κινούνται πάντα παράλληλα κατά μήκος του ποταμού. Σε κάθε περίπτωση, η έκταση των YMM φαίνεται να είναι αρκετά μεγάλη. Οι θέσεις κοντά στις όχθες που, πιθανά, καλύπτονται από βλάστηση θα είναι και οι πιο περιζήτητες, καθώς είναι δυσπρόσιτες από θηρευτές.

Είναι σημαντικό ότι καθ’ όλη τη διάρκεια του χειμώνα υπάρχει το ποταμολίμνιο στα ανάντη του ποταμού (βλ. εικόνες ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΟΣ), ως θέσεις ανάπαυλας των ενήλικων ιχθύων. Ανάλογη λειτουργία έχουν τα πιο ρηχά και μικρής ταχύτητας για τις νεαρές πέστροφες. Σε αυτό συμφωνούν και τα αποτελέσματα των καμπυλών καταλληλότητας του ερευνητικού προγράμματος Ecoflow στην ίδια περιοχή, όπου ο δείκτης καταλληλότητας >80% υποδεικνύει τα ποταμολίμνια και τα ταχέως ολισθαίνοντα ύδατα για τις ενήλικες και νεαρές (10-20 cm) πέστροφες.

Η ανάδυση των ιχθυδίων από τα χαλίκια, όπου ήταν θαμμένα τα αυγά, συμπίπτει με τη μείωση της ταχύτητας ροής **κατά την περίοδο των χαμηλών παροχών**. Με τη στρατηγική που περιγράφηκε παραπάνω, τα νεαρά ιχθύδια θα μείνουν στις YMM των ολισθαινόντων υδάτων για να μετακινούνται ανά τακτά σε περισσότερο ταχύρροες YMM για την ανεύρεση τροφής. Αυτές οι υδρομορφολογικές μονάδες τον Ιούνιο καταλαμβάνουν το 22% (727 m²) και 15% (505 m²), αντίστοιχα. Η μείωση της ταχύτητας ροής, όμως, ωθεί τις μεγαλύτερες πέστροφες να μεταναστεύσουν σε κατάντη, μεγαλύτερης ταχύτητας και ψυχρότερα νερά. Ενδεχομένως, κάτι τέτοιο να ωφελεί και στη ύφεση των φαινομένων ανταγωνισμού. Είναι, λοιπόν, φανερό ότι οι συνθήκες που επικρατούν στον ποταμό αυτήν την περίοδο ευνοούν τα νεαρά ιχθύδια.

Φυσικά, η ύπαρξη μεγάλων και πολλών ποταμολιμνίων αλλά και η ταυτόχρονη διατήρηση κάποιων ΥΜΜ της κατηγορίας *run* κρατά στον ποταμό τις νεαρές και ακόμα σχετικά αδύναμες πέστροφες (μεσαίου μεγέθους).

4.2 Αξιολόγηση μεταβολών των ΥΜΜ στην οικολογική παροχή

4.2.1 Εφαρμογή «Χαμηλών Ροών»

4.2.1.1 Χωρική Ανάλυση των ΥΜΜ

Κατά την περίοδο των υψηλών ροών πρέπει οπωσδήποτε να εξασφαλιστεί η ύπαρξη των ενδαιτημάτων για την ωτοκία και έπειτα για την ανεύρεση τροφής. Απαραίτητα, όμως, είναι πάντα και τα ενδαιτήματα ανάπαυσης, όπου οι ενήλικες και νεαρές πέστροφες θα βρίσκουν καταφύγιο από τους θηρευτές και θα εξοικονομούν δυνάμεις.

Σύμφωνα με βιβλιογραφικά δεδομένα (όπως Ruggerone et al., 2004, Arthington & Zalucki, 1998), οι υψηλές ροές έχει παρατηρηθεί ότι αποτελούν το έναυσμα για τις μεταναστεύσεις της πέστροφας. Αυτές φαίνεται να ξεκινούν, υπό φυσιολογικές συνθήκες, το Νοέμβριο, ενώ με την εφαρμογή του ελάχιστου ορίου της RVA, το Δεκέμβριο. Επομένως, το Νοέμβριο εξακολουθούν να υπάρχουν οι μετρίως βαθιές και ταχύρροες ΥΜΜ, έχοντας μειωθεί, όμως, κατά 33%, ενώ σε σχέση με το φυσικό καθεστώς τα ταχέως ολισθαίνοντα ύδατα κυριαρχούν πλέον (με ποσοστό κάλυψης 30% έναντι 5% της βρεχόμενης επιφάνειας) και παρατηρούνται πολλά ποταμολίμνια για την εποχή. Μία γενικότερη παρατήρηση είναι ότι το μήνα αυτό παρατηρούνται τεράστιες μεταβολές είτε με τη μεγάλη αύξηση κάποιων ΥΜΜ (*pool*, *fast & slow glide*, *riffle transition*) είτε με τη μεγάλη μείωση των υπόλοιπων ΥΜΜ (*slackwater*, *riffle*, *run*, *chute*). Ο βαθμός ετερογένειας πλέον αυξήθηκε στο 82% από 66,3%.

Αν και τα κατάλληλα για ωτοκία ενδαιτήματα, όπως περιγράφηκαν προηγούμενα, φαίνεται το Νοέμβριο να είναι περισσότερα από ό,τι στο φυσικό καθεστώς, πιθανολογείται ότι η έλλειψη των απαιτούμενων υψηλών παροχών συνηγορεί στο ότι δεν έχει δοθεί ακόμα το «μήνυμα» για την ανάδρομη μετανάστευση. Κάτι τέτοιο θα μπορούσε να επηρεάσει σημαντικά την ωτοκία. Ωστόσο, η διαδικασία αυτή διαρκεί το μέγιστο 4 εβδομάδες. Εκτιμάται, λοιπόν, ότι παρά τη μετατόπιση της περιόδου της ωτοκίας, το χρονικό διάστημα Δεκεμβρίου – Ιανουαρίου (ίσως και Φεβρουαρίου), επαρκεί και οι πέστροφες θα μπορέσουν να προσαρμοστούν.

Η γενικότερη μείωση της παροχής έχει ως αποτέλεσμα και το Δεκέμβριο (με 17,8 m³/s ελάχιστη οικολογική παροχή) να επικρατούν οι μετρίως βαθιές –και όχι οι βαθιές– ταχύρροες ΥΜΜ. Ωστόσο, εξακολουθούν να υπάρχουν μεγάλες ταχύτητες στον ποταμό. Και στο φυσικό και στο τροποποιημένο υδρολογικό καθεστώς, οι ταχύρροες ΥΜΜ *run* και *chute* καταλαμβάνουν το 72,6% – 74% της βρεχόμενης επιφάνειας. Λόγω της πτώσης της στάθμης, στο τροποποιημένο υδρ. καθεστώς αυτό μεταφράζεται ως λιγότερη έκταση, η οποία, όμως, παραμένει πάντα >2.600m². Αυτό σημαίνει ότι οι ΥΜΜ που παρέχουν μεγαλύτερη διαθεσιμότητα τροφής βρίσκονται σε αφθονία και η εφαρμογή των ελάχιστων ορίων της οικολογικής παροχής δεν επηρέασε σημαντικά αυτή την παράμετρο.

Με τις νέες παροχές, το χειμώνα υπάρχουν δύο ή τρία αρκετά μεγάλα ποταμολίμνια. Τα μεγέθη διαφέρουν από αυτά της φυσικής ροής, για παράδειγμα στη φυσική παροχή του Φεβρουαρίου υπάρχει μόνο ένα ποταμολίμνιο επιφάνειας 83 m², ενώ στην τροποποιημένη παροχή υπάρχουν τρεις τέτοιες ΥΜΜ 5m², 10m² και 64m². Επομένως, και με το νέο καθεστώς ροής υπάρχουν αρκετές θέσεις, ώστε να ικανοποιηθούν οι ανάγκες των ψαριών.

Οι βέλτιστες θέσεις ωστοκίας δεν μεταβάλλονται σημαντικά κατά την περίοδο αναπαραγωγής. Οι μετρίως αβαθείς ταχύρροες YMM (*riffle transition*) σε κάποιους μήνες μειώνονται το πολύ κατά 12% του φυσικού καθεστώτος. Μπορεί με ασφάλεια να θεωρηθεί ότι η εφαρμογή του τροποποιημένου οικολογικού καθεστώτος δεν έχει επηρεάσει αρνητικά σε αυτή την παράμετρο. Σε όλη τη διάρκεια του χειμώνα καταλαμβάνουν το 8 ως 9% της βρεχόμενης επιφάνειας. Η αύξηση των μετρίως ταχύρροων YMM (*riffle transition*) πιθανά να ωφελήσει και τις νεαρές πέστροφες (ηλικίας ενός έτους) παρέχοντάς τους περισσότερες περιοχές όπου μπορούν να αναζητήσουν τροφή.

Οι μεγάλες παροχές διατηρούνται μέχρι το Μάιο ($19,57 \text{ m}^3/\text{s}$ ελάχιστη οικολογική παροχή) και τον Ιούνιο πλέον η παροχή πέφτει στα $10,54 \text{ m}^3/\text{s}$. Όπως περιγράφηκε προηγουμένα, αυτήν την περίοδο εμφανίζονται τα πρώτα ιχθύδια. Τα ολισθαίνοντα ύδατα, στα οποία θα βρουν καταφύγιο τα νεαρά ιχθύδια, αυξάνονται με την εφαρμογή της οικολογικής παροχής και σε ποσοστό κάλυψης αλλά και σε επιφάνεια. Η αύξηση αυτή είναι της τάξης των 5 ποσοστιαίων μονάδων. Κάτι τέτοιο είναι λογικό, αφού με τη μείωση των παροχών μειώνονται και οι ταχύτητες. Αυτό φαίνεται και από τη γενικότερη μείωση των ταχύρροων υδρομορφολογικών μονάδων, με τα μετρίως βαθιά ταχύρροα (*run*) σχεδόν να υποδιπλασιάζονται. Ωστόσο, οι αυξομειώσεις στα αβαθή ταχύρροα (*riffle*) δεν είναι σημαντικές. Επομένως, το τροποποιημένο καθεστώς παροχών δεν θα έχει αρνητικές επιπτώσεις στα ιχθύδια.

Τα ποταμολιμνια φαίνεται να αυξάνονται σε αριθμό, από 6 ΥΜ μονάδες στη φυσική ροή, ιδιαίτερα στις πολύ χαμηλές παροχές από Ιούλιο ως Οκτώβριο, αλλά μειώνεται η επιφάνειά τους συνολικά στο υπό μελέτη τμήμα του ποταμού κατά 50 m^2 ως 100 m^2 . Παραμένουν όμως αρκετά μεγάλα τμήματα.

Προκειμένου να γίνει κάποια εκτίμηση για το αν οι παραπάνω μεταβολές, κυρίως στα ποταμολιμνια και τα μετρίως βαθιά ταχύρροα (*run*), θα έχουν επίπτωση στη διαθεσιμότητα τροφής, προϋποθέτει να γνωρίζουμε περισσότερες λεπτομέρειες για τον πληθυσμό των ψαριών στη συγκεκριμένη περιοχή. Αν, λοιπόν, οι συνήθεις πληθυσμοί του ποταμού είναι πολυπληθείς, τότε τους μήνες όπου οι μεταβολές είναι εντονότερες, όπως τον Ιούνιο ή τον Ιούλιο, τότε ενταθεί και ο ανταγωνισμός μεταξύ των ψαριών. Σε μικρότερους πληθυσμούς η παραπάνω μείωση των ταχύρροων δεν θα προκαλέσει προβλήματα ανταγωνισμού.

Όσον αφορά στο Νοέμβριο, θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη έμφαση στην αξιολόγηση των μεταβολών που προκύπτουν. Κατά τη φυσική ροή του ποταμού, ο Νοέμβριος σηματοδοτεί την έναρξη των μεγάλων παροχών και, ταυτόχρονα, την εποχή αναπαραγωγής της πέστροφας. Όμως, στην τροποποιημένη ροή η παροχή παραμένει χαμηλή και ανάλογη με αυτήν του Ιουνίου. Ακόμα και η εικόνα που προκύπτει από τη χαρτογράφηση των Υδρομορφολογικών Μονάδων κατατάσσει το Νοέμβριο στις χαμηλές παροχές. Τα ολισθαίνοντα ύδατα είναι τετραπλάσιας έκτασης από αυτά της φυσικής ροής και, μάλιστα, σχεδόν ίδιας έκτασης με του Ιουνίου. Ανάλογα ισχύουν και στις υπόλοιπες κατηγορίες YMM. Το ότι η θερινή περίοδος αυξάνεται κατά ένα μήνα δεν αποτελεί μεμονωμένα σημαντική μεταβολή. Η μόνη ανησυχία που εγείρεται είναι η επίδραση στην περίοδο ωστοκίας. Όπως εξηγήθηκε και παραπάνω, ενδέχεται οι πέστροφες να μπορέσουν να προσαρμοστούν χωρίς προβλήματα στη μετατόπιση ή ακόμα και μείωση της περιόδου αυτής. Προκειμένου να επιβεβαιωθεί κάτι τέτοιο, είναι απαραίτητη η εφαρμογή ενός προγράμματος παρακολούθησης.

4.2.1.2 Ωφέλιμες Επιφάνειες και Πίνακας Σχετικού Κινδύνου

Έχοντας χαρτογραφήσει τις ΥΜΜ για τη φυσική και την τροποποιημένη ροή, στις χωρικές μεταβολές αποδόθηκε αναλόγως (σύμφωνα με τον Πίνακα 2.6-2) ο **Βαθμός Επιπτώσεων**. Στη συνέχεια, συνυπολογίζοντας την Εποχιακή Ευαισθησία προκύπτει ο **Πίνακας Σχετικού Κινδύνου (Πίνακας 4.2-1)**. Η χρωματική διαβάθμιση των αποτελεσμάτων βοηθά να εξαχθεί αμέσως το συμπέρασμα ότι οι οικολογικές παροχές που προτάθηκαν επιφέρουν μόνο ήπιας έντασης επιπτώσεις και αυτό σε λίγες μόνο περιπτώσεις. Μάλιστα, φαίνεται ότι η μεγάλη και κυρίως η μεσαία πέστροφα τους χειμερινούς μήνες ευνοούνται περισσότερο από τις χαμηλές ροές και αυτό οφείλεται στην πολύ μεγάλη αύξηση κάποιων από τις Υδρομορφολογικές Μονάδες που προτιμούν. Για παράδειγμα, την περίοδο Φεβρουαρίου Μαρτίου και Απριλίου, αυξάνονται σε σημαντικό βαθμό τα μετρίως βαθιά και ταχύρροα τμήματα (*run*) και, κατά συνέπεια, αυξάνεται η Ωφ. Επιφάνεια.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχει, ωστόσο, να ελέγξει κανείς πιο προσεκτικά τις αυξομειώσεις σε κάθε ΥΜΜ ξεχωριστά, πέρα από τη συνολική Ωφέλιμη Επιφάνεια. Σε κάποιες περιπτώσεις το χειμώνα και ενώ για τη συνολική Ωφ. Επιφάνεια παρουσιάζεται όφελος, κάποιες από τις ΥΜΜ, όπως τα ποταμολίμνια, μειώνονται πάνω από -35%. Αντίστοιχα τους θερινούς μήνες, φαίνεται μια μικρή μείωση της Ωφ. Επιφάνεια συνολικά, στην πραγματικότητα, όμως, έχουν υποστεί σοβαρή μείωση οι ταχύρροες ΥΜΜ (*riffle & run*) (Ιούλιος). Εξετάζοντας, παράλληλα, και την έκταση των μειωμένων ΥΜΜ, βλέπει κανείς, ότι παρά τη μεγάλη μείωση στα ποταμολίμνια, παραμένουν δύο ικανοποιητικού μεγέθους Μονάδας (αθροιστικά 50m²). Αντίθετα για τις ΥΜΜ *riffle & run*, η μείωσή τους είναι τέτοια που πιθανά να στρεσάρει αρκετά κυρίως τις μικρές και μεσαίες πέστροφες. Θα αποτελούσε, λοιπόν, απαραίτητο δείκτη προς παρακολούθηση στην εφαρμογή ενός Προγράμματος Monitoring.

Τα ως άνω υποδηλώνουν ότι δεν θα πρέπει να παίρνει κανείς ως δεδομένο αποκλειστικά και μόνο τον Πίνακα Σχετικού Κινδύνου, χωρίς να ελέγξει με την ίδια λογική και τις ΥΜΜ ξεχωριστά. Παρόλα αυτά, αποδεικνύεται στο τέλος ότι, αν και η αρχική εικόνα που δίνει ο Πίνακας Σχετικού Κινδύνου δεν είναι πλήρης, είναι αρκετά κοντά στην πραγματικότητα.

Πίνακας 4.2-1. Πίνακας Σχετικού Κινδύνου (Relative Risk Matrix) για τη σύγκριση της φυσικής ροής και των χαμηλών ροών που προτείνονται από το λογισμικό ΙΗΑ.

Μήνας	Οικολογική παροχή (m ³ /s)	Μικρή Πέστροφα	Μεσαία Πέστροφα	Μεγάλη Πέστροφα	Αναπαραγωγή
Jan	19.36	0.0	1.0	1.0	-1.0
Feb	23.34	0.0	3.0	1.5	0.0
Mar	22.59	0.0	3.0	1.5	0.0
Apr	28.06	0.0	3.0	1.0	0.0
May	19.57	1.0	1.0	0.5	0.0
Jun	10.54	1.0	0.0	0.5	0.0
Jul	6.855	0.0	-1.0	0.0	0.0
Aug	6.14	0.0	0.0	0.0	0.0
Sep	6.025	0.0	1.0	0.5	0.0
Oct	6.56	0.0	0.0	0.0	0.0
Nov	8.36	0.0	-1.0	1.0	3.0
Dec	17.77	0.0	3.0	3.0	0.0

4.2.2 Εφαρμογή προτεινόμενης ελάχιστης παροχής με το υδρο-οικολογικό εργαλείο Ecoflow

4.2.2.1 Χωρική ανάλυση των ΥΜΜ

Με την μεθοδολογία προσομοίωσης ενδαιτημάτων, οι προτεινόμενες παροχές αφορούν σε συγκεκριμένο στάδιο ανάπτυξης, από το οποίο συμπεραίνεται και η χρονική περίοδος.

Για τα πρώτα στάδια ανάπτυξης, προτείνονται τα 3,55 m³/s και 5 m³/s για τη μικρή και τη μεσαία πέστροφα, αντίστοιχα. Οι παροχές αυτές είναι αντίστοιχες των θερινών, (για παράδειγμα του Αυγούστου, Σεπτεμβρίου, Οκτωβρίου των «χαμηλών παροχών» ή του Σεπτεμβρίου στο φυσικό καθεστώς. Ας σημειωθεί, όμως, τα 3,55 m³/s είναι μικρότερη παροχή από τη βασική ροή. Οι μικρές ταχύτητες που προτείνονται για τη μικρή και τη μεσαία πέστροφα είναι περισσότερο ευνοϊκές για το σωματικό τους βάρος. Τα ολισθαίνοντα ύδατα κατά μήκος του ποταμού μπορούν να φιλοξενήσουν τα μικρόσωμα ψάρια, ενώ η θέση των μεταβατικών σε αβαθή ταχύρροα (*riffle transition*) είναι τέτοια που διευκολύνει τη λήψη της τροφής χωρίς μεγάλη κατανάλωση ενέργειας. Θετικό, ακόμα, είναι ότι υπάρχουν αρκετά ποταμολίμνια. Ωστόσο, λόγω και της ανταγωνιστικότητας του είδους, πιθανολογείται αυτές οι θέσεις να καταληφθούν από μεγαλύτερα ψάρια. Σε γενικές γραμμές φαίνεται ότι, σύμφωνα με τα κριτήρια που παρατίθενται στην παράγραφο 2.4, οι συνθήκες ροής με τις προτεινόμενες παροχές είναι ικανοποιητικές.

Ειδική αναφορά πρέπει να γίνει στην προτεινόμενη παροχή των 2,5 m³/s για τη μεγάλη, ή αλλιώς, ενήλικη πέστροφα. Οι ταχύρροες ΥΜΜ σχεδόν εξαφανίζονται και παραμένει μόνο ένα πολύ μικρό αβαθές ταχύρροο τμήμα (*riffle*), μόλις 4 m². Ωστόσο, έχει τεκμηριωθεί η γενικότερη προτίμηση των σαλμονοειδών στις υψηλότερες ταχύτητες, καθώς και το ότι οι θέσεις αυτές στερούνται τροφής. Υπενθυμίζεται ότι οι καμπύλες καταλληλότητας βασίστηκαν στην καταγραφή των συνθηκών ροής στα σημεία όπου παρατηρήθηκαν ψάρια και τη μετέπειτα στατιστική επεξεργασία των δεδομένων αυτών (βλ. παράγραφο 2.2.2.1). Για το λόγο αυτό και στη συγκεκριμένη μελέτη του ερευνητικού έργου Ecoflow, υιοθετήθηκε η υπόθεση ότι «*κατά τη διάρκεια της ημέρας οι μεγαλύτερες πέστροφες καταφεύγουν σε θέσεις με μικρότερες ταχύτητες αλλά με περισσότερη κάλυψη, ενώ μετακινούνται σε άλλες θέσεις κατά τη διάρκεια των απογευματινών και βραδινών ωρών. Παράλληλα οι μικρότερου μεγέθους πέστροφες αξιοποιούν το γεγονός αυτό και καταλαμβάνουν τις κενές θέσεις, μέχρι να εκδιωχθούν από τις μεγαλύτερες την αντίστοιχη ώρα της ημέρας.*» (πηγή: Παραδοτέο Ecoflow “Π.3.1: Δείκτες καταλληλότητας οικοτόπων και οι σχετικοί αλγόριθμοι για την ανάπτυξη του υδρο-οικολογικού μοντέλου”). Έτσι, οι δείκτες καταλληλότητας που αποδόθηκαν εκφράζουν την προτίμηση της πέστροφας στις μικρές ταχύτητες προκειμένου να μην καταναλώσει άσκοπα ενέργεια και τη δυνατότητα να εκδιώξει από τις θέσεις αυτές τις μικρότερες πέστροφες. Παράλληλα, ιδιαίτερη μεία γίνεται για τις παραδοχές που έγιναν ώστε αυτού του είδους ιεράρχηση ως προς την επιλογή των ενδαιτημάτων της πέστροφας να μην αλλοιώσει τις προκύπτουσες καμπύλες καταλληλότητας. Ακόμα, ο έλεγχος καταλληλότητας ωσαπόθεσης δείχνει ότι η παροχή αυτή είναι κατάλληλη.

Ωστόσο, ενώ οι συνθήκες ροής είναι ιδανικές για άνετη κολύμβηση χωρίς μεγάλη κατανάλωση ενέργειας, στις χαμηλές ταχύτητες η θερμοκρασία του νερού ενδέχεται να είναι μεγαλύτερη κατά τους θερινούς μήνες και, συνεπώς, να μεταβάλλονται οι βιοχημικές αντιδράσεις, το διαλυμένο οξυγόνο, κλπ. Αυτή η αντίφαση οφείλεται πιθανά στις ιδιαίτερες συνθήκες του Βοϊδομάτη, όπου πραγματοποιήθηκαν οι δειγματοληψίες για το εν λόγω έργο. Η μέση θερμοκρασία των θερινών μηνών στην περιοχή αυτή είναι 10 °C. Όμως, δεν έχει εξακριβωθεί αν κάτι ανάλογο ισχύει και στο υπό μελέτη τμήμα του Αχελώου. Στην αντίθετη περίπτωση, η εφαρμογή της παροχής αυτής για παρατεταμένο χρονικό διάστημα πιθανά να οδηγήσει σε συνθήκες πίεσης για το είδος.

Τέλος, έχει ήδη υπογραμμιστεί η σημασία των ποταμολίμνιων και το ότι αποτελούν περιοριστικό παράγοντα για τα ενήλικα ψάρια. Άρα, η έλλειψη αυτών στα 2,5 m³/s δυσκολεύει τις συνθήκες διαβίωσής τους.

4.2.2.2 Ωφέλιμες Επιφάνειες και Πίνακας Σχετικού Κινδύνου

Εφόσον οι οικολογικές παροχές που προτάθηκαν από το υδρ-οικολογικό εργαλείο αφορούν σε συγκεκριμένα στάδια της πέστροφας, ευνόητα μπορούν να απευθύνονται για συγκεκριμένες εποχές του χρόνου. Τα ιχθύδια εμφανίζονται συνήθως το Μάιο και τους επόμενους μήνες αυξάνουν το σωματικό τους βάρος, μεταπηδώντας έτσι σε μεγαλύτερη κλάση μεγέθους. Έτσι, η παροχή για τη μικρή πέστροφα θα εφαρμοστεί μόνο τους θερινούς μήνες, επομένως και η σύγκριση θα γίνει μόνο για τους μήνες από Μάιο ως Σεπτέμβριο. Αντίθετα, η μεσαία πέστροφα είναι παρούσα στον ποταμό καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου. Το ίδιο ισχύει και για την μεγάλη πέστροφα, για την οποία όμως θα πρέπει η παροχή να αξιολογηθεί και ως προς την αναπαραγωγή και, άρα, η οικολογική παροχή για τη μεγάλη πέστροφα θα εφαρμοστεί την περίοδο αναπαραγωγής. Τα ως άνω διευθετούνται, όπως εξηγείται στην παράγραφο 2.6.1, με τον Συντελεστή Εποχιακής Ευαισθησίας.

Πίνακας 4.2-2. Πίνακας Σχετικού Κινδύνου (Relative Risk Matrix) για τη σύγκριση της φυσικής ροής και των χαμηλών ροών που προτείνονται από το υδρο-οικολογικό εργαλείο ECOFLOW.

Μήνας	Οικολογική παροχή (m ³ /s)	Μικρή Πέστροφα	Μεσαία Πέστροφα	Μεγάλη Πέστροφα	Αναπαραγωγή
Jan	2.5	0.0	-1.0	2.0	3.0
Feb	5	0.0	3.0	1.5	0.0
Mar	5	0.0	3.0	1.5	0.0
Apr	5	0.0	3.0	1.5	0.0
May	3.55	3.0	-1.0	1.0	0.0
Jun	3.55	1.0	-2.0	-0.5	0.0
Jul	3.55	0.0	-2.0	-0.5	0.0
Aug	3.55	0.0	-1.0	-0.5	0.0
Sep	3.55	0.0	-1.0	-0.5	0.0
Oct	3.55	0.0	-1.0	-0.5	0.0
Nov	2.5	0.0	-3.0	-1.0	3.0
Dec	2.5	0.0	2.0	3.0	3.0

Από τον Πίνακα Σχετικού Κινδύνου, για τη μικρή και τη μεγάλη πέστροφα φαίνεται οι παροχές να είναι ευνοϊκές. Μοναδική εξαίρεση αποτελεί ο Νοέμβριος, ωστόσο και σε αυτή την περίπτωση οι επιπτώσεις είναι ήπιες. Πρόβλημα ανακύπτει για τη μεσαία πέστροφα, η οποία ευημερεί μόνο το τρίμηνο Φεβρουαρίου – Απριλίου, δηλαδή την περίοδο που δίνεται προτεραιότητα σε αυτήν και εφαρμόζεται η οικολογική παροχή των 5 m³/s. Οι χαμηλότερες παροχές τον υπόλοιπο χρόνο την επηρεάζουν αρνητικά.

Εξετάζοντας κάθε YMM ξεχωριστά, στις αρχές του χειμώνα (Νοέμβριο – Ιανουάριο) τα *run & riffle* εξαφανίζονται από τον ποταμό, ενώ τα ποταμολίμνια μειώνονται στα 13 μόλις m². Ειδικότερα το τελευταίο, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένα, αποτελεί λόγο απόρριψης της παροχής αυτής. Στο επόμενο τρίμηνο, με παροχή 5 m³/s, επανέρχονται τα ποταμολίμνια και, επομένως,

«αποκαθίστανται» οι ενήλικες πέστροφες σε ένα βαθμό, εξακολουθούν όμως να είναι κατά πολύ μειωμένα τα μετρίως βαθιά και αβαθή ταχύρροα (*run* και *riffle*) και πολλαπλάσια τα ολισθαίνοντα. Παρόμοια ισχύουν και με τη μικρότερη παροχή των θερινών μηνών (3,55 m³/s). Η διαφορά είναι ότι τα ποταμολίμνια, παρά τη μείωσή τους, διατηρούν μονάδες ικανοποιητικού μεγέθους.

Ακόμα, όσον αφορά στα μεσοενδιαιτήματα κατάλληλα για την ωσαπόθεση, με την παροχή των 2,5 m³/s μειώνονται μόνο ελαφρά τα (ιδανικά) μεταβατικά σε αβαθή ταχύρροα και σε γενικές γραμμές οι κατάλληλες θέσεις δεν μεταβάλλονται σημαντικά.

Αυτή η πολύ μεγάλη μείωση των ταχύρροων και των ποταμολίμνιων, από τη μία, και η πολύ μεγάλη αύξηση των βραδύτερης ροής YMM, από την άλλη, έχει σαν αποτέλεσμα η συνολική Ωφέλιμη Επιφάνεια να μειώνεται μόνο κατά 15% κατά μέσο όρο τους θερινούς μήνες ή να διπλασιάζεται το χειμώνα.

4.2.3 Εφαρμογή οριζόμενης από τη νομοθεσία ελάχιστης οικολογικής παροχής

4.2.3.1 Χωρική ανάλυση των YMM

Όπως έχει ήδη διευκρινιστεί, η οριζόμενη από τη νομοθεσία οικολογική παροχή ταυτίζεται με την προτεινόμενη με το υδρο-οικολογικό εργαλείο Ecoflow για την ενήλικη πέστροφα, άρα η αξιολόγηση που έγινε στην προηγούμενη παράγραφο καλύπτει και αυτή τη «μεθοδολογία». Παρόλα αυτά, η παροχή στην περίπτωση της νομοθεσίας δεν αφορά μόνο στην ενήλικη πέστροφα και, άρα, θα πρέπει να εξεταστούν οι επιδράσεις και στα νεαρότερα ψάρια. Πέραν των όσων αναφέρθηκαν προηγούμενα, λόγω της απουσίας των ταχύρροων YMM ενδέχεται να μειωθεί σημαντικά η διαθεσιμότητα τροφής. Το γεγονός αυτό πιθανά να εντείνει τα φαινόμενα ανταγωνισμού και, ταυτόχρονα, να επιδράσει αρνητικά στην επιβίωση των νεαρών ιχθύων.

Ανάλογα, για την παροχή που ορίστηκε στην παλιά ΜΠΕ των έργων εκτροπής του Αχελώου, η έλλειψη των ταχύρροων YMM μειώνει σημαντικά τη διαθεσιμότητα τροφής, ενώ κατά τους θερινούς μήνες ενδέχεται να αυξηθεί η θερμοκρασία του νερού σε μη ανεκτά επίπεδα. Φυσικά, δεν μπορεί να παραβλεφθεί το γεγονός ότι δεν υπάρχουν ποταμολίμνια σε αυτήν την παροχή. Τα βέλτιστα σημεία για ωσαπόθεση έχουν μειωθεί σημαντικά. Αν και υπάρχουν αρκετές θέσεις με ιδανικές συνθήκες ροής, είναι αμφίβολο το κατά πόσο θα παραμείνουν σε αυτό το τμήμα του ποταμού τα ψάρια δεδομένων των χαμηλών ταχυτήτων (άρα μικρής διαθεσιμότητας τροφής), ενώ και τα μικρά βάθη δυσχεραίνουν την προστασία από τους θηρευτές.

4.2.3.2 Ωφέλιμες Επιφάνειες και Πίνακας Σχετικού Κινδύνου

Καθώς οι παροχές των 2,725 m³/s εκ της νομοθεσίας ή 1,5 m³/s της παλιάς ΜΠΕ δεν αφορούν σε συγκεκριμένη περίοδο, για την εκτίμηση του σχετικού κινδύνου ως αρχική κατάσταση (baseline scenario) χρησιμοποιείται η βασική ροή του ποταμού. Ωστόσο, παρουσιάζονται και οι πίνακες Σχετικού Κινδύνου για το σενάριο που αυτές οι παροχές εφαρμόζονταν καθ'όλη τη διάρκεια του τους, όπως άλλωστε όριζε η παλιά ΜΠΕ.

Σε σχέση με τη βασική ροή, η παροχή 2,725 m³/s επιφέρει μόνο ήπιας έντασης αρνητικές επιπτώσεις σε όλα τα στάδια της πέστροφας, ενώ η παροχή 1,5 m³/s είναι σαφώς δυσμενέστερη.

Φαίνεται ότι η εφαρμογή τόσο χαμηλών παροχών κατά τους χειμερινούς μήνες οδηγεί συνήθως σε όφελος, λόγω της αύξησης κάποιων μικρότερης ταχύτητας YMM. Όμως, κατά τους θερινούς μήνες επιφέρει δυσμενείς επιπτώσεις σε όλα τα στάδια.

Πίνακας 4.2-3. Πίνακας Σχετικού Κινδύνου (Relative Risk Matrix) για τη σύγκριση της βασικής ροής με την προτεινόμενη από τη νομοθεσία και την παλιά ΜΠΕ οικολογική παροχή.

Οικολογική παροχή (m ³ /s)		Μικρή Πέστροφα	Μεσαία Πέστροφα	Μεγάλη Πέστροφα	Αναπαραγωγή
Χωροταξικό Πλαίσιο για τις ΑΠΕ	2.5	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0
Παλιά ΜΠΕ	1.5	-2	-1	-2	-3

Πίνακας 4.2-4. Πίνακας Σχετικού Κινδύνου (Relative Risk Matrix) για τη σύγκριση της βασικής ροής με την προτεινόμενη από τη νομοθεσία οικολογική παροχή καθ'όλη τη διάρκεια του έτους.

Μήνας	Οικολογική παροχή (m ³ /s)	Μικρή Πέστροφα	Μεσαία Πέστροφα	Μεγάλη Πέστροφα	Αναπαραγωγή
Jan	2.5	0	3	2	3
Feb	2.5	0	3	2	0
Mar	2.5	0	3	2	0
Apr	2.5	0	3	2	0
May	2.5	3	2	1	0
Jun	2.5	1	-1	-1	0
Jul	2.5	-1	-1	-1	0
Aug	2.5	-1	-1	-1	0
Sep	2.5	-1	-1	-1	0
Oct	2.5	0	-1	-1	0
Nov	2.5	0	-1	-1	3
Dec	2.5	0	3	3	3

Πίνακας 4.2-5. Πίνακας Σχετικού Κινδύνου (Relative Risk Matrix) για τη σύγκριση της βασικής ροής με την προτεινόμενη από την παλιά ΜΠΕ οικολογική παροχή καθ'όλη τη διάρκεια του έτους.

Μήνας	Οικολογική παροχή (m ³ /s)	Μικρή Πέστροφα	Μεσαία Πέστροφα	Μεγάλη Πέστροφα	Αναπαραγωγή
Jan	1.5	0	-2	1	3
Feb	1.5	0	2	2	0
Mar	1.5	0	2	2	0
Apr	1.5	0	2	2	0
May	1.5	2	-2	0	0
Jun	1.5	-1	-3	-1	0
Jul	1.5	-2	-2	-2	0
Aug	1.5	-2	-2	-1	0
Sep	1.5	-1	-1	-1	0
Oct	1.5	0	-2	-1	0
Nov	1.5	0	-3	-2	3
Dec	1.5	0	0	3	3

4.3 Μεταβολές των YMM συναρτήσει της παροχής

4.3.1 Ποσοστό κάλυψης και επιφάνεια των YMM

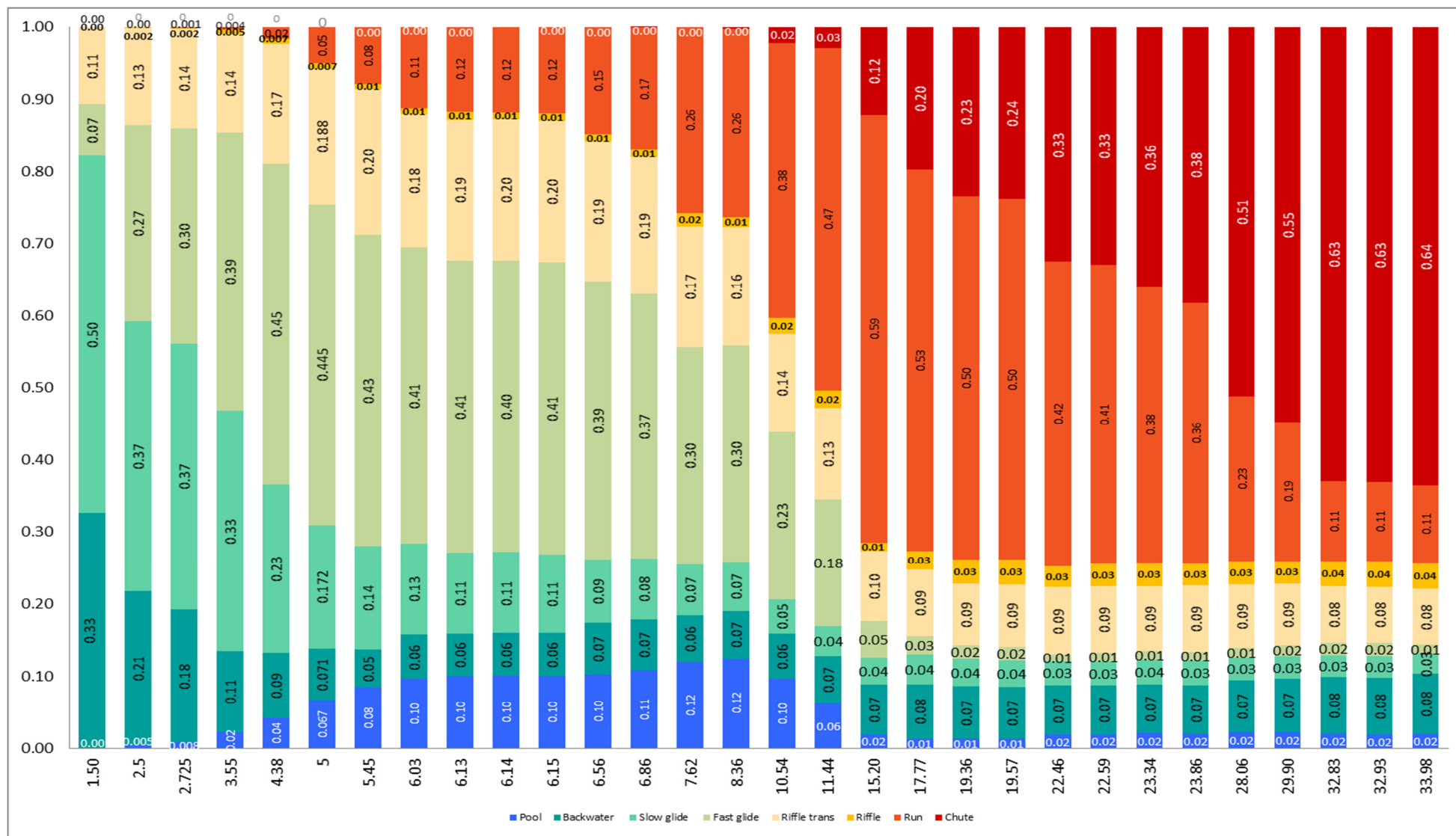
Συνολικά, είτε αυτό αφορούσε το φυσικό υδρολογικό καθεστώς είτε τις προτεινόμενες οικολογικές παροχές, εξετάστηκαν 30 σενάρια παροχών, από 1,5 ως 34 m³/s. Στο υπό μελέτη τμήμα του ποταμού, χαρτογραφήθηκαν οι Υδρομορφολογικές Μονάδες και σε 30 σενάρια, κάτι που εν τέλει φαίνεται να αποτυπώνει τον ιδιαίτερο χαρακτήρα της κοίτης.

Στο παρακάτω γράφημα (**Σχήμα 4.3-1**), όπου εμφανίζεται το ποσοστό κάλυψης κάθε κατηγορίας YMM ως προς τη συνολική βρεχόμενη επιφάνεια στις διάφορες παροχές, φαίνεται ότι η παροχή των 15m³/s (50% πιθανότητα υπέρβασης) αποτελεί ένα κομβικό σημείο όπου αλλάζει η μορφή του ποταμού και διαφοροποιείται η κατανομή των YMM. Αυτό, άλλωστε, αποκαλύπτουν και οι εικόνες της χαρτογράφησης των YMM για κάθε μήνα. Μάλιστα, στην ανάλυση του υδρολογικού καθεστώτος κατά τους θερινούς μήνες έχουμε πάντα μικρότερες παροχές, ενώ κατά τους χειμερινούς μήνες πάντα μεγαλύτερες. Στην παροχή αυτή, τα μετρίως βαθιά και ταχύρροα τμήματα (*run*) παρουσιάζουν το μέγιστο ποσοστό κάλυψης, έπειτα από την οποία δίνουν τη θέση τους στα βαθιά και ταχύρροα τμήματα (*chute*) τα οποία σε μικρότερες παροχές σχεδόν δεν υπάρχουν. Εύλογα, το ποσοστό κάλυψης των ταχύρροων YMM αυξάνεται ανάλογα με τη παροχή, με τα βαθιά και μετρίως βαθιά ταχύρροα (*run + chute*) να καταλαμβάνουν πάνω από 71% της βρεχόμενης επιφάνειας σε παροχή >15m³/s, από 50% στην αμέσως μικρότερη. Οι YMM της κατηγορίας *riffle*, αν και αυξάνονται ανάλογα με την παροχή, δεν παρουσιάζουν γραμμική σχέση με αυτή. Δεν ξεπερνούν το 3,65% ή 160m².

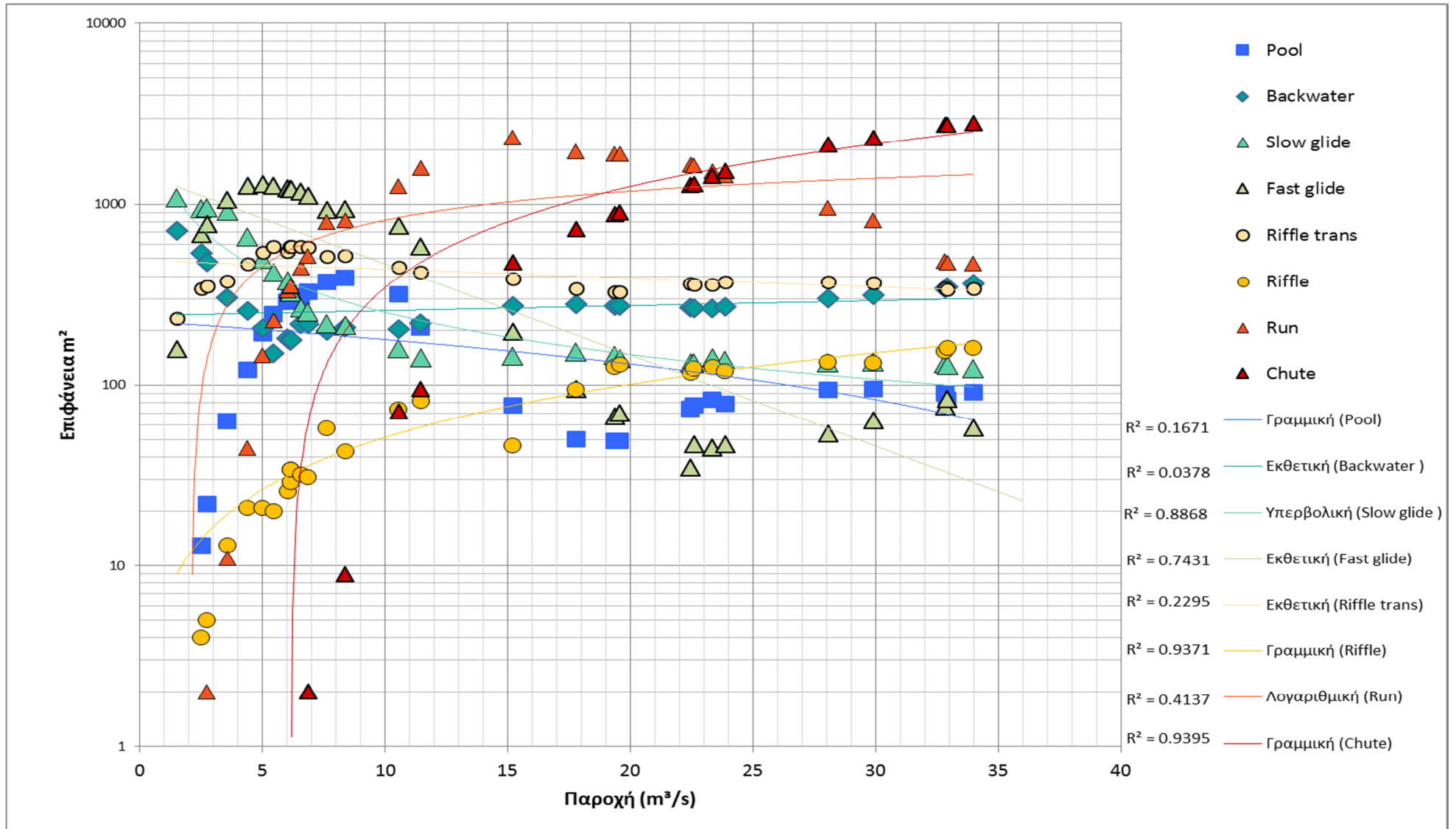
Τα ποταμολίμνια (*pool*) σε μικρές παροχές και μέχρι τα περίπου 10 m³/s αυξάνονται σημαντικά και πλησιάζουν τα 400 m² (12%). Η μέγιστη επιφάνεια των ποταμολίμνιων (αθροιστικά και όχι κάθε μεμονωμένης υδρομορφολογικής μονάδας) παρουσιάζεται στα 8,36 m³/s. Έπειτα από τα 15m³/s το ποσοστό κάλυψης είναι 1-2%. Όμως, παρά τη μείωση του ποσοστού κάλυψης, η επιφάνειά τους ξεπερνά τα 50 m².

Τα σχεδόν στάσιμα νερά (*slackwater*) και τα βραδέως ολισθαίνοντα ύδατα (*slow glide*) αυξάνονται κατακόρυφα σε παροχές μικρότερες της βασικής ροής, ενώ κατά τα άλλα κυμαίνονται μεταξύ 5-8%. Ανάλογα, από τη βασική ροή (μέγιστη επιφάνεια στα 5 m³/s) μέχρι την κρίσιμη τιμή των 15m³/s αυξάνονται και τα ταχέως ολισθαίνοντα ύδατα αντιστρόφως ανάλογα με την παροχή. Έπειτα από την τιμή αυτή περιορίζονται σε λιγότερα από 100 m² και <3%.

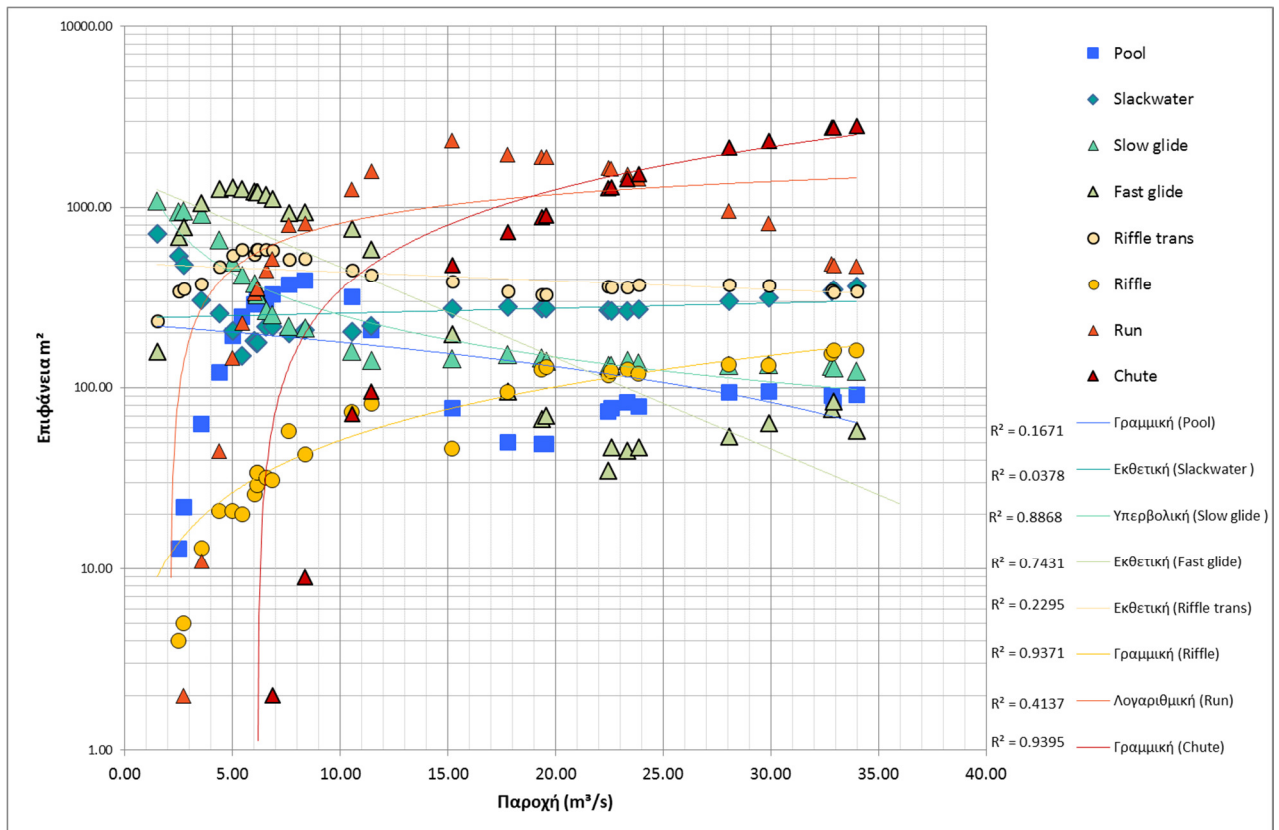
Όσον αφορά στα μεταβατικά σε αβαθή ταχύρροα (*riffle transition*), μεσοενδιάιτημα με τις ιδανικές συνθήκες ροής για την αναπαραγωγή της πέστροφας, δεν παρουσιάζουν συγκεκριμένη σχέση με την παροχή. Ωστόσο, φαίνεται ότι στις υψηλές παροχές διατηρούν ένα ποσοστό κάλυψης μεταξύ 7,5-9,8% (325-387 m²) ενώ στις χαμηλές μεταξύ 12,5-19,5% (340-587 m²).



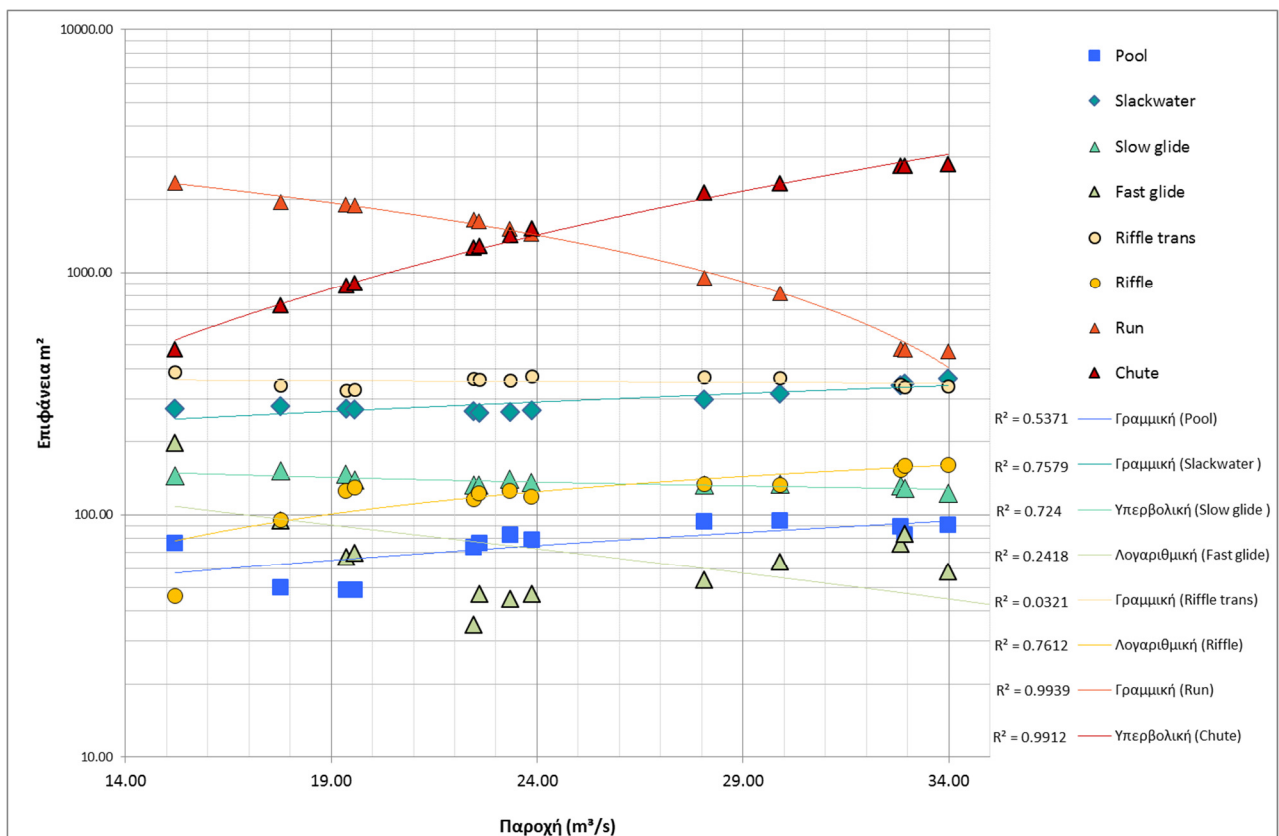
Σχήμα 4.3-1. Ποσοστό των Υδρομορφολογικών Μονάδων ως προς τη συνολική βρεχόμενη επιφάνεια για όλα τα σενάρια παροχών (1,5 - 33,98 m³/s)



Σχήμα 4.3-2. Συνολική επιφάνεια κάθε κατηγορίας YMM συναρτήσει της παροχής για όλα τα σενάρια παροχών (1,5 - 33,98 m³/s)



Σχήμα 4.3-3. Συνολική επιφάνεια κάθε κατηγορίας YMM συναρτήσει της παροχής για τις χαμηλές παροχές (<15m³/s)

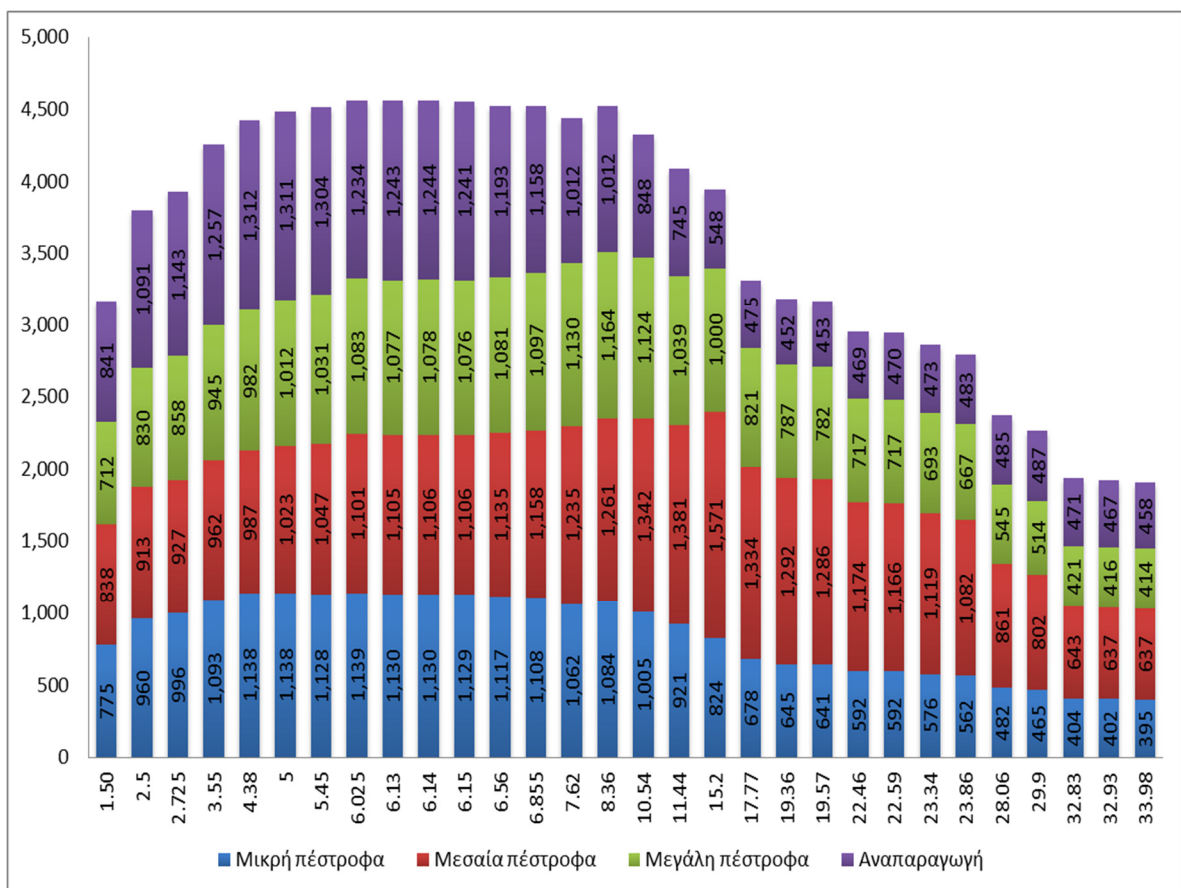


Σχήμα 4.3-4. Συνολική επιφάνεια κάθε κατηγορίας YMM συναρτήσει της παροχής για τις υψηλές παροχές (>15m³/s)

4.3.2 Ωφέλιμη Επιφάνεια

Αναλόγως με τα προηγούμενα, εξετάστηκε το πώς επηρεάζουν οι μεταβολές της παροχής την ωφέλιμη έκταση για κάθε στάδιο της πέστροφας. Στο **Σχήμα 4.3-5** φαίνεται ότι η μέγιστη συνολική ωφέλιμη επιφάνεια παρατηρείται από τη βασική ροή ως τα 10 m³/s περίπου, ενώ μειώνεται σε μεγαλύτερες παροχές. Ευνόητα, με πολύ μικρές διαφορές (όπως για τη μεσαία πέστροφα), το ίδιο ισχύει και για την ωφέλιμη επιφάνεια για κάθε στάδιο ξεχωριστά.

Το παρακάτω σχήμα δεν θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί μόνο του, αφού λείπουν απαραίτητες πληροφορίες. Πέραν της εποχικότητας, σημαντική είναι η γνώση των πληθυσμών των ψαριών στον ποταμό, ειδικότερα λόγω των φαινομένων ανταγωνισμού. Ωστόσο, μπορεί να λειτουργήσει βοηθητικά για μικρές διορθώσεις των προτεινόμενων παροχών και να συμβάλει στην ενσωμάτωση και των βιοτικών παραμέτρων του ποταμού, επεξηγώντας κατά το δυνατό τις επιπτώσεις λόγω των μεταβολών της ροής στους οργανισμούς (εδώ μόνο στην πέστροφα) που διαβιούν στον υπό μελέτη ποταμό.



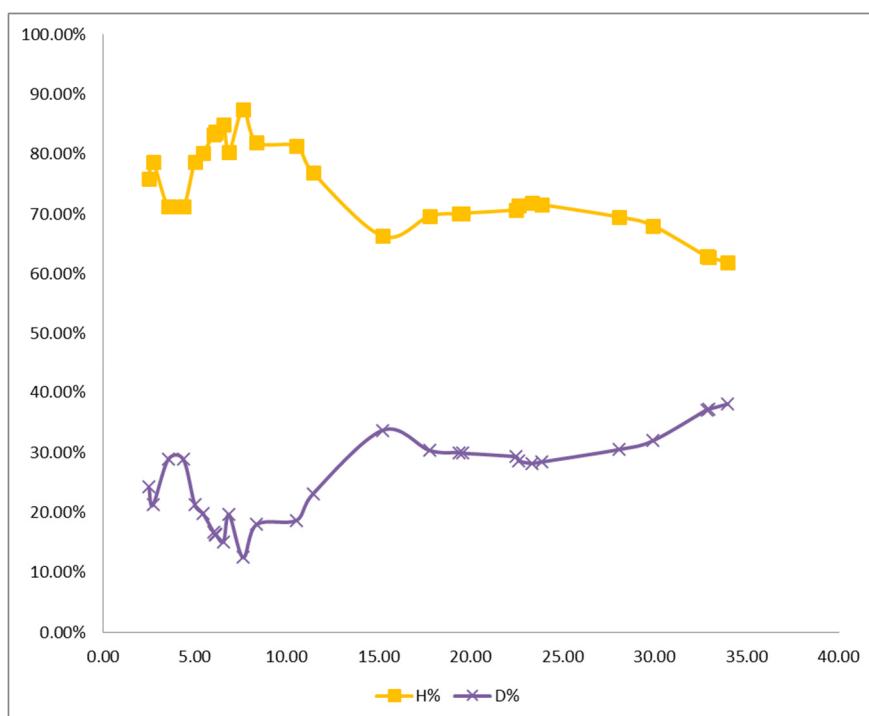
Σχήμα 4.3-5. Ωφέλιμη Επιφάνεια (m²) για κάθε στάδιο της πέστροφας συναρτήσεως της παροχής

4.3.3 Δείκτες ετερογένειας και Κυριαρχίας

Όσον αφορά στους δείκτες Ετερογένειας και Κυριαρχίας, δεν παρατηρείται σαφής σχέση με την αύξηση της παροχής, όπως φαίνεται χαρακτηριστικά και στο **Σχήμα 4.3-6**, αλλά ούτε και με το εύρος μεταβολής της παροχής. Ωστόσο, οι αυξομειώσεις των δεικτών υπονοούν αντιστρόφως ανάλογες μεταβολές της παροχής, χωρίς όμως αυτό να συμβαίνει με απόλυτη ακρίβεια. Συνεπώς, δεν μπορεί να εξαχθεί κάποιο ασφαλές συμπέρασμα για το Βαθμός Ετερογένειας ή Κυριαρχίας αποκλειστικά και μόνο συναρτήσει των αυξομειώσεων της παροχής.

Εντούτοις, φαίνεται ότι στις χαμηλές παροχές, και συγκεκριμένα στις παροχές $<15 \text{ m}^3/\text{s}$, ο δείκτης ετερογένειας είναι υψηλότερος και με μη ομαλές αυξομειώσεις. Ο Harby και οι συνεργάτες τους, αντίθετα παρατήρησαν μεγαλύτερο δείκτη ετερογένειας σε μεγάλες παροχές στον ποταμό Ροδανό. Εύλογα, όμως, δεν μπορούν να συγκριθούν οι δύο αυτές περιπτώσεις, καθώς πρόκειται για τελείως διαφορετικούς ποταμούς. Ακόμα, παρατηρήθηκε ότι στους μήνες που δεν διαφοροποιούνται σημαντικά οι ΥΜΜ, λόγω της εφαρμογής της προτεινόμενης οικολογικής παροχής, ο βαθμός ετερογένειας δεν μεταβάλλεται παραπάνω από 3 ποσοστιαίες μονάδες. Αντίθετα, στους μήνες με μεγαλύτερες διαφοροποιήσεις η μεταβολή του H είναι αισθητά μεγαλύτερη. Παρόλα αυτά, και εδώ δεν είναι δυνατό να αποτυπωθεί συγκεκριμένη συσχέτιση.

Άρα, ίσως μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο ως μία πρώτη ένδειξη για το βαθμό τροποποίησης του οικοσυστήματος, παράλληλα ενδεχομένως με τους δείκτες της RVA. Πιθανά, οι δείκτες αυτοί να έχουν “τοπικό χαρακτήρα” και να χαρακτηρίζουν τις ιδιαίτερες συνθήκες ενός ποταμού ή τμήματος ποταμού. Κάτι τέτοιο δύναται να διαπιστωθεί μόνο με την εφαρμογή της μεθοδολογίας και σε άλλους ποταμούς ή τμήματα του Αχελώου.



Σχήμα 4.3-6. Δείκτης ετερογένειας H και δείκτης Κυριαρχίας D , εκφρασμένοι ως ποσοστά, συναρτήσει της παροχής.

4.4 Εκτίμηση της οικολογικής παροχής μέσω των Ωφέλιμων Επιφανειών (UHA)

Η Ωφέλιμη Έκταση, για κάθε στάδιο της πέστροφας και αθροιστικά, φαίνεται να αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο αξιολόγησης των αποτελεσμάτων διαφόρων μεθοδολογιών εκτίμησης οικολογικής παροχής. Εφόσον η διαδικασία έχει ήδη πραγματοποιηθεί για διάφορα σενάρια παροχών, είτε φυσικής είτε τροποποιημένης ροής, θα αποτελούσε παράληψη να μην επιχειρηθεί η αντίστροφη διαδικασία για την εκ νέου πρόταση μίας οικολογικής παροχής, βασιζόμενης αυτή τη φορά αποκλειστικά και μόνο στις YMM και τις Ωφέλιμες Επιφάνειες. Εάν αποδεικνυόταν ότι μπορεί να βρεθεί ακριβής εξίσωση που να συνδέει με απόλυτη πιστότητα την παροχή με την Ωφέλιμη Επιφάνεια, τότε απλώς ακολουθώντας τις «αντίστροφες πράξεις», θα μπορούσε κάποιος να ορίσει μια αποδεκτή μεταβολή της Ωφέλιμης Επιφάνειας και, έτσι να υπολογίσει πόσο μπορεί να μειωθεί, αντίστοιχα, και η παροχή. Δυστυχώς, όμως, παρά το ότι υπάρχει στενή συσχέτιση παροχής και Ωφέλιμης Επιφάνειας, δεν είναι όσο ακριβής θα απαιτείτο για να προταθεί οικολογική παροχή με μόνο δεδομένο αυτό.

Για την εκτίμηση της οικολογικής παροχής μέσω του υπολογισμού της Ωφέλιμης Επιφάνειας, αξιοποιούνται τα αποτελέσματα των 30 διαφορετικών παροχών που έχουν προσομοιωθεί. Είναι αρκετά απλό σε λογιστικό φύλλο excel, εφαρμόζοντας τα όσα περιγράφονται στην παράγραφο 2.6, να συγκριθεί η Ωφ. Επιφάνεια στο φυσικό καθεστώς (για παράδειγμα, σε κάθε μήνα ή στη μέση τιμή κάθε περιόδου) με όλες τις προσομοιωμένες παροχές και άρα τις αντίστοιχες Ωφ. Επιφάνειες. Ορίζοντας εξ αρχής ποιος είναι ο ανεκτός Βαθμός Επιπτώσεων και, στη συνέχεια, επιλέγοντας τη μικρότερη δυνατή παροχή στην οποία ο Βαθμός Επιπτώσεων δεν υπερβαίνει τα αποδεκτά όρια, καταλήγουμε στην ελάχιστη οικολογική παροχή. Για να γίνει πιο σαφές, αν θεωρούσαμε ότι το οικοσύστημα είναι ιδιαίτερα βεβαρυσμένο και δεν αντέχει παρά μόνο αμελητέες επιπτώσεις, τότε θα επιλέγαμε ως αποδεκτό Βαθμό Επιπτώσεων το 0 και, σε αυτήν την περίπτωση η παροχή δεν θα μπορούσε να μειωθεί σημαντικά.

Εδώ υιοθετείται η παραδοχή ότι αποδεκτές είναι μόνο οι μικρής έντασης επιπτώσεις στο περιβάλλον (Βαθμός Επιπτώσεων = -1). Στη συνέχεια, η Ωφέλιμη Επιφάνεια στη φυσική παροχή κάθε μήνα συγκρίθηκε με κάθε μία από τις υπόλοιπες 29 Ωφ. Επιφάνειες. Τέλος, επιλέχθηκε η ελάχιστη παροχή που απέδιδε Βαθμό Επιπτώσεων -1 (**Πίνακας 4.4-1, 1^η στήλη**). Για παράδειγμα, για το Νοέμβριο, η ελάχιστη παροχή στην οποία σε κανένα στάδιο ανάπτυξης της πέστροφας δεν επιφέρονται σημαντικές επιπτώσεις, δηλαδή σοβαρή μεταβολή των Ωφέλιμων Επιφανειών, είναι τα 8,36m³/s. Ανάλογα, υπολογίζονται και οι υπόλοιποι μήνες. Φαίνεται ότι στις περισσότερες των περιπτώσεων, η οικολογική παροχή είναι αρκετά χαμηλή. Αξίζει να σημειωθεί ότι, ενώ η οικολογική παροχή γενικά κυμαίνεται σε χαμηλά επίπεδα, σε κάποιους μήνες όπως το Νοέμβριο, τον Ιούνιο και τον Ιούλιο δεν αποκλίνει τόσο σε σχέση με τη μέση παροχή του μήνα πριν την παρέμβαση στον ποταμό.

Εντούτοις, ο Βαθμός Επιπτώσεων αφορά στην αθροισμένη Ωφέλιμη Επιφάνεια για όλες τις προτιμώμενες YMM. Αξίζει, όμως, δώσει κανείς μεγαλύτερη προσοχή και στις μεταβολές που επέρχονται σε κάθε YMM ξεχωριστά. Για παράδειγμα, το Νοέμβριο η μεταβολή της συνολικής Ωφ. Επιφάνειας για την μεσαία πέστροφα είναι μικρή, ενώ, μάλιστα, για την μεγάλη είναι επωφελής (B.E=+3). Παρόλα αυτά, κοιτάζοντας τη μεταβολή σε κάθε YMM, αναφαίνεται ότι οι μετρίως βαθιές κ ταχύρροες YMM (*run*) μειώνονται κατά 65% (B.E=-3), κάτι που σημαίνει δυσμενείς επιπτώσεις παρά τα λοιπά οφέλη. Κάτι τέτοιο αποτελεί, σίγουρα, λόγο απόρριψης της παροχής αυτής.

Αναθεωρώντας, λοιπόν, και χρησιμοποιώντας και το **Σχήμα 4.3-1**, παρατηρήθηκε ότι με τη μείωση της παροχής αυξάνονται κατά πολύ τα σχεδόν στάσιμα και τα ολισθαίνοντα ύδατα, αλλά

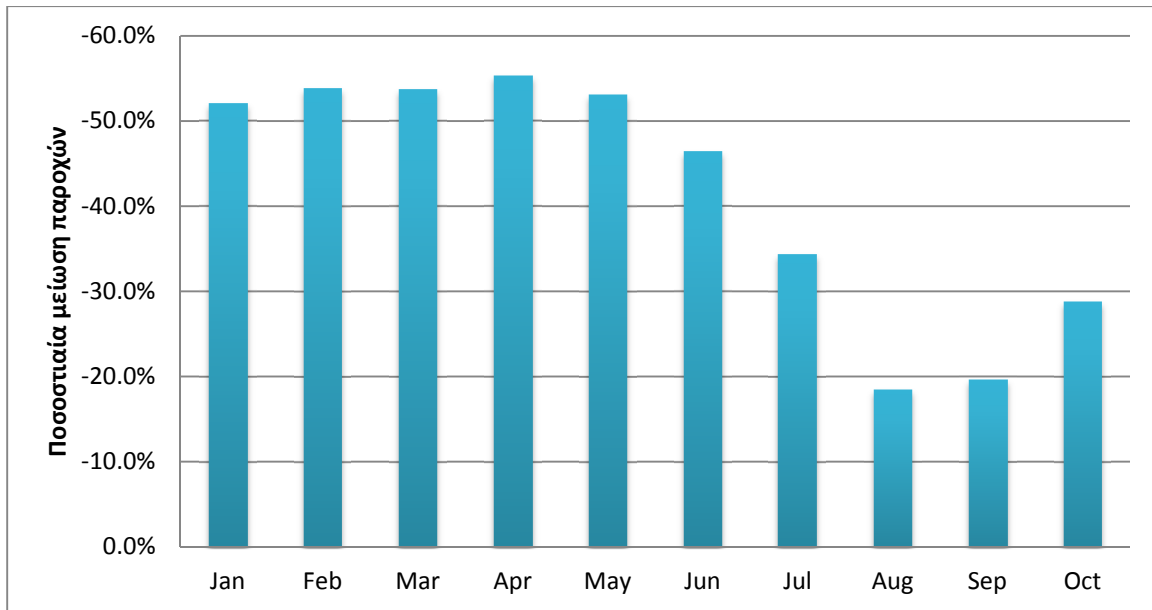
μειώνονται πάρα πολύ τα ταχύρροα και τα ποταμολίμνια. Κάτι τέτοιο δημιουργεί μια πλασματική εικόνα για μόνο μικρή μείωση της (συνολικής) ωφέλιμης επιφάνειας. Παρόλα αυτά, στην πραγματικότητα, στον ποταμό επικρατεί μια «λιμνάζουσα» κατάσταση και –ταυτόχρονα- η έλλειψη των ποταμολιμνίων δεν μπορεί να παραβλεφθεί. Όπως φαίνεται και στο **Σχήμα 4.3-1**, αν επιθυμώντας τους χειμερινούς μήνες να μην μειωθούν σημαντικά οι ταχύρροες ΥΜΜ αυξήσουμε την παροχή, αρχίζουν να μειώνονται τα ποταμολίμνια. Ωστόσο, έχει αποδειχθεί από τις προηγούμενες αναλύσεις ότι παρά το μικρό ποσοστό κάλυψης της ΥΜΜ αυτής, παραμένουν ικανοποιητικού μεγέθους μονάδες στον ποταμό. Οπότε, διερωτάται κανείς αν αξίζει να απορριφθεί μία παροχή με μόνο κριτήριο την ποσοστιαία μεταβολή κάποιας σημαντικής ΥΜΜ. Επιπρόσθετα, διαπιστώθηκε ότι σε κάποιες περιπτώσεις μειώνονται σημαντικά κάποιες ΥΜΜ, στις οποίες όμως είναι μικρή η προτίμηση από τις πέστροφες, ενώ παράλληλα υπάρχουν άλλες ΥΜΜ που έχουν την ίδια χρησιμότητα για το είδος.

Εν κατακλείδι, για την τελική επιλογή της ελάχιστης οικολογικής παροχής (**Πίνακας 4.4-1, 2^η στήλη “Παροχή Β”**) κριτήριο δεν αποτέλεσε μόνο η μεταβολή της συνολικής ωφέλιμης επιφάνειας αλλά και η μεταβολή των Υδρομορφολογικών Μονάδων. Στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ παρατίθεται ο πίνακας των προτεινόμενων παροχών με τα σύνθετα κριτήρια που οδήγησαν στην επιλογή αυτή.

Σημειώνεται ότι στην παρούσα εργασία, οι προτεινόμενες οικολογικές παροχές αφορούν στην πέστροφα. Τονίζεται, παρόλα αυτά, ότι σημαντικό πλεονέκτημα της μεθοδολογίας είναι ότι μπορούν να ληφθούν υπόψη περισσότερα είδη, και σε αυτή την περίπτωση ενδέχεται να διαφοροποιούνται οι προτεινόμενες οικολογικές παροχές. Επιπλέον, σημειώνεται ότι οι οικολογικές παροχές προτάθηκαν έχοντας δεχθεί κάποιες παραδοχές, αφού δεν υπάρχει ουσιαστική γνώση των ειδικών συνθηκών στην περιοχή μελέτης, όπως για παράδειγμα πληθυσμιακά μεγέθη.

Πίνακας 4.4-1. Προτεινόμενες παροχές μέσω του υπολογισμού της Ωφέλιμης Επιφάνειας, των χαμηλών ροών και του υδρο-οικολογικού εργαλείου ecoflow

Φυσική Ροή		Οικολογική παροχή Μέσω των Ωφ. Επιφανειών		Χαμηλές ροές	ECOFLOW
		Προτεινόμενη Οικ. Παροχή Α	Προτεινόμενη Οικ. Παροχή Β		
Jan	23.86	2.5	11.44	19,36	2.5
Feb	32.93	2.5	15.2	23,34	5
Mar	32.83	2.5	15.2	22,59	5
Apr	33.98	2.5	15.2	28,06	5
May	22.46	3.55	10.54	19,57	3.55
Jun	11.44	6.13	6.13	10,54	3.55
Jul	7.62	5	5	6,855	3.55
Aug	6.13	2.5	5	6,14	3.55
Sep	5.45	2.5	4.38	6,025	3.55
Oct	6.15	2.5	4.38	6,56	3.55
Nov	15.2	8.36	10.54	8,36	2.5
Dec	29.9	2.5	15.2	17,77	2.5



Σχήμα 4.4-1. Ποσοστιαία μείωση μεταξύ των προτεινόμενων παροχών μέσω του υπολογισμού των Ωφέλιμων Επιφανειών σε σχέση με τις φυσικές παροχές ανά μήνα.

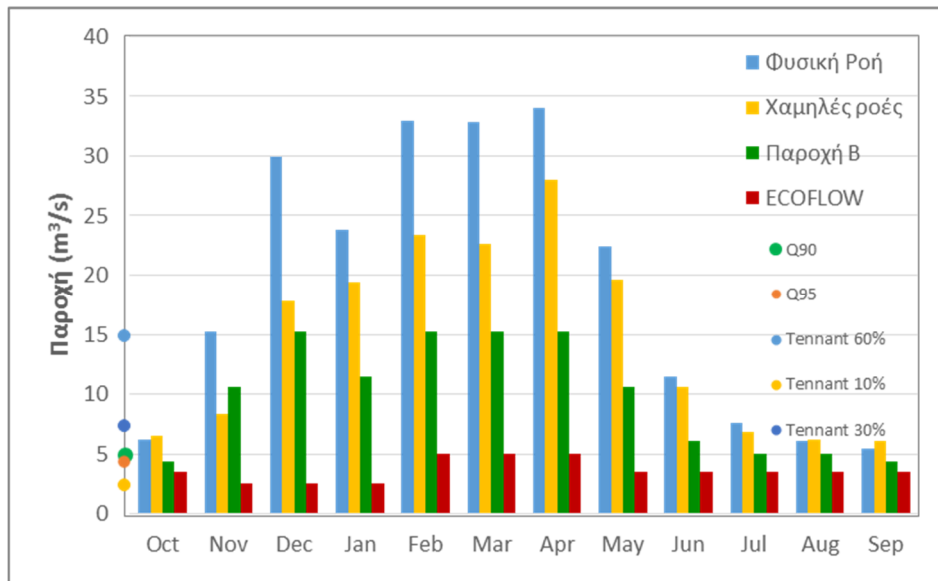
Διεθνώς προτιμώνται οι υδρολογικές μεθοδολογίες, καθώς είναι πιο εύχρηστες και παρέχουν άμεσα μια εκτίμηση της οικολογικής παροχής. Συνήθως, χρησιμοποιούν ποσοστά της Μέσης Ετήσιας Παροχής του ποταμού, ποσοστά υπέρβασης της Καμπύλης Διάρκειας του ποταμού (για παράδειγμα το **Q90** είναι η παροχή η οποία ξεπερνιέται στο 90% του χρόνου), ποσοστά των χαμηλών παροχών του ποταμού, ή ακόμη και σπανιότερες παροχές, για παράδειγμα εμφανίζονται μια φορά στα 10 χρόνια. Στην Αγγλία χρησιμοποιείται, συνήθως, ως οικολογική παροχή η παροχή η οποία ξεπερνιέται στο 95% του χρόνου. Το ίδιο και στη Βουλγαρία και Αυστραλία. Στη Βραζιλία και τον Καναδά χρησιμοποιείται η παροχή που ξεπερνιέται κατά 90% του χρόνου (R.E. Tharme, 2003). Στη Γαλλία προτείνεται στις περιπτώσεις έργων εκτροπής να αφήνεται το 1/20 της μέσης παροχής, στην περίπτωση νέων έργων και το 1/40 στην περίπτωση υφιστάμενων έργων. Στην Αμερική βρίσκει ευρεία εφαρμογή η μέθοδος Tennant. Η μέθοδος αυτή στηρίχτηκε σε παρατηρήσεις τόσο των ενδιαιτημάτων όσο και των υδραυλικών χαρακτηριστικών ποταμών και παρέχει 3 διακριτές οικολογικές παροχές, που αντιστοιχούν σε 3 διακριτές καταστάσεις του οικοσυστήματος για τα ψάρια. Το 10% της μέσης ετήσιας παροχής για φτωχή κατάσταση του οικοσυστήματος, 30% για μέση κατάσταση και 60% και άνω για άριστη κατάσταση οικοσυστήματος (Acreman M. 2004).

Στον υπό μελέτη ποταμό η παροχή Q90 και Q95 δίνουν 5 m³/s και 4,38 m³/s (βασική ροή), αντίστοιχα. Φαίνεται ότι οι παροχές αυτές ταυτίζονται με τις παροχές που προτάθηκαν μέσω του υπολογισμού των ωφέλιμων επιφανειών για τους θερινούς μήνες. Μολαταύτα, με τη διαδικασία αξιολόγησης που περιγράφεται στην παρούσα εργασία οι παροχές αυτές απορρίφθηκαν για τους υπόλοιπους μήνες.

Με τη μέθοδο Tennant, το 10% της μέσης ετήσιας παροχής (2,48 m³/s), ανάλογη παροχή με αυτή που προτείνεται από τη νομοθεσία ή ως ιδανική για τη μεγάλη πέστροφα, πράγματι αντιπροσωπεύει φτωχή κατάσταση του οικοσυστήματος. Μάλιστα, εξηγήθηκε ότι ένας από τους λόγους που απορρίπτεται είναι το γεγονός ότι δεν παρέχει αρκετά ποταμολίμνια. Τα 7,45 m³/s

για το 30% και 14,9 m³/s για το 60% της μέσης ετήσιας παροχής πλησιάζουν περισσότερο τις τελικές προτεινόμενες. Ειδικότερα η τελευταία είναι και η μέγιστη που προτάθηκε για τους χειμερινούς μήνες.

Φαίνεται, λοιπόν, ότι οι απλές υδρολογικές μέθοδοι εκτίμησης της οικολογικής παροχής δίνουν μάλλον καλά αποτελέσματα για μια προκαταρκτική εκτίμηση, τουλάχιστον στον υπό μελέτη ποταμό, με την προϋπόθεση πάντα ότι θα χρησιμοποιούνται με τη δέουσα προσοχή. Για παράδειγμα, οι Q90 και Q95 μπορούν να εφαρμόζονται μόνο το καλοκαίρι, ειδάλως επιφέρουν δυσμενείς επιπτώσεις στο οικοσύστημα.



Σχήμα 4.4-2. Μηνιαίες παροχές, όπως προτείνονται από τις διάφορες μεθοδολογίες

4.5 Περιθώρια βελτίωσης / ανάπτυξης της μεθοδολογίας

4.5.1 Εξέταση επιπλέον παραμέτρων

Στην παρούσα εργασία εξετάστηκαν μόνο οι παράμετροι του βάθους και της ταχύτητας ροής που προκύπτουν από την εφαρμογή των οικολογικών παροχών. Παρά το ότι η χαρτογράφηση των υδρομορφολογικών μονάδων με χρήση μόνο αυτών των δύο παραμέτρων υποδεικνύει σε μεγάλο βαθμό την οικολογική κατάσταση του ποταμού, διαφαίνεται η σημασία και άλλων παραμέτρων.

Για την εκτίμηση της καταλληλότητας των θέσεων για ωοαπόθεση, απαραίτητη προϋπόθεση είναι η ύπαρξη κατάλληλου είδους υποστρώματος και, συγκεκριμένα, η επαρκής ποσότητα χαλικιών στις ζώνες που παρουσιάζουν ευνοϊκές συνθήκες ροής, κάτι που δεν επαληθεύτηκε εδώ. Συνεπώς, ο έλεγχος σταθερότητας του υποστρώματος αυτού θα οδηγούσε σε ασφαλέστερα συμπεράσματα για τη διαθεσιμότητα ενδιατημάτων αναπαραγωγής και κατ' επέκταση τη διατήρηση της καλής οικολογικής κατάστασης του ποταμού. Ωστόσο, στο υπό μελέτη τμήμα του ποταμού το υλικό του πυθμένα είναι αρκετά μεγάλης διαμέτρου (boulders), ενώ οι παροχές που προσομοιώνονται είναι σχετικά χαμηλές ώστε να επιφέρουν μετακινήσεις του υλικού αυτού. Άρα, το να συμπεριληφθεί αυτός ο έλεγχος θα καθιστούσε την προτεινόμενη μεθοδολογία περισσότερο περίπλοκη χωρίς σημαντικό όφελος για τη συγκεκριμένη περιοχή μελέτης.

Σε κάθε περίπτωση, όμως, σε ποταμούς άλλου τύπου και με περισσότερο λεπτόκοκκο υπόστρωμα η εφαρμογή του προτεινόμενου μοντέλου είναι χρήσιμο να συνδυαστεί με τη

χαρτογράφηση του είδους υποστρώματος και, ακόμα περισσότερο, τον έλεγχο σταθερότητάς του.

Μία ακόμα παράμετρος που φάνηκε να παίζει ρόλο στην αξιολόγηση των οικολογικών παροχών ήταν η θερμοκρασία, όχι μόνο γιατί μελετάται ψυχρόφιλο είδος, αλλά και για τον έλεγχο της ποιότητας των υδάτων του ποταμού και των επακόλουθων επιπτώσεων που μπορεί να έχει η θερμοκρασία στις βιοχημικές ιδιότητες.

Οι δύο αυτές παράμετροι μπορούν να προσομοιωθούν επίσης από μοντέλα ποτάμιας υδραυλικής παράλληλα με τους υπολογισμούς ταχύτητας και βάθους ροής, αρκεί να παρέχονται τα κατάλληλα δεδομένα εισόδου από εργασία πεδίου.

4.5.2 Εξέταση επιπλέον χωρικών δεικτών

Εφόσον η παρούσα εργασία εστίαζε στην αξιολόγηση των μεταβολών των υδρομορφολογικών μονάδων και, κατ' επέκταση, των οικολογικών παροχών, για τη χωρική ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν μόνο οι Δείκτες Κυριαρχίας και Ετερογένειας. Εντούτοις, σε επίπεδο εφαρμογής, αναγνωρίζεται ότι πέρα από τις αυξομειώσεις της επιφάνειας των YMM είναι σημαντική και η χωρική κατανομή τους. Ενδεικτικά, αναφέρεται ο δείκτης συνδεσιμότητας (contagion ή connectivity) (Li & Reynolds, 1993). Μικρές τιμές του δείκτη δείχνουν ότι στον ποταμό παρατηρούνται πολλές και μικρές YMM και το αντίστροφο σε μεγάλες τιμές, υποδηλώνοντας έτσι τις δυνατότητες μετακίνησης των ψαριών από τη μία μονάδα στην άλλη.

4.5.3 Μελέτη επιπλέον ειδών

Όσον αφορά στις βιοτικές παραμέτρους που χρησιμοποιήθηκαν ως κριτήρια αξιολόγησης των οικολογικών παροχών, τα διαθέσιμα βιβλιογραφικά δεδομένα για την περιοχή μελέτης αφορούσαν μόνο στην πέστροφα. Ωστόσο, από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της προτεινόμενης μεθοδολογίας, σε αντίθεση με την προσομοίωση ενδιαιτημάτων (σε μικροκλίμακα), αποτελεί η δυνατότητα στη μεσο-κλίμακα πλέον να συνεκτιμώνται οι απαιτήσεις πολλών ειδών στο κάθε σενάριο παροχής. Κρίνεται μείζονος σημασίας, σε επίπεδο εφαρμογής, οι Ωφέλιμες Επιφάνειες να υπολογίζονται και για άλλες κατηγορίες οργανισμών και όχι μόνο για έναν επιλεγμένο βιοδείκτη. Με αυτόν τον τρόπο, μπορούν να ληφθούν υπόψη βενθικά ασπόνδυλα ή, ενδεχομένως, χλωριδικά είδη.

4.5.4 Δεδομένα τοπογραφίας

Το ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DTM) παρασχέθηκε από το Ινστιτούτο Εσωτερικών Υδάτων του ΕΛΚΕΘΕ που εργάστηκε στην περιοχή μελέτης στα πλαίσια του ερευνητικού έργου ECOFLOW με σκοπό τη δημιουργία ενός υδρο-οικολογικού εργαλείου για την αξιολόγηση της ελάχιστης οικολογικής παροχής. Το DTM προέκυψε από αναλυτική τοπογραφική αποτύπωση της περιοχής με γεωδαιτικό GPS Geomax - Zenith 20 και περιλάμβανε μόνο την έκταση της κύριας κοίτης του ποταμού και μικρό μέρος της πλημμυρικής. Κάτι τέτοιο κατέστησε αδύνατο να εξεταστούν μεγάλες παροχές, όπως είναι οι παροχές στο άνω όριο του 75% της μεθοδολογίας RVA, καθώς δεν επαρκούσε η τοπογραφία. Η υψομετρική ακρίβεια του DTM είναι της τάξης του 1cm ενώ ο κানাβος είναι διαστάσεων 1m x 1m.

Εξετάστηκε, λοιπόν, το ενδεχόμενο να αποκτηθεί νέο ψηφιακό μοντέλο εδάφους, το οποίο όμως δεν θα ήταν ανάλογης διακριτικής ικανότητας του αντίστοιχου μοντέλου που προήλθε από μετρήσεις πεδίου. Σε αντίστοιχη μελέτη¹², όπου με ανάλογη μεθοδολογία χαρτογραφήθηκαν οι υδρομορφολογικές μονάδες για τις διάφορες παροχές του ποταμού Kamp της νότιας Αυστρίας, εξετάστηκε το πώς συμβάλλει η ακρίβεια του DTM (0,2m, 0.5m, 1m) της υδραυλικής προσομοίωσης στην κατανομή των YMM για την ετήσια πλημμύρα. Φάνηκε ότι μικρότερης ακρίβειας δεδομένα δεν απέδωσαν ορθά τις πλυμμοροπεδιάδες. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να μην αποτυπωθούν πιστά οι YMM βραδύτερης ροής, κυρίως. Συμπεραίνεται, λοιπόν, ότι για την αξιολόγηση των χωρικών μεταβολών των YMM απαιτούνται τοπογραφικά δεδομένα της μεγαλύτερης δυνατής ευκρίνειας.

Επομένως, αξιολογήθηκε με ικανοποιητική ακρίβεια μόνο το κάτω όριο των προτεινόμενων παροχών ως η ελάχιστη οικολογική παροχή που πρέπει να παραμένει σε ένα υδατόρευμα κατά τη λειτουργία ενός υδραυλικού έργου.

Σε μια ολοκληρωμένη θεώρηση της οικολογικής παροχής, γενικότερα, και της μεθόδου Ανάλυσης Εύρους Μεταβλητότητας, ειδικότερα, θα μπορούσαν να εξεταστούν και οι υψηλές ροές ή/και πλημμύρες, συγκρινόμενες με τις παροχές που αντιστοιχούν στην παραγωγή ενέργειας του φράγματος. Ένα βήμα βελτίωσης του προτεινόμενου μεθοδολογικού πλαισίου, λοιπόν, είναι η εξέταση των υψηλών ροών, έπειτα από την τοπογραφική αποτύπωση και της πλημμυρικής κοίτης.

4.5.5 Πληρέστερη εκτίμηση οικολογικών παροχών

Η αξιολόγηση των μεταβολών των YMM και των Ωφέλιμων Επιφανειών αποδεικνύεται χρήσιμο εργαλείο υποστήριξης αποφάσεων, υποδεικνύοντας τυχόν αναγκαίες διορθωτικές αλλαγές των εκάστοτε προτεινόμενων οικολογικών παροχών. Μπορεί, όμως, να λειτουργήσει και ως μοντέλο προσομοίωσης μεσοενδιατημάτων για την εκτίμηση της οικολογικής παροχής. Οι συσχετίσεις μεταξύ της επιφάνειας κάθε τύπου Υδρομορφολογικής Μονάδας και της παροχής μπορούν να περιγράψουν κατά μία έννοια τον ξεχωριστό χαρακτήρα κάθε ποταμού.

Ωστόσο, φαίνεται ότι δεν πρέπει να χρησιμοποιείται επιτόλεια. Η προσαρμοστικότητα των ειδών που μελετώνται είναι μία παράμετρος που πρέπει να ληφθεί υπόψη και να μην θεωρείται δεδομένο εκ προοιμίου ότι ένα είδος μπορεί να υποστεί / ανεχθεί αρνητικές επιπτώσεις, αρκεί να είναι μικρής έντασης. Συμπεραίνεται, λοιπόν, ότι δεν πρέπει να υποτιμηθούν οι εργασίες πεδίου, καθώς μείζονος σημασίας είναι η καλή γνώση της υφιστάμενης κατάστασης της υπό μελέτη περιοχής. Για παράδειγμα, ένα ποτάμιο οικοσύστημα που δέχεται και άλλες ανθρωπογενείς πιέσεις πλην της μείωσης της παροχής ή φιλοξενεί μεγάλο πληθυσμό ψαριών ευνόητο είναι ότι αποδεκτές θα είναι μόνο μικρής έντασης επιπτώσεις όσον αφορά στη μείωση των Ωφ. Επιφανειών. Αντίθετα, σε ένα περισσότερο «παρθένο» σύστημα ή ποταμοί με μικρότερους πληθυσμούς η μείωση των Ωφ. Επιφανειών μπορεί να είναι μεγαλύτερη και οι οργανισμοί του ποταμού να μπορέσουν να προσαρμοστούν χωρίς αυτό να αλλοιώσει σημαντικά το οικοσύστημα. Κάτι τέτοιο μπορεί να εκτιμηθεί μόνο μέσω επιτόπιας αυτοψίας/ εργασιών πεδίου.

¹² Hauer, C., Mandlbürger, G. and Habersack, H. (2009), Hydraulically related hydro-morphological units: description based on a new conceptual mesohabitat evaluation model (MEM) using LiDAR data as geometric input. *River Res. Applic.*, 25: 29–47. doi: 10.1002/rra.1083

4.6 Συμπεράσματα

Οι επεμβάσεις στη ροή του ποταμού είναι, λίγο ως πολύ, αναπόφευκτες λόγω των αυξημένων αναγκών. Απαραίτητο είναι, όμως, αυτές οι ανάγκες να καλύπτονται με όσο το δυνατό ηπιότερες επιπτώσεις στο περιβάλλον. Στην προσπάθεια αυτή αναπτύχθηκαν πολλές και διάφορες μεθοδολογίες για την εκτίμηση της οικολογικής παροχής για την προστασία του ποτάμιου οικοσυστήματος. Εντούτοις, η έννοια του οικοσυστήματος εξ ορισμού εμπεριέχει την έννοια της μεταβλητότητας. Τα ψάρια δεν είναι στάσιμα σημεία στο χώρο. Ακόμα, όπως άλλωστε και στην έννοια του υδρολογικού καθεστώτος, έτσι και στις βιοτικές ανάγκες των διαφόρων ειδών εμπεριέχεται η εποχικότητα. Οι ανάγκες της πέστροφας, εν προκειμένω, είναι διαφορετικές σε διάφορες ηλικίες (και μεγέθη) ή, ακόμα, στις διαφορετικές εποχές (π.χ. περίοδος αναπαραγωγής). Η πολυπλοκότητα των σχέσεων αυτών, που μεταβάλλονται στο χρόνο και όχι μόνο, δυσχεραίνουν την εκτίμηση και αξιολόγηση των επιπτώσεων που επιφέρουν οι μεταβολές της ροής στο οικοσύστημα του ποταμού. Με την παρούσα εργασία, διερευνώντας τη σύνδεση μεταξύ βιοτικών και αβιοτικών παραμέτρων μέσω των Υδρομορφολογικών Μονάδων γίνεται μια προσπάθεια να αποσαφηνιστούν οι επιπτώσεις λόγω της μειωμένης ροής στους διαβιούντες οργανισμούς του ποταμού. Με άλλα λόγια, επιχειρείται η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων διαφορετικών μεθοδολογιών για την εκτίμηση της οικολογικής παροχής. Παράλληλα, η ίδια διαδικασία μπορεί να αξιοποιηθεί και ως μία νέα, συνδυασμένη μέθοδος εκτίμησης αυτής της οικ. παροχής και ως ένα είδος μοντέλου προσομοίωσης μεσο-ενδιαιτημάτων.

Παρά το ότι στην παρούσα εργασία χρησιμοποιείται ένας μόνο ενδείκτης για την αξιολόγηση των διαφόρων προτεινόμενων παροχών, η αξιολόγηση σε επίπεδο μεσο-κλίμακας παρέχει τη δυνατότητα να εξεταστούν ταυτόχρονα όλα τα στάδια του είδους που εμφανίζονται στον ποταμό τη συγκεκριμένη εποχή, σε αντίθεση με τις μεθόδους προσομοίωσης ενδιαιτημάτων που δρουν σε μικρο-κλίμακα με αποτέλεσμα να μπορούν να εστιάσουν σε ένα μόνο είδος και, μάλιστα, σε ένα μόνο στάδιο ανάπτυξης του είδους αυτού. Αυτός είναι και ο λόγος που -πρόσφατα- οι σχετικές μεθοδολογίες στρέφονται προς τη μελέτη των μεσοενδιαιτημάτων. Ευνόητα, σε επίπεδο εφαρμογής δύναται να ληφθούν υπόψη περισσότερα του ενός είδη, αντί ενός μόνο ενδείκτη, όπως εδώ.

Ένα ακόμα καινοτόμο στοιχείο του προτεινόμενου μεθοδολογικού πλαισίου, σε σχέση με παλαιές και πρόσφατες μεθόδους εκτίμησης της οικολογικής παροχής ή και αξιολόγησης των επιπτώσεων της μειωμένης ροής στο περιβάλλον, είναι το γεγονός ότι η οριοθέτηση των υδρομορφολογικών μονάδων γίνεται με αντικειμενικά/ πάντα σταθερά όρια (μέσω λογισμικού GIS). Με τον τρόπο αυτό εισάγεται η δυνατότητα επακριβούς επανάληψης της διαδικασίας οριοθέτησης των ΥΜΜ, όταν η πάγια πρακτική σήμερα είναι η χαρτογράφηση στο πεδίο να γίνεται με «οπτικά» κριτήρια και, άρα, υποκειμενικά, αφήνοντας περιθώρια για σφάλματα ή μεγάλες αποκλίσεις από ερευνητή σε ερευνητή.

Αξίζει να σημειωθεί ότι για την εκπόνηση της εργασίας χρησιμοποιήθηκαν ικανά και ευρέως διαδομένα λογισμικά, τα οποία, μάλιστα, είναι ελεύθερα στο διαδίκτυο. Η εκτίμηση της οικολογικής παροχής έγινε με τη χρήση των Δεικτών Υδρολογικής Τροποποίησης και το λογισμικό IHA v.7.1 (The Nature Conservancy, 2009), η υδραυλική προσομοίωση έγινε στο HEC-RAS v.4.1.0 (USACE) και η επεξεργασία των δεδομένων (ψηφιδωτών αρχείων) διενεργήθηκε στο QGIS v. 2.12.2. Καθίσταται, έτσι, δυνατή η έρευνα χωρίς να υστερεί ποιοτικά αλλά και χωρίς τον περιορισμό του κόστους, έστω κι αν αυτό αφορά μόνο στις εργασίες γραφείου και την επεξεργασία των πρωτογενών δεδομένων (δεν απαιτείται αγορά λογισμικού) και όχι τις εργασίες πεδίου.

Τέλος, πέρα από την εκτίμηση/ αναθεώρηση των περιβαλλοντικών ροών, η μέθοδος αυτή μπορεί να αξιοποιηθεί προκειμένου να εντοπιστούν περιοχές του ποταμού που χρήζουν αποκατάστασης και με αυτόν τον τρόπο να καθοριστούν τα αναγκαία αντισταθμιστικά μέτρα. Η χαρτογράφηση των ΥΜΜ μπορεί να υποδείξει τα σημεία όπου λόγω της μειωμένης παροχής στο τροποποιημένο υδρολογικό καθεστώς εκλείπουν τα ποταμολίμνια ή οι ταχύρροες ΥΜΜ (π.χ. riffles) και, άρα, μπορούν να ανακατασκευαστούν.

Εν κατακλείδι, παρά το ότι υπάρχει χώρος για βελτίωση της μεθόδου, εκτιμάται ότι το παρόν μεθοδολογικό πλαίσιο μπορεί να αποτελέσει μια στέρεη βάση, ούτως ώστε μελλοντικά να αποκτήσουμε ένα πολύτιμο σύστημα υποστήριξης αποφάσεων για ένα ορθότερο πρόγραμμα διαχείρισης του εκάστοτε υδραυλικού έργου αλλά πάντα με γνώμονα την προστασία του φυσικού περιβάλλοντος.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Adámek Z., et al., 2016. Response of Small-Stream Biota to Sudden Flow Pulses Following Extreme Precipitation Events. *Pol. J. Environ. Stud.* 25(2), 495-501. DOI: 10.15244/pjoes/60243
- Alcaraz-Hernandez J.D., Martiinez-Capel M., Peredo-Parada M. Hernandez-Mascarell A.B., 2011. Mesohabitat heterogeneity in four mediterranean streams of the Jucar river basin (Eastern Spain). *Limnetica*, 30 (2): 363-378
- Andrea Buffagni & Stefania Erba. CNR-IRSA Water Research Institute, Italy. Guidance for the assessment of Hydromorphological Features of rivers within the STAR project. June 2002
- APEM (2012) Functional Habitat Assessment Tool (FHAT): A rapid assessment tool for the identification of ecologically acceptable flows for fish and other aquatic fauna and flora. Poster presentation, IFM Annual Conference 2012, Edinburgh. Available at http://www.apemltd.co.uk/DocStore/FileLibrary/PDFs/APEM_2012_FHAT_Poster_IFM.pdf [05/04/2013]
- APEM (2013). WFD 122. Final Report -Physical habitat estimation for ecological river flow requirements - © Sniffer 2013 www.sniffer.org.uk
- Armstrong, J.D., Kemp, P.S., Kennedy, G.J.A., Ladle, M., Milner, N.J., 2003. Habitat requirements of Atlantic salmon and brown trout in rivers and streams. *Fisheries Research* 62, 143–170
- Arthington, A.H. and J.M. Zalucki (Eds). 1998. Comparative Evaluation of Environmental Flow Assessment Techniques: Review of Methods. (Authors – Arthington, A.H., Brizga, S.O., Pusey, B.J., McCosker, R.O., Bunn, S.E., Loneragan, N., Growns, I.O. & Yeates, M.) LWRRDC Occasional Paper 27/98. ISBN 0 642 26746 4
- Ayllon D., Almodovar A., Nicola G. G. , Elvira B., 2010. Ontogenetic and spatial variations in brown trout habitat selection. *Ecology of Freshwater Fish* 19: 420–432
- Borsányi, P., Alfredsen, K., Harby, A., Ugedal, O. & Kraxner, C., 2004. A Meso-scale Habitat Classification Method for Production Modelling of Atlantic Salmon in Norway. *Hydroécol. Appl.* Tome 14 Vol. 1, pp. 119-138
- Brismar A., 2004. Attention to impact pathways in EISs of large dam projects. *Environ. Impact Asses. Rev.* 24, 59–87
- Bryant, M.D., Wright, B.E. and Davies, B.J., 1992. Application of a Hierarchical Habitat Unit Classification System: Stream Habitat and Salmonid Distribution in Ward Creek, Southeast Alaska. Pacific Northwest Research Station, Forest Service of U.S. Department of Agriculture. Research Note PNW-RN-508 March 1992
- Bunn & Arthington, 2002. Basic Principles and Ecological Consequences of Altered Flow Regimes for Aquatic Biodiversity. *Environmental Management* Vol. 30, No. 4, pp. 492–507. DOI: 10.1007/s00267-002-2737-0
- Burke et. al., 2008. Application of a hierarchical framework for assessing environmental impacts of dam operation: Changes in streamflow, bed mobility and recruitment of riparian trees in a western North American river. *Journal of Environmental Management* 90, S224–S236
- Carlson, S. M. and Letcher B. H., 2003. Variation in brook and brown trout survival within and among seasons, species, and age classes. *Journal of Fish Biology* (63), 780–794. doi:10.1046/j.1095-8649.2003.00191.x
- Efstratiadis, A., Tegos A., Varveris A. & Koutsoyiannis D., 2014. Assessment of environmental flows under limited data availability: case study of the Acheloos River, Greece. *Hydrological Sciences Journal*, DOI:10.1080/02626667.2013.804625
- Harby A., Olivier J.M., Merigoux S., Malet E., 2007. A Mesohabitat Method Used To Assess Minimum Flow Changes And Impacts On The Invertebrate And Fish Fauna In The Rho[^] Ne River, France. *River. Res. Applic.* 23: 525–543. DOI: 10.1002/rra.997

- Hauer C, Unfer G, Schmutz S, Habersack H., 2007. The importance of morphodynamic processes at riffles used as spawning grounds during the incubation time of nase (*Chondrostoma nasus*). *Hydrobiologia* 579: 15–127.
- Hauer, C., Mandlbauer, G. and Habersack, H., 2009. Hydraulically related hydro-morphological units: description based on a new conceptual mesohabitat evaluation model (MEM) using LiDAR data as geometric input. *River Res. Applic.*, 25: 29–47. doi: 10.1002/rra.1083
- Hauer, C., Unfer, G., Tritthart, M., Formann, E. and Habersack, H., 2011. Variability of mesohabitat characteristics in riffle-pool reaches: Testing an integrative evaluation concept (FGC) for MEM-application. *River Res. Applic.*, 27: 403–430. doi: 10.1002/rra.1357
- Hawkins C. P., Kershner, J. L., Bisson, P. A., Bryant, M. D., Decker, L. M., Gregory, S. V., McCullough, D. A., Overton, C. K., Reeves, G. H., Steedman, R. J. and Young, M. K., 1993 . A Hierarchical Approach to Classifying Stream Habitat features. *Fisheries*, Vol. 18, No. 6
- Li, H. and Reynolds, J. F., 1993. A new contagion index to quantify spatial patterns of landscapes. *Landscape Ecology*. vol. 8 no. 3 pp 155-162
- Luca Demarchi, L., Bizzi S. and Piégay H., 2016. Hierarchical Object-Based Mapping of Riverscape Units and in-Stream Mesohabitats Using LiDAR and VHR Imagery. *Remote Sens.*, 8(2), 97. doi:10.3390/rs8020097
- Maddock, I., 1999, The importance of physical habitat assessment for evaluating river health. *Freshwater Biology*: 41, 373±391
- Mathews, R. & Richter, B. D. 2007. Application of the Indicators of Hydrologic Alteration Software in Environmental Flow Setting. *Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)* 43(6):1400-1413. DOI: 10.1111/j.1752-1688.2007.00099.x
- McCain, M., Fuller, D., Decker, L. Stream Habitat Classification and Inventory Procedures for Northern California. U.S. Department of Agriculture, 1990.
- Newson M.D. & Newson C.L., 2000. Geomorphology, ecology and river channel habitat: mesoscale approaches to basin-scale challenges. *Progress in Physical Geography* 24,2, pp. 195–217
- Nicola G. G., Almodovar A., Elvira B., 2009. Influence of hydrologic attributes on brown trout recruitment in low-latitude range margins. *Oecologia* 160: 515–524. DOI 10.1007/s00442-009-1317-x
- O' Neill, R.V., Krummel, J.R., Gardner, R.H., Sugihara, G., Jackson, B., DeAngelis, D.L., Milne, B.T., Turner, M.G., Zygmunt, B., Christensen, S.W., Dale, V.H., and Graham, R.L., 1988. Indices of landscape pattern. *Landscape Ecology* vol. 1 no. 3 pp 153-162
- Papadaki C., Soulis K., Muñoz-Mas R., Ntoanidis L., Zogaris S., Dercas N., Dimitriou E., Comparison of West Balkan adult trout habitat predictions using a pseudo-2D and 2D hydrodynamic model (in press)
- Parasiewicz, P., 2001. MesoHABSIM: A concept for application of instream flow models in river restoration planning. *Fisheries*.vol 26 no 9 September 2001
- Parasiewicz, P., 2007. The Mesohabsim Model Revisited *River Research And Applications*. *River. Res. Applic.* (2007). DOI: 10.1002/rra.1045
- Poole, G. C., Frissell, C. A. & Ralph, S. C., 1997. In-Stream Habitat Unit Classification: Inadequacies For Monitoring And Some Consequences For Management. *AMERICAN WATER RESOURCES ASSOCIATION*, 33(4), pp. 879-896.
- Richter B. D. & Thomas G.A., 2007. Restoring Environmental Flows by Modifying Dam Operation. *Ecology and Society* 12(1): 12
- Richter, B. D. & Richter, H. E., 2000. Prescribed Flood Regimes to Sustain Riparian Ecosystems Along Meandering Rivers. *Conservation Biology* 14(5):1467-1478. DOI: 10.1046/j.1523-1739.2000.98488
- Richter, B. D., Baumgartner, J. V., Braun, D. P. and Powell, J., 1998. A spatial assessment of hydrologic alteration within a river network. *Regul. Rivers: Res. Mgmt.*, 14: 329–340. doi: 10.1002/(SICI)1099-1646(199807/08)14:4<329::AID-RRR505>3.0.CO;2-E

- Richter, B. D., Baumgartner, J. V., Powell, J. and Braun, D. P., 1996. A Method for Assessing Hydrologic Alteration within Ecosystems. *Conservation Biology*, 10: 1163–1174. doi: 10.1046/j.1523-1739.1996.10041163.x
- Richter, B. D., Warner, A.T., Meyerc, J. L. and Lutz, K., 2006. A Collaborative And Adaptive Process For Developing Environmental Flow Recommendations. *River Res. Applic.* 22: 297–318. DOI: 10.1002/rra.892
- Richter, B., Baumgartner, J., Wigington, R. And Braun, D., 1997. How much water does a river need?. *Freshwater Biology*, 37: 231–249. doi: 10.1046/j.1365-2427.1997.00153.x
- Rinaldi M. et. al., 2013. A method for the assessment and analysis of the hydromorphological condition of Italian streams: The Morphological Quality Index (MQI). *Geomorphology* 180–181: 96–108
- Thompson, L. C., Cocherell S. A., Chun S. N., Cech J. J. Jr., Klimle A. P., 2011. Longitudinal movement of fish in response to a single-day flow pulse. *Environ Biol Fish* 90:253–261. DOI 10.1007/s10641-010-9738-2
- Wyrick, J.R., Pasternack G.B., 2014. Geospatial organization of fluvial landforms in a gravel–cobble river: Beyond the riffle–pool couplet. *Geomorphology* 213. 48–65
- Ζόγκαρης Σ., 2009. Συμβολή στη βιοτική ταξινόμηση των ποταμών της Ελλάδας με βάση την ιχθυοπανίδα και την παρόχθια βλάστηση. Διδακτορική διατριβή. Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων Σχολή Διαχείρισης Φυσικών Πόρων και Επιχειρήσεων Τμήμα Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων, Αγρίνιο.
- Νικολόπουλος Δ. (2015). Ανάπτυξη μοντέλου συνδυασμένης διαχείρισης λεκανών απορροής Αχελώου Πηνειού. Πτυχιακή εργασία. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Αθήνα.
- ΥΠΕΚΑ. (2015). Σχέδιο Διαχείρισης Υδάτων Υδατικού Διαμερίσματος Δυτικής Στερεάς Ελλάδας (ΥΔ 04) «Σύστημα εκτίμησης της αποδεκτής Οικολογικής παροχής σε ποτάμια και ρέματα της Ελλάδας –ECOFLOW», Χρηματοδοτούμενο έργο από την Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας στα πλαίσια του Επιχειρησιακού Προγράμματος: “Συνεργασία 2011/ ΕΣΠΑ 2007-2013”
- Παραδοτέο Π.1: “ Αξιολόγηση των υπαρχόντων εργαλείων εκτίμησης της οικολογικής παροχής”
 - Παραδοτέο Π.2.1: “Σχεδιασμός των προσαρμοσμένων στις Ελληνικές συνθήκες μοντέλων οικοτόπων και IFIM (2 water body types)”
 - Παραδοτέο Π.2.2: “ Οδηγός για την προσαρμογή των οικοσυστημικών μοντέλων σε άλλους τύπους υδάτινων σωμάτων”
 - Παραδοτέο Π.3.1: “Δείκτες καταλληλότητας οικοτόπων και οι σχετικοί αλγόριθμοι για την ανάπτυξη του υδροοικολογικού μοντέλου”
- The Nature Conservancy, 2009. Indicators of Hydrologic Alteration Version 7.1 User's Manual
- HEC-RAS River Analysis System, User's Manual, Version 4.1, January 2010

Νομοθετικό Πλαίσιο – Ευρωπαϊκές Οδηγίες

- ΚΥΑ 69269/5387 (ΦΕΚ Β' 678/25-10-1990)
- ΥΑ Δ6/Φ1/οικ. 12160 Έγκρισης Ειδικού Πλαισίου Χωροταξικού Σχεδιασμού και Αειφόρου Ανάπτυξης για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) (ΦΕΚ Β' 1552/3.8-1999)
- ΥΑ 49828 (ΦΕΚ Β' 2464/3-12-2008)
- ΥΑ 196978/2011
- ΟΔΗΓΙΑ 2000/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23ης Οκτωβρίου 2000 για τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων.
- Guidance document n°31 - Ecological flows in the implementation of the Water Framework Directive. Technical Report - 2015 - 086

Διαδικτυακοί τόποι - Λογισμικό

- www.conservationgateway.org – IHA v.7.1 (The Nature Conservancy, 2009)
- <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/> – HEC-RAS v.4.1.0 (USACE)
- www.qgis.org – QGIS v. 2.12.2.
- <http://ecoplatform.mygis.gr>
- <http://www.reformrivers.eu/> & http://wiki.reformrivers.eu/index.php/Main_Page

6. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Πίνακας Π. 1. Πίνακας προτεινόμενων παροχών (m^3/s) βάσει των Ωφέλιμων Επιφανειών με σύνθετα κριτήρια

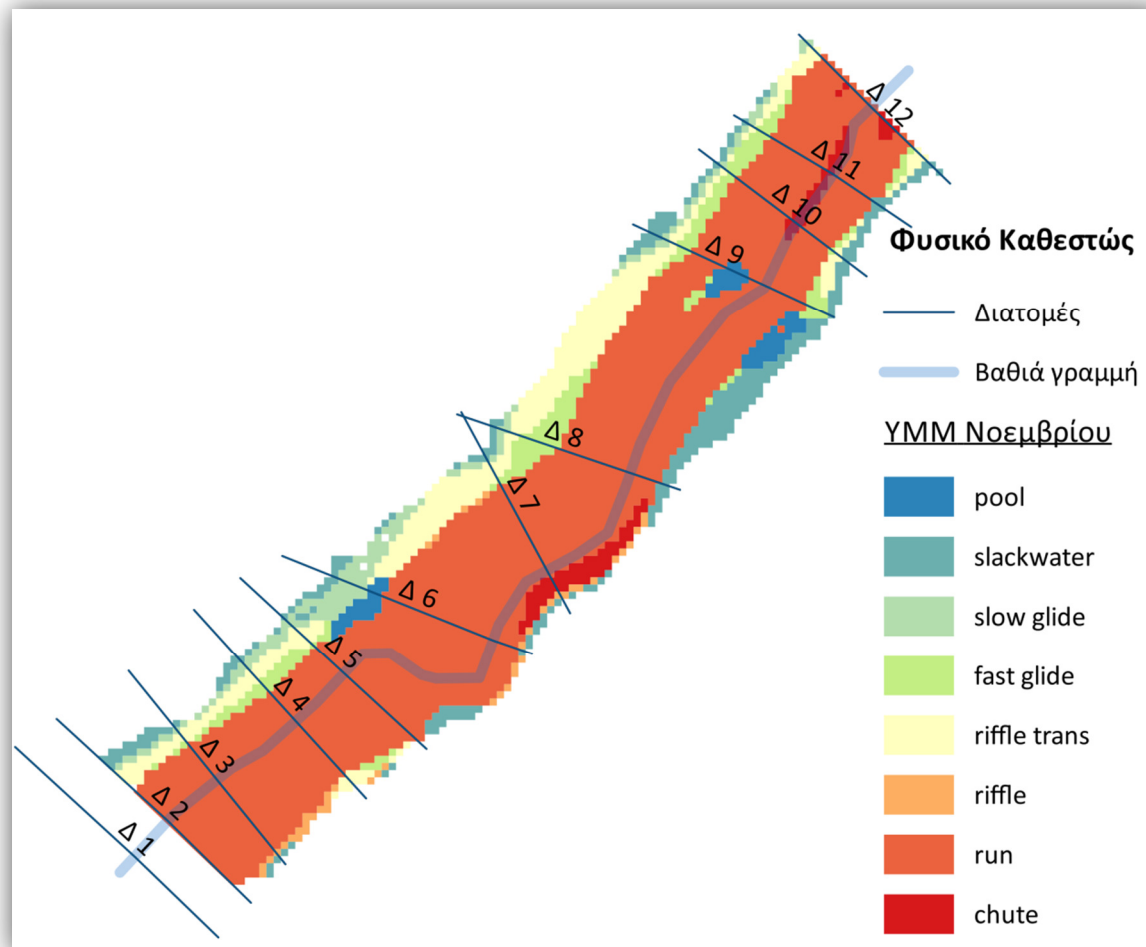
Φυσική Ροή		Οικολογική παροχή Μέσω των Ωφέλιμων Επιφανειών		
		Προτεινόμενη Οικ. Παροχή A	Προτεινόμενη Οικ. Παροχή B	Σύνθετα κριτήρια
Jan	23.86	2.5	11.44	<ul style="list-style-type: none"> Αυξάνοντας σταδιακά την παροχή από την αρχικά προτεινόμενη, η παροχή B είναι εκείνη που παρουσιάζει τις μικρότερες απώλειες YMM Τα ποταμολίμνια είναι κατά πολύ αυξημένα σε σχέση με αυτά στα $2,5m^3/s$. Η μείωση των riffle σε σχέση με τη φυσική ροή είναι ανεκτή.
Feb	32.93	2.5	15.2	<ul style="list-style-type: none"> Σε μικρότερες παροχές, όπως η παροχή A, τα ποταμολίμνια δεν επαρκούν. Με την παροχή B, παρά τη μείωση των ποταμολιμνίων, σε σχέση με την φυσ. ροή, παραμένουν 3 μεγάλες μονάδες. Στην παροχή B εξακολουθούν να είναι μειωμένα τα riffle, τα οποία όμως έχουν μικρό συντελεστή προτίμησης. Εφόσον, τα riffle transition είναι αυξημένα, θεωρείται ότι αντισταθμίζουν την απώλεια των riffle. Καθώς εξετάζονται μόνο οι ανάγκες της πέστροφας, η μείωση των στάσιμων υδάτων (slackwater), μη χρήσιμης YMM σε αυτή, δεν αποτελεί λόγο απόρριψης της παροχής Η αύξηση των ολισθαίνοντων υδάτων είναι θετική και πιθανά αντισταθμίζουν την απώλεια άλλων χρήσιμων YMM.
Mar	32.83	2.5	15.2	<ul style="list-style-type: none"> Όμοια με προηγούμενα.
Apr	33.98	2.5	15.2	<ul style="list-style-type: none"> Όμοια με προηγούμενα.
May	22.46	3.55	10.54	<ul style="list-style-type: none"> Τα αβαθή και μετρίως βαθιά ταχύρροα τμήματα του ποταμού (run και riffle) μειώνονται. Όμως, ο συντελεστής προτίμησης σε αυτές τις YMM είναι μικρός Τα ολισθαίνοντα ύδατα και τα ποταμολίμνια ικανοποιούν τις ανάγκες της πέστροφας
Jun	11.44	6.13	6.13	<ul style="list-style-type: none"> Δεν υπάρχει περιθώριο για περεταίρω μείωση
Jul	7.62	5	5	<ul style="list-style-type: none"> Δεν υπάρχει περιθώριο για περεταίρω μείωση
Aug	6.13	2.5	5	<ul style="list-style-type: none"> Η παροχή B είναι η ελάχιστη ανεκτή. Περαιτέρω μείωση οδηγεί σε μεγάλες μεταβολές των ωφέλιμων επιφανειών Στα $5m^3/s$ παρά τη μείωση των αξιοποιήσιμων YMM, διατηρούνται ικανοποιητικού μεγέθους μονάδες .
Sep	5.45	2.5	4.38	<ul style="list-style-type: none"> Η μείωση της παροχής επιφέρει μείωση των ποταμολιμνίων, σε ανεκτά επίπεδα όμως.
Oct	6.15	2.5	4.38	<ul style="list-style-type: none"> Όμοια με προηγούμενα.

Nov	15.2	8.36	10.54	<ul style="list-style-type: none"> • Στα 8.36m³/s μειώνονταν παρά πολύ τα μετρίως βαθιά ταχύρροα. • Με την αύξηση ως την παροχή Β μειώνονται μεν αρκετά τα σχεδόν στάσιμα νερά, όμως αυξάνονται τα πολύ χρησιμότερα στην αναπαραγωγή αβαθή ταχύρροα • Η μείωση των μετρίως βαθιών ταχύρροων ΥΜΜ (run) είναι εντός ανεκτών ορίων • Αυτό που ιδανικά θα έπρεπε να εξεταστεί στα πλαίσια ενός Προγράμματος Παρακολούθησης είναι η επίδραση της μειωμένης παροχής στην <u>έναρξη των ανάδρομων μεταναστεύσεων</u> για την αναπαραγωγή.
Dec	29.9	2.5	15.2	<ul style="list-style-type: none"> • Μειώνονται ελαφρά τα ποταμολίμνια, αλλά παραμένουν 77m² (19+31+27). • Μειώνονται πολύ τα αβαθή ταχύρροα, όμως την απώλεια αυτή αντισταθμίζουν οι μεταβατικές σε αβαθείς ταχυρροες ΥΜΜ

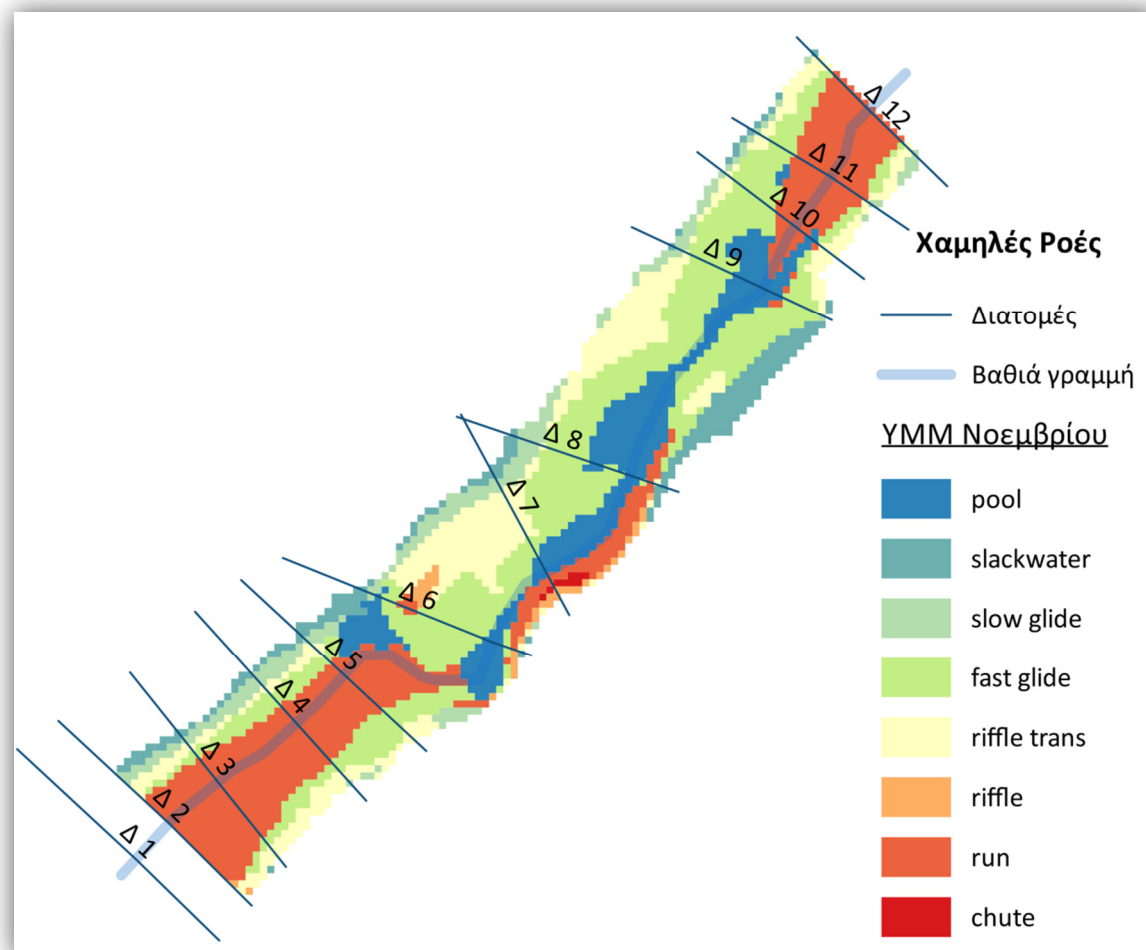
* Στην 1^η στήλη παρατίθενται οι παροχές που προέκυψαν με μοναδικό κριτήριο τη μεταβολή της συνολικής Ωφέλιμης Επιφάνειας

* Στη 2^η στήλη παρατίθενται οι παροχές που προέκυψαν με βάση τα σύνθετα κριτήρια και τις μεταβολές των ΥΜΜ

**Χαρτογράφηση ΥΜΜ στο Φυσικό Υδρολογικό Καθεστώς και στις Χαμηλές Ροές βάσει του λογισμικού ΙΗΑ -
Σύγκριση δεδομένων**



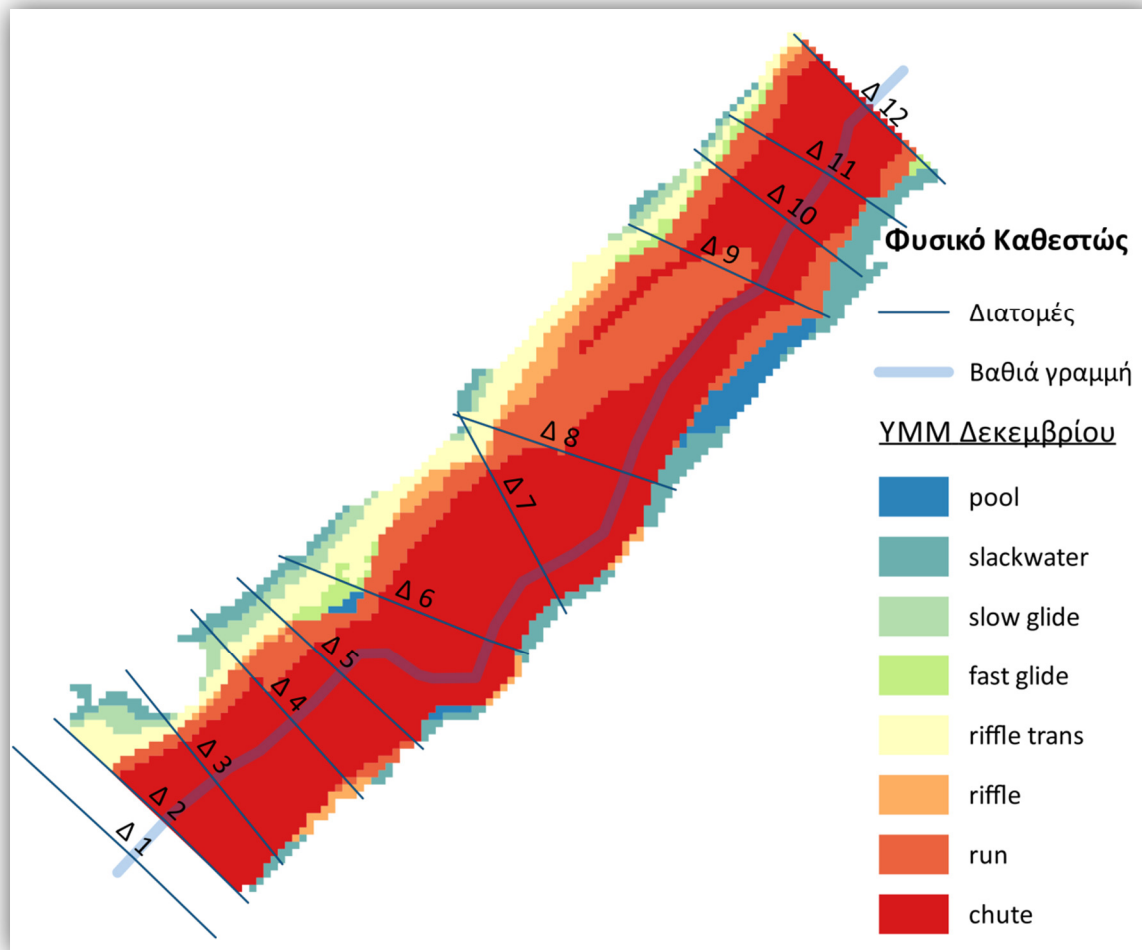
Εικόνα Π. 1. Υδρομορφολογικές Μονάδες που παρατηρούνται κατά τη φυσική παροχή Νοεμβρίου (15,2 m³/s)



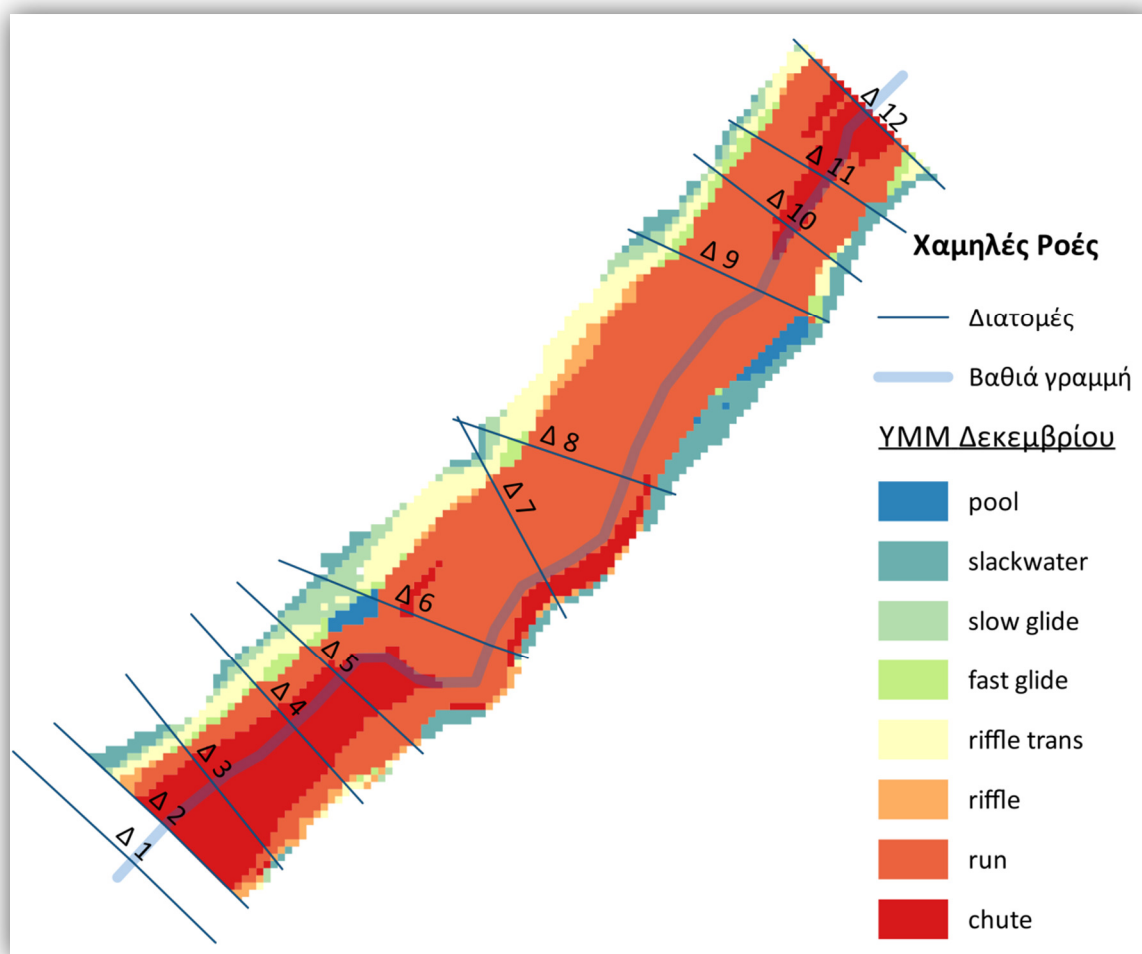
Εικόνα Π. 2. Υδρομορφολογικές Μονάδες που παρατηρούνται κατά τη χαμηλή παροχή Νοεμβρίου (8,36 m³/s)

Πίνακας Π. 2. Ανάλυση Υδρομορφολογικών Μονάδων για τη φυσική και την τροποποιημένη ροή Νοεμβρίου

Τύπος YMM	Επιφάνεια κάλυψης (m²)			Ποσοστό κάλυψης (%)			H%			D%			Q			
	Pre	Post	Var.	Pre	Post	Var.	Pre	Post	Var.	Pre	Post	Var.	Pre	Post	Var.	Var.
1 Pool	77,0	393,0	410,4%	1,95%	12,48%	10,5%										
2 Backwater	274,4	207,0	-24,6%	6,95%	6,57%	-0,4%										
3 Slow glide	145,0	212,5	46,6%	3,67%	6,75%	3,1%										
4 Fast glide	198,0	945,0	377,3%	5,01%	30,01%	25,0%										
5 Riffle trans	387,3	519,4	34,1%	9,80%	16,50%	6,7%										
6 Riffle	46,0	43,2	-6,2%	1,16%	1,37%	0,2%										
7 Run	2344,3	819,4	-65,0%	59,33%	26,02%	-33,3%	66,29%	81,99%	15,7%	33,71%	18,01%	-15,7%	15,20	8,36	-6,84	-45,0%
8 Chute	479,3	9,0	-98,1%	12,13%	0,29%	-11,8%										
Σύνολο	3951,36	3148,48	-20,3%	0,00%	0,00%	0,00										



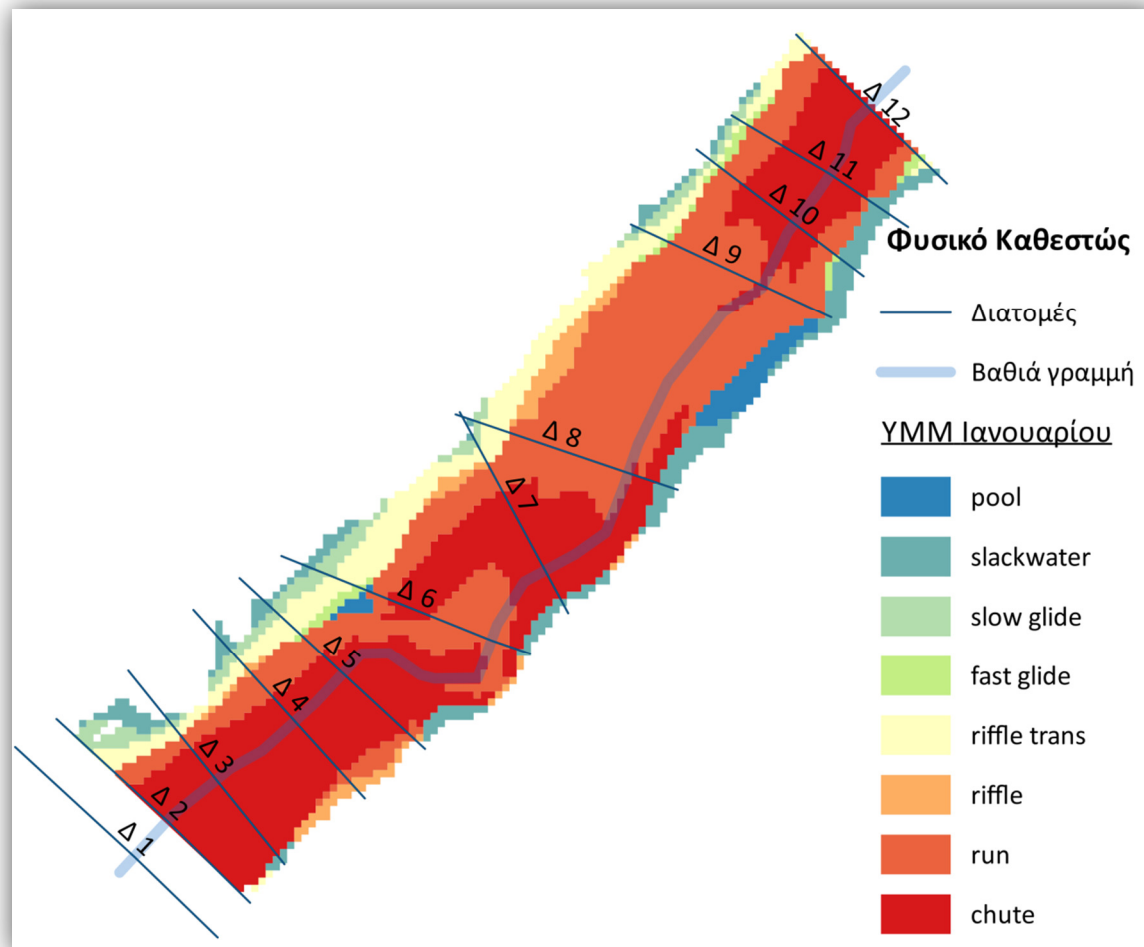
Εικόνα Π. 3. Υδρομορφολογικές Μονάδες που παρατηρούνται κατά τη φυσική παροχή Δεκεμβρίου ($29,9 \text{ m}^3/\text{s}$)



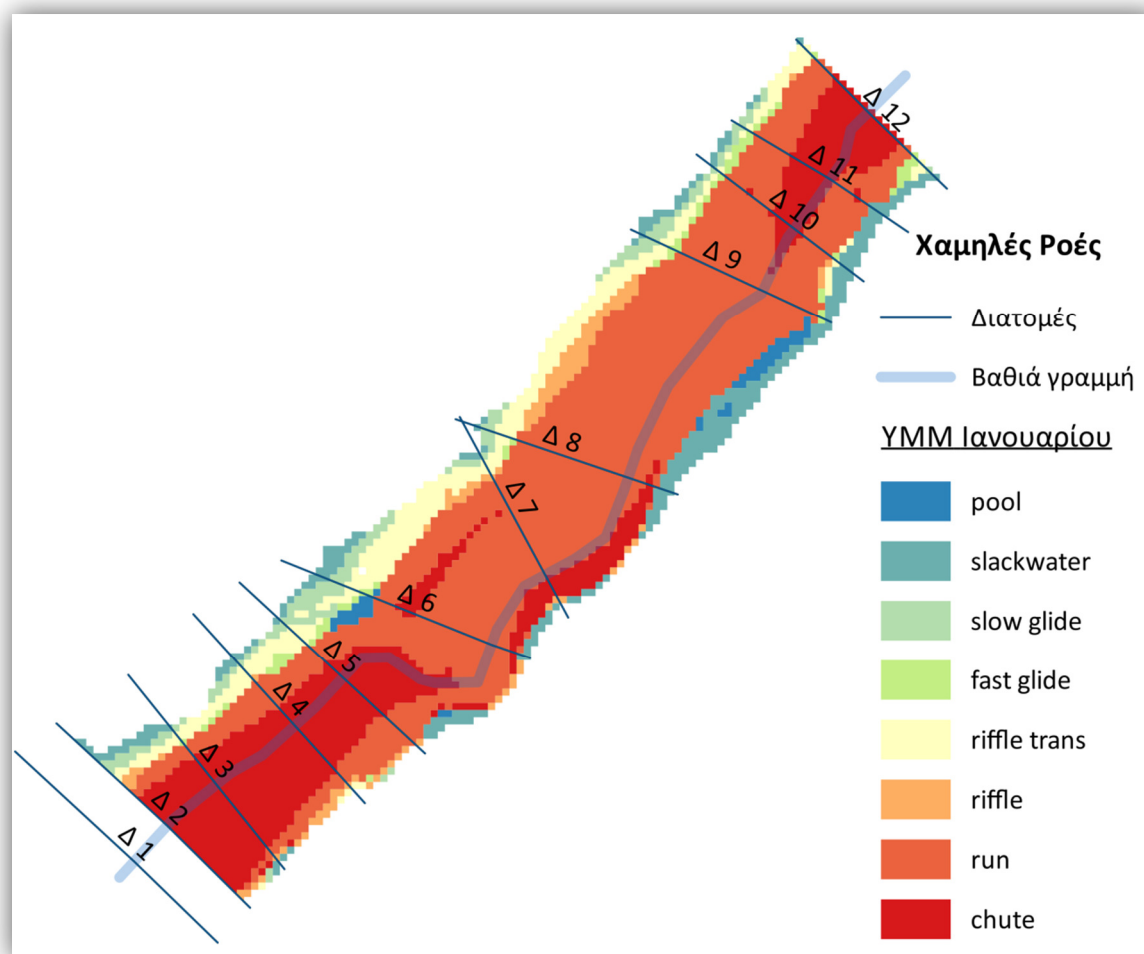
Εικόνα Π. 4. Υδρομορφολογικές Μονάδες που παρατηρούνται κατά τη χαμηλή παροχή Δεκεμβρίου ($17,77 \text{ m}^3/\text{s}$)

Πίνακας Π. 3. Ανάλυση Υδρομορφολογικών Μονάδων για τη φυσική και την τροποποιημένη ροή Δεκεμβρίου

Τύπος YMM	Επιφάνεια κάλυψης (m^2)			Ποσοστό κάλυψης (%)			H%				D%				Q				
	Pre	Post	Var.	Pre	Post	Var.	Pre	Post	Var.	Pre	Post	Var.	Pre	Post	Var.	Pre	Post	Var.	Var.
1 Pool	95,0	50,0	-47,4%	2,23%	1,35%	-0,9%	68,04%	69,66%	1,6%	31,96%	30,34%	-1,6%	29,90	17,77	-12,13	-40,6%			
2 Backwater	315,0	279,7	-11,2%	7,39%	7,55%	0,2%													
3 Slow glide	134,0	151,9	13,3%	3,14%	4,10%	1,0%													
4 Fast glide	64,0	95,0	48,4%	1,50%	2,56%	1,1%													
5 Riffle trans	367,3	341,9	-6,9%	8,62%	9,22%	0,6%													
6 Riffle	133,0	95,1	-28,5%	3,12%	2,57%	-0,6%													
7 Run	818,1	1962,0	139,8%	19,19%	52,93%	33,7%													
8 Chute	2336,6	731,2	-68,7%	54,81%	19,73%	-35,1%													
Σύνολο	4262,98	3706,78	-13,0%	0,00%	0,00%	0,00													



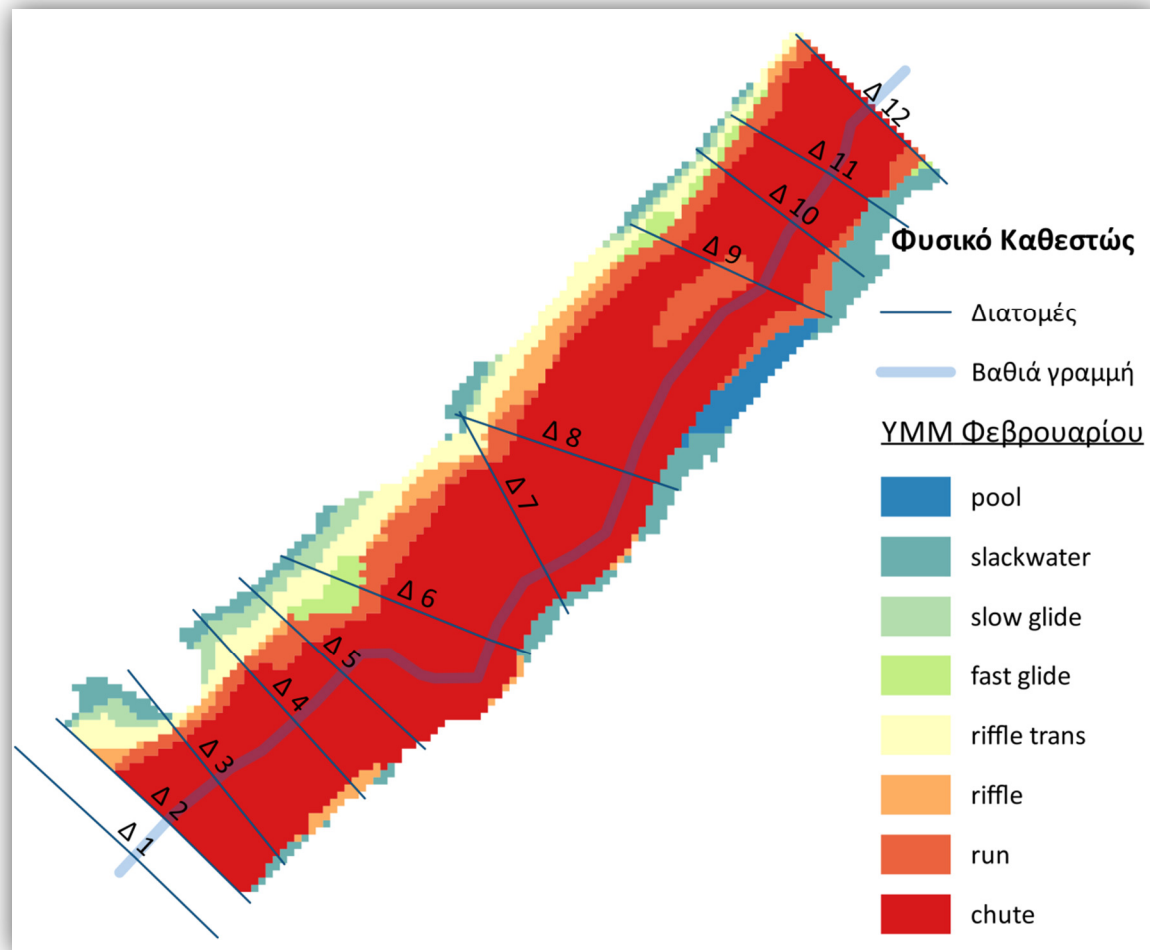
Εικόνα Π. 5. Υδρομορφολογικές Μονάδες που παρατηρούνται κατά τη φυσική παροχή Ιανουαρίου (23,86 m³/s)



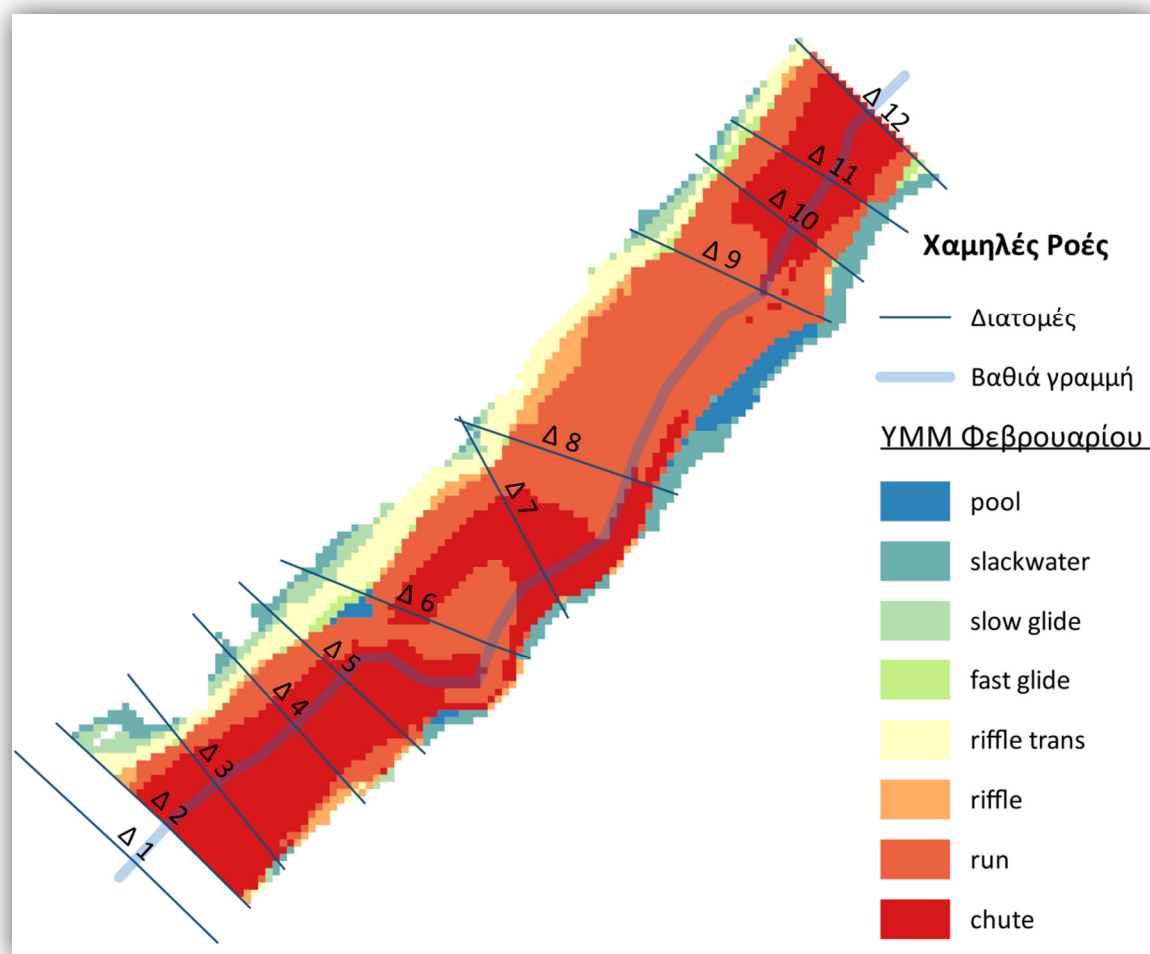
Εικόνα Π. 6. Υδρομορφολογικές Μονάδες που παρατηρούνται κατά τη χαμηλή παροχή Ιανουαρίου (19,36 m³/s)

Πίνακας Π. 4. Ανάλυση Υδρομορφολογικών Μονάδων για τη φυσική και την τροποποιημένη ροή Ιανουαρίου

Τύπος ΥΜΜ	Επιφάνεια κάλυψης (m ²)			Ποσοστό κάλυψης (%)			H%			D%			Q			
	Pre	Post	Var.	Pre	Post	Var.	Pre	Post	Var.	Pre	Post	Var.	Pre	Post	Var.	Var.
1 Pool	79,0	49,0	-38,0%	1,98%	1,30%	-0,7%	71,57%	69,99%	-1,6%	28,43%	30,01%	1,6%	23,86	19,36	-4,50	-18,9%
2 Backwater	270,0	274,5	1,7%	6,76%	7,27%	0,5%										
3 Slow glide	136,6	146,8	7,5%	3,42%	3,89%	0,5%										
4 Fast glide	47,0	67,0	42,6%	1,18%	1,77%	0,6%										
5 Riffle trans	371,7	326,9	-12,1%	9,30%	8,65%	-0,6%										
6 Riffle	119,0	125,9	5,8%	2,98%	3,33%	0,4%										
7 Run	1446,0	1901,6	31,5%	36,18%	50,33%	14,2%										
8 Chute	1527,1	886,2	-42,0%	38,21%	23,46%	-14,8%										
Σύνολο	3996,40	3777,96	-5,5%	0,00%	0,00%	0,00										



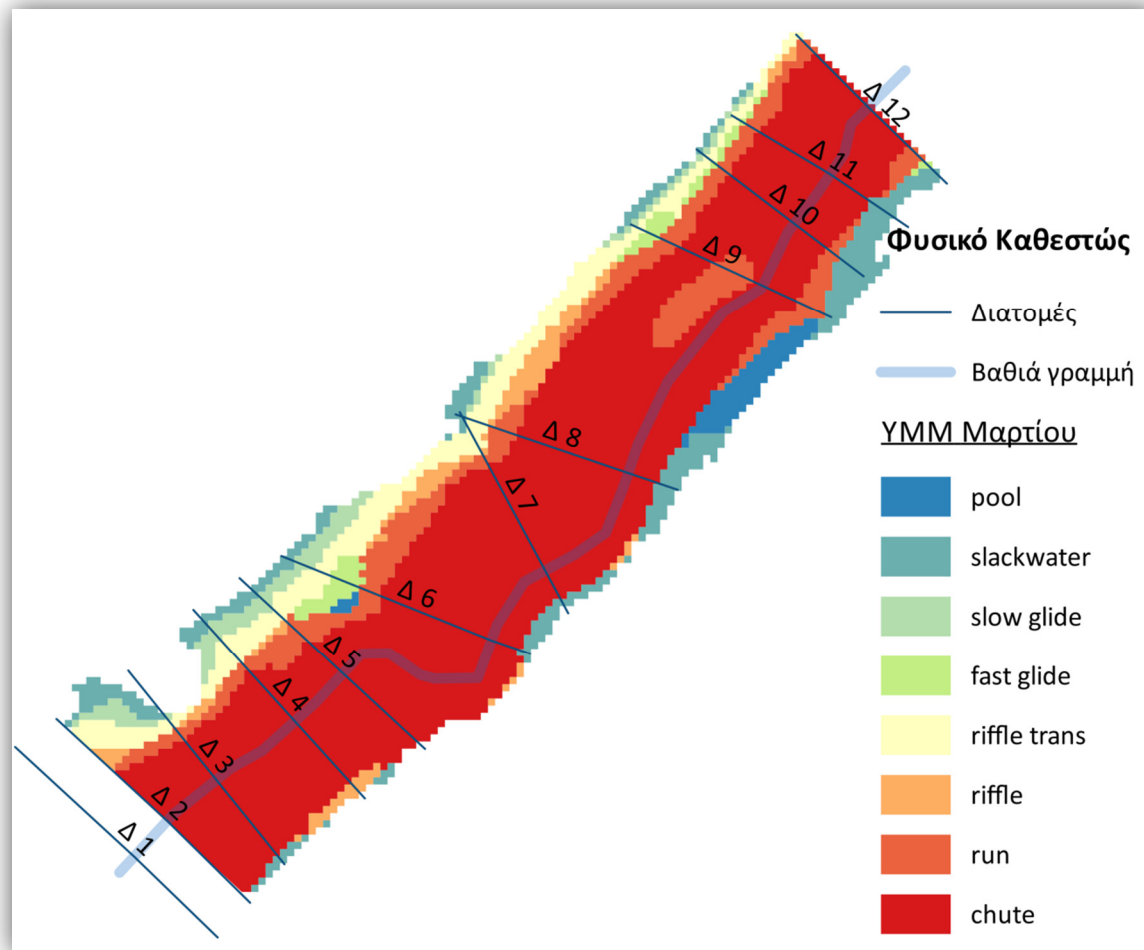
Εικόνα Π. 7. Υδρομορφολογικές Μονάδες που παρατηρούνται κατά τη φυσική παροχή Φεβρουαρίου ($32,93 \text{ m}^3/\text{s}$)



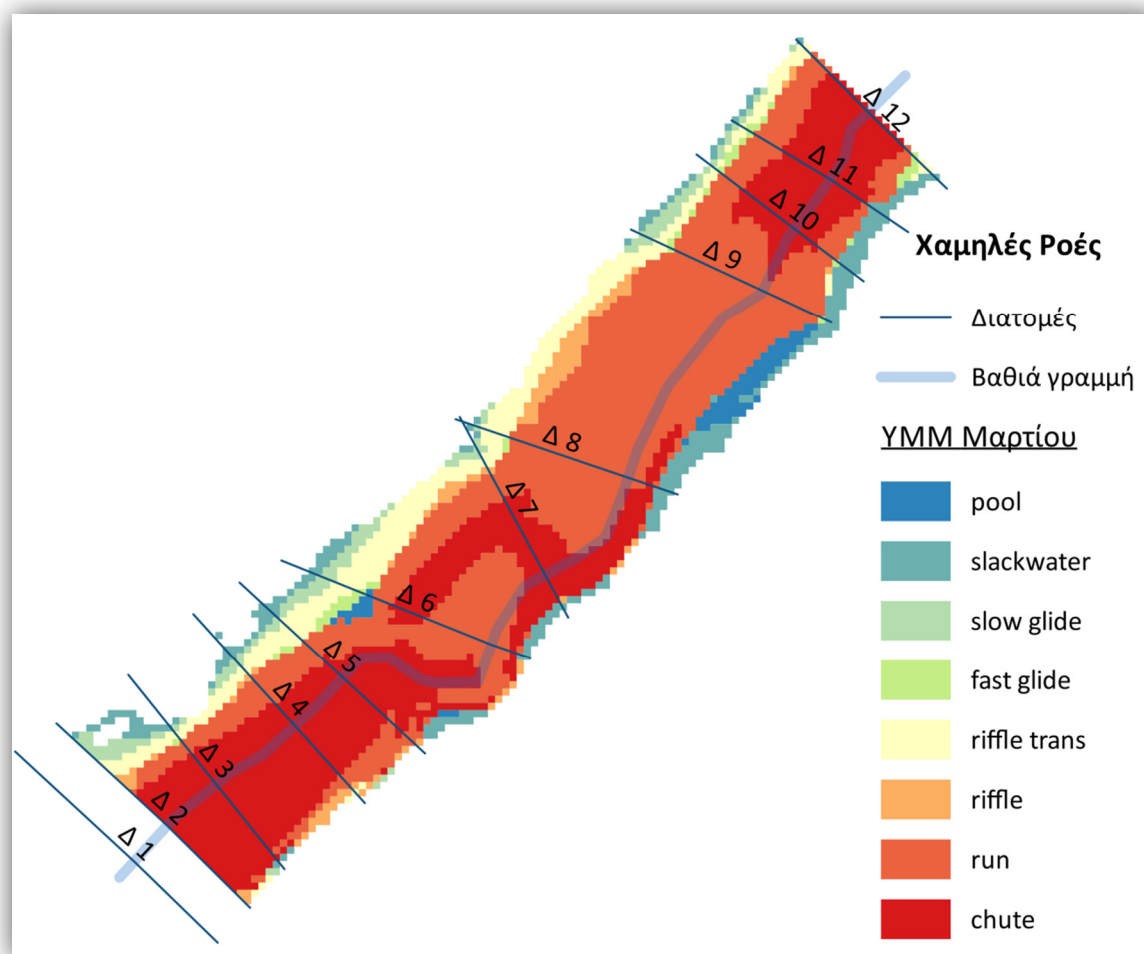
Εικόνα Π. 8. Υδρομορφολογικές Μονάδες που παρατηρούνται κατά τη χαμηλή παροχή Φεβρουαρίου ($23,34 \text{ m}^3/\text{s}$)

Πίνακας Π. 5. Ανάλυση Υδρομορφολογικών Μονάδων για τη φυσική και την τροποποιημένη ροή Φεβρουαρίου

Τύπος ΥΜΜ	Επιφάνεια κάλυψης (m^2)			Ποσοστό κάλυψης (%)			H%		D%		Q					
	Pre	Post	Var.	Pre	Post	Var.	Pre	Post	Pre	Post	Var.	Var.				
1 Pool	83,0	83,0	0,0%	1,89%	2,09%	0,2%										
2 Backwater	347,0	266,0	-23,3%	7,92%	6,70%	-1,2%										
3 Slow glide	129,0	140,8	9,1%	2,94%	3,55%	0,6%										
4 Fast glide	84,0	45,0	-46,4%	1,92%	1,13%	-0,8%										
5 Riffle trans	336,5	359,2	6,7%	7,68%	9,05%	1,4%										
6 Riffle	160,0	126,0	-21,3%	3,65%	3,17%	-0,5%										
7 Run	478,0	1519,7	217,9%	10,90%	38,29%	27,4%										
8 Chute	2766,0	1428,9	-48,3%	63,10%	36,01%	-27,1%										
Σύνολο	4383,51	3968,57	-9,5%	0,00%	0,00%	0,00	62,78%	71,83%	9,0%	37,22%	28,17%	-9,0%	32,93	23,34	-9,59	-29,1%



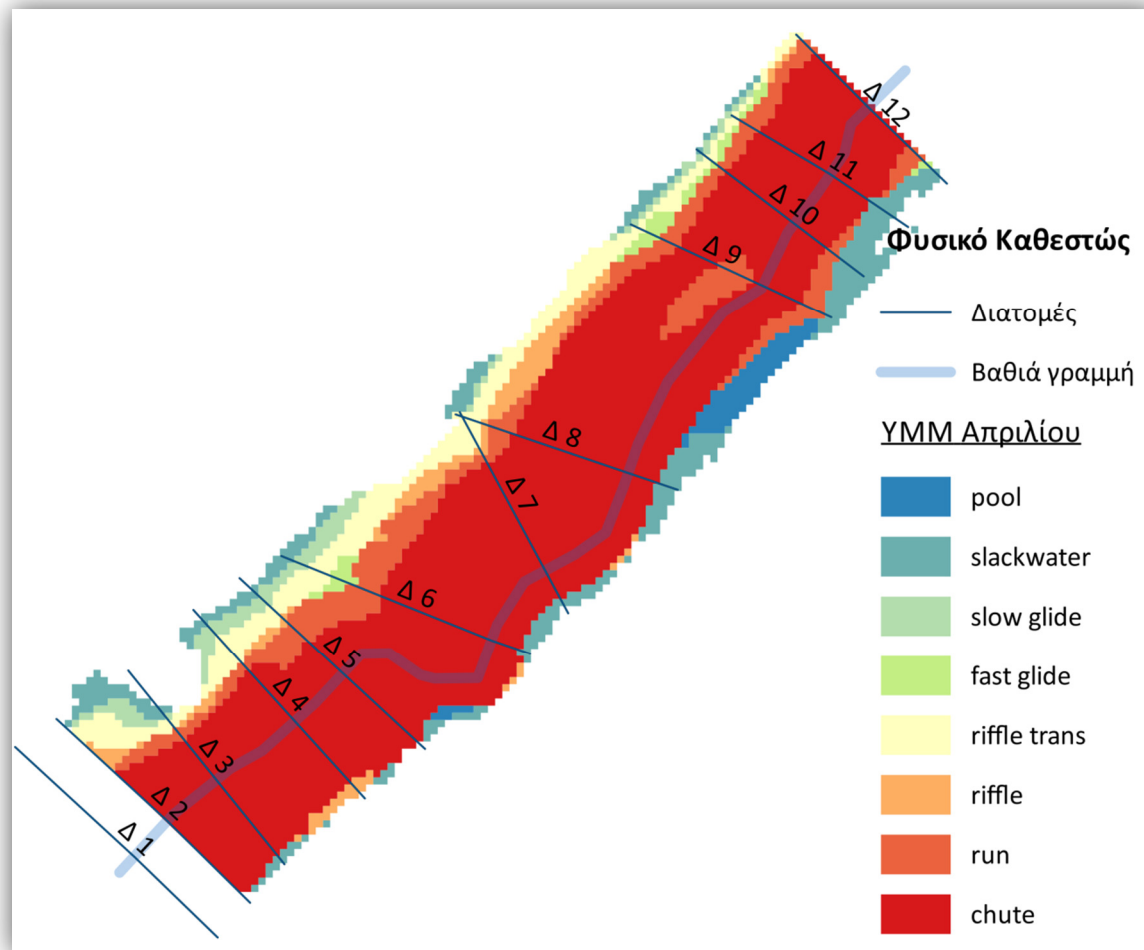
Εικόνα Π. 9. Υδρομορφολογικές Μονάδες που παρατηρούνται κατά τη φυσική παροχή Μαρτίου (32,83 m³/s)



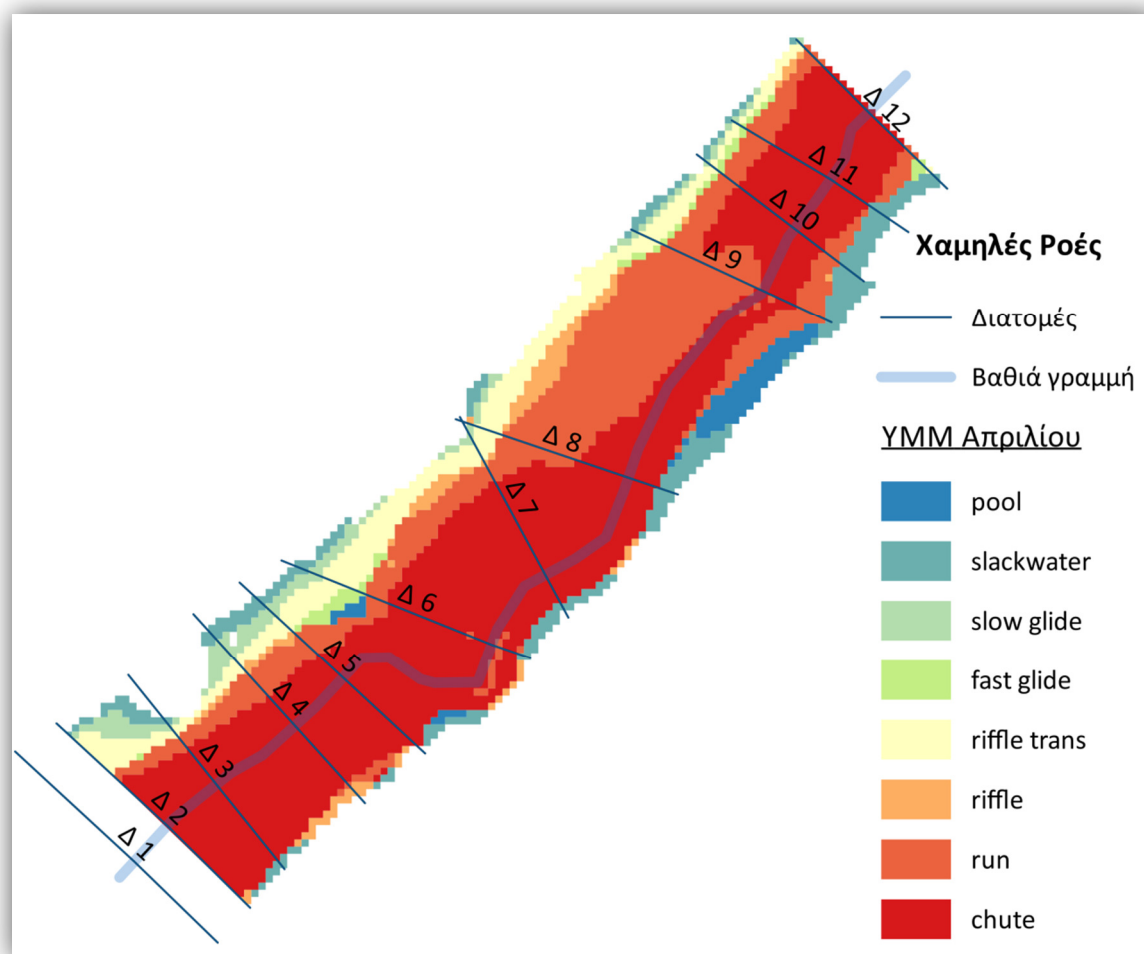
Εικόνα Π. 10. Υδρομορφολογικές Μονάδες που παρατηρούνται κατά τη χαμηλή παροχή Μαρτίου (22,59 m³/s)

Πίνακας Π. 6. Ανάλυση Υδρομορφολογικών Μονάδων για τη φυσική και την τροποποιημένη ροή Μαρτίου

Τύπος ΥΜΜ	Επιφάνεια κάλυψης (m ²)			Ποσοστό κάλυψης (%)			H%		D%		Q					
	Pre	Post	Var.	Pre	Post	Var.	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post	Var.	Var.		
1 Pool	90,0	77,0	-14,4%	2,06%	1,96%	-0,1%	62,86%	71,39%	8,5%	37,14%	28,61%	-8,5%	32,83	22,59	-10,24	-31,2%
2 Backwater	343,0	264,0	-23,0%	7,83%	6,72%	-1,1%										
3 Slow glide	132,0	132,8	0,6%	3,01%	3,38%	0,4%										
4 Fast glide	76,0	47,0	-38,2%	1,74%	1,20%	-0,5%										
5 Riffle trans	343,7	360,3	4,8%	7,85%	9,18%	1,3%										
6 Riffle	153,5	122,8	-20,0%	3,50%	3,13%	-0,4%										
7 Run	484,0	1628,7	236,5%	11,05%	41,48%	30,4%										
8 Chute	2757,2	1293,7	-53,1%	62,96%	32,95%	-30,0%										
Σύνολο	4379,33	3926,33	-10,3%	0,00%	0,00%	0,00										



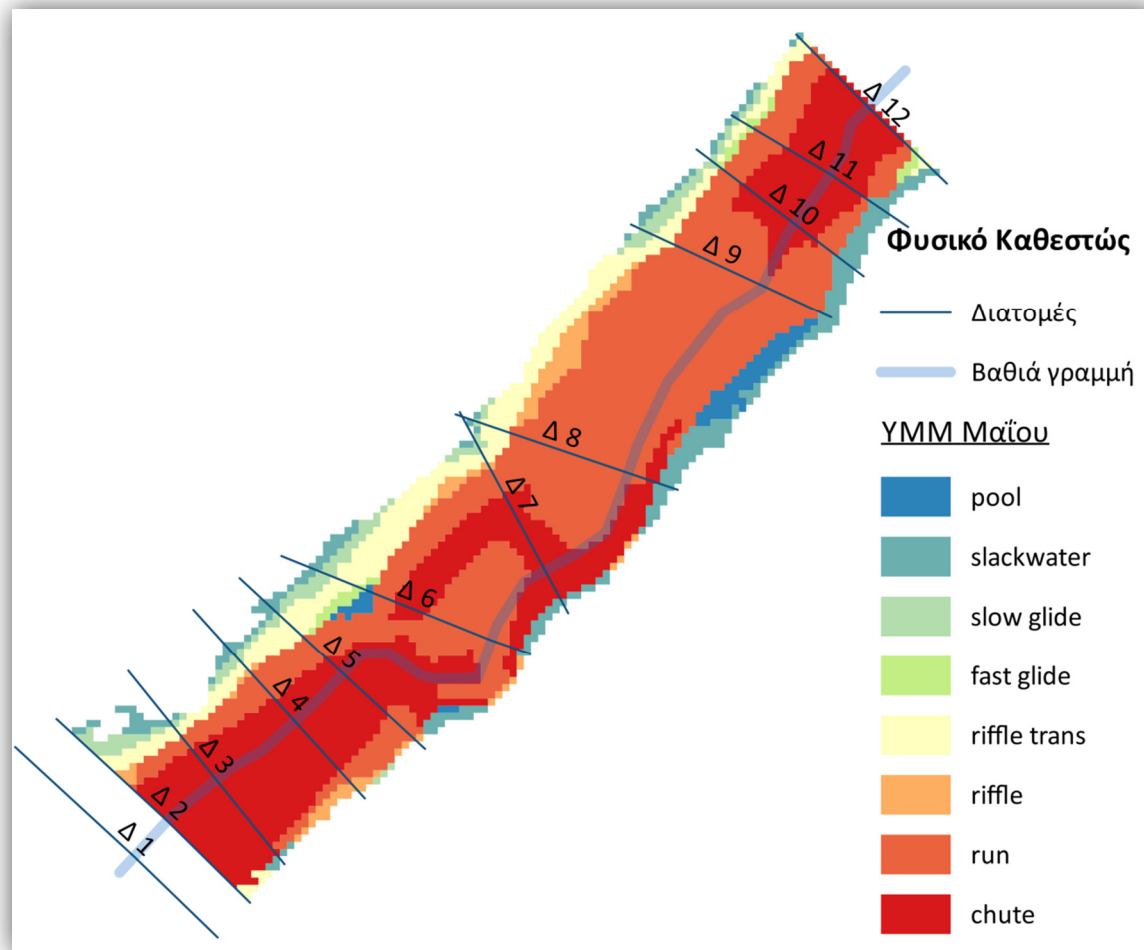
Εικόνα Π. 11. Υδρομορφολογικές Μονάδες που παρατηρούνται κατά τη φυσική παροχή Απριλίου (33,98 m³/s)



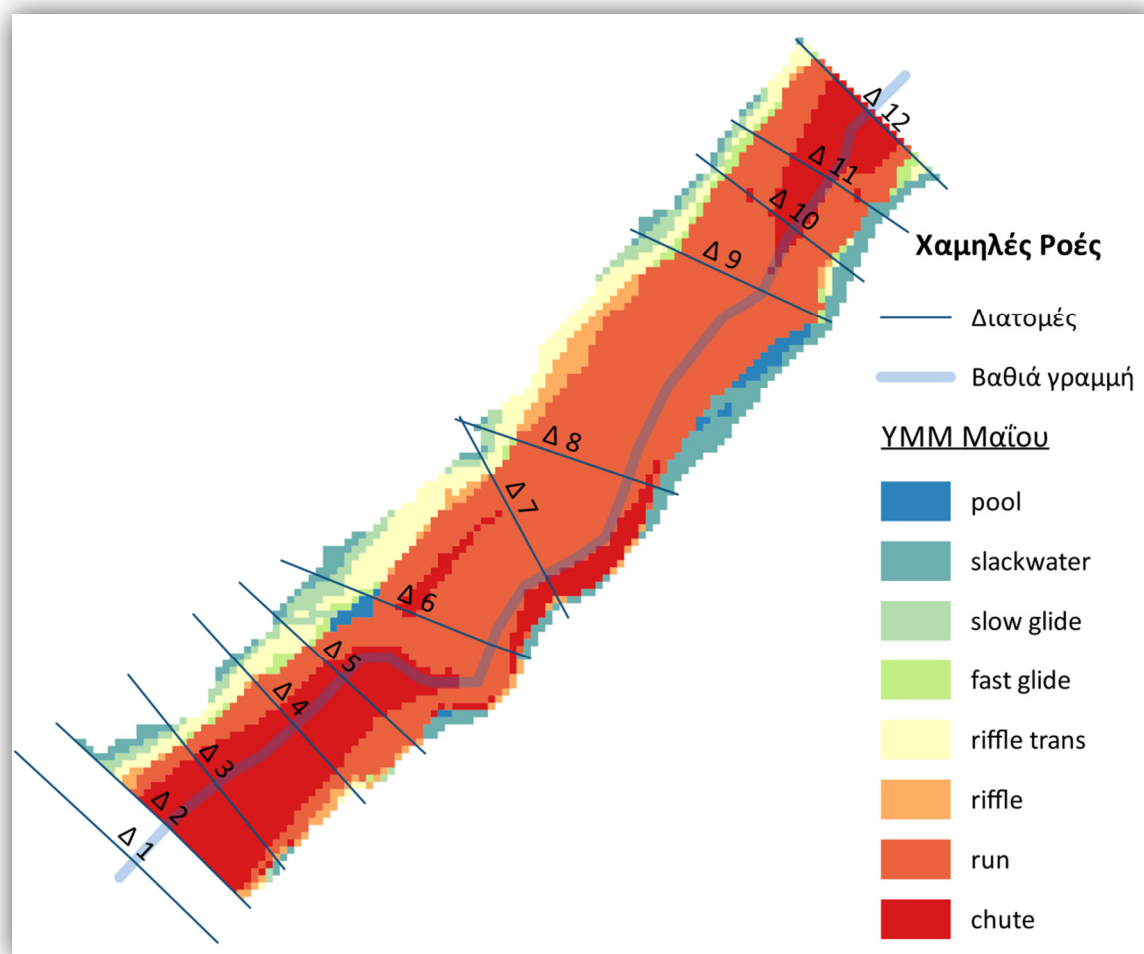
Εικόνα Π. 12. Υδρομορφολογικές Μονάδες που παρατηρούνται κατά τη χαμηλή παροχή Απριλίου (28,06 m³/s)

Πίνακας Π. 7. Ανάλυση Υδρομορφολογικών Μονάδων για τη φυσική και την τροποποιημένη ροή Απριλίου

Τύπος ΥΜΜ	Επιφάνεια κάλυψης (m ²)			Ποσοστό κάλυψης (%)			H%				D%				Q				
	Pre	Post	Var.	Pre	Post	Var.	Pre	Post	Var.	Pre	Post	Var.	Pre	Post	Var.	Pre	Post	Var.	Var.
1 Pool	91,0	94,0	3,3%	2,06%	2,25%	0,2%	61,90%	69,50%	7,6%	38,10%	30,50%	-7,6%	33,98	28,06	-5,92	-17,4%			
2 Backwater	364,0	299,4	-17,7%	8,24%	7,17%	-1,1%													
3 Slow glide	123,0	133,0	8,1%	2,78%	3,18%	0,4%													
4 Fast glide	58,0	54,0	-6,9%	1,31%	1,29%	0,0%													
5 Riffle trans	340,6	369,6	8,5%	7,71%	8,85%	1,1%													
6 Riffle	161,2	134,2	-16,8%	3,65%	3,21%	-0,4%													
7 Run	472,0	954,9	102,3%	10,68%	22,85%	12,2%													
8 Chute	2810,0	2139,6	-23,9%	63,58%	51,20%	-12,4%													
Σύνολο	4419,77	4178,77	-5,5%	0,00%	0,00%	0,00													



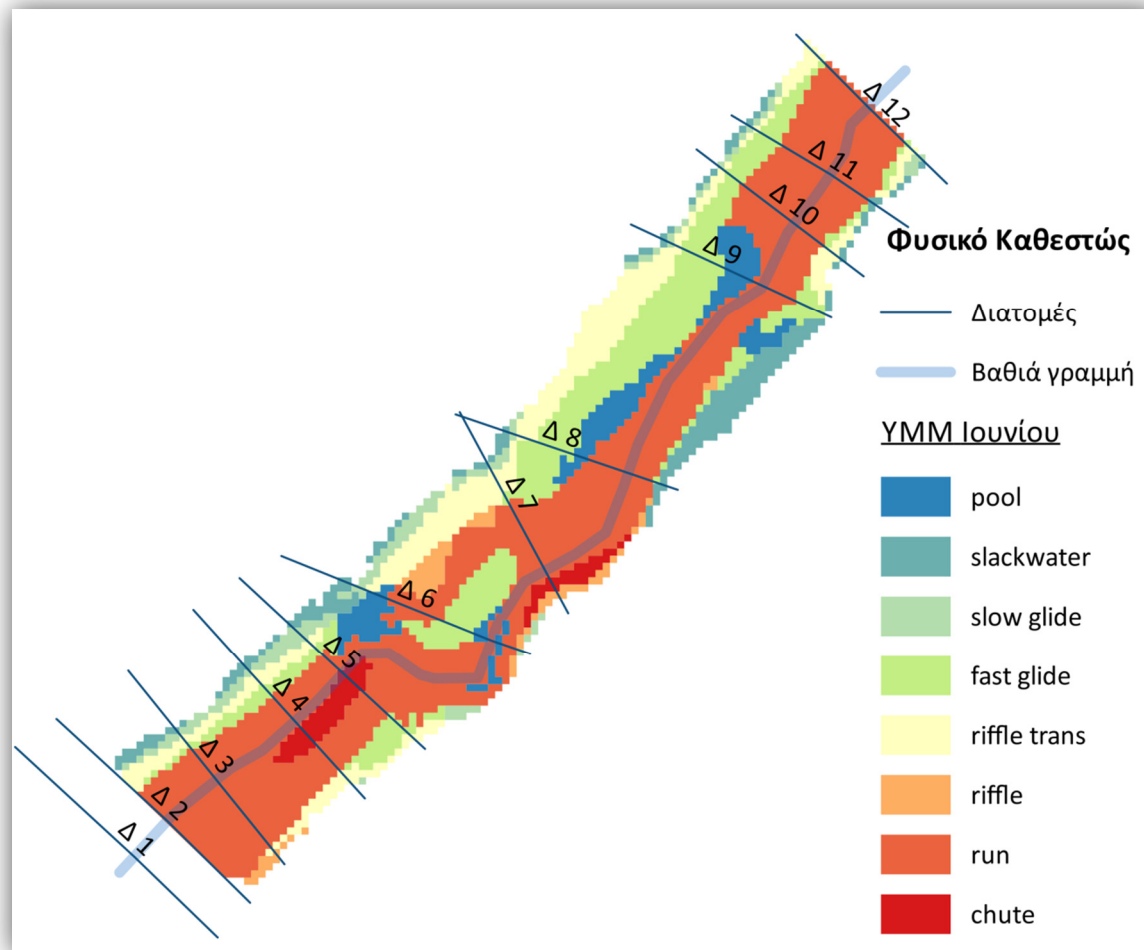
Εικόνα Π. 13. Υδρομορφολογικές Μονάδες που παρατηρούνται κατά τη φυσική παροχή Μαΐου (22,46 m³/s)



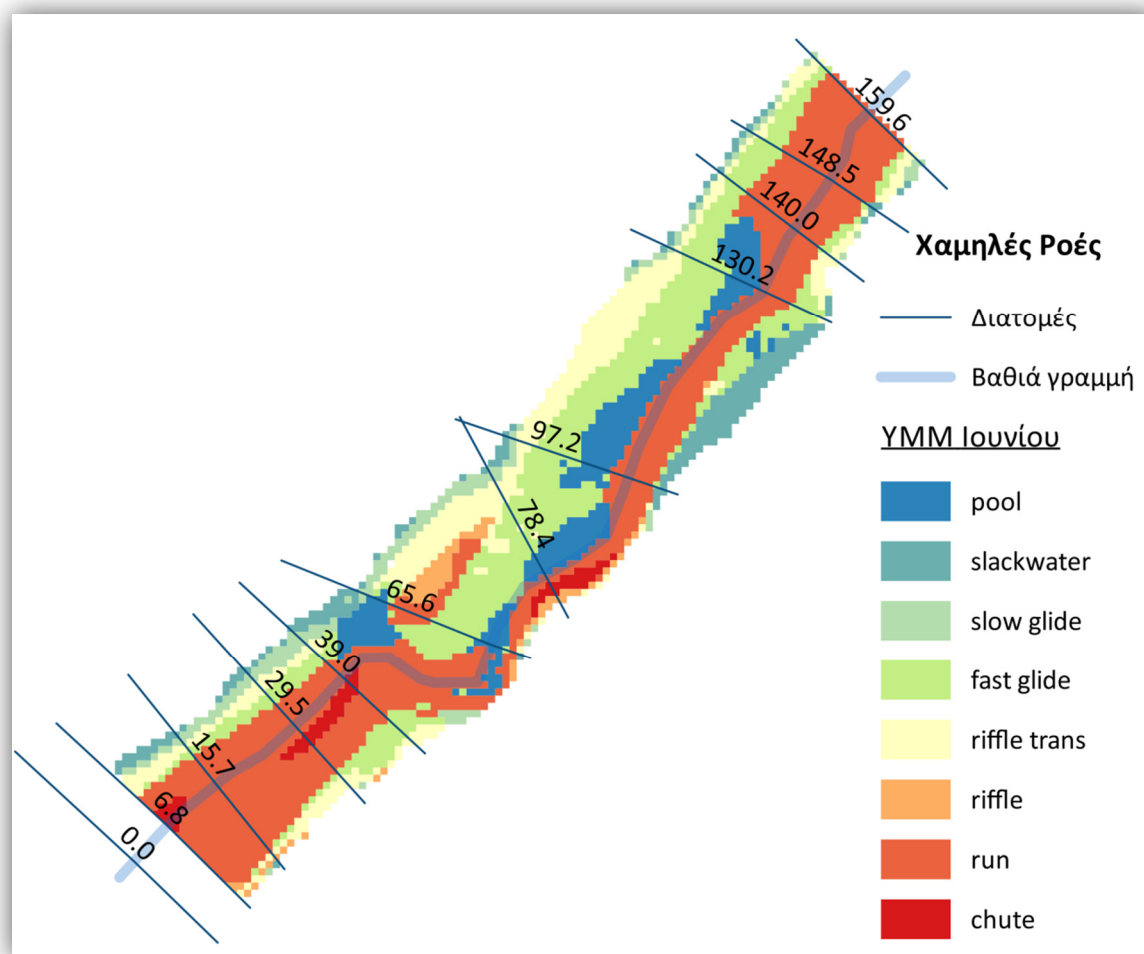
Εικόνα Π. 14. Υδρομορφολογικές Μονάδες που παρατηρούνται κατά τη χαμηλή παροχή Μαΐου (19,57 m³/s)

Πίνακας Π. 8. Ανάλυση Υδρομορφολογικών Μονάδων για τη φυσική και την τροποποιημένη ροή Μαΐου

Τύπος ΥΜΜ	Επιφάνεια κάλυψης (m ²)			Ποσοστό κάλυψης (%)			H%				D%				Q				
	Pre	Post	Var.	Pre	Post	Var.	Pre	Post	Var.	Pre	Post	Var.	Pre	Post	Var.	Pre	Post	Var.	Var.
1 Pool	74,0	49,0	-33,8%	1,89%	1,29%	-0,6%	70,71%	70,11%	-0,6%	29,29%	29,89%	0,6%	22,46	19,57	-2,89	-12,9%			
2 Backwater	268,0	272,5	1,7%	6,84%	7,20%	0,4%													
3 Slow glide	132,7	139,8	5,4%	3,39%	3,69%	0,3%													
4 Fast glide	35,0	70,0	100,0%	0,89%	1,85%	1,0%													
5 Riffle trans	365,2	328,8	-10,0%	9,32%	8,69%	-0,6%													
6 Riffle	116,6	129,9	11,4%	2,98%	3,43%	0,5%													
7 Run	1652,7	1891,6	14,5%	42,18%	49,99%	7,8%													
8 Chute	1273,9	902,6	-29,1%	32,51%	23,85%	-8,7%													
Σύνολο	3918,10	3784,24	-3,4%	0,00%	0,00%	0,00													



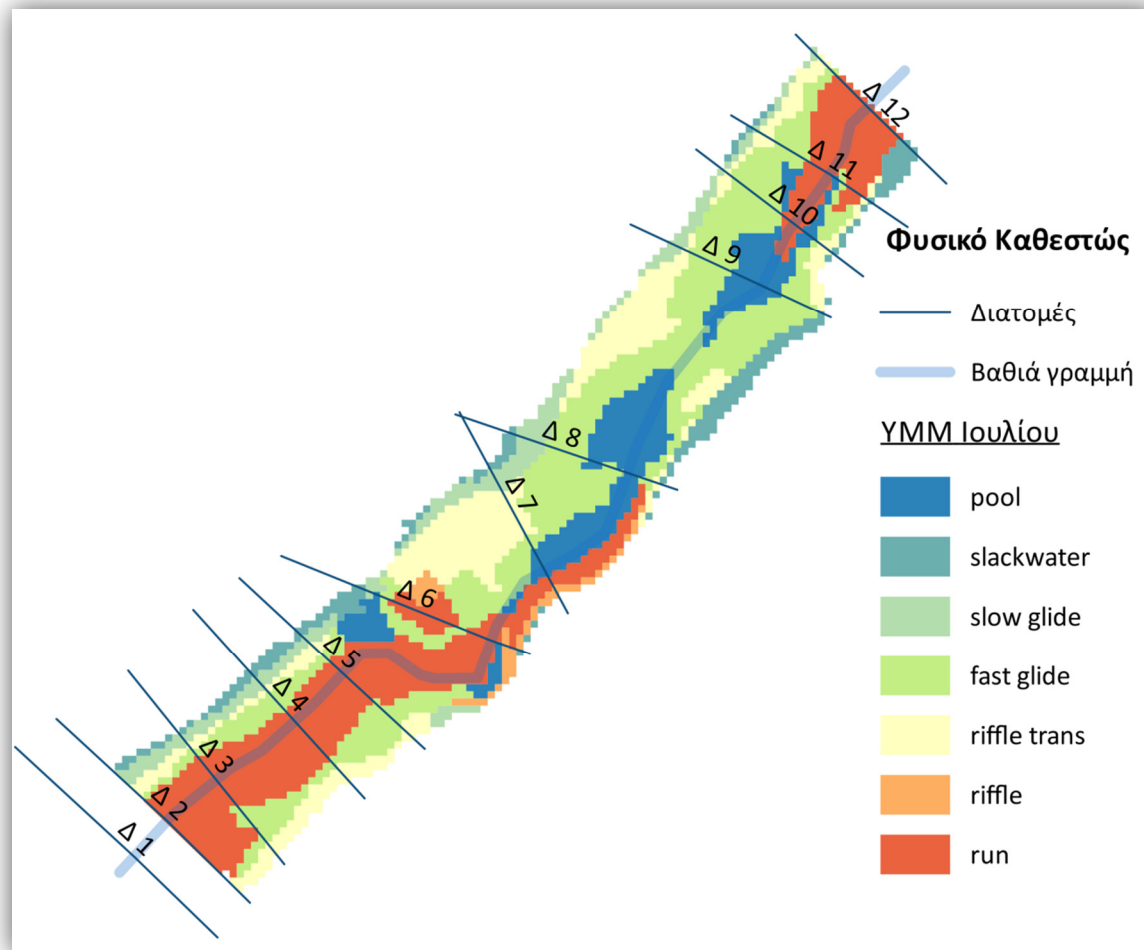
Εικόνα Π. 15. Υδρομορφολογικές Μονάδες που παρατηρούνται κατά τη φυσική παροχή Ιουνίου (11,44 m³/s)



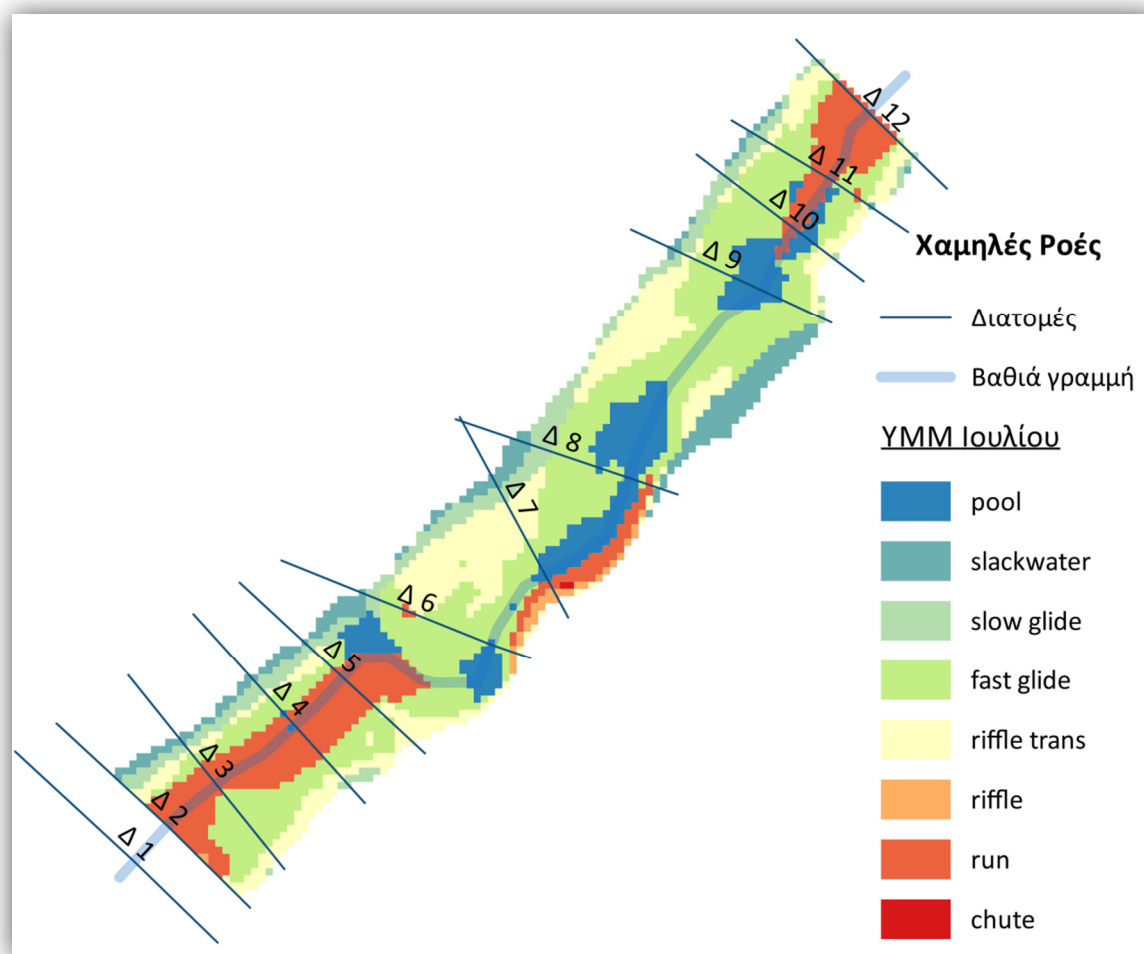
Εικόνα Π. 16. Υδρομορφολογικές Μονάδες που παρατηρούνται κατά τη χαμηλή παροχή Ιουνίου (10,54 m³/s)

Πίνακας Π. 9. Ανάλυση Υδρομορφολογικών Μονάδων για τη φυσική και την τροποποιημένη ροή Ιουνίου

Τύπος ΥΜΜ	Επιφάνεια κάλυψης (m ²)			Ποσοστό κάλυψης (%)			H%				D%				Q				
	Pre	Post	Var.	Pre	Post	Var.	Pre	Post	Var.	Pre	Post	Var.	Pre	Post	Var.	Pre	Post	Var.	Var.
1 Pool	207,0	318,0	53,6%	6,20%	9,66%	3,5%	76,84%	81,29%	4,5%	23,16%	18,71%	-4,5%	11,44	10,54	-0,90	-7,9%			
2 Backwater	219,0	204,0	-6,8%	6,56%	6,20%	-0,4%													
3 Slow glide	141,0	159,0	12,8%	4,22%	4,83%	0,6%													
4 Fast glide	586,0	761,0	29,9%	17,54%	23,11%	5,6%													
5 Riffle trans	423,8	449,6	6,1%	12,69%	13,65%	1,0%													
6 Riffle	82,0	73,5	-10,3%	2,46%	2,23%	-0,2%													
7 Run	1586,3	1255,9	-20,8%	47,49%	38,15%	-9,3%													
8 Chute	95,0	71,3	-25,0%	2,84%	2,16%	-0,7%													
Σύνολο	3340,04	3292,28	-1,4%	0,00%	0,00%	0,00													



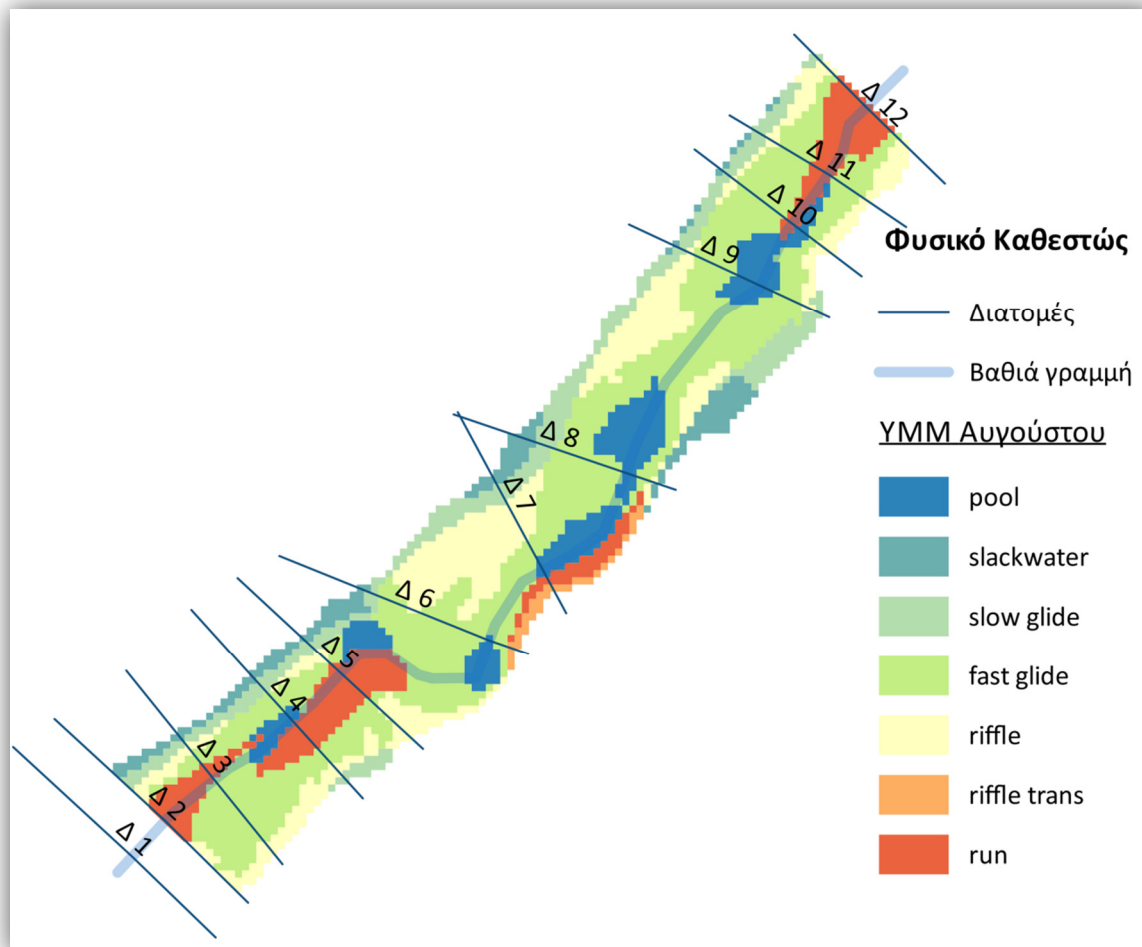
Εικόνα Π. 17. Υδρομορφολογικές Μονάδες που παρατηρούνται κατά τη φυσική παροχή Ιουλίου (7,62 m³/s)



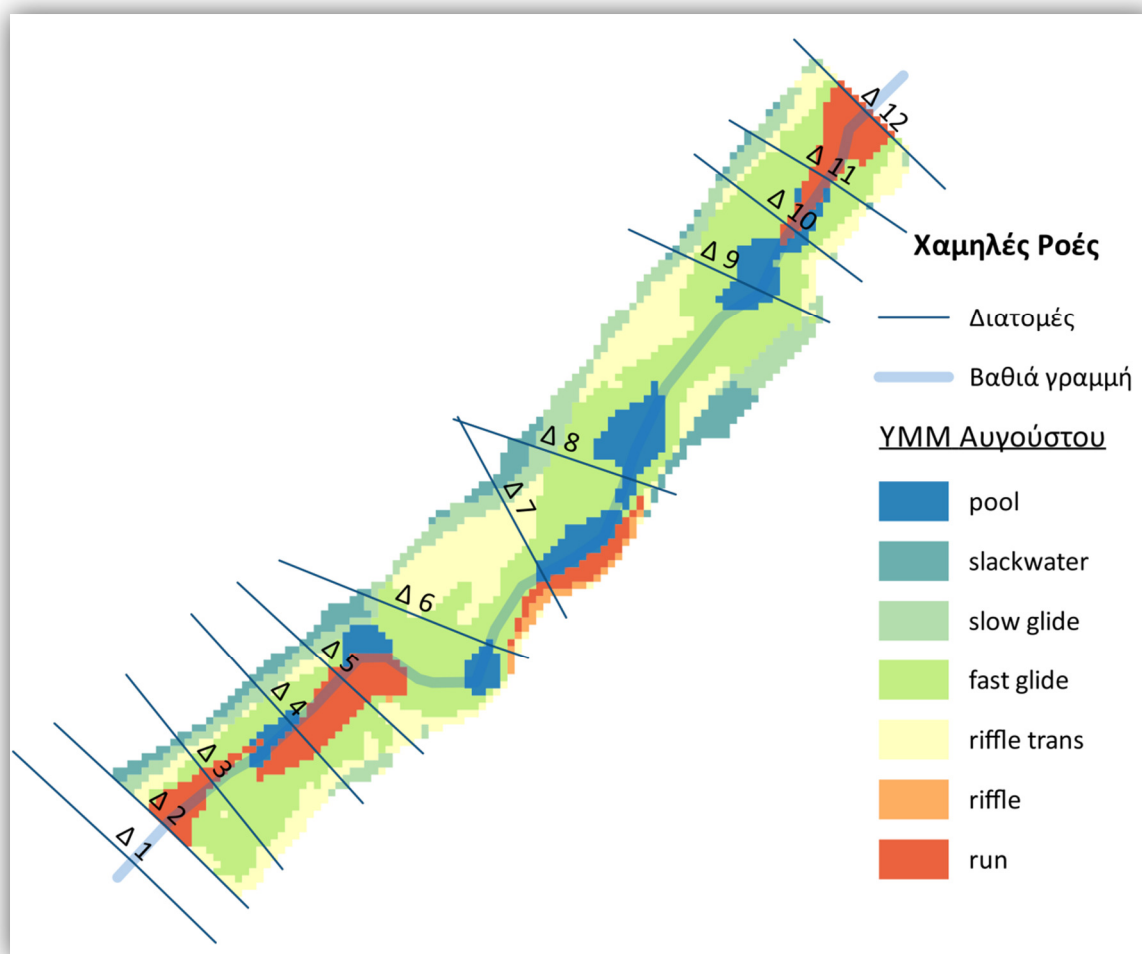
Εικόνα Π. 18. Υδρομορφολογικές Μονάδες που παρατηρούνται κατά τη χαμηλή παροχή Ιουλίου (6,86 m³/s)

Πίνακας Π. 10. Ανάλυση Υδρομορφολογικών Μονάδων για τη φυσική και την τροποποιημένη ροή Ιουλίου

Τύπος ΥΜΜ	Επιφάνεια κάλυψης (m ²)			Ποσοστό κάλυψης (%)			H%				D%				Q				
	Pre	Post	Var.	Pre	Post	Var.	Pre	Post	Var.	Pre	Post	Var.	Pre	Post	Var.	Pre	Post	Var.	Var.
1 Pool	371,0	328,0	-11,6%	11,99%	10,78%	-1,2%	87,50%	80,37%	-7,1%	12,50%	19,63%	7,1%	7,62	6,86	-0,77	-10,0%			
2 Backwater	200,0	216,9	8,4%	6,46%	7,12%	0,7%													
3 Slow glide	217,9	253,8	16,5%	7,04%	8,34%	1,3%													
4 Fast glide	933,0	1118,0	19,8%	30,15%	36,73%	6,6%													
5 Riffle trans	518,0	577,6	11,5%	16,74%	18,98%	2,2%													
6 Riffle	58,0	31,0	-46,5%	1,87%	1,02%	-0,9%													
7 Run	796,8	516,5	-35,2%	25,75%	16,97%	-8,8%													
8 Chute	0,0	2,0	-	0,00%	0,07%	0,1%													
Σύνολο	3094,71	3043,84	-1,6%	0,00%	0,00%	0,00													



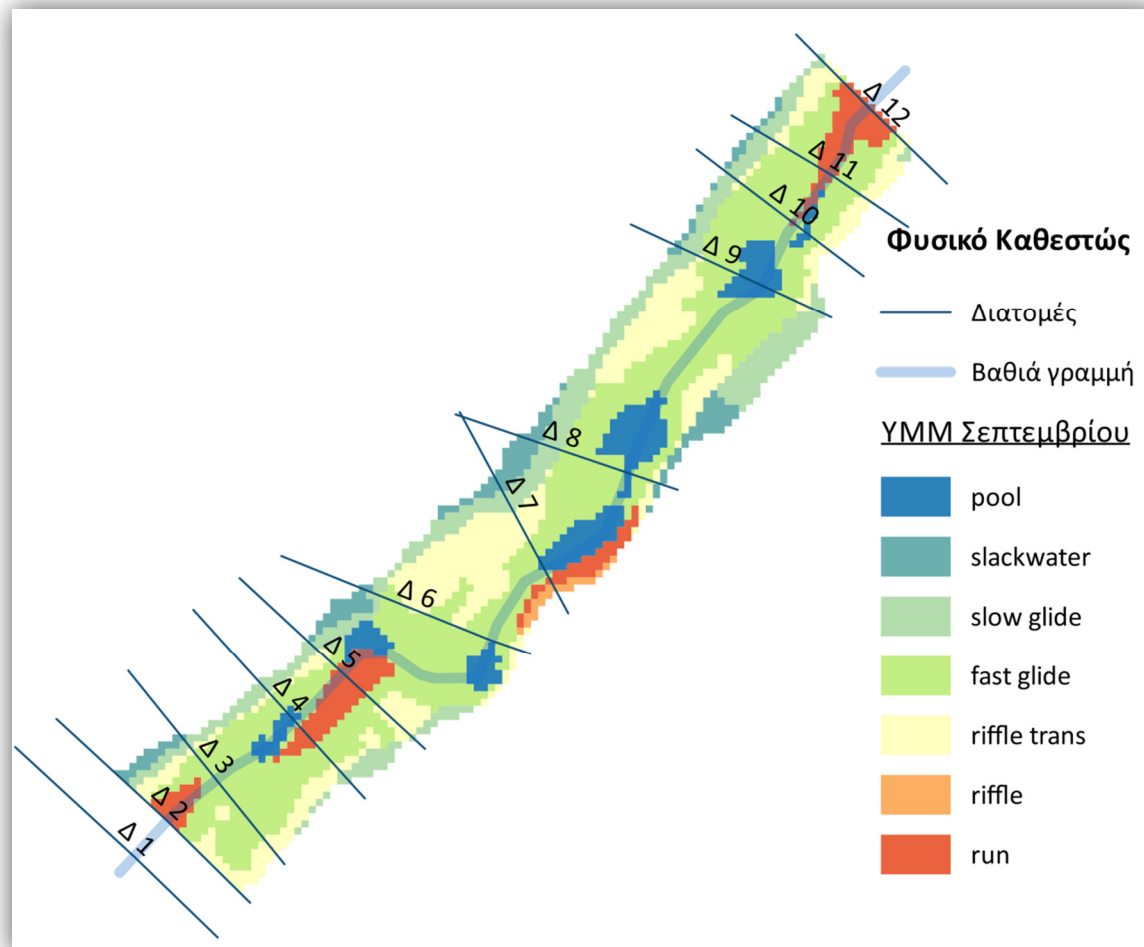
Εικόνα Π. 19. Υδρομορφολογικές Μονάδες που παρατηρούνται κατά τη φυσική παροχή Αυγούστου ($6,13 \text{ m}^3/\text{s}$)



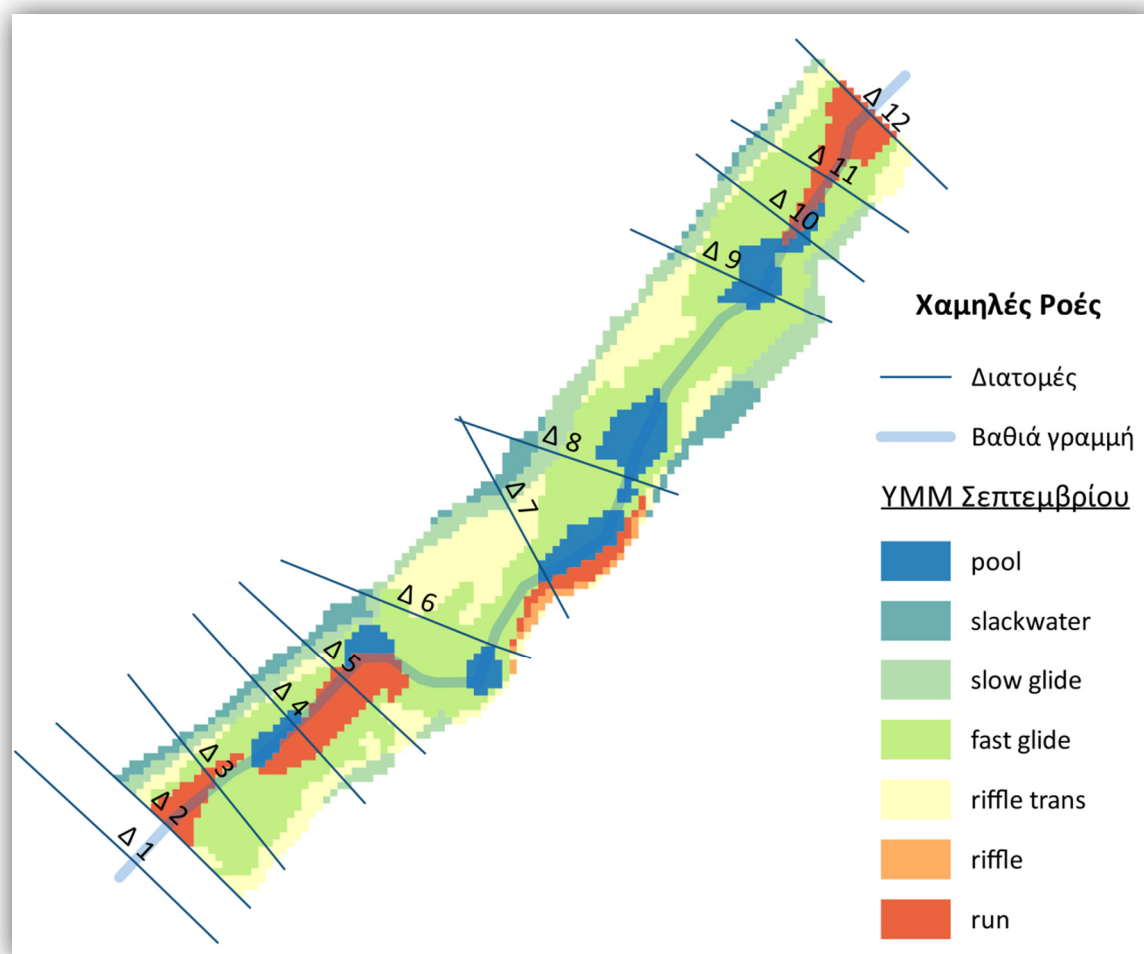
Εικόνα Π. 20. Υδρομορφολογικές Μονάδες που παρατηρούνται κατά τη χαμηλή παροχή Αυγούστου ($6,14 \text{ m}^3/\text{s}$)

Πίνακας Π. 11. Ανάλυση Υδρομορφολογικών Μονάδων για τη φυσική και την τροποποιημένη ροή Αυγούστου

Τύπος ΥΜΜ	Επιφάνεια κάλυψης (m^2)			Ποσοστό κάλυψης (%)			H%			D%			Q			
	Pre	Post	Var.	Pre	Post	Var.	Pre	Post	Var.	Pre	Post	Var.	Pre	Post	Var.	Var.
1 Pool	300,0	301,0	0,3%	10,03%	10,06%	0,0%	83,70%	83,57%	-0,1%	16,30%	16,43%	0,1%	6,13	6,14	0,01	0,2%
2 Backwater	175,1	178,1	1,7%	5,86%	5,95%	0,1%										
3 Slow glide	335,8	333,7	-0,6%	11,23%	11,15%	-0,1%										
4 Fast glide	1214,0	1210,0	-0,3%	40,58%	40,45%	-0,1%										
5 Riffle trans	582,9	587,8	0,9%	19,48%	19,65%	0,2%										
6 Riffle	34,0	29,0	-14,7%	1,14%	0,97%	-0,2%										
7 Run	349,5	352,0	0,7%	11,69%	11,77%	0,1%										
8 Chute	0,0	0,0	-	0,00%	0,00%	0,0%										
Σύνολο	2991,34	2991,63	0,0%	0,00%	0,00%	0,00										



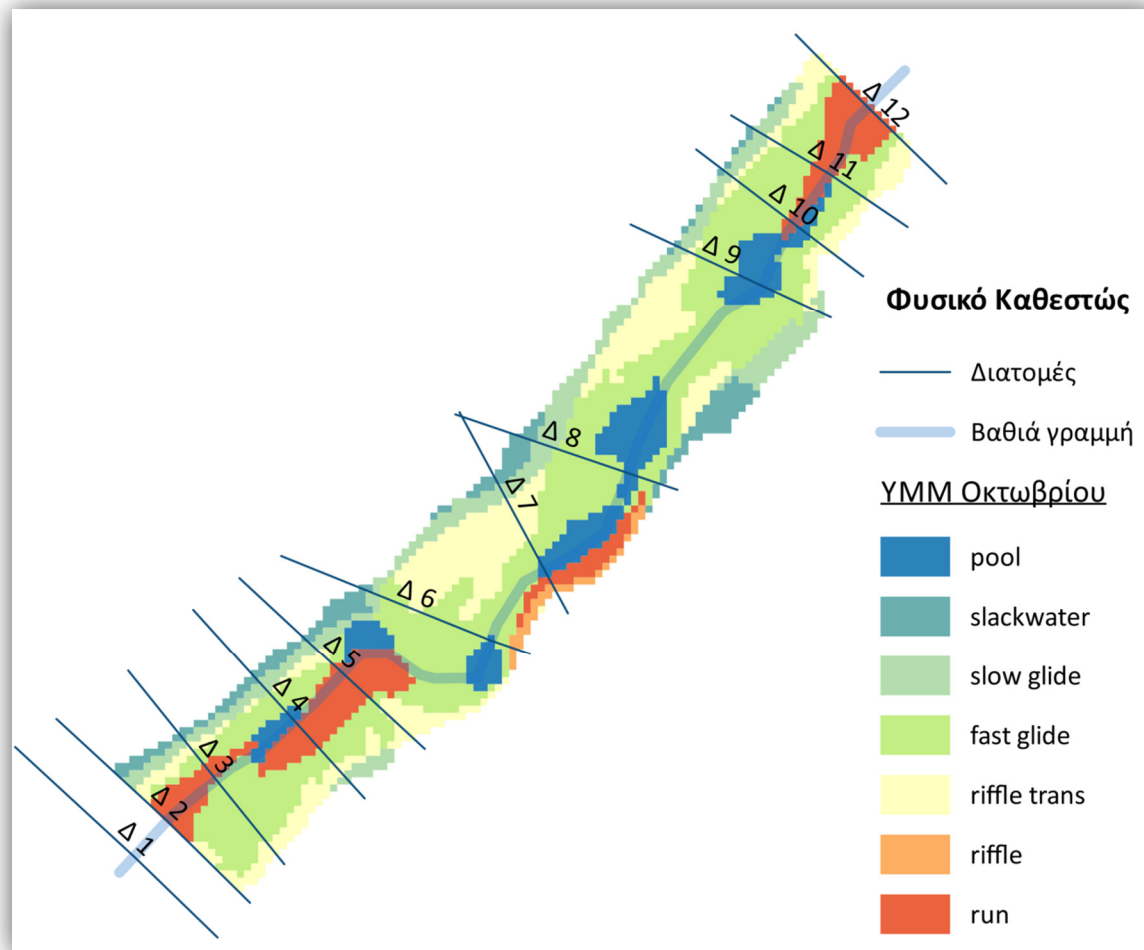
Εικόνα Π. 21. Υδρομορφολογικές Μονάδες που παρατηρούνται κατά τη φυσική παροχή Σεπτεμβρίου (5,45 m³/s)



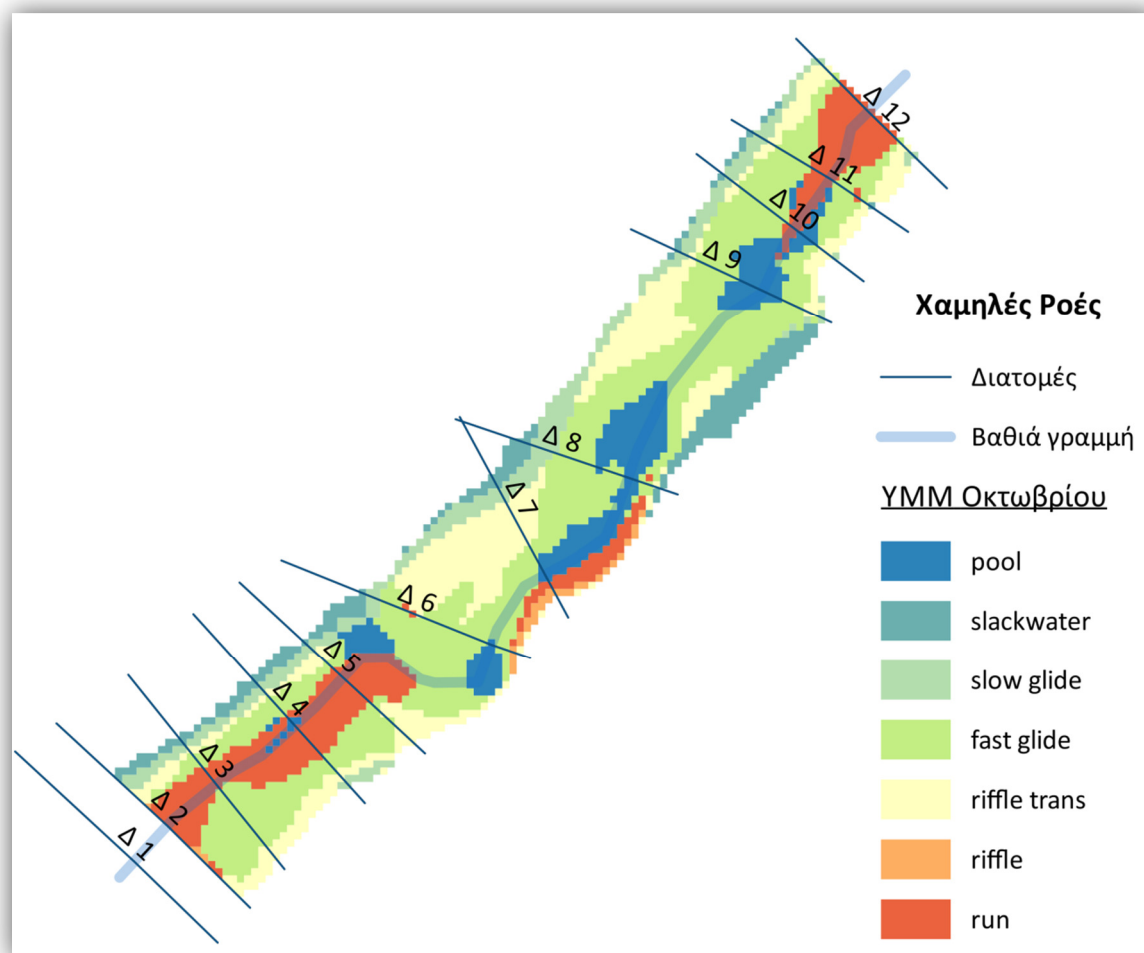
Εικόνα Π. 22. Υδρομορφολογικές Μονάδες που παρατηρούνται κατά τη χαμηλή παροχή Σεπτεμβρίου (6,03 m³/s)

Πίνακας Π. 12. Ανάλυση Υδρομορφολογικών Μονάδων για τη φυσική και την τροποποιημένη ροή Σεπτεμβρίου

Τύπος ΥΜΜ	Επιφάνεια κάλυψης (m ²)			Ποσοστό κάλυψης (%)			H%			D%			Q			
	Pre	Post	Var.	Pre	Post	Var.	Pre	Post	Var.	Pre	Post	Var.	Pre	Post	Var.	Var.
1 Pool	247,0	288,0	16,6%	8,49%	9,66%	1,2%	80,21%	83,32%	3,1%	19,79%	16,68%	-3,1%	5,45	6,03	0,58	10,6%
2 Backwater	150,7	181,9	20,7%	5,18%	6,10%	0,9%										
3 Slow glide	417,7	377,4	-9,7%	14,36%	12,66%	-1,7%										
4 Fast glide	1258,4	1225,2	-2,6%	43,26%	41,09%	-2,2%										
5 Riffle trans	587,5	550,1	-6,4%	20,19%	18,45%	-1,7%										
6 Riffle	20,0	26,0	30,0%	0,69%	0,87%	0,2%										
7 Run	228,0	332,9	46,0%	7,84%	11,17%	3,3%										
8 Chute	0,0	0,0	-	0,00%	0,00%	0,0%										
Σύνολο	2909,28	2981,48	2,5%	0,00%	0,00%	0,00										



Εικόνα Π. 23. Υδρομορφολογικές Μονάδες που παρατηρούνται κατά τη φυσική παροχή Οκτωβρίου (6,15 m³/s)



Εικόνα Π. 24. Υδρομορφολογικές Μονάδες που παρατηρούνται κατά τη χαμηλή παροχή Οκτωβρίου (6,56 m³/s)

Πίνακας Π. 13. Ανάλυση Υδρομορφολογικών Μονάδων για τη φυσική και την τροποποιημένη ροή Οκτωβρίου

Τύπος ΥΜΜ	Επιφάνεια κάλυψης (m ²)			Ποσοστό κάλυψης (%)			H%			D%			Q			
	Pre	Post	Var.	Pre	Post	Var.	Pre	Post	Var.	Pre	Post	Var.	Pre	Post	Var.	Var.
1 Pool	300,0	308,0	2,7%	10,02%	10,18%	0,2%	83,69%	84,86%	1,2%	16,31%	15,14%	-1,2%	6,15	6,56	0,41	6,7%
2 Backwater	177,9	216,8	21,9%	5,95%	7,17%	1,2%										
3 Slow glide	325,6	265,8	-18,4%	10,88%	8,79%	-2,1%										
4 Fast glide	1215,0	1169,0	-3,8%	40,60%	38,64%	-2,0%										
5 Riffle trans	585,2	585,9	0,1%	19,55%	19,37%	-0,2%										
6 Riffle	34,0	31,9	-6,1%	1,14%	1,06%	-0,1%										
7 Run	354,9	447,6	26,1%	11,86%	14,80%	2,9%										
8 Chute	0,0	0,0	-	0,00%	0,00%	0,0%										
Σύνολο	2992,58	3025,11	1,1%	0,00%	0,00%	0,00										

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 2.2-1.	Συνοπτική παρουσίαση των Δεικτών Υδρολογικής Τροποποίησης και ενδεικτικές επιδράσεις στο οικοσύστημα.....	18
Πίνακας 2.2-2.	Συνοπτική παρουσίαση των Συνιστωσών Περιβαλλοντικών Ροών και ενδεικτικές επιδράσεις στο οικοσύστημα.....	21
Πίνακας 2.5-1.	Συντελεστής τραχύτητας manning για κάθε είδος υποστρώματος (προσαρμοσμένο από Benson & Dalrymple, Chow (1959), Julien (1995).....	36
Πίνακας 2.5-2.	Όρια βάθους και ταχύτητας βάσει των οποίων εφαρμόστηκε η ταξινόμηση των υδρομορφολογικών μονάδων. Εδώ, παρουσιάζονται σε κλάσεις τιμών προς διευκόλυνση του αναγνώστη.....	39
Πίνακας 2.5-3.	Πίνακας αλγορίθμων για την ταξινόμηση των εικονοστοιχείων στην κατάλληλη κατηγορία.....	41
Πίνακας 2.6-1.	Καταλληλότητα Μεσοενδιατημάτων (Υδρομορφολογικών Μονάδων) για κάθε στάδιο της πέστροφας.....	42
Πίνακας 2.6-2.	Βαθμός Επιπτώσεων (Habitat Impact Factor).....	43
Πίνακας 2.6-3.	Συντελεστής Εποχιακής Ευαισθησίας (Seasonal Sensitivity Scores) για κάθε στάδιο ανάπτυξης της πέστροφας και για κάθε μήνα.....	44
Πίνακας 2.6-4.	Σύγκριση της φυσικής ροής με τα σενάρια των οικολογικών παροχών των διαφόρων μεθοδολογιών.....	45
Πίνακας 3.1-1.	Μέση μηνιαία παροχή (διάμεσος τιμή), σύμφωνα με το λογισμικό IHA, για την περιοχή μελέτης.....	48
Πίνακας 3.1-2.	Χαρακτηριστικά υψηλών ροών ανά μελετώμενη περίοδο του υδρολογικού έτους.....	49
Πίνακας 3.1-3.	Χαρακτηριστικά χαμηλών ροών ανά μελετώμενη περίοδο του υδρολογικού έτους.....	49
Πίνακας 3.1-4.	Χαρακτηριστικά του καθεστώτος ροής (αριθμός αντιστροφών, σταθερότητα, προβλεψιμότητα) ανά μελετώμενη περίοδο του υδρολογικού έτους.....	50
Πίνακας 3.1-5.	Μέση μηνιαία χαμηλή ροή (διάμεσος τιμή), με το λογισμικό IHA.....	50
Πίνακας 3.1-6.	Προτεινόμενη οικολογική παροχή για τα τρία στάδια ανάπτυξης της πέστροφας μέσω του υδρο-οικολογικού εργαλείου ECOFLOW.....	53
Πίνακας 3.3-1.	Ωφέλιμες Επιφάνειες στη φυσική ροή.....	57
Πίνακας 3.3-2.	Βαθμός Ετερογένειας και Βαθμός Κυριαρχία.....	57
Πίνακας 3.3-3.	Βαθμός Ετερογένειας και Βαθμός Κυριαρχίας σε ποσοστά.....	57
Πίνακας 3.3-4.	Επιφάνεια ζωνών καταλληλότητα και ποσοστό κάλυψης στη φυσική ροή.....	58
Πίνακας 3.4-1.	Ωφέλιμες Επιφάνειες στις χαμηλές ροές.....	61
Πίνακας 3.4-2.	Βαθμός Ετερογένειας και Βαθμός Κυριαρχίας (χαμηλές ροές).....	61
Πίνακας 3.4-3.	Βαθμός Ετερογένειας και Βαθμός Κυριαρχίας σε ποσοστά (χαμηλές ροές).....	61
Πίνακας 3.4-4.	Επιφάνεια ζωνών καταλληλότητα και ποσοστό κάλυψης στις χαμηλές ροές.....	62
Πίνακας 3.4-5.	Βαθμός Ετερογένειας και Βαθμός Κυριαρχίας (υδρο-οικολογικό εργαλείο Ecoflow).....	66
Πίνακας 3.4-6.	Βαθμός Ετερογένειας και Βαθμός Κυριαρχίας σε ποσοστά (υδρο-οικολογικό εργαλείο Ecoflow).....	66
Πίνακας 3.4-7.	Ωφέλιμες Επιφάνειες (υδρο-οικολογικό εργαλείο Ecoflow).....	66
Πίνακας 3.4-8.	Επιφάνεια ζωνών καταλληλότητα και ποσοστό κάλυψης για το τροποποιημένο καθεστώς (υδρο-οικολογικό εργαλείο Ecoflow).....	67
Πίνακας 4.2-1.	Πίνακας Σχετικού Κινδύνου (Relative Risk Matrix) για τη σύγκριση της φυσικής ροής και των χαμηλών ροών που προτείνονται από το λογισμικό IHA.....	75
Πίνακας 4.2-2.	Πίνακας Σχετικού Κινδύνου (Relative Risk Matrix) για τη σύγκριση της φυσικής ροής και των χαμηλών ροών που προτείνονται από το υδρο-οικολογικό εργαλείο ECOFLOW.....	77
Πίνακας 4.2-3.	Πίνακας Σχετικού Κινδύνου (Relative Risk Matrix) για τη σύγκριση της βασικής ροής και της προτεινόμενης από τη νομοθεσία οικολογικής παροχής.....	79
Πίνακας 4.4-1.	Προτεινόμενες παροχές μέσω του υπολογισμού της Ωφέλιμης Επιφάνειας, των χαμηλών ροών και του υδρο-οικολογικού εργαλείου ecoflow.....	87
Πίνακας Π. 1.	Πίνακας προτεινόμενων παροχών (m ³ /s) βάσει των Ωφέλιμων Επιφανειών με σύνθετα κριτήρια.....	98

Πίνακας Π. 2.	Ανάλυση Υδρομορφολογικών Μονάδων για τη φυσική και την τροποποιημένη ροή Νοεμβρίου.....	101
Πίνακας Π. 3.	Ανάλυση Υδρομορφολογικών Μονάδων για τη φυσική και την τροποποιημένη ροή Δεκεμβρίου.....	102
Πίνακας Π. 4.	Ανάλυση Υδρομορφολογικών Μονάδων για τη φυσική και την τροποποιημένη ροή Ιανουαρίου.....	103
Πίνακας Π. 5.	Ανάλυση Υδρομορφολογικών Μονάδων για τη φυσική και την τροποποιημένη ροή Φεβρουαρίου.....	104
Πίνακας Π. 6.	Ανάλυση Υδρομορφολογικών Μονάδων για τη φυσική και την τροποποιημένη ροή Μαρτίου.....	105
Πίνακας Π. 7.	Ανάλυση Υδρομορφολογικών Μονάδων για τη φυσική και την τροποποιημένη ροή Απριλίου.....	106
Πίνακας Π. 8.	Ανάλυση Υδρομορφολογικών Μονάδων για τη φυσική και την τροποποιημένη ροή Μαΐου.....	107
Πίνακας Π. 9.	Ανάλυση Υδρομορφολογικών Μονάδων για τη φυσική και την τροποποιημένη ροή Ιουνίου.....	108
Πίνακας Π. 10.	Ανάλυση Υδρομορφολογικών Μονάδων για τη φυσική και την τροποποιημένη ροή Ιουλίου.....	109
Πίνακας Π. 11.	Ανάλυση Υδρομορφολογικών Μονάδων για τη φυσική και την τροποποιημένη ροή Αυγούστου.....	110
Πίνακας Π. 12.	Ανάλυση Υδρομορφολογικών Μονάδων για τη φυσική και την τροποποιημένη ροή Σεπτεμβρίου.....	111
Πίνακας Π. 13.	Ανάλυση Υδρομορφολογικών Μονάδων για τη φυσική και την τροποποιημένη ροή Οκτωβρίου.....	112

Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα 1.3-1.	Λειτουργική ταξινόμηση των ποταμών βάσει της κλίμακας (Frissell et al., 1986; Petts, 1984). (από Maddock, 1999).....	7
Εικόνα 1.3-2.	Φυσικό ενδιαίτημα, όπως ορίζεται από αλληλεπίδραση της γεωμορφολογίας και της υδρολογίας (ακριβής απόδοση από Maddock, 1999).....	8
Εικόνα 1.5-1.	Διάγραμμα ροής του προτεινόμενου μεθοδολογικού πλαισίου για την αξιολόγηση των μεθόδων εκτίμησης οικολογικής παροχής.....	11
Εικόνα 1.5-2.	Διάγραμμα ροής του προτεινόμενου μεθοδολογικού πλαισίου, ως απλού μοντέλου προσομοίωσης μεσοενδιαιτημάτων, για την εκτίμηση την εποχιακής οικολογικής παροχής.....	12
Εικόνα 2.1-1.	Η Λεκάνη Απορροής του Ποταμού Αχελώου και το σύστημα ταμειυτήρων (μελλοντικών και υφιστάμενων), στα πλαίσια του έργου εκτροπής του Αχελώου.....	13
Εικόνα 2.1-2.	Μηκοτομή υπό μελέτη τμήματος ποταμού.....	14
Εικόνα 2.2-1.	Καμπύλες καταλληλότητας (προτίμησης, χρήσης και τελικές) για τα τρία μεγέθη πέετροφας.....	23
Εικόνα 2.3-1.	Διάγραμμα προτεινόμενων παροχών μέσω της Ανάλυσης του Εύρους Μεταβλητότητας (μέση μηνιαία παροχή και υψηλοί παλμοί). Η σκιαγραφημένη περιοχή του διαγράμματος συμβολίζει την παροχή μεταξύ των ποσοστημορίων 25% και 75%. (Richter, et al., 2006).....	25
Εικόνα 2.3-2.	Καμπύλες δείκτη καταλληλότητας ενδιαιτήματος για (από πάνω προς τα κάτω) τη μικρή, τη μεσαία και τη μεγάλη πέετροφα. (πηγή: http://ecorplatform.mygis.gr/).....	26
Εικόνα 2.4-1.	Προκαταρκτικός χάρτης προκαταρκτικών οικοπεριφερειών εσωτερικών υδάτων της Ελλάδας.....	28
Εικόνα 2.4-2.	Διαμήκης ζώνωση των βιοτικών τύπων και των αβιοτικών τους χαρακτηριστικών.....	29
Εικόνα 2.4-3.	<i>Salmo farioides</i> (πηγή: www.ecoflow.gr).....	29
Εικόνα 2.5-1.	Περιοχή μελέτης κατάντη του φράγματος της Μεσοχώρας (θέαση προς τα ανάντη).....	35
Εικόνα 2.5-2.	Περιοχή μελέτης κατάντη του φράγματος της Μεσοχώρας (θέαση προς τα κατάντη).....	35

Εικόνα 3.1-1.	Σταθμισμένη Κατάλληλη Έκταση για τη μικρή πέστροφα με την εφαρμογή του Υδρο-οικολογικού εργαλείου ECOFLOW στην περιοχή μελέτης.....	51
Εικόνα 3.1-2.	Σταθμισμένη Κατάλληλη Έκταση για τη μεσαία πέστροφα με την εφαρμογή του Υδρο-οικολογικού εργαλείου ECOFLOW στην περιοχή μελέτης	52
Εικόνα 3.1-3.	Σταθμισμένη Κατάλληλη Έκταση για τη μεγάλη πέστροφα με την εφαρμογή του Υδρο-οικολογικού εργαλείου ECOFLOW στην περιοχή μελέτης	52
Εικόνα 3.2-1.	Διατομές κατά μήκος του υπό μελέτη τμήματος του ποταμού	53
Εικόνα 3.2-2.	Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους της περιοχής μελέτης	54
Εικόνα 3.3-1.	Υδρομορφολογικές μονάδες που παρατηρούνται κατά τη βασική ροή του ποταμού (4,38 m ³ /s)	55
Εικόνα 3.3-2.	Ζώνες καταλληλότητας ωοαπόθεσης για Νοέμβριο – Δεκέμβριο – Ιανουάριο.....	59
Εικόνα 3.4-1.	Ζώνες καταλληλότητας ωοαπόθεσης για Νοέμβριο – Δεκέμβριο – Ιανουάριο (τροποποιημένο καθεστώς).....	63
Εικόνα 3.4-2.	Υδρομορφολογικές μονάδες εφαρμόζοντας της βέλτιστη ελάχιστη οικολογική παροχή για τη μικρή πέστροφα με το υδρο-οικολογικό εργαλείου Ecoflow (3,55m ³ /s).....	64
Εικόνα 3.4-3.	Υδρομορφολογικές μονάδες εφαρμόζοντας της βέλτιστη ελάχιστη οικολογική παροχή για τη μεσαία πέστροφα με το υδρο-οικολογικό εργαλείου Ecoflow (5m ³ /s).....	65
Εικόνα 3.4-4.	Υδρομορφολογικές μονάδες εφαρμόζοντας της βέλτιστη ελάχιστη οικολογική παροχή για τη μεγάλη πέστροφα με το υδρο-οικολογικό εργαλείου Ecoflow (2,5m ³ /s).....	65
Εικόνα 3.4-5.	Ζώνες Καταλληλότητας Ωοαπόθεσης για βέλτιστη ελάχιστη οικολογική παροχή για την ενήλικη πέστροφα με το υδρο-οικολογικό εργαλείο Ecoflow	66
Εικόνα 3.4-6.	Αποτελέσματα της χαρτογράφησης των ΥΜΜ έπειτα από την εφαρμογή της οριζόμενης από τη νομοθεσία οικολογικής παροχής (2,725 m ³ /s).....	67
Εικόνα 3.4-7.	Κλάσεις βάθους (αριστερά) και πραγματικά βάθη (δεξιά) που παρατηρούνται στο μελετώμενο τμήμα του ποταμού έπειτα από την εφαρμογή της οριζόμενης από τη νομοθεσία οικολογικής παροχής (2,5 m ³ /s).....	68
Εικόνα 3.4-8.	Κλάσεις ταχύτητας (αριστερά) και πραγματικές ταχύτητες (δεξιά) που παρατηρούνται στο μελετώμενο τμήμα του ποταμού έπειτα από την εφαρμογή της οριζόμενης από τη νομοθεσία οικολογικής παροχής (2,5 m ³ /s).....	68
Εικόνα Π. 1.	Υδρομορφολογικές Μονάδες που παρατηρούνται κατά τη φυσική παροχή Νοεμβρίου (15,2 m ³ /s)	101
Εικόνα Π. 2.	Υδρομορφολογικές Μονάδες που παρατηρούνται κατά τη χαμηλή παροχή Νοεμβρίου (8,36 m ³ /s)	101
Εικόνα Π. 3.	Υδρομορφολογικές Μονάδες που παρατηρούνται κατά τη φυσική παροχή Δεκεμβρίου (29,9 m ³ /s)	102
Εικόνα Π. 4.	Υδρομορφολογικές Μονάδες που παρατηρούνται κατά τη χαμηλή παροχή Δεκεμβρίου (17,77 m ³ /s)	102
Εικόνα Π. 5.	Υδρομορφολογικές Μονάδες που παρατηρούνται κατά τη φυσική παροχή Ιανουαρίου (23,86 m ³ /s)	103
Εικόνα Π. 6.	Υδρομορφολογικές Μονάδες που παρατηρούνται κατά τη χαμηλή παροχή Ιανουαρίου (19,36 m ³ /s)	103
Εικόνα Π. 7.	Υδρομορφολογικές Μονάδες που παρατηρούνται κατά τη φυσική παροχή Φεβρουαρίου (32,93 m ³ /s).....	104
Εικόνα Π. 8.	Υδρομορφολογικές Μονάδες που παρατηρούνται κατά τη χαμηλή παροχή Φεβρουαρίου (23,34 m ³ /s).....	104
Εικόνα Π. 9.	Υδρομορφολογικές Μονάδες που παρατηρούνται κατά τη φυσική παροχή Μαρτίου (32,83 m ³ /s)	105
Εικόνα Π. 10.	Υδρομορφολογικές Μονάδες που παρατηρούνται κατά τη χαμηλή παροχή Μαρτίου (22,59 m ³ /s)	105
Εικόνα Π. 11.	Υδρομορφολογικές Μονάδες που παρατηρούνται κατά τη φυσική παροχή Απριλίου (33,98 m ³ /s)	106

Εικόνα Π. 12.	Υδρομορφολογικές Μονάδες που παρατηρούνται κατά τη χαμηλή παροχή Απριλίου (28,06 m ³ /s)	106
Εικόνα Π. 13.	Υδρομορφολογικές Μονάδες που παρατηρούνται κατά τη φυσική παροχή Μαΐου (22,46 m ³ /s)	107
Εικόνα Π. 14.	Υδρομορφολογικές Μονάδες που παρατηρούνται κατά τη χαμηλή παροχή Μαΐου (19,57 m ³ /s)	107
Εικόνα Π. 15.	Υδρομορφολογικές Μονάδες που παρατηρούνται κατά τη φυσική παροχή Ιουνίου (11,44 m ³ /s)	108
Εικόνα Π. 16.	Υδρομορφολογικές Μονάδες που παρατηρούνται κατά τη χαμηλή παροχή Ιουνίου (10,54 m ³ /s)	108
Εικόνα Π. 17.	Υδρομορφολογικές Μονάδες που παρατηρούνται κατά τη φυσική παροχή Ιουλίου (7,62 m ³ /s)	109
Εικόνα Π. 18.	Υδρομορφολογικές Μονάδες που παρατηρούνται κατά τη χαμηλή παροχή Ιουλίου (6,86 m ³ /s)	109
Εικόνα Π. 19.	Υδρομορφολογικές Μονάδες που παρατηρούνται κατά τη φυσική παροχή Αυγούστου (6,13 m ³ /s)	110
Εικόνα Π. 20.	Υδρομορφολογικές Μονάδες που παρατηρούνται κατά τη χαμηλή παροχή Αυγούστου (6,14 m ³ /s)	110
Εικόνα Π. 21.	Υδρομορφολογικές Μονάδες που παρατηρούνται κατά τη φυσική παροχή Σεπτεμβρίου (5,45 m ³ /s)	111
Εικόνα Π. 22.	Υδρομορφολογικές Μονάδες που παρατηρούνται κατά τη χαμηλή παροχή Σεπτεμβρίου (6,03 m ³ /s)	111
Εικόνα Π. 23.	Υδρομορφολογικές Μονάδες που παρατηρούνται κατά τη φυσική παροχή Οκτωβρίου (6,15 m ³ /s)	112
Εικόνα Π. 24.	Υδρομορφολογικές Μονάδες που παρατηρούνται κατά τη χαμηλή παροχή Οκτωβρίου (6,56 m ³ /s)	112

Ευρετήριο Σχημάτων

Σχήμα 2.2-1.	Καμπύλη διάρκειας ημερήσιων παροχών για το σύνολο των δεδομένων για την περιοχή κατάντη του φράγματος Μεσοχώρας, όπως παράχθηκε με το εργαλείο Πυθία του λογισμικού Υδρογνώμον.	16
Σχήμα 2.2-2.	Γραμμική σχέση των δεδομένων απορροής στη ΛΑΠ Αυλακίου και τη ΛΑΠ Μεσοχώρας... ..	17
Σχήμα 2.2-3.	Γραμμική σχέση των δεδομένων απορροής στη ΛΑΠ Κρεμαστών και ΛΑΠ Αυλακίου	17
Σχήμα 2.2-4.	Σύγκριση παραμετρικής (μέσοι όροι μηνιαίων παροχών) και μη παραμετρικής ανάλυσης (διάμεσες παροχές)	18
Σχήμα 2.5-1.	Αποτελέσματα του ψευδο-δισδιάστατου υδραυλικού μοντέλου στη δεύτερη από τα ανάντη διατομή.	36
Σχήμα 2.5-2.	Όρια βάθους και ταχύτητας για τη χαρτογράφηση των υδρομορφολογικών μονάδων	39
Σχήμα 2.5-3.	Όρια βάθους και ταχύτητας για τη χαρτογράφηση των ζωνών καταλληλότητας για την ωσαπόθεση	40
Σχήμα 3.1-1.	Συνιστώσες περιβαλλοντικών ροών στο φράγμα της Μεσοχώρας ενδεικτικά για το έτος 1982.	47
Σχήμα 3.1-2.	Μέση μηνιαία παροχή (διάμεσος τιμή) και μηνιαίες χαμηλές ροές, σύμφωνα με το λογισμικό ΙΗΑ, για την περιοχή μελέτης	48
Σχήμα 3.1-3.	Διάγραμμα προτεινόμενων παροχών μέσω της Ανάλυσης του Εύρους Μεταβλητότητας (μέση μηνιαία παροχή).	51
Σχήμα 4.3-1.	Ποσοστό των Υδρομορφολογικών Μονάδων ως προς τη συνολική βρεχόμενη επιφάνεια για όλα τα σενάρια παροχών (1,5 - 33,98 m ³ /s)	81
Σχήμα 4.3-2.	Συνολική επιφάνεια κάθε κατηγορίας ΥΜΜ συναρτήσει της παροχής για όλα τα σενάρια παροχών (1,5 - 33,98 m ³ /s)	82

Σχήμα 4.3-3.	Συνολική επιφάνεια κάθε κατηγορίας ΥΜΜ συναρτήσει της παροχής για τις χαμηλές παροχές (<15m ³ /s)	83
Σχήμα 4.3-4.	Συνολική επιφάνεια κάθε κατηγορίας ΥΜΜ συναρτήσει της παροχής για τις υψηλές παροχές (>15m ³ /s)	83
Σχήμα 4.3-5.	Ωφέλιμη Επιφάνεια (m ²) για κάθε στάδιο της πέστροφας συναρτήσει της παροχής	84
Σχήμα 4.3-6.	Δείκτης ετερογένειας H και δείκτης Κυριαρχίας D, εκφρασμένοι ως ποσοστά, συναρτήσει της παροχής.	85
Σχήμα 4.4-1.	Ποσοστιαία μείωση μεταξύ των προτεινόμενων παροχών μέσω του υπολογισμού των Ωφέλιμων Επιφανειών σε σχέση με τις φυσικές παροχές ανά μήνα.....	88
Σχήμα 4.4-2.	Μηνιαίες παροχές, όπως προτείνονται από τις διάφορες μεθοδολογίες.....	89