



ΘΕΜΑΤΑ ΔΑΣΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ  
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

**Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Πόρων**

4<sup>ος</sup>  
Τόμος

Επιμέλεια  
Φώτιος Π. Μάρης  
Επίκουρος Καθηγητής

**ΠΕΡΙΟΔΙΚΗ ΕΚΔΟΣΗ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΔΑΣΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ  
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΤΟΥ Δ.Π.Θ.**

**Θέματα Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων**

*4<sup>ος</sup> Τόμος: Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Πόρων*

**Περιοδική Έκδοση Τμήματος Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και  
Φυσικών Πόρων του Δημοκρίτειου Πανεπιστημίου Θράκης**

**Επιμέλεια:** Φώτιος Π. Μάρης, Επίκ. Καθηγητής

**Σελιδοποίηση:** Γεώργιος Χ"Λαζάρου, Δασολόγος, Δ.Π.Θ.

**ISSN:** 1791-7824

**ISBN:** 978-960-9698-05-4

**Copyright © 2012**

Τμήμα Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων,  
Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, Ορεστιάδα

Εκτύπωση: Χρυσή Εμμανουηλίδου, Μεθόριος Γραφικές Τέχνες Α.Ε.,  
Τέρμα Ιπποκράτους, 68200 Ορεστιάδα

**Ημερομηνία έκδοσης:** Νοέμβριος 2012

## Αντί Προλόγου

Σύμφωνα με το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Κλιματικής Αλλαγής, το νερό είναι ένας ανανεώσιμος αλλά περιορισμένος πόρος. Τα παγκόσμια αποθέματα γλυκού νερού ανανεώνονται μέσω του υδρολογικού κύκλου, ωστόσο η διαθέσιμη ποσότητα νερού είναι περιορισμένη και η κατανομή του στον χώρο και τον χρόνο άνιση. Περαιτέρω περιορισμό στη διαθεσιμότητα του νερού δημιουργεί και η ρύπανσή του από ανθρωπογενείς δραστηριότητες (αστικές, βιομηχανικές, γεωργικές).

Το νερό δεν είναι ένα εμπόρευμα, όπως όλα τα άλλα, όμως δεν αποτελεί και ένα δημόσιο αγαθό, στο οποίο η πρόσβαση μπορεί να είναι ανεξέλεγκτη. Απαιτεί συνετή διαχείριση, με στόχο την ικανοποίηση των πολλών και συχνά αντικρουόμενων χρήσεών του. Για την επίτευξη μιας συνετής διαχείρισης είναι απαραίτητη μια ολοκληρωμένη προσέγγιση που δεν αντιμετωπίζει τις εκάστοτε χρήσεις αποσπασματικά, αλλά σε αλληλεξάρτηση μεταξύ τους. Μια προσέγγιση που επί πλέον λαμβάνει σοβαρά υπόψη, όχι μόνο τις ανθρώπινες απαιτήσεις σε νερό, αλλά και τις απαιτήσεις των οικοσυστημάτων.

Η συνεχής αύξηση των πιέσεων στο υδατικό περιβάλλον καθιστά αναγκαία την εφαρμογή βιώσιμων πολιτικών ανάπτυξης και διαχείρισης των υδατικών πόρων, μέσω σχεδιασμού, υλοποίησης και βέλτιστης λειτουργίας έργων υποδομής και παρεμβάσεων διαχείρισης τόσο της προσφοράς όσο και της ζήτησης, πχ. μέσω μέτρων εξοικονόμησης και επαναχρησιμοποίησης του νερού.

Μια ορθολογική πολιτική ανάπτυξης οφείλει επίσης να λαμβάνει υπ' όψη της και τη διαχείριση ακραίων φαινομένων και κρίσεων όπως τα προβλήματα λειψυδρίας και πλημμυρών αλλά και πιο μακροπρόθεσμους περιβαλλοντικούς στόχους, όπως η σε βάθος χρόνου προστασία των νερών και των σχετιζόμενων με αυτά οικοσυστημάτων, η βελτίωση της ποιότητας και της οικολογικής τους κατάστασης και βέβαια η σταδιακή μείωση απορριπτόμενων ρυπαντικών ουσιών και η προοδευτική εξάλειψη τοξικών αποβλήτων.

Ειδικότερα για την Ελλάδα αξίζει να σημειωθεί, ότι η χώρα μας είναι μία σχετικά ευνοημένη υδρολογικά χώρα της Μεσογείου, αν και η αναντιστοιχία της χρονικής και κυρίως χωρικής κατανομής των βροχοπτώσεων με τις χρονικές και χωρικές κατανομές της ζήτησης έχουν δημιουργήσει στο παρελθόν και εξακολουθούν να δημιουργούν προβλήματα έλλειψης νερού, ιδιαίτερα σε περιόδους ανομβρίας.

Ο τόμος αυτός είναι μια πρωτοβουλία του Εργαστηρίου Διευθέτησης Ορεινών Υδάτων και Διαχείρισης Κινδύνου του Τμήματος Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων του Δημοκρίτειου Πανεπιστημίου Θράκης στα πλαίσια της συμπλήρωσης δέκα χρόνων λειτουργίας του. Θα αποτελέσει τον 4<sup>ο</sup> τόμο της σειράς «Θέματα Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων» που εκδίδει το Τμήμα.

Στο τόμο αυτό περιλαμβάνονται ερευνητικές και συνθετικές εργασίες του διδακτικού προσωπικού, των μεταπτυχιακών φοιτητών του εργαστηρίου καθώς και άλλων ειδικών επιστημόνων που δραστηριοποιούνται στον ευρύτερο χώρο της διαχείρισης των υδατικών πόρων. Όλες οι εργασίες αξιολογήθηκαν από ανεξάρτητους κριτές, τους οποίους και ευχαριστούμε θερμά.

Ορεστιάδα, Νοέμβριος 2012

Φώτιος Π. Μάρης, Επίκ. Καθηγητής



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>Φώτιος Μάρης και Γεώργιος Καράτζιος</b> ΕΛΕΥΘΕΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΔΙΕΥΘΕΤΗΣΗΣ ΛΕΚΑΝΩΝ ΑΠΟΡΡΟΗΣ (TORRENTIAL- MIK) ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ	1
<b>Φώτιος Μάρης, Γεωργία Βαρσάμη, Αντώνιος Παύλου και Απόστολος Βασιλείου</b> ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΣΤΙΓΜΙΑΙΟΥ ΜΟΝΑΔΙΑΙΟΥ ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑΤΟΣ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ CLARK ΚΑΙ Γ.Σ.Π.	29
<b>Γεώργιος Ζαΐμης</b> Η ΠΡΑΝΙΚΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΚΑΙ Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΗΣ	41
<b>Κυριακή Κιτικίδου, Ιωάννης Γκουγκουρέλας και Γεώργιος Χατζηλαζάρου</b> ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΤΟΥ ΣΤΑΘΕΡΟΥ ΟΡΟΥ ΣΕ ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΟΛΛΑΠΛΗΣ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ ΩΣ ΔΕΙΚΤΗ ΒΑΣΙΚΗΣ ΡΟΗΣ	59
<b>Βασίλειος Παπαθανασίου, Διονύσιος Μαρίνος, Κυριάκος Τσεμπερίδης και Γρηγόρης Βάρρας</b> ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΑΝΤΙΠΥΡΙΚΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΛΙΜΝΟΔΕΞΑΜΕΝΗΣ ΛΑΪΛΙΑ ΣΕΡΡΩΝ	65
<b>Θεοφάνης Παυλίδης, Χαρίσιος Γκανάτσιος, Αικατερίνη Κάλφα και Βασίλειος Παπαθανασίου</b> ΤΑ ΧΙΟΝΟΛΟΓΙΚΑ, ΜΟΡΦΟΤΕΧΝΙΚΑ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΤΙΚΩΝ ΧΙΟΝΟΔΡΟΜΙΚΩΝ ΚΕΝΤΡΩΝ ΤΗΣ ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	77
<b>Χαρίσιος Γκανάτσιος, Γρηγόρης Βάρρας, Αικατερίνη Κάλφα, Βασίλειος Παπαθανασίου και Κυριάκος Τσεμπερίδης</b> ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥ ΒΑΘΜΟΥ ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗΣ ΤΩΝ ΥΔΡΟΝΟΜΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΣΤΟ ΦΥΣΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	91
<b>Γρηγόρης Βάρρας, Χαρίσιος Γκανάτσιος, Αικατερίνη Κάλφα και Θεοφάνης Παυλίδης</b> Η ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΩΝ ΞΗΡΟΛΙΘΙΝΩΝ ΑΝΑΒΑΘΜΩΝ ΣΤΟ ΦΥΣΙΚΟ ΚΑΙ ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΕΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΥΔΡΟΝΟΜΙΚΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΕΛΛΑΔΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ	105
<b>Γρηγόρης Βάρρας, Θεοφάνης Παυλίδης, Χαρίσιος Γκανάτσιος και Αικατερίνη Κάλφα</b> ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗΣ ΤΩΝ ΠΕΤΡΙΝΩΝ ΤΟΞΩΤΩΝ ΓΕΦΥΡΙΩΝ ΤΟΥ ΕΛΛΑΔΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ ΣΤΟ ΦΥΣΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	121

<b>Αικατερίνη Κάλφα, Θεοφάνης Παυλίδης, Χαρίσιος Γκανάτσιος, και Βασίλειος Παπαθανασίου</b> ΥΔΑΤΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΚΑΙ ΤΑΜΙΕΥΤΙΚΕΣ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΤΗΣ ΑΝΩΤΕΡΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΟΥ ΧΕΙΜΑΡΡΟΥ ΜΥΡΙΧΟΥ	137
<b>Βασίλειος Παπαθανασίου, Θεοφάνης Παυλίδης, Χαρίσιος Γκανάτσιος και Αικατερίνη Κάλφα</b> ΤΑ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ - ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ Η ΑΝΤΙΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΩΝ ΑΝΤΙΠΛΗΜΜΥΡΙΚΩΝ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΧΕΙΜΑΡΡΟΥ ΜΑΓΕΙΡΟΥ	149
<b>Χαρίσιος Γκανάτσιος, Βασίλειος Παπαθανασίου, Αικατερίνη Κάλφα, Κυριάκος Τσεμπερίδης, Θεοφάνης Παυλίδης και Βασίλειος Παυλίδης</b> ΤΑ ΑΞΟΝΙΚΑ – ΠΡΑΝΙΚΑ ΔΙΑΒΡΩΤΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΜΙΑΣ ΜΕΤΡΙΑΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΚΟΙΤΗ ΤΟΥ ΧΕΙΜΑΡΡΟΥ ΦΟΥΡΚΑΣ	161
<b>Θεοφάνης Παυλίδης, Χαρίσιος Γκανάτσιος, Αικατερίνη Κάλφα και Βασίλειος Παπαθανασίου</b> ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΝΑΚΑΜΨΗΣ ΤΟΥ ΥΠΟΒΑΘΜΙΣΜΕΝΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΤΥΜΠΑΚΙΟΥ ΜΕ ΦΡΑΓΜΑΤΑ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΥ ΣΤΟ ΧΕΙΜΑΡΡΟ ΜΑΓΕΙΡΟ	179
<b>Διονύσιος Μαρίνος, Κυριάκος Τσεμπερίδης και Βασίλειος Παπαθανασίου</b> ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ (ΚΑΤΑΚΡ.) ΣΤΙΣ ΥΔΑΤΙΚΕΣ ΑΠΟΡΡΟΕΣ ΤΩΝ ΧΕΙΜΑΡΡΩΝ: Χ. ΕΖΟΒΙΤΗΣ ΚΕΡΔΥΛΙΟΥ ΟΡ. ΣΕΡΡΩΝ (ΣΥΜΒΑΛ. ΟΡΕΣΚΕΙΑΣ & ΔΑΦΝΗΣ)	191
<b>Φώτιος Μάρης, Απόστολος Βασιλείου, Γεωργία Βαρσάμη και Αντώνιος Παύλου</b> ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΣΤΟ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΤΗΣ ΓΕΡΜΑΣΟΓΙΑΣ ΚΥΠΡΟΥ	201
<b>Αικατερίνη Κάλφα, Χαρίσιος Γκανάτσιος, Βασίλειος Παπαθανασίου, Θεοφάνης Παυλίδης, και Κυριάκος Τσεμπερίδης</b> ΟΙ ΥΔΑΤΟΣΤΕΡΕΟΜΕΤΑΦΟΡΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΙ Η ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΧΕΙΜΑΡΡΟΥ ΜΥΡΙΧΟΥ	211
<b>Σπυρίδων Παπαρρίζος, Θεόφιλος Αναστασίου και Σίμος Ποτουρίδης</b> ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΜΕΣΗΣ ΕΤΗΣΙΑΣ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΑΠΩΛΕΙΑΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΡΙΩΝ ΕΜΠΕΙΡΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΚΑΙ ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ ΤΩΝ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ. Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΩΝ ΧΕΙΜΑΡΡΩΝ ΤΣΑΙ, ΒΑΘΥ, ΛΥΚΟΡΡΕΜΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥΠΟΛΗΣ	229







## ΕΛΕΥΘΕΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΔΙΕΥΘΕΤΗΣΗΣ ΛΕΚΑΝΩΝ ΑΠΟΡΡΟΗΣ (TORRENTIAL-MIK) ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ

### Φώτιος Μάρης

Επίκουρος Καθηγητής, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης  
Τμήμα Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων  
Εργαστήριο Διευθέτησης Ορεινών Υδάτων και Διαχείρισης Κινδύνου  
Πανταζίδου 193, 68200 Ορεστιάδα,  
e-mail: [fmaris@fmenr.duth.gr](mailto:fmaris@fmenr.duth.gr)

### Γεώργιος Καρατζιος

M<sub>sc</sub> Δασολόγος, Δασαρχείο Κόνιτσας  
Προϊστάμενος Τμήματος Δασοτεχνικών Έργων  
44100 Κόνιτσα

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία αφορά τη δημιουργία προγράμματος ανοικτού λογισμικού με την χρήση των γλωσσών προγραμματισμού JavaScript και Html, για την ολοκληρωμένη μελέτη και διευθέτηση των λεκανών απορροής (Torrential-MIK) με γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών. Το ανωτέρω πρόγραμμα εκτελείται απευθείας από τον φυλλομετρητή (browser) του χρήστη και για την εγκατάστασή του δεν απαιτούνται ιδιαίτερες γνώσεις Η/Υ. Το πρόγραμμα διεκπεραιώνει υδραυλικούς υπολογισμούς και χαρτογραφικές εργασίες σε περιβάλλον γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών με αντικειμενικό σκοπό να γίνει απαραίτητο εργαλείο σε κάθε ερευνητή ή μελετητή στα πλαίσια εκπόνησης ολοκληρωμένων μελετών διευθέτησης ορεινών λεκανών. Ως περιοχή εφαρμογής επιλέχθηκε η περιοχή ευθύνης του Δασαρχείου Κόνιτσας, η έκταση της οποίας ανέρχεται σε 1.000,00 km<sup>2</sup> περίπου. Επιλέχθηκαν λοιπόν και μελετήθηκαν 24 λεκάνες απορροής συνολικής έκτασης 540,224 Km<sup>2</sup>. Με την χρήση του προγράμματος, χαρτογραφήθηκαν οι ανωτέρω λεκάνες απορροής και αποτυπώθηκαν οι διαβρώσεις και τα υφιστάμενα τεχνικά έργα. Έγινε ο υπολογισμός των μορφομετρικών χαρακτηριστικών των λεκανών απορροής και υπολογίστηκαν επίσης οι παροχές και οι στερεοπαροχές τους. Με την χρήση του Torrential-MIK θα δημιουργηθεί μια εύχρηστη βάση δεδομένων του συνόλου των μορφομετρικών και υδρογραφικών χαρακτηριστικών των χειμαρρικών ρευμάτων της Ελλάδας καθώς και κάθε άλλης πληροφορίας που θα μας δίνει την δυνατότητα πλήρους εικόνας της κάθε περιοχής έρευνας.

**Λέξεις κλειδιά:** *Torrential MIK, ανοικτό λογισμικό, διευθέτηση λεκανών απορροής.*

## **Εισαγωγή**

Το Torrential-MIK είναι ένα νέο πληροφοριακό σύστημα ολοκληρωμένης μελέτης διευθέτησης λεκανών απορροής το οποίο δημιουργήθηκε από το Εργαστήριο Διευθέτησης Ορεινών Υδάτων & Διαχείρισης Κινδύνου, του Τμήματος Δασολογίας & Διαχείρισης Περιβάλλοντος & Φυσικών Πόρων, του Δημοκρίτειου Πανεπιστημίου Θράκης και χρησιμοποιεί τις γλώσσες προγραμματισμού JavaScript και Html καθώς και φύλλα στυλ CSS. Δεν απαιτεί καμία εγκατάσταση και εκτελείται απευθείας από τον Browser του Η/Υ. Το τμήμα του προγράμματος που αφορά τα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών (GIS) βασίζεται στα Open Layers, τα οποία επίσης βασίζονται στην Java Script. Είναι πρόγραμμα ανοιχτού κώδικα, που σημαίνει ότι ο πηγαίος κώδικας είναι άμεσα προσπελάσιμος και μπορεί να τροποποιηθεί από οποιονδήποτε. Το πρόγραμμα τρέχει σε Η/Υ τόσο με λειτουργικό σύστημα windows όσο και linux. Όλες οι εργασίες του προγράμματος εκτελούνται απευθείας από τον Browser του χρήστη, με σύνδεση στο διαδίκτυο (cloud computing). Απαιτείται η χρήση Browser με πυρήνα Gecko, Presto και Webkit (Mozilla Firefox, Opera, Safari, Sea Monkey, Lunascape, Epic, κ.λ.π). Στον Browser της Opera, απαιτούνται επιπλέον ρυθμίσεις. Το τμήμα του προγράμματος που αφορά το GIS (open layers), δεν εκτελείται από τον Internet Explorer (Microsoft) και τον Chrome (Google). Στο GIS του προγράμματος μπορούν να εισαχθούν διανυσματικά αρχεία συσκευών GPS (gpx) καθώς και αρχεία του προγράμματος Google Earth (kml). Εξάγονται αρχεία gpx, kml, atom και αρχεία scr (Autocad).

Το πρόγραμμα συνεργάζεται με τα σημαντικότερα γνωστά προγράμματα GIS, όπως:

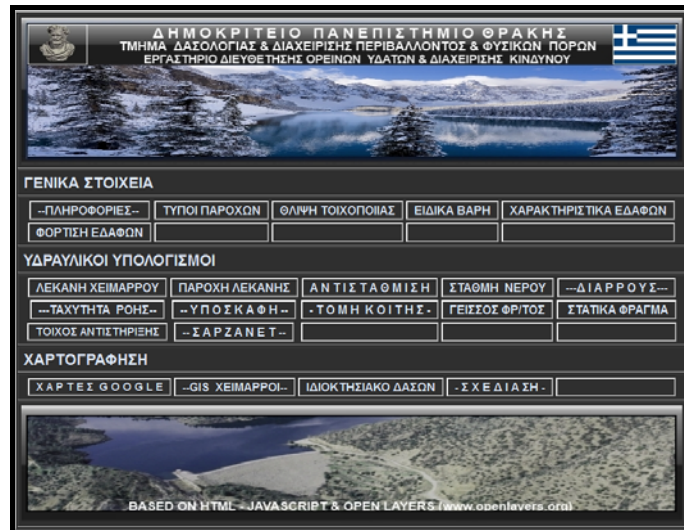
- Quantum GIS
- Arc GIS και
- AutoCAD Map.

Σκοπός του προγράμματος ανοικτού ανοιχτού λογισμικού Torrential-MIK είναι η διεκπεραίωση από τον χρήστη των σημαντικότερων υδραυλικών υπολογισμών και εργασιών χαρτογράφησης που απαιτούνται για την σύνταξη των μελετών διευθέτησης των λεκανών απορροής.

## **Το πληροφοριακό σύστημα ολοκληρωμένης μελέτης διευθέτησης ορεινών λεκανών (Torrential- M I K )**

### **Γλώσσα Προγραμματισμού**

Η σύνταξη του προγράμματος βασίστηκε στον συνδυασμό δύο γλωσσών προγραμματισμού, της Html και JavaScript. Στο τμήμα του προγράμματος που αφορά τις εργασίες χαρτογράφησης, χρησιμοποιήθηκαν πέραν των ανωτέρω γλωσσών και τα OpenLayers, τα οποία βασίζονται επίσης στην γλώσσα JavaScript. Το πρόγραμμα μπορεί να εκτελεστεί από όλους τους σύγχρονους browser, οι οποίοι βασίζονται σε μηχανή Gecko, Presto και Webkit, στους οποίους είναι ενεργοποιημένο το χαρακτηριστικό XMLHttpRequest.



Εικόνα 1. Το πρόγραμμα Torrential-MIK.

## Οι λειτουργίες του προγράμματος

Στο πρόγραμμα διεκπεραιώνονται οι παρακάτω υπολογισμοί και εργασίες :

- Υδραυλικοί Υπολογισμοί
  - α. Ο υπολογισμός των μορφολογικών στοιχείων των λεκανών απορροής (έκταση, περίμετρος, μέσο υψόμετρο, μέση κλίση, βαθμός στρωγυλομορφίας, κ.α.)
  - β. Ο υπολογισμός της παροχής και της στερεοπαροχής χειμάρρου
  - γ. Ο υπολογισμός της ταχύτητας ροής
  - δ. Ο υπολογισμός της κλίσης αντιστάθμισης
  - ε. Ο υπολογισμός της στάθμης νερού του χειμάρρου
  - στ. Ο υπολογισμός των γεωμετρικών στοιχείων του διάρρου φράγματος
  - η. Ο υπολογισμός των γεωμετρικών στοιχείων και του οπλισμού του γείσου φράγματος
  - θ. Ο στατικός υπολογισμός φράγματος βαρύτητας
  - ι. Ο στατικός υπολογισμός τοίχου αντιστήριξης
  - κ. Ο στατικός υπολογισμός συρματοπλεκτων τοίχων (σαρζανέτ).
- Χαρτογράφηση
  - α. Η αποτύπωση των ορίων της περιοχής ευθύνης Δασαρχείου
  - β. Η αποτύπωση του δασικού και επαρχιακού οδικού δικτύου
  - γ. Η αποτύπωση της τομής της κοίτης χειμάρρου
  - δ. Η εμφάνιση ιδιοκτησιακού χάρτη
  - ε. Η αποτύπωση του υδρογραφικού δικτύου
  - στ. Η αποτύπωση των υδροκριτών των λεκανών απορροής χειμάρρων
  - η. Η αποτύπωση των διαβρώσεων γενικά
  - θ. Η αποτύπωση των υπαρχόντων τεχνικών έργων στις κοίτες των χειμάρρων
  - ι. Η προβολή σε χάρτη των υδραυλικών υπολογισμών
  - κ. Η συνεργασία με γνωστά προγράμματα χαρτογράφησης και GIS
  - λ. Η δημιουργία βάσης δεδομένων για την αποθήκευση και επεξεργασία των ανωτέρω στοιχείων.

## **Η χρήση του προγράμματος**

Το πρόγραμμα Torrential-MIK μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην δημιουργία χαρτών υδρογραφικών δικτύων, πληροφοριακών στοιχείων λεκανών απορροής, διαβρώσεων, χαρτών ιδιοκτησιακού καθεστώτος δασών και δασικών εκτάσεων, χαρτών προστατευόμενων περιοχών, κ.α.

Με το πρόγραμμα γίνονται επίσης οι βασικότεροι υδραυλικοί υπολογισμοί που απαιτούνται κατά την διαδικασία της σύνταξης μελετών διευθέτησης των λεκανών απορροής χειμάρρων. Επίσης μπορεί να σχεδιάσει την οριζοντιογραφία του ρέματος που μελετάται, την τομή και την όψη φράγματος βαρύτητας, τοίχου αντιστήριξης και συρματόπλεκτων κιβωτίων. Τέλος είναι το μοναδικό πρόγραμμα στην Ελλάδα που μπορεί να κάνει υπολογισμό του απαραίτητου σπλισμού των παραπάνω υδρονομικών έργων.

Όλα τα ανωτέρω διανυσματικά αρχεία μπορούν να εξαχθούν σε γνωστά GIS προγράμματα όπως ArcGIS, Quantum GIS, AutoCAD Map, κ.λ.π.

## **Εγκατάσταση και λειτουργία του προγράμματος**

### **Εγκατάσταση σε Η/Υ**

Ο φάκελος “FRAGMA PROGRAM” που περιέχει όλα τα αρχεία του προγράμματος, επικολλείται στον σκληρό δίσκο του Η/Υ (C:\). Στην επιφάνεια εργασίας του Η/Υ, δημιουργούμε φάκελο τον οποίο ονομάζουμε “TOR\_MIK”.

Εντός του φακέλου “TOR\_MIK” τοποθετούμε:

1. συντόμευση του αρχείου “FRAGMA.html” και
2. συντόμευση του φακέλου GIS ώστε να έχουμε άμεση πρόσβαση στα αρχεία του GIS.

### **Εκτέλεση από USB Flash Disc**

Εκτελείται απ’ ευθείας το αρχείο “FRAGMA.html”. Για την πρόσβαση στα αρχεία του GIS ακολουθείται η διαδρομή FRAGMA PROGRAM => OpenLayers 2.8 => GIS.

### **Μελλοντικές αναβαθμίσεις και προσθήκες**

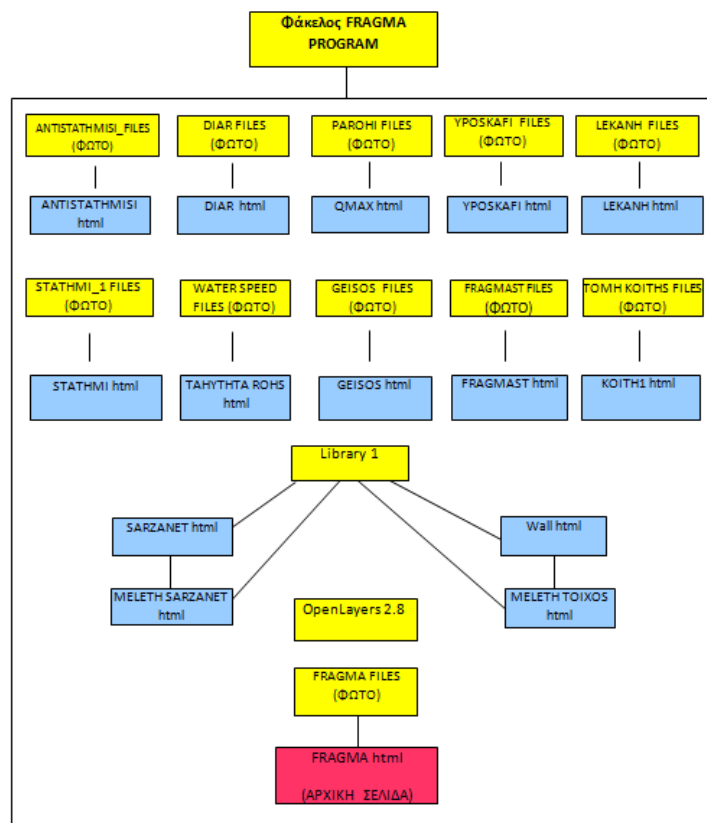
Το πρόγραμμα θα αναβαθμίζεται τακτικά (σε ετήσια βάση), ώστε να συμπεριλαμβάνονται όλες οι μελλοντικές αναβαθμίσεις που αφορούν τα Open Layers. Στην παρούσα έκδοση του προγράμματος Torrential-MIK περιλαμβάνεται η τελευταία έκδοση των Open Layers (version 2.12). Στο μέλλον αναμένεται να προστεθούν προηγμένες λειτουργίες της Java Script, που αφορούν την προβολή αρχείων πολυμέσων (αρχεία φωτογραφιών, βίντεο, κ.α.). Στον στατικό υπολογισμό των τοίχων αντιστήριξης, μελλοντικά θα προστεθεί και η σεισμική δύναμη, σύμφωνα με την μέθοδο Monopobe - Okabe, που έχει ευρεία εφαρμογή σήμερα. Θα προστεθεί επίσης εργαλείο ελέγχου δεδομένων διατομών κοίτης χειμάρρων, ως προς την δυνατότητα τους να παροχετεύουν τα πλημμυρικά ύδατα ακραίων φαινομένων.

## Αρχιτεκτονική του προγράμματος

Το αρχείο “FRAGMA.html” είναι η ιστοσελίδα στην οποία εμφανίζεται το μενού του προγράμματος. Ο φάκελος “FRAGMA PROGRAM” περιέχει όλα τα αρχεία του προγράμματος. Ο φάκελος “OpenLayers 2.8” περιέχει όλα τα αρχεία του GIS.

## Δομή προγράμματος

Η βασική αρχιτεκτονική δομή του προγράμματος παρουσιάζεται αναλυτικά σε δένδροειδές διάγραμμα στο σχήμα 1:



**Σχήμα 1.** Η δομή του προγράμματος *Torrential-MIK*.

Οι σημαντικότερες λειτουργίες του προγράμματος παρατίθενται στον πίνακα 1 που ακολουθεί.

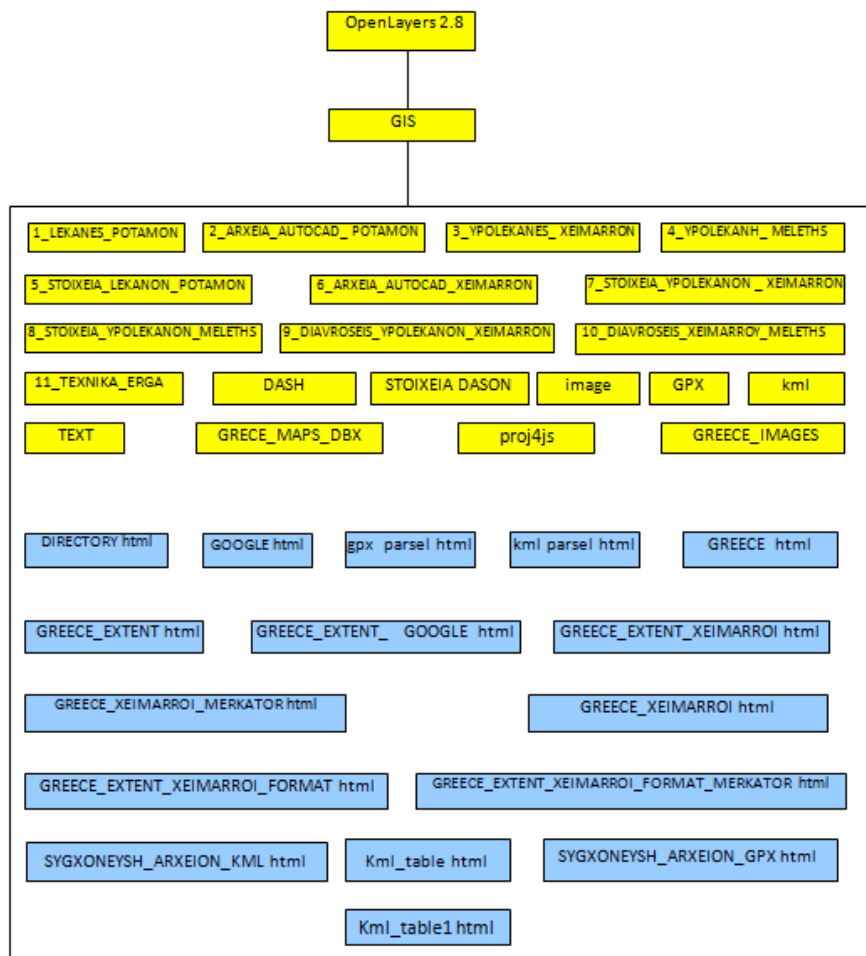
**Πίνακας 1.** Οι σημαντικότερες λειτουργίες του προγράμματος *Torrential-MIK*.

A/A	Αρχείο html	Λειτουργία που εκτελείται
1	FRAGMA.html	Αρχική σελίδα
2	ANTISTATMISI.html	Υπολογίζεται η κλίση αντιστάθμισης & ισοροπίας στην κοίτη χειμάρρου
3	DIAR.html	Υπολογίζονται οι διαστάσεις του διάρρου φράγματος και η τομή εξάγεται στο AUTOCAD
4	QMAX.html	Υπολογίζονται η παροχή και η στερεοπαροχή χειμάρρου
5	YPOSKAFI.html	Υπολογίζονται το μήκος και το βάθος της υποσκαφής στο θεμέλιο φράγματος
6	LEKANHI.html	Υπολογίζονται το μέσο υψόμετρο και η μέση κλίση λεκάνης απορροής

7	STATHMI.html	Υπολογίζεται η στάθμη του νερού στην κοίτη χειμάρρου
8	TAHYTHTA ROHS.html	Υπολογίζονται η ταχύτητα ροής και η μέση παροχή ρέματος με ομοιόμορφη ροή
9	GEISOS.html	Υπολογίζονται οι διαστάσεις και ο απαιτούμενος σπλισμός του γείσου φράγματος
10	FRAGMAST.html	Στατικός υπολογισμός φράγματος βαρύτητας. Σχεδιάζεται η τομή και εξάγεται στο AUTOCAD
11	KOITHI.html	Σχεδιάζεται η τομή της κοίτης χειμάρρου και εξάγεται στο AUTOCAD
12	Wall.html	Στατικός υπολογισμός τοίχου αντιστήριξης
13	SARZANET.html	Στατικός υπολογισμός συρματόπλεκτου τοίχου
14	MELETH TOIXOS.html	Υπολογίζονται οι ποσότητες των εργασιών που απαιτούνται για την κατασκευή τοίχου αντιστήριξης
15	MELETH SARZANET.html	Υπολογίζονται οι ποσότητες των εργασιών που απαιτούνται για την κατασκευή συρματόπλεκτου τοίχου

## Η δομή GIS

Η δομή του GIS βασίζεται στη λειτουργία που όλα τα αρχεία html αλληλεπιδρούν και φορτώνουν δεδομένα από τους φακέλους που αποτελούν τη βάση δεδομένων του προγράμματος. Η δομή του GIS παρουσιάζεται στο σχήμα 2 ενώ τα περιεχόμενα των φακέλων και οι λειτουργίες του GIS στους πίνακες 2 & 3.

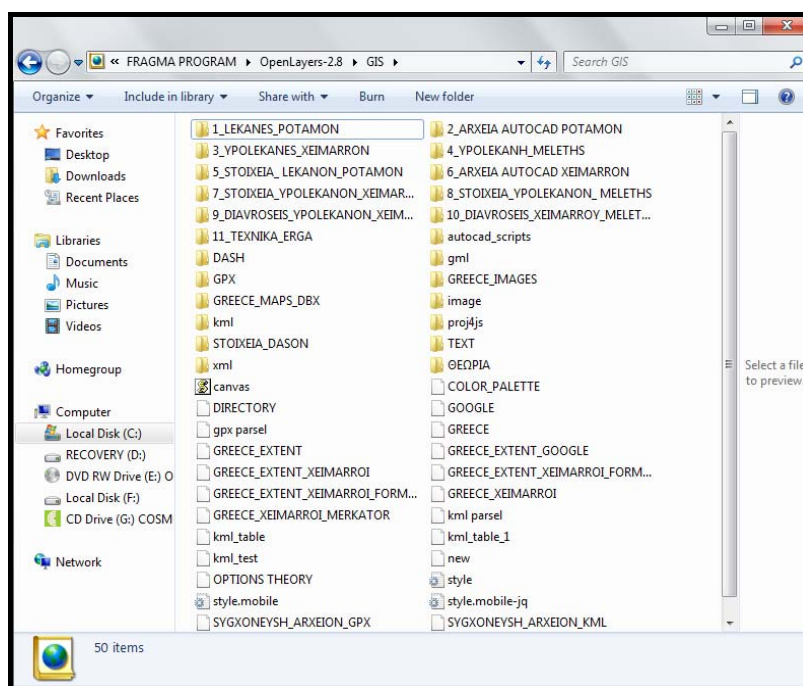


Σχήμα 2. Η Δομή του GIS (Φάκελοι και αρχεία).

**Πίνακας 2.** Τα περιεχόμενα φακέλων του GIS του προγράμματος *Torrential-MIK*.

A/A	Φάκελος	Περιεχόμενα
1	1_LEKANES_POTAMON	Αρχεία kml (Google Earth) των ποταμών και των υδροκριτών των ποταμών. Η ονοματολογία δεν επιτρέπεται να αλλάξει. Τα αρχεία φορτώνονται στους χάρτες του προγράμματος.
2	2_ARXEIA_AUTOCAD_POTAMON	Συναφή αρχεία AutoCAD που περιέχουν τους ποταμούς και τους αντίστοιχους υδροκρίτες.
3	3_YPOLEKANES_XEIMARRON	Αρχεία kml (Google Earth) των χειμάρρων μιας ευρύτερης περιοχής και των υδροκριτών τους. Η ονοματολογία δεν επιτρέπεται να αλλάξει. Τα αρχεία φορτώνονται στους χάρτες του προγράμματος.
4	4_YPOLEKANH_MELETHS	Αρχεία kml (Google Earth) του χειμάρρου που μελετάμε και του υδροκρίτη τους. Η ονοματολογία δεν επιτρέπεται να αλλάξει. Τα αρχεία φορτώνονται στους χάρτες του προγράμματος.
5	5_STOIXEIA_LEKANON_POTAMON	Αρχεία τύπου excel και text, που περιέχουν πληροφορίες για τις λεκάνες απορροής ποταμών (βάση δεδομένων). Η ονοματολογία δεν αλλάζει. Τα αρχεία φορτώνονται στους χάρτες του προγράμματος.
6	6_ARXEIA_AUTOCAD_XEIMARRON	Συναφή αρχεία AutoCAD που περιέχουν τους χειμάρρους και τους αντίστοιχους υδροκρίτες, μιας ευρύτερης περιοχής.
7	7_STOIXEIA_YPOLEKANO_N_XEIMARRON	Αρχεία τύπου excel και text, που περιέχουν πληροφορίες για τις λεκάνες απορροής χειμάρρων (βάση δεδομένων). Η ονοματολογία δεν αλλάζει. Τα αρχεία φορτώνονται στους χάρτες του προγράμματος.
8	8_STOIXEIA_YPOLEKANO_N-MELETHS	Αρχεία τύπου excel και text, που περιέχουν πληροφορίες για την λεκάνη απορροής που μελετάμε (βάση δεδομένων). Η ονοματολογία δεν αλλάζει. Τα αρχεία φορτώνονται στους χάρτες του προγράμματος.
9	9_DIAVROSEIS_YPOLEKANO_N-XEIMARRON	Αρχεία kml που περιέχουν τις διαβρώσεις μιας ευρύτερης περιοχής. Η ονοματολογία του αρχείου που περιέχει το σύνολο των διαβρώσεων δεν αλλάζει. Το αρχείο φορτώνεται στο χάρτη.
10	10_DIAVROSEIS_XEIMARRON-MELETHS	Αρχεία kml που περιέχουν τις διαβρώσεις της λεκάνης απορροής που μελετάμε. Η ονοματολογία του αρχείου που περιέχει το σύνολο των διαβρώσεων δεν αλλάζει. Το αρχείο φορτώνεται στο χάρτη.
11	11_TEXNIKA_ERGA	Αρχεία τύπου excel και text, που περιέχουν πληροφορίες για τα υφιστάμενα τεχνικά έργα και τις θέσεις τους (βάση δεδομένων). Η ονοματολογία δεν αλλάζει. Τα αρχεία φορτώνονται στους χάρτες του προγράμματος.
12	DASH	Αρχεία kml (Google Earth) του επαρχιακού οδικού δικτύου, του δασικού οδικού δικτύου και των διαχειριζόμενων δασών. Η ονοματολογία δεν επιτρέπεται να αλλάξει. Τα αρχεία φορτώνονται στους χάρτες του προγράμματος.
13	STOIXEIA DASON	Αρχεία τύπου text, που περιέχουν πληροφορίες για τα διαχειριζόμενα δάση (βάση δεδομένων). Η ονοματολογία δεν αλλάζει. Τα αρχεία φορτώνονται στους χάρτες του προγράμματος.
14	image	Αρχεία εικόνων που περιέχουν τους χάρτες που φορτώνονται στο πρόγραμμα π.χ. Custom maps, χάρτες ΓΥΣ.
15	GPX	Αρχεία gpx καταγραφής συσκευών GPS που θέλουμε να προβάλλουμε στο χάρτη.
16	kml	Αρχεία kml που θέλουμε να προβάλλουμε στο χάρτη.

17 TEXT	Διανυσματικά αρχεία (πολύγωνα, γραμμές, σημεία) που αποθηκεύτηκαν ως αρχεία text και θέλουμε να τα εισάγουμε στο χάρτη.
18 GRECE_MAPS_DBX	Αρχεία dbx που περιέχουν χάρτες όλης της Ελλάδας, ισοδιάστασης 50,0 μέτρα. Τα αρχεία αυτά με τη χρήση του δωρεάν προγράμματος GPS Trackmaker και του AutoCAD, μετατρέπονται σε Custom maps που χρησιμοποιούμε στο πρόγραμμα.
19 proj4js	Βιβλιοθήκη που περιέχει όλα τα συστήματα συντεταγμένων που χρησιμοποιεί το πρόγραμμα.
20 GREECE_IMAGES (ΦΩΤΟ)	Αρχεία εικόνων που φορτώνονται στο πρόγραμμα. Η ονοματολογία δεν αλλάζει.



Εικόνα 2. Αρχεία και φάκελοι του GIS του προγράμματος.

Πίνακας 3. Οι λειτουργίες του GIS του προγράμματος Torrential-MIK.

A/A	Αρχείο html	Λειτουργία που εκτελείται
1	DIRECTORY html	Προβάλλει όλα τα αρχεία του φακέλου GIS
2	GOOGLE html	Προβάλλονται, ο οδικός, ο τοπογραφικός, ο δορυφορικός και ο υβριδικός χάρτης της GOOGLE. Επίσης προβάλλονται οι ορθοφωτοχάρτες της ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε. Γίνονται μετρήσεις αποστάσεων, εμβαδόν.
3	kml_parsel html	Διαβάζονται από το πρόγραμμα τα περιεχόμενα οποιουδήποτε αρχείου kml.
4	gpx_parsel html	Διαβάζονται από το πρόγραμμα τα περιεχόμενα οποιουδήποτε αρχείου gpx.
5	GREECE	Προβάλλονται όλα τα διαχειριζόμενα δάση μίας περιοχής σε χάρτη της ΓΥΣ.
6	GREECE_EXTENT html	Προβάλλονται όλα τα διαχειριζόμενα δάση μίας περιοχής σε CUSTOM MAP



7	GREECE_EXTENT_GOOGLE.html	Προβάλλονται όλα τα διαχειριζόμενα δάση μίας περιοχής στους χάρτες της Google.
8	GREECE_EXTENT_XEIMARROI.html	Προβάλλεται όλη η εργασία μας σε Custom Map.
9	GREECE_XEIMARROI_MERKATOR	Προβάλλεται όλη η εργασία μας στους χάρτες της Google και της ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε.
10	GREECE_XEIMARROI.html	Προβάλλεται όλη η εργασία μας σε χάρτες της ΓΥΣ.
11	GREECE_EXTENT_XEIMARROI_FORMAT.html	Σχεδιαστικό εργαλείο πολυγώνων, γραμμών, σημείων, κ.λ.π. σε Custom Map.
12	GREECE_EXTENT_XEIMARROI_FORMAT_MERKATOR.html	Σχεδιαστικό εργαλείο πολυγώνων, γραμμών, σημείων, κ.λ.π. στους χάρτες της Google και της ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε.
13	SYGXONEYSH_ARXEION_KML.html	Εργαλείο συγχώνευσης δύο αρχείων kml σε νέο αρχείο
14	SYGXONEYSH_ARXEION_GPX.html	Εργαλείο συγχώνευσης δύο αρχείων gpx σε νέο αρχείο
15	Kml_table.html & kml_table1.html	Εργαλείο εμφάνισης πίνακα με τα περιεχόμενα αρχείου kml

## Χαρτογράφηση

Η σχεδίαση των χαρτών για την χαρτογράφηση των λεκανών απορροής βασίζεται στην σχεδίαση διανυσμάτων (πολυγώνων, γραμμών, σημείων) όπως φαίνεται στην εικόνα 6. Το εργαλείο της σχεδίασης που δημιουργήθηκε υποστηρίζει τα συστήματα συντεταγμένων τα ΕΓΣΑ 87, WGS84, UTM34N, UTM35N. Η μετατροπή μεταξύ των συστημάτων συντεταγμένων γίνεται αυτόματα. Σχεδιάζεται οποιοδήποτε πολύγωνο, γραμμή και σημείο. Υπολογίζεται το μήκος, το εμβαδόν και εκτυπώνονται οι συντεταγμένες στο σύστημα που χρησιμοποιούμε. Τα διανύσματα που σχεδιάζουμε αποθηκεύονται: α) ως αρχεία kml (Google Earth), β) ως αρχεία atom, γ) ως αρχεία scr για την εισαγωγή τους στο AutoCAD και δ) ως αρχεία wkt (well known text). Στο πρόγραμμα εισάγονται απευθείας: α) αρχεία kml, β) αρχεία gpx και γ) αρχεία wkt.

Τα χαρτογραφικά υπόβαθρα του προγράμματος είναι:

- Ο τοπογραφικός και ο δορυφορικός χάρτης της Google.
- Οι ορθοφωτοχάρτες της ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε. με κάλυψη όλη την Ελλάδα
- Οι χάρτες της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού
- Χάρτες που δημιουργούμε (Custom maps, εικόνα 7).

Στους χάρτες δύναται να προβάλλονται:

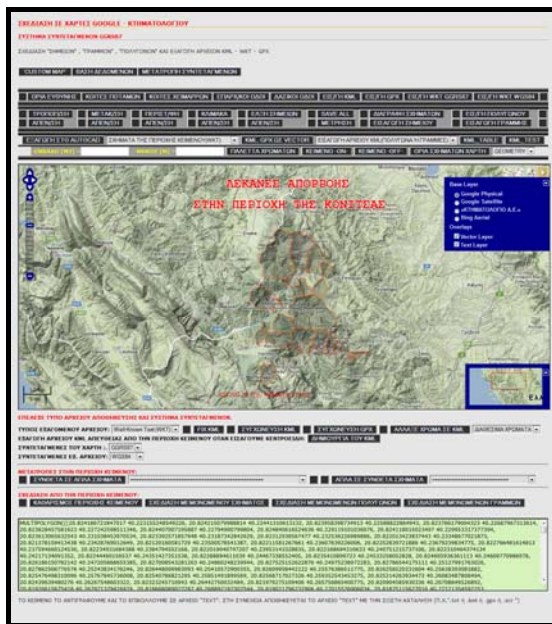
- Το επαρχιακό οδικό δίκτυο
- Το δασικό οδικό δίκτυο
- Τα όρια της περιοχής ευθύνης του Δασαρχείου
- Το υδρογραφικό δίκτυο
- Οι λεκάνες απορροής
- Οι διαβρώσεις
- Τα υφιστάμενα τεχνικά έργα
- Πληροφορίες που αφορούν τα μορφολογικά και υδρογραφικά στοιχεία των λεκανών απορροής.

Οι πληροφορίες των λεκανών απορροής που προβάλλονται στο χάρτη, αρχικά υπολογίζονται από το πρόγραμμα και στην συνέχεια αποθηκεύονται στην αντίστοιχη κατηγορία εντός του φακέλου GIS, με την μορφή αρχείων τύπου excel και text. Τα αρχεία αυτά αποτελούν τη βάση δεδομένων του προγράμματος και η τροποποίησή

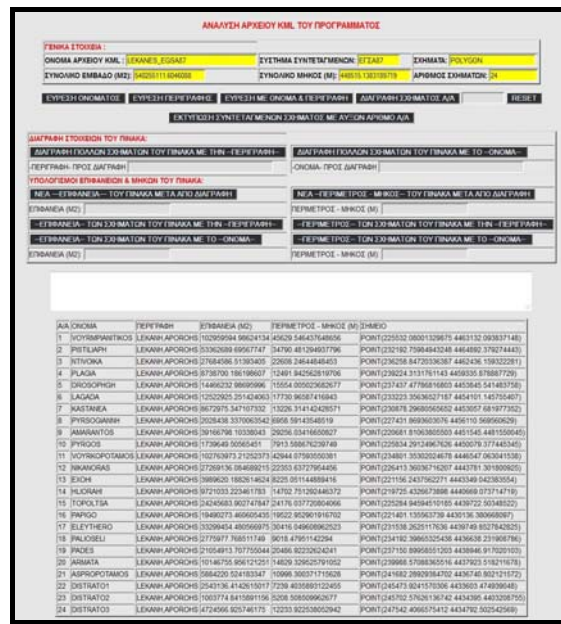
τους, αλλάζει διαδραστικά και τις πληροφορίες που προβάλλονται στο χάρτη. Επίσης στο χάρτη μπορούν να εισαχθούν εξωτερικά αρχεία kml και gpx.

Η προβολή των ανωτέρω πληροφοριών μπορεί να γίνει:

- Στον τοπογραφικό, οδικό, δορυφορικό και υβριδικό χάρτη της Google.
- Στους ορθοφωτοχάρτες της ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε. με κάλυψη όλη την Ελλάδα
- Στους χάρτες της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού
- Σε χάρτες που δημιουργούμε εμείς (Custom maps)
- Σε οποιονδήποτε ορθοφωτοχάρτη του οποίου είναι γνωστές οι συντεταγμένες του σε σύστημα συντεταγμένων WGS84.



**Εικόνα 3.** Σχεδίαση λεκάνης απορροής, υπολογισμός εμβαδού, μήκους υδροκρίτη και εκτύπωση συντεταγμένων.



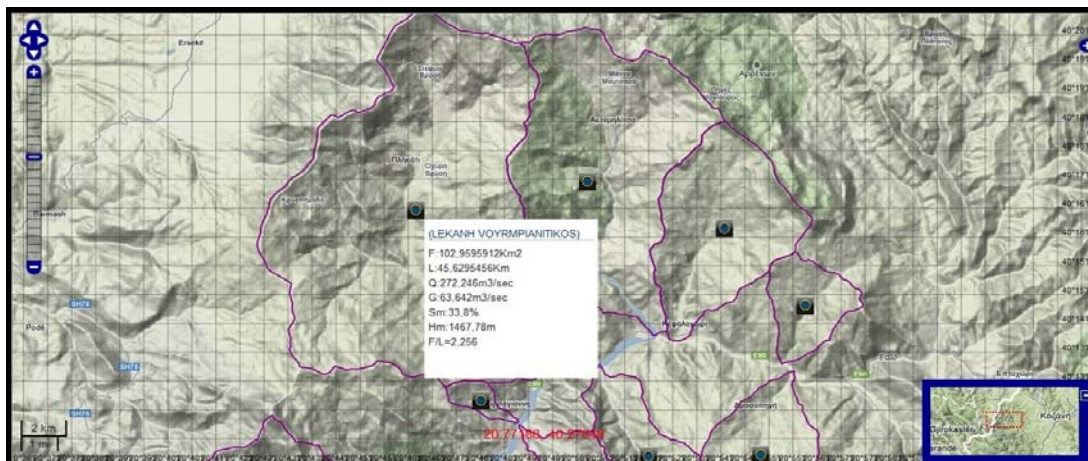
**Εικόνα 4.** Προβολή πληροφοριών των μελετώμενων λεκανών απορροής.

Η βάση δεδομένων του προγράμματος, περιέχει όλες τις πληροφορίες των μορφομετρικών και υδραυλικών χαρακτηριστικών των λεκανών απορροής που μελετώνται (εικόνες 5, 6, 7 & 8).

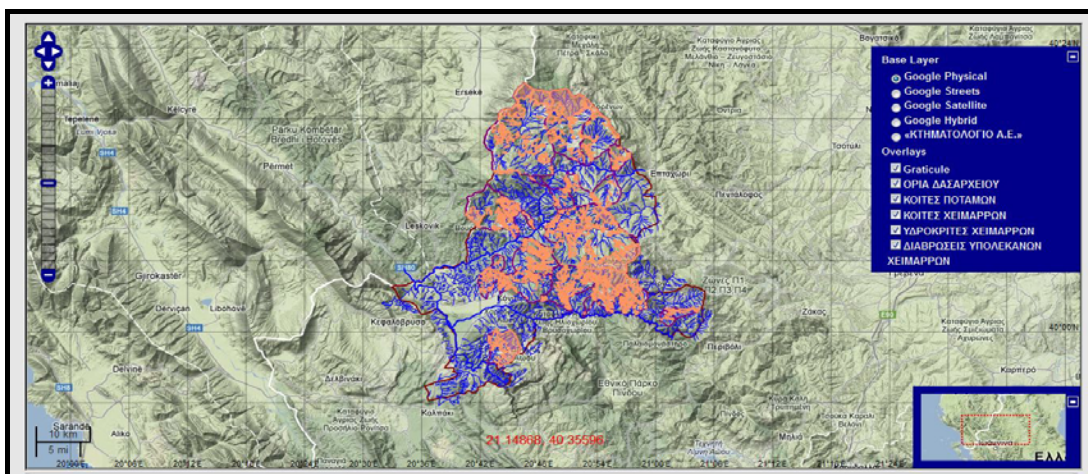
Ειδικότερα:

- 1) το όνομα της λεκάνης απορροής
- 2) την έκταση της λεκάνης απορροής σε Km<sup>2</sup>
- 3) το μήκος του υδροκρίτη της λεκάνης απορροής σε km
- 4) την παροχή της λεκάνης απορροής σε m<sup>3</sup>/sec
- 5) την στερεοπαροχή της λεκάνης απορροής σε m<sup>3</sup>/sec
- 6) το μέσο υψόμετρο της λεκάνης απορροής σε m
- 7) την μέση κλίση της λεκάνης απορροής
- 8) το βαθμό στρογγυλομορφίας της λεκάνης

Επίσης στη βάση δεδομένων αποθηκεύονται οι συντεταγμένες του πολυγώνου του υδροκρίτη της λεκάνης απορροής, σε σύστημα συντεταγμένων WGS84 και ΕΓΣΑ87. Το πολύγωνο του υδροκρίτη με απλή αντιγραφή και επικόλληση σχεδιάζεται αυτόματα στο χάρτη.



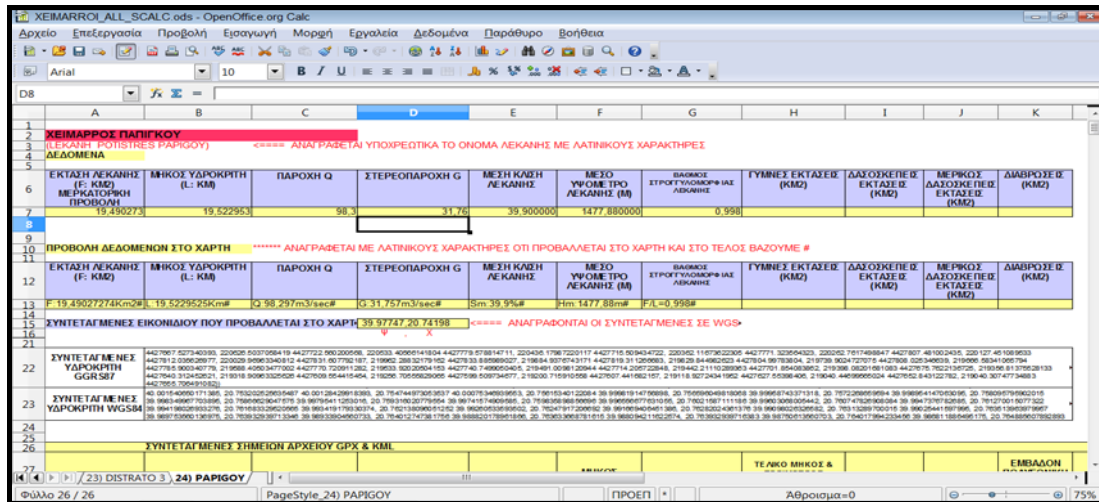
Εικόνα 5. Υδροκρίτες λεκανών απορροής – πληροφοριακά στοιχεία.



Εικόνα 6. Υδρογραφικό δίκτυο, υδροκρίτες λεκανών, διαβρώσεις της περιοχής μελέτης, στον τοπογραφικό χάρτη της GOOGLE.



Εικόνα 7. Τρισδιάστατη απεικόνιση στο GOOGLE EARTH, αρχείου km1 που δημιουργήθηκε από το πρόγραμμα Torrential-MIK.



Εικόνα 8. Βάση δεδομένων λεκανών απορροής.

### Υδραυλικοί Υπολογισμοί

### Υπολογισμός παροχής λεκάνης απορροής

Η μέγιστη παροχή των λεκανών απορροής υπολογίστηκε με την χρήση εμπειρικών τύπων:

- Κανόνας του Deuerling

$$\lambda = (F - F_1) / (F_2 - F_1)$$

$$q = [\lambda \cdot (q_2 - q_1)] - q_1$$

$$Q_{\max} = q \cdot F$$

Πίνακας 4. Ειδική παροχή λεκανών απορροής ανάλογα με την έκτασή τους.

<b>F(Km<sup>2</sup>)</b>	1	2	3	5	10	20	30	50	100	200
<b>q (m<sup>3</sup>/sec)</b>	10	9	8	6	4	2,5	2	1,5	1,3	1,2

- Τύπος Klement

$$Q_{\max} = 5,5 \cdot F^{5/6}$$

- Τύπος Wundt

$$Q_{\max} = 13,8 \cdot F^{0,6}$$

- Τύπος Vallentini

$$q = 30 / F^{0,5} \quad Q_{\max} = q \cdot F$$

- Τύπος Melli

$$q = a \cdot 40 / (100 \cdot F)^{0,6} \quad a = 0,4 (F < 150 \text{Km}^2) \quad Q_{\max} = q \cdot F$$

- Τύπος Hoffbauer

$$q = a \cdot 60 / (100 \cdot F)^{0,16} (F > 10 \text{Km}^2) \quad Q_{\max} = q \cdot F$$

$$a = 3,3 / 0,50 \text{ (ημιορεινή περιοχή)}$$

$$a = 0,50 / 0,70 \text{ (ορεινή περιοχή)}$$

- Τύπος Friedrich

$$Q_{\max} = 24,12 \cdot F^{0,516}$$

- Τύπος Muller

$$q = y_m \cdot 40/F^{1/3} \quad Q_{\max} = q \cdot F$$

$$y_m = \frac{(F_1 \cdot y_1) + (F_2 \cdot y_2)}{F}$$

$F_1$ : Δασοσκεπής έκταση

$F_2$ : Γυμνή έκταση (αγροί – λιβάδια), (ο  $y_1$  αναφέρεται στην  $F_1$ , ο  $y_2$  αναφέρεται στην  $F_2$  και επιλέγονται από τον πίνακα).

$y_1, y_2$ : Συντελεστές απορροής

**Πίνακας 5.** Τιμές συντελεστών  $y_1, y_2$  του τύπου Muller, υπολογισμού της παροχής λεκανών απορροής.

Περιοχή	Καλλιέργεια	Μικρή κλίση	Μέση κλίση	Μεγάλη κλίση
Περιοχές άνω των δασοορίων	Αγροί - λιβάδια	0,4	0,6	0,8
Μέσες περιοχές	Πυκνό δάσος	0,2	0,4	0,6
Χαμηλές περιοχές	Λιβάδια – γεωργικές καλλιέργειες	0,1	0,2	0,4

- Τύπος Iskowski

(Ισχύει για μέσο ετήσιο ύψος βροχής > 1000 mm)

$$q = ah \cdot m \cdot H \quad Q_{\max} = q \cdot F$$

Καθορισμός συντελεστή  $ah$

**Πίνακας 6.** Καθορισμός τιμής του συντελεστή  $ah$  στον τύπο Iszkowski.

Κατηγορίες εδάφους	I	II	III	IV
Χαμηλές πεδινές εκτάσεις	0,03	0,06		
Λοφώδεις – ημιορεινές περιοχές	0,04	0,05	0,13	
Ορεινές περιοχές	0,04 – 0,05	0,082 – 0,140	0,155 – 0,290	0,40 – 0,55
Πολύ ορεινές περιοχές	0,06 – 0,08	0,16 – 0,21	0,36 – 0,60	0,60 – 0,80

Οι κατηγορίες εδαφών είναι:

I: ισχυρά διαπερατά εδάφη με κανονική βλάστηση ή ανάμικτα εδάφη

II: εδάφη μέσης διαπερατότητας με κανονική βλάστηση

III: λίγο διαπερατά εδάφη με κανονική βλάστηση σε απότομες θέσεις

IV: αδιαπέρατα εδάφη με σποραδική βλάστηση και δυσμενείς γενικά μορφολογικές συνθήκες

Ο καθορισμός του συντελεστή  $m$  γίνεται με την βοήθεια του πίνακα 7.

**Πίνακας 7.** Καθορισμός τιμής του συντελεστή *m* στον τύπο *Iszkowski*.

<b>F (Km<sup>2</sup>)</b>	1	10 - 20	50	100	500
<b>m</b>	10	9,0 – 9,5	7,95	7,4	5,9

H: το μέσο ετήσιο ύψος βροχής μόνο σε m.

- Τύπος Forti

$$Q = 2,35 \cdot F \cdot [ 500/(F+125) + 0,5]$$

F: Η έκταση της λεκάνης απορροής σε Km<sup>2</sup>

- Τύπος FANNING

$$Q = 10,26 \cdot F^{0,625}$$

F: Η έκταση της λεκάνης απορροής σε Km<sup>2</sup>.

- Τύπος FULLER

$$Q = 1,8 \cdot F^{0,8} \cdot (1 + 0,8 \cdot \log T) \cdot \left[ 1 + \frac{2,66}{F^{0,3}} \right]$$

F: Η έκταση της λεκάνης απορροής σε Km<sup>2</sup>

T: Η περίοδος επαναφοράς της καταιγίδας σχεδιασμού σε έτη (Κωτούλας, 2001).

### Υπολογισμός στερεοπαροχής λεκάνης απορροής

Η στερεοπαροχή υπολογίστηκε με τον τύπο των Stiny – Herheulidge:

$$G = ( P_n \cdot m \cdot Q ) / ( Y_n \cdot (100 - P_n) )$$

**Πίνακας 8.** Καθορισμός τιμής του συντελεστή *P<sub>n</sub>* στον τύπο *Stiny – Herheulidge*.

<b>Κλίση λεκάνης απορροής</b>	16 - 25	26 - 35	36 - 45	46 - 55	56 - 65
<b>P<sub>n</sub></b>	25	30	35	40	45

**Πίνακας 9.** Καθορισμός τιμής του συντελεστή *m* στον τύπο *Stiny – Herheulidge*.

Έντονη χειμαρρικότητα	m = 1,10 – 1,50
Μέση χειμαρρικότητα	m = 0,9 – 1,10
Μικρή χειμαρρικότητα	m = 0,7 – 0,9
Ασήμαντη χειμαρρικότητα	m = 0,5 – 0,7

Ο συντελεστής *Y<sub>n</sub>* κυμαίνεται από 1,5 (άμμος) έως 2,6 (κροκάλες γρανιτών) (Κωτούλας 2001).

## Υπολογισμός κλίσης αντιστάθμισης και ισορροπίας

- Τύπος Κωτούλα

$$J_a = \frac{1,18 \cdot d_m^{1,16} \cdot e^{0,385g_s}}{\left[ \frac{Q_{\max}}{b} \right]^{0,77}}$$

$Q_{\max}$ : Μέγιστη υδατοπαροχή  
 $d_m$ : Καθοριστική διάμετρος

$b$ : Πλάτος διατομής  
 $g_s$ : Ειδική στερεομεταφορά  $G/b$

- Τύπος Vallentini

$$J_a = 0,093 \cdot B/R$$

$B$ : Μέση διάμετρος των μεγαλύτερων υλικών του κινητού πυθμένα

$R$ : Υδραυλική ακτίνα  $F/U$

$F$ : Εμβαδόν διατομής

$U$ : Διαβρεχόμενη περίμετρος (Κωτούλας, 2001).

## Υπολογισμός στάθμης νερού στα κατάντη του φράγματος

Το κρίσιμο βάθος στην περίπτωση που έχουμε ορθογωνική τομή δίνεται από τον τύπο:

$$H = 3/2 \cdot h_{\kappa\rho} = 3/2 \cdot (q^2/g)^{1/3}$$

$$q = Q_{\max}/A$$

Στην περίπτωση που έχουμε τραπεζοειδή τομή υπολογίζουμε το  $h_{\kappa\rho}$  για ορθογωνική τομή. Στην συνέχεια στην τραπεζοειδή τομή το  $h_{\kappa\rho}'$  έχει τέτοια τιμή ώστε το εμβαδόν της τραπεζοειδούς τομής να είναι ίσο με αυτό της ορθογωνικής που έχει βάση  $A$  και ύψος  $h_{\kappa\rho}$ .

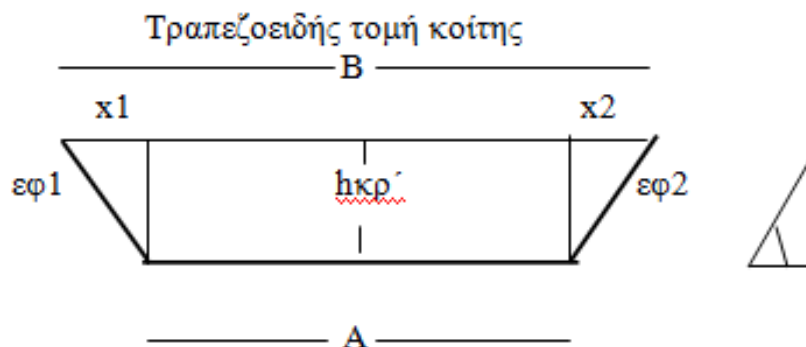
Με  $\epsilon\phi 1$ ,  $\epsilon\phi 2$ ,  $A$  και  $Q_{\max}$  γνωστά:

$$\epsilon\phi 1 = h_{\kappa\rho}' / x_1 \Rightarrow x_1 = h_{\kappa\rho}' / \epsilon\phi 1 \quad \text{ομοίως} \quad x_2 = h_{\kappa\rho}' / \epsilon\phi 2 \quad \text{και} \quad B = A + x_1 + x_2$$

Εμβαδόν ορθογωνικής τομής  $E_1 = h_{\kappa\rho} \cdot A$

Εμβαδόν τραπεζοειδούς τομής  $E_2 = [(A+B)/2] \cdot h_{\kappa\rho}'$

Δίνουμε τιμές στο  $h_{\kappa\rho}'$ , μέχρι που  $E_2 = E_1$ .



Σχήμα 3. Τραπεζοειδής διατομή κοίτης.

## Υπολογισμός διάρρου του φράγματος

Ο υπολογισμός του διάρρου φράγματος γίνεται βάσει του γνωστού τύπου:

$$Q_{\max} = A \cdot H^{3/2} \cdot (3B_{\kappa} + 2B_{\alpha} / 5)$$

A: 1,47 (βυθισμένος εκχειλιστής)  
1,90 (ελεύθερος εκχειλιστής)

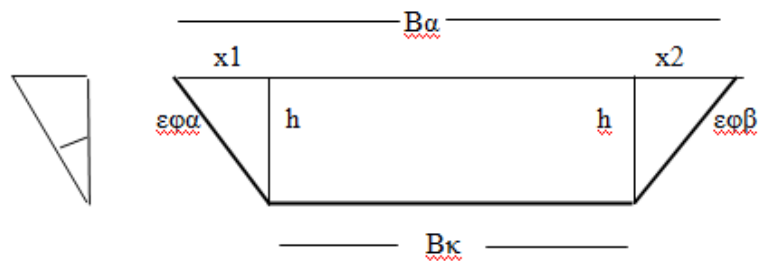
Έχοντας γνωστά τα κάτωθι:  $\epsilon\phi\alpha$ ,  $\epsilon\phi\beta$ ,  $B_{\kappa}$ , A και  $Q_{\max}$  :

$\epsilon\phi\alpha = x_1/h \Rightarrow x_1 = \epsilon\phi\alpha \cdot h$  ,  $\epsilon\phi\beta = x_2/h \Rightarrow x_2 = \epsilon\phi\beta \cdot h$

$B_{\alpha} = B_{\kappa} + x_1 + x_2 \Rightarrow B_{\alpha} = B_{\kappa} + (\epsilon\phi\alpha \cdot h) + (\epsilon\phi\beta \cdot h)$

$Q_{\max}' = A \cdot h^{3/2} \cdot \{ 3B_{\kappa} + 2 \cdot [B_{\kappa} + (\epsilon\phi\alpha \cdot h) + (\epsilon\phi\beta \cdot h)] \} / 5$

Δίνουμε τιμές στο h μέχρι που το  $Q_{\max}'$  που υπολογίζεται, γίνεται ίσο με το  $Q_{\max}$  (Κωτούλας 2001).



Σχήμα 4. Υπολογισμός διάρρου φράγματος.

## Υπολογισμός της υποσκαφής στο θεμέλιο του φράγματος

Για την αποτροπή της υποσκαφής, γίνεται στα κατόντη του φράγματος διάστρωση λίθων, η διάμετρος των οποίων υπολογίζεται από τον τύπο των Meyer – Petter :

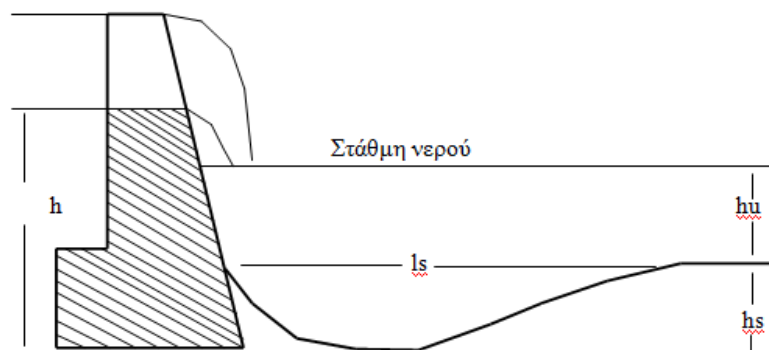
$$D_e > (Q_{\max} / A) 2/3 \cdot (J/a)$$

J: η κλίση αντιστάθμισης

$Q_{\max}$ : Μέγιστη παροχή

A: το πλάτος της διατομής της κοίτης

$a = 0,17$  (Κωτούλας 1989).



Σχήμα 5. Υποσκαφή θεμελίων.



Το μήκος και το βάθος της μέγιστης υποσκαφής δίνονται από τους παρακάτω τύπους:

Μήκος μέγιστης υποσκαφής	Βάθος μέγιστης υποσκαφής
$l_s = (W_e \cdot h^{0,45} \cdot q^{0,90}) / d_{90}^{0,80}$	$S_o = h_u + h_s = (W_s \cdot h^{0,35} \cdot q^{0,7}) / d_{90}^{0,4}$
$l_s$ : Μήκος μέγιστης υποσκαφής $W_e$ : 0,75 (Ελεύθεροι εκχειλιστές) 1,45 (Βυθισμένοι εκχειλιστές) $h$ : Το ύψος του φράγματος (m)	$S_o$ : Βάθος μέγιστης υποσκαφής $W_s$ : 0,78 (Ελεύθεροι εκχειλιστές) 0,70 (Βυθισμένοι εκχειλιστές) $h_u = (3/2) (q^2/g)^{1/3}$ , βάθος νερού στα κατάντη του φράγματος (m) $h$ : Το ύψος του φράγματος (m)

### Στατικός υπολογισμός φράγματος βαρύτητας

Ο υπολογισμός των διαστάσεων περιλαμβάνει τους στατικούς υπολογισμούς και ειδικότερα την ανάλυση των δυνάμεων, την εισαγωγή των δεδομένων και τα αποτελέσματα.

- Ανάλυση δυνάμεων – λειτουργίες προγράμματος

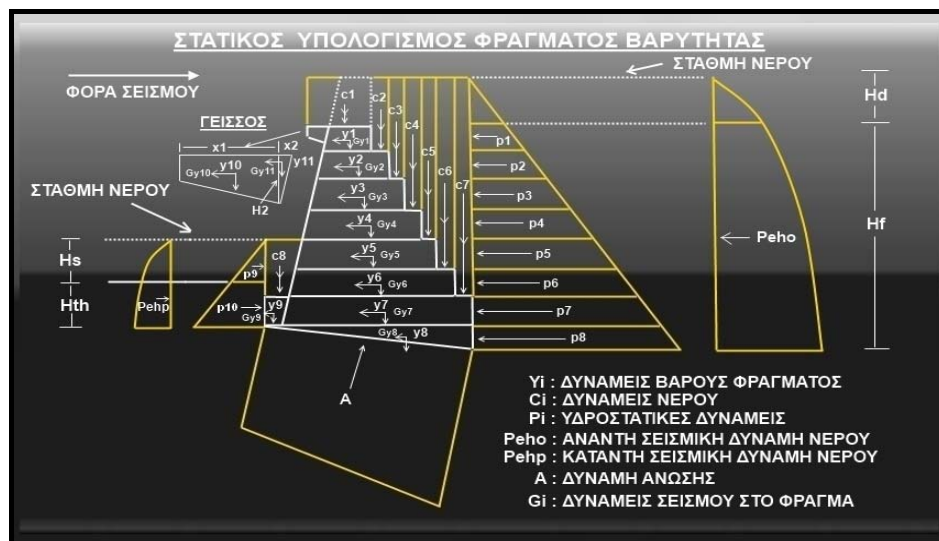
Το πρόγραμμα κάνει τους εξής υπολογισμούς : α) στατικό υπολογισμό του φράγματος ως προς τη βάση και κατά αρμό, β) στατικό έλεγχο του περυγίου, γ) σχεδιάζει την τομή και την εξάγει στο AutoCad, δ) εμφανίζει τα αποτελέσματα στην επιφάνεια εργασίας και τα εξάγει στην μελέτη και τέλος ε) υπολογίζει τον αναγκαίο σπλισμό (εικόνα 9).

- Εισαγωγή δεδομένων

Η εισαγωγή των δεδομένων γίνεται από συγκεκριμένη αναλυτική κάρτα του προγράμματος (εικόνα 10).

- Αποτελέσματα στατικού υπολογισμού

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται αναλυτικά σε πίνακα του προγράμματος (εικόνα 11).



Εικόνα 9. Ανάλυση δυνάμεων κατά τον στατικό υπολογισμό φράγματος.

**ΔΕΔΟΜΕΝΑ**

ΦΡΑΓΜΑ ΕΚΚΕΙΛΩΤΗΣ ΜΕ ΠΛΗΡΗ ΥΠΟΒΕΒΛΗΤΗ ΔΥΝΑΜΗ : ΕΙΔ. ΒΑΡΟΣ ΝΕΡΟΥ = 1.1  
ΦΡΑΓΜΑ ΣΑΜΕΥΤΗΡΗΣ ΜΕ ΠΛΗΡΗ ΥΠΟΒΕΒΛΗΤΗ ΔΥΝΑΜΗ : ΕΙΔ. ΒΑΡΟΣ ΝΕΡΟΥ = 1.1 & ΥΨΟΣ ΔΙΑΡΡΟΨ = 0.00 & ΧΩΡΙΣ ΓΕΙΣΟ - ΚΑΤΑΝΤΗ ΥΠΟΒΕΒΛΗΤΗ ΔΥΝΑΜΗ  
ΦΡΑΓΜΑ ΕΚΚΕΙΛΩΤΗΣ ΜΕ ΧΕΙΜΑΡΡΟΛΑΒΑ : ΕΙΔ. ΒΑΡΟΣ ΝΕΡΟΥ = 3.0 - 4.0 & ΧΩΡΙΣ ΓΕΙΣΟ

ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ  
ΕΙΔ. ΒΑΡΟΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ : ΕΙΔ. ΒΑΡΟΣ ΝΕΡΟΥ : ΣΥΓΤ. ΑΝΩΣΗΣ :  
ΥΨΟΣ ΔΙΑΡΡΟΨ : ΚΛΙΣΗ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ : ΣΤΕΦΗ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ :  
ΚΛΙΣΗ ΠΕΡΙΤΥΓΩΣ : ΒΑΘΟΣ ΠΕΡΙΤΥΓΩΣ : ΕΙΣΕΜΒΗΝ ΕΠΙΣΤΡΩΣΗ (mm) :

ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΑΡΜΟΝ  
ΥΨΟΣ 1ης ΑΡΜΟΥ : ΥΨΟΣ 2ης ΑΡΜΟΥ : ΥΨΟΣ 3ης ΑΡΜΟΥ :  
ΥΨΟΣ 4ης ΑΡΜΟΥ : ΥΨΟΣ 5ης ΑΡΜΟΥ :  
ΥΨΟΣ 1ης ΑΡΜΟΥ :

ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΣΚΑΛΩΝ  
ΠΑΧΟΣ 1ης ΣΚΑΛΩΣ : ΠΑΧΟΣ 2ης ΣΚΑΛΩΣ : ΠΑΧΟΣ 3ης ΣΚΑΛΩΣ :  
ΠΑΧΟΣ 4ης ΣΚΑΛΩΣ : ΠΑΧΟΣ 5ης ΣΚΑΛΩΣ : ΠΑΧΟΣ 6ης ΣΚΑΛΩΣ :

ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΤΡΙΓΩΝΟΥ - ΠΟΔΙΑ ΣΤΗ ΒΑΣΗ  
ΚΑΤΩ ΒΑΣΗ ΠΟΔΙΑΣ : ΥΨΟΣ ΠΟΔΙΑΣ : ΥΨΟΣ ΤΡΙΓΩΝΟΥ :

ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΓΕΙΣΟΥ  
ΜΗΚΟΣ ΓΕΙΣΟΥ Χ1 : ΜΗΚΟΣ ΓΕΙΣΟΥ Χ2 :  
ΠΑΧΟΣ ΓΕΙΣΟΥ Η1 : ΠΑΧΟΣ ΓΕΙΣΟΥ Η2 :

ΚΑΤΑΝΤΗ ΥΠΟΒΕΒΛΗΤΗ & ΕΙΣΕΜΒΗΝ ΔΥΝΑΜΗ  
ΣΤΕΦΗΝ ΝΕΡΟΥ ΚΑΤΑΝΤΗ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ : ΒΑΘΟΣ ΒΕΒΛΗΤΩΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ :

ΟΡΙΑ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΕΛΑΦΥΣΤΙΑΣ  
#ΜΟΛΟΒΡΑΧΙΩΝ ΕΛΑΦΥΣΤΙΑΣ & ΥΠΟΒΛΗΤΗ : ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΕΛΑΦΥΣΤΙΑΣ & ΥΠΟΒΛΗΤΗ :

Εικόνα 10. Δεδομένα στατικού υπολογισμού φράγματος βαρύτητας.

**ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ**

ΣΥΝΘΕΣΕ ΕΥΣΤΑΘΙΑΣ : ΕΜΒΛΟ ΔΙΑΤΟΜΗΣ : Εμφ. ΟΚΛΕΣΗΣ :  
ΒΕΣΗ ΤΗΣ Β : Β' : ΒΕ :  
Smm : Smax : (ΟΤΑΝ ΔΡ-ΒΕ) Smm :  
ΣΥΝΤ. ΑΝΩΣΗΣ : ΣΥΝΤ. ΟΚΛΕΣΗΣ : ΣΥΝΤ. ΕΥΣΤΑΘΙΑΣ :  
ΣΥΝΤ. ΘΑΨΗΣ :

ΔΥΝΑΜΕΙΣ  
Y1 Y2 Y3 Y4 Y5 Y6  
Y7 Y8 Y9 Y10 Y11 Y12  
C1 C2 C3 C4 C5 C6  
C7 C8  
P1 P2 P3 P4 P5 P6  
P7 P8 P9 P10 P11 A  
QY1 QY2 QY3 QY4 QY5 QY6  
QY7 QY8 QY9 QY10 QY11  
Pm1 Pm2

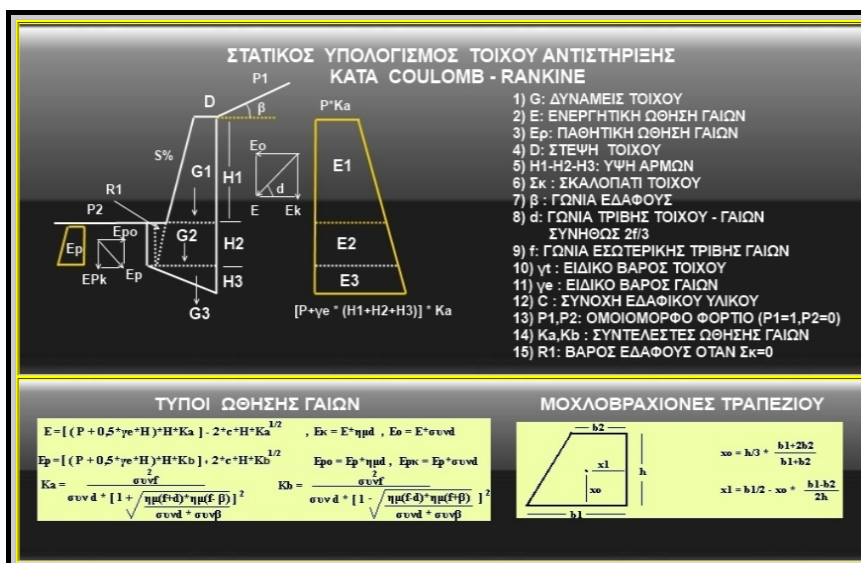
ΡΟΠΕΣ  
R,Y1 R,Y2 R,Y3 R,Y4 R,Y5 R,Y6  
R,Y7 R,Y8 R,Y9 R,Y10 R,Y11 R,Y12  
R,C1 R,C2 R,C3 R,C4 R,C5 R,C6  
R,C7 R,C8  
R,P1 R,P2 R,P3 R,P4 R,P5 R,P6  
R,P7 R,P8 R,P9 R,P10 R,P11 R,A  
R,QY1 R,QY2 R,QY3 R,QY4 R,QY5 R,QY6  
R,QY7 R,QY8 R,QY9 R,QY10 R,QY11  
R,Pm1 R,Pm2

Εικόνα 11. Αποτελέσματα του στατικού υπολογισμού φράγματος.

**Στατικός υπολογισμός τοίχου αντιστήριξης**

Ο υπολογισμός των διαστάσεων περιλαμβάνει τους στατικούς υπολογισμούς και ειδικότερα την ανάλυση των δυνάμεων, την εισαγωγή των δεδομένων και τα αποτελέσματα.

- Ανάλυση δυνάμεων – Εισαγωγή δεδομένων – Λειτουργίες προγράμματος  
Το πρόγραμμα κάνει τους εξής υπολογισμούς : α) στατικό υπολογισμό του τοίχου ως προς τη βάση και κατά αρμό, β) σχεδιάζει την τομή του τοίχου και την εξάγει στο AutoCAD, γ) εμφανίζει τα αποτελέσματα στην επιφάνεια εργασίας και τα εξάγει στην μελέτη και δ) υπολογίζει τον αναγκαίο οπλισμό.  
Η εισαγωγή των δεδομένων γίνεται από συγκεκριμένη αναλυτική κάρτα του προγράμματος (εικόνα 12).



Εικόνα 12. Ανάλυση δυνάμεων κατά τον στατικό υπολογισμό τοίχου αντιστήριξης.

- Αποτελέσματα στατικού υπολογισμού

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται αναλυτικά σε πίνακα του προγράμματος (εικόνες 13 & 14).

ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΟΙΧΟΥ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ		
ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΟΙΧΟΥ		
ΠΛΑΚΟΣ ΣΤΗΡΙΞΗΣ ΤΟΙΧΟΥ	ΚΛΙΣΗ ΤΟΙΧΟΥ	ΥΠΕΡΤΕΙΟ ΥΨΟΣ (H)
ΒΑΘΟΣ ΘΕΜΕΛΙΩΝ (H0)	ΥΨΟΣ ΤΡΙΓΩΝΟΥ ΒΑΣΗΣ (H1)	ΣΚΑΛΟΠΑΤΙ ΤΟΙΧΟΥ
ΕΣΩΤΕΡΟ ΒΑΡΟΣ ΓΑΙΩΝ	ΕΞΩΤΕΡΟ ΒΑΡΟΣ ΤΟΙΧΟΥ	ΓΩΝΙΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΤΡΙΒΗΣ (-β)
ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΟ ΦΟΡΤΙΟ (P1)	ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΟ ΦΟΡΤΙΟ (P2)	ΓΩΝΙΑ ΤΡ. ΤΟΙΧΟΥΓΑΙΩΝ (-δ)
ΓΩΝΙΑ ΕΣΩΤ. ΤΡΙΒΗΣ ΓΑΙΩΝ (-β)	ΣΥΝΟΧΗ ΕΔΑΦΙΚΟΥ (-c)	
ΟΡΙΑ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΕΙΔΙΚΟΥ ΕΝΤΑΦΙΑΣ		
E <sub>ep</sub> (ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΗ ΕΔΑΦΙΚΟΥ ή ΥΛΙΚΟΥ)		Z <sub>ep</sub> (ΜΕΓΙΣΤΗ ΘΛΙΨΗ ΕΔΑΦΙΚΟΥ ή ΥΛΙΚΟΥ)

Εικόνα 13. Δεδομένα στατικού υπολογισμού τοίχου βαρύτητας.

ΣΥΜΒΟΛΕΣ ΕΥΣΤΑΘΙΑΣ				ΕΞΩ ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΗ			
ΒΕΣΗ ΤΗΣ R		B0		B1		B2	
S <sub>max</sub>		S <sub>min</sub>		S <sub>max</sub>		(ΟΤΑΝ κ<R-B) S <sub>xy</sub>	
ΣΥΜΤ ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΗ				ΣΥΜΤ ΒΥΘΙΩΣ			
ΣΥΜΤ ΟΜΩΣ				ΣΥΝΤΑΝΑΤΡΟΦΗΣ			
ΔΥΝΑΜΕΙΣ							
G1	G2	G3	R1				
E <sub>s1</sub>	E <sub>s2</sub>	E <sub>s3</sub>	E <sub>ep</sub>				
E <sub>k1</sub>	E <sub>k2</sub>	E <sub>k3</sub>	E <sub>k</sub>				
ΡΟΠΕΣ							
R_G1	R_G2	R_G3	R_R1				
R_Es1	R_Es2	R_Es3	R_Ep				
R_Ek1	R_Ek2	R_Ek3	R_Ek				
ΟΠΛΙΣΜΟΣ							
ΕΚΤΡΕΠΟΜΕΝΗ ΒΑΡΗ ΕΝΕΛΚΩΣΜΟΥ F <sub>e</sub> (ST1 1400kg/cm <sup>2</sup> )							
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΑΝΑΓΚΑΙΟΥ ΟΠΛΙΣΜΟΥ ε <sub>m2</sub>							
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΦΟΡΑΝΩΜΟΥ φ <sub>h</sub> (φ 0,008 φ6)							
ΑΡΙΘΜΟΣ ΤΕΜΑΧΙΩΝ ΟΠΛΙΣΜΟΥ ΑΝΑ Π <sub>1</sub>							
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΟΠΛΙΣΜΟΥ ε <sub>m2</sub>							
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ							
(P1P2) ΕΣΩ ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΗ > ΕΣΩ ΑΝΑΓΚ. ΟΠΛΙΣΜΟΥ) κ <sub>max</sub> (φ)							

Εικόνα 14. Αποτελέσματα του στατικού υπολογισμού – οπλισμός τοίχου.

### Στατικός υπολογισμός Συρματόπλεχτων Κιβωτίων (Σαρζανέτ)

Το πρόγραμμα κάνει τους εξής υπολογισμούς : α) στατικό υπολογισμό του τοίχου ως προς τη βάση και κατά αρμό (εικόνες 15 & 16), β) σχεδιάζει την τομή του τοίχου και την εξάγει στο AutoCAD, γ) εμφανίζει τα αποτελέσματα στην επιφάνεια εργασίας και τα εξάγει στην μελέτη και δ) υπολογίζει τον αναγκαίο οπλισμό.

#### ΣΤΑΤΙΚΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΑΡΖΑΝΕΤ ΚΑΤΑ COULOMB-RANKINE

H1 E1

H2 E2

H3 E3

H4 E4

H5 E5

H6 E6

H7 E7

$[ P + \gamma_e \cdot (H1+H2+\dots+H7) ] \cdot K_a$

- 1) G: ΒΑΡΟΣ ΤΟΙΧΟΥ
- 2) E: ΕΝΕΡΓΗΤΙΚΗ ΩΘΗΣΗ ΓΑΙΩΝ
- 3) E<sub>p</sub>: ΠΑΘΗΤΙΚΗ ΩΘΗΣΗ ΓΑΙΩΝ
- 4) K<sub>a</sub>, K<sub>b</sub>: ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΩΘΗΣΗΣ ΓΑΙΩΝ
- 5) P1, P2: ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΟ ΦΟΡΤΙΟ (P1=1, P2=0)
- 6) β: ΓΩΝΙΑ ΕΔΑΦΟΥΣ
- 7) f: ΓΩΝΙΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΤΡΙΒΗΣ ΓΑΙΩΝ
- 8) d: ΓΩΝΙΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΤΡΙΒΗΣ ΤΟΙΧΟΥ ΓΑΙΩΝ (ΣΥΝΗΘΩΣ d=0,9f)
- 9) R1: ΒΑΡΟΣ ΓΑΙΩΝ ΟΤΑΝ ΕΧΟΥΜΕ ΣΚΑΛΟΠΑΤΙ ΣΤΟ ΘΕΜΕΛΙΟ
- 10) c: ΣΥΝΟΧΗ ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ
- 11) γ<sub>t</sub>: ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΤΟΙΧΟΥ (ΣΥΝΗΘΩΣ ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΛΙΘΩΝ/1,5
- 12) γ<sub>e</sub>: ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΓΑΙΩΝ

#### ΤΥΠΟΙ ΩΘΗΣΗΣ ΓΑΙΩΝ

$$E = [(P + 0.5 \cdot \gamma_e \cdot H) \cdot H \cdot K_a] - 2 \cdot c \cdot H \cdot K_a^{1/2}, \quad E_k = E \cdot \eta \cdot \mu \cdot d, \quad E_o = E \cdot \sigma \cdot \nu \cdot d$$

$$E_p = [(P + 0.5 \cdot \gamma_e \cdot H) \cdot H \cdot K_b] + 2 \cdot c \cdot H \cdot K_b^{1/2}, \quad E_{p1} = E_p \cdot \eta \cdot \mu \cdot d, \quad E_{p2} = E_p \cdot \sigma \cdot \nu \cdot d$$

$$K_a = \frac{\sigma \cdot \nu \cdot f^2}{\sigma \cdot \nu \cdot d \cdot [1 + \frac{\eta \cdot \mu \cdot (f \cdot d)^2 \cdot \eta \cdot \mu \cdot (f \cdot \beta)}{\sigma \cdot \nu \cdot d \cdot \sigma \cdot \nu \cdot \beta}]^2}, \quad K_b = \frac{\sigma \cdot \nu \cdot f^2}{\sigma \cdot \nu \cdot d \cdot [1 - \frac{\eta \cdot \mu \cdot (f \cdot d)^2 \cdot \eta \cdot \mu \cdot (f \cdot \beta)}{\sigma \cdot \nu \cdot d \cdot \sigma \cdot \nu \cdot \beta}]^2}$$

#### ΜΟΧΛΟΒΡΑΧΙΟΝΕΣ ΤΡΑΠΕΖΙΟΥ

$$x_0 = h/3 + \frac{b1 \cdot 2b2}{b1 + b2}$$

$$x1 = b1/2 - x_0 + \frac{b1 \cdot b2}{2h}$$

Εικόνα 15. Ανάλυση δυνάμεων κατά τον στατικό υπολογισμό σαρζανέτ.

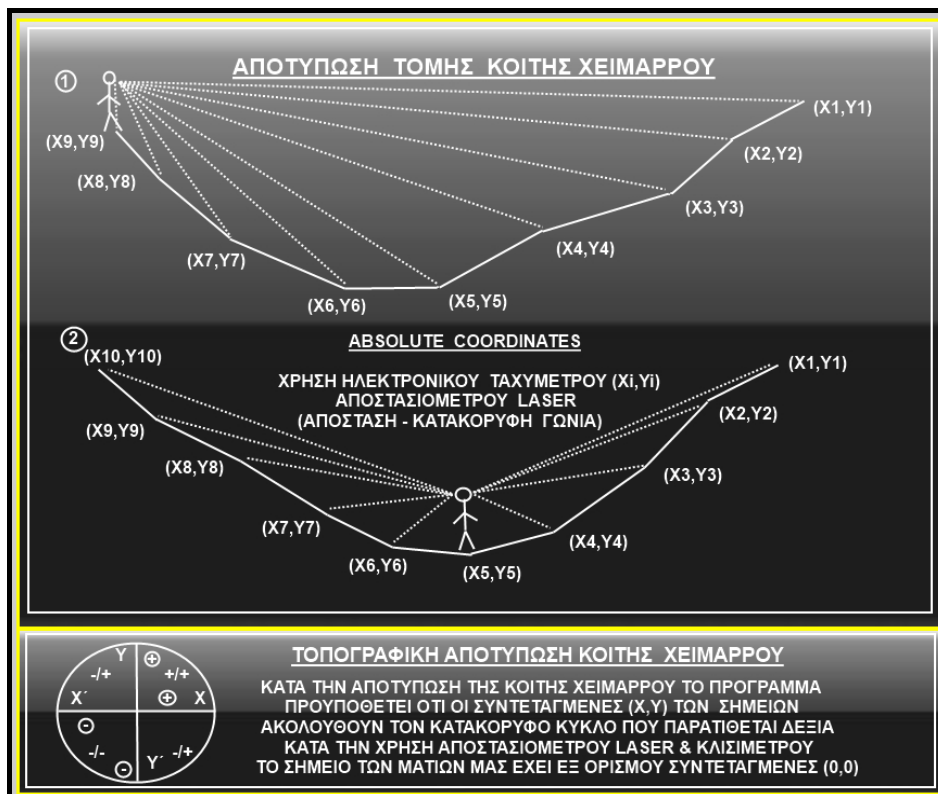
- Αποτελέσματα στατικού υπολογισμού  
Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται αναλυτικά σε πίνακα του προγράμματος (εικόνα 17).

**Εικόνα 16.** Δεδομένα στατικού υπολογισμού σαρζανέτ.

**Εικόνα 17.** Αποτελέσματα του στατικού υπολογισμού.

### Σχεδίαση τομής κοίτης χειμάρρου

Το πρόγραμμα έχει την δυνατότητα να σχεδιάζει την τομή της κοίτης χειμάρρου και να την εξάγει απευθείας στο AutoCAD (εικόνα 18).



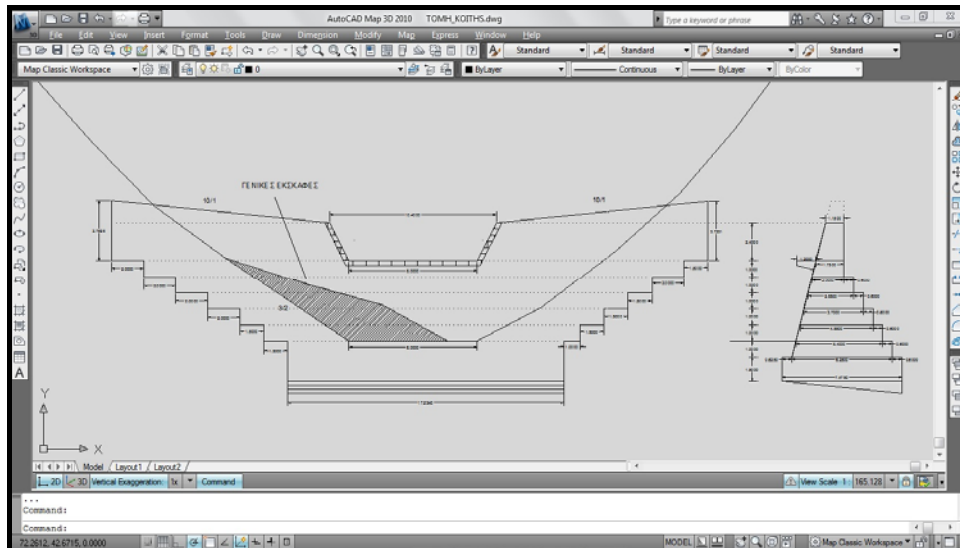
**Εικόνα 18.** Αποτύπωση της τομής κοίτης ρέματος.

ΣΗΜΕΙΟ Α/Α	----ΧΙ----	----ΥΙ----	ΚΕΚΛΙΜΕΝΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ	ΚΑΤ/ΦΗ ΓΩΝΙΑ(ΒΑΘΜΟΙ)	ΚΑΤ/ΦΗ ΓΩΝΙΑ(ΜΟΙΡΕΣ)
ΣΗΜΕΙΟ 1					
ΣΗΜΕΙΟ 2					
ΣΗΜΕΙΟ 3					
ΣΗΜΕΙΟ 4					
ΣΗΜΕΙΟ 5					
ΣΗΜΕΙΟ 6					
ΣΗΜΕΙΟ 7					
ΣΗΜΕΙΟ 8					
ΣΗΜΕΙΟ 9					
ΣΗΜΕΙΟ 10					
ΣΗΜΕΙΟ 11					
ΣΗΜΕΙΟ 12					
ΣΗΜΕΙΟ 13					
ΣΗΜΕΙΟ 14					
ΣΗΜΕΙΟ 15					
ΣΥΝΟΛΟ ΣΗΜΕΙΩΝ			ΟΤΑΝ ΕΙΣΑΓΟΥΜΕ ΑΠΕΥΘΕΙΑΣ ΧΙ,ΥΙ ==>		ΕΜΒΑΔΟ
ΕΜΒΑΔΟ ΤΟΜΗΣ			1)ΒΑΘΜΟΙ ΣΕ ΜΟΙΡΕΣ	2) Χι,Υι & ΕΜΒΑΔΟ	ΕΞΑΓΩΓΗ ΣΤΟ AUTOCAD
ΣΧΕΔΙΑΖΕΤΑΙ Ο 2ος ΤΡΟΠΟΣ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗΣ (ΕΙΝΑΙ Ο ΠΙΟ ΚΟΙΝΟΣ ΣΤΗΝ ΠΡΑΞΗ)					
ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΤΟΜΗΣ ΚΟΙΤΗΣ			ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΣΧΕΔΙΟΥ		

Εικόνα 19. Πίνακας δεδομένων αποτύπωσης κοίτης ρέματος.

### Σχεδίαση πρόσοψης και τομής φράγματος στο AutoCAD

Το πρόγραμμα Torrential-MIK σχεδιάζει την πρόσοψη και την τομή φράγματος βαρύτητας ενώ μπορεί να την εξάγει στο AutoCAD (εικόνα 20).



Εικόνα 20. Πρόσοψη και τομή φράγματος βαρύτητας στο AutoCAD, μετά από εξαγωγή από το πρόγραμμα Torrential-MIK της τομής της κοίτης, του διάρρου και της τομής του φράγματος.

### Υπολογισμός διαστάσεων και απαιτούμενου οπλισμού γείσου φράγματος

Ο υπολογισμός των διαστάσεων του γείσου φράγματος γίνεται με τη βοήθεια του κανόνα Wehrman ο οποίος ισχύει σε φράγματα με κατακόρυφο άνω μέρος.

**ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΓΕΙΣΣΟΥ**

ΚΑΝΟΝΑΣ WEHRMAN  
ΟΤΑΝ ΤΟ ΑΝΑΝΤΗ ΜΕΤΩΠΟ ΚΑΤ/ΦΟ

$K_s = 0,25 \cdot \sqrt{H_s} \quad K_s = XD$

$K_s$  : Η ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΗ ΠΡΟΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΒΑΣΗΣ ΠΕΡΑΝ ΤΗΣ ΣΤΕΨΗΣ ΣΤΟ ΦΡΑΓΜΑ  
 $XD = S_{επ} \cdot H_s$

A: ΜΗΚΟΣ ΤΟΥ ΓΕΙΣΣΟΥ  
L: ΠΑΧΟΣ ΤΟΥ ΓΕΙΣΣΟΥ ΣΤΟ ΑΚΡΟ ΤΗΣ ΣΤΕΨΗΣ  
XD: ΠΡΟΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΒΑΣΗΣ ΠΕΡΑΝ ΤΟΥ ΓΕΙΣΣΟΥ  
D: ΠΑΧΟΣ ΣΤΕΨΗΣ

ΤΟ ΥΠΟΛΟΓΙΖΟΜΕΝΟ ΜΗΚΟΣ ΓΕΙΣΣΟΥ ΠΡΟΣΔΥΞΑΝΕΤΑΙ ΓΙΑ ΑΣΦΑΛΕΙΑ

**Δ Ε Δ Ο Μ Ε Ν Α :**

ΥΨΟΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ  $H_s$  :  ΚΛΙΣΗ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ :

ΠΑΧΟΣ ΣΤΕΨΗΣ D :  ΠΑΧΟΣ ΓΕΙΣΣΟΥ L :

**Α Π Ο Τ Ε Λ Ε Σ Μ Α Τ Α :**

ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΚΡΟΥ ΒΑΣΗΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΑΠΟ ΣΤΕΨΗ :  XD :

ΜΗΚΟΣ ΓΕΙΣΣΟΥ :   $S_{επ}$  (WEHRMAN) :

Εικόνα 21. Υπολογισμός διαστάσεων γείσου φράγματος.

Ο υπολογισμός του αναγκαίου οπλισμού κατά την κατασκευή του γείσου, περιγράφεται αναλυτικά σε κάρτα του προγράμματος Torrential-MIK (εικόνα 22).

**ΣΤΑΤΙΚΗ ΘΕΩΡΗΣΗ**

Ο γείσος λειτουργεί ως πακτιμένος πρόβολος. Επομένως σε κάθε σημείο του που απέχει από το άκρο του  $H_B$  απόσταση  $x$ , η ροπή του φορτίου που ασκείται είναι :

$$M = q \cdot \frac{x^2}{2}$$

Θεωρούμε το σημείο A που βρίσκεται σε απόσταση  $(D1+0,2)$  από το άκρο  $H_B$ .

$$M = [H_y \cdot \gamma_w + 1 \cdot (H_a + H_B) \cdot \gamma_b] \cdot \frac{(D1+0,2)^2}{2}$$

**ΔΥΝΑΜΕΙΣ**

$B = H_y \cdot \gamma_w$   
 $G = \frac{H_a + H_B}{2} \cdot \gamma_b$

**ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ  $K_h$**

$$K_h = (H_a - 5) \cdot \sqrt{B} \quad (H_a \text{ σε cm})$$

$\sigma_b$ (kg/cm <sup>2</sup> )	30	40	45	50	60	70	80	90	100	110	120
$K_h \text{ \& } K_h'$	17,3	13,6	12,4	11,4	9,9	8,8	8,0	7,4	6,8	6,4	6,0
$K_e$	0,78	0,79	0,80	0,81	0,82	0,83	0,84	0,85	0,86	0,87	0,88

Σε γείσους φραγμάτων αντιστοιχεί  $\sigma_b < 60$  kg/cm<sup>2</sup>. Για  $K_h > 17,3$  αντιστοιχεί  $K_e = 0,78$   
Συνολική επιφάνεια αναγκαίου οπλισμού  $F_e = \frac{M}{H_a \cdot 0,5} \cdot K_e$  (cm<sup>2</sup>/m). Ο οπλισμός διανομής = 0,20  $F_e$

ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ

ΑΠΛΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ

(ΚΩΤΟΥΛΑΣ 1989)

**Δ Ε Δ Ο Μ Ε Ν Α... Υ Π Ο Λ Ο Γ Ι Σ Μ Ο Υ  $K_h$  :**

ΥΨΟΣ ΔΙΑΡΡΟΥ  $H_y$  :  ΜΗΚΟΣ ΓΕΙΣΣΟΥ ( $D1+0,2m$ ) :

ΠΑΧΟΣ ΓΕΙΣΣΟΥ ΣΤΗΝ ΑΚΡΗ  $H_B$  :  ΠΑΧΟΣ ΓΕΙΣΣΟΥ ΣΤΟ ΦΡΑΓΜΑ  $H_a$  :

ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΝΕΡΟΥ  $\gamma_w$  :  ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ  $\gamma_b$  :

**Α Π Ο Τ Ε Λ Ε Σ Μ Α Τ Α**

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ  $k_h$  :  ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ  $K_h$

Υ Π Ο Λ Ο Γ Ι Σ Μ Ο Σ... Ο Π Λ Ι Σ Μ Ο Υ :

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ  $k_e$  :  ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΥ

ΑΝΑΓΚΑΙΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ  $F_e$  (cm<sup>2</sup>/m) :

ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΡΑΒΔΟΥ (π.χ. 0,008  $D=8.0$ ) :  ΑΡΙΘΜΟΣ ΤΕΜΑΧΙΩΝ ΣΕ 1,0M :

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΔΙΚΟΥ ΜΟΥ ΟΠΛΙΣΜΟΥ (cm<sup>2</sup>/m) :

Εικόνα 22. Υπολογισμός αναγκαίου οπλισμού γείσου φράγματος.

## Έλεγχος των στατικών υπολογισμών

### Στατικός υπολογισμός φράγματος βαρύτητας

Ο έλεγχος των αποτελεσμάτων του στατικού υπολογισμού σε φράγμα βαρύτητας με πρόγραμμα Torrentail-MIK έγινε με το εγκεκριμένο πρόγραμμα στατικού υπολογισμού φραγμάτων, του Υπουργείου Περιβάλλοντος και Κλιματικής Αλλαγής (Καπετανόπουλος 2002). Ειδικότερα υλοποιήθηκαν το σύνολο των υπολογισμών και με τα δύο προγράμματα και τα αποτελέσματα είναι σχεδόν ταυτόσημα (εικόνες 23, 24, 25 & 26).

Το πρόγραμμα Torrentail-MIK υπολογίζει επιπλέον τον συντελεστή βύθισης και θλίψης, εξάγει την προκύπτουσα τομή απευθείας στο AutoCAD, ενώ χαρακτηρίζεται και από την πρωτοτυπία ότι υπολογίζει τον απαιτούμενο οπλισμό στο φράγμα και στο γείσο φράγματος.

**ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ**  
 Αρχείο: Επεξεργασία Βοήθεια  
**ΔΕΔΟΜΕΝΑ**  
 1. ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΥΠΟΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ: Μόνιμο (m)  
 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ: ΤΜΗ1  
 Χειμαρρός: Κερυνίτης κλάδος Ρουσσίου (Κωδικός Λεκάνης 331702)  
 Τύπος έργου: Φράγμα  
 Κωδικός έργου:  
 2. ΦΟΡΤΙΣΗ-ΤΑΣΕΙΣ-ΑΣΦΑΛΕΙΑ: Μόνιμο (m)  
 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ: ΤΜΗ1  
 Συντελεστής αλληλεπίδρασης, στο σώμα του έργου: 0.700  
 Επιταχυντικός συντελεστής, στο έδαφος: 45.000  
 Συντελεστής αλληλεπίδρασης, στο έδαφος: 0.550  
 3. ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ: Μόνιμο (m)  
 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ: ΤΜΗ1  
 Υψόμετρο όρους φράγματος, Ηh: 7.500  
 Ύψος πετρωτικού (διαφύου), Ηα: 1.900  
 Αρχικό πάχος φράγματος, στη στέγη, Dα: 1.650  
 4. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΡΑΣΩΝ-ΒΑΘΜΩΝ: Μόνιμο (m)  
 Αριθμός: 1 Βάθος, Ηh: 1.000 Πλάτος, β1: 0.650 Αριθμός: 2 Βάθος, Ηh: 2.000 Πλάτος, β1: 0.650  
 3 3.000 0.650 4 4.000 0.650  
 5 5.000 0.650 6 6.000 0.650  
**ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ**  
 1. ΓΕΝΙΚΑ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ: Μόνιμο (m), Εμβαδόν [m<sup>2</sup>]  
 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ: ΤΜΗ1  
 Πάχος φράγματος στην κορυφή, του διαφύου (σε ύψος Ηα από τη στέγη): 1.175  
 Πάχος φράγματος στη στέγη της στέγης (κοίτης το γείσου), Dα: 1.650  
 Πάχος φράγματος στη βάση, Dβ: 7.625  
 2. ΣΥΝΘΕΤΙΚΕΣ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ: Μόνιμο (m), Τάσεων [t/m<sup>2</sup>]  

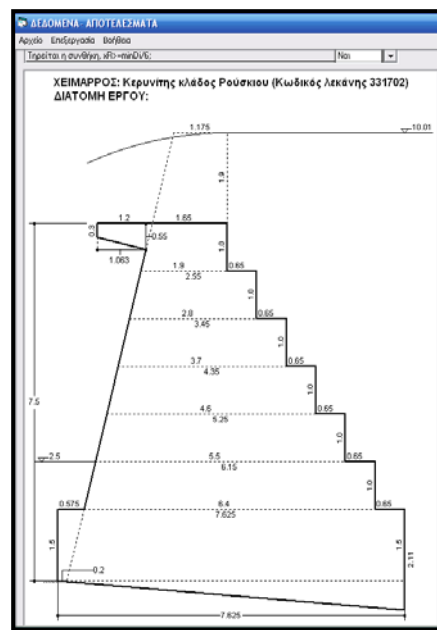
i	Πh	Βαθμ	αh1	αh2	αh3	αh4	αh5	αh6	αh7	αh8	αh9
5	0.650	1.972	5.900	6.150	21.043	1.726	21.043	1.611	3.518		
6	0.650	2.301	6.400	7.625	23.788	2.027	23.788	1.788	3.461		
7	0.000	2.705	7.625	7.625	28.484	1.931	28.484	1.931	2.763		

 ΣΥΜΒΑΛΑ ΣΗΜΑΣΙΑ:  
 αh Βαθμ: Το πάχος της βαθμίδας στο επίπεδο του αρμού (h)  
 αh1, αh2, αh3, αh4, αh5, αh6, αh7, αh8, αh9: Το ελάχιστο και μέγιστο πάχος του έργου στον αρμό (h)  
 αh1: Απόσταση κοίτης του (h) και της R, από την κατώτερη κοίμη  
 3. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΥΝΑΜΕΩΝ: Μόνιμο (m), Δυνάμεις [t]  

Δύναμη	αριθμός 1	αριθμός 2	αριθμός 3	αριθμός 4	αριθμός 5	αριθμός 6	αριθμός 7
Wk	5.967	5.367	5.967	5.367	5.967	5.367	5.367
Msk	2.629	4.318	5.809	7.297	8.786	10.275	13.700
Sp	4.269	10.680	19.260	30.000	42.900	57.960	90.992

 ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ:  
 1. Οι ροπές λαμβάνονται ως προς την κατώτερη κοίμη του αρμού (h)  
 2. Rh είναι η κλίση στον αρμό (h) αναφορικά της R (βαθμίδας)  
 3. Rp είναι η κορυφή (εφαπτομένη) στον αρμό (h) αναφορικά της R  
 4. ΤΗΡΗΣΗ ΣΥΝΘΕΤΙΚΩΝ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ-ΑΝΑΓΚΗ ΟΠΛΙΣΜΟΥ  
 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ: ΤΜΗ1  
 Τηρείται η συνθήκη ανατροπής, ηC>=ηCku: No  
 Τηρείται η συνθήκη αλληλεπίδρασης, ηC>=ηCkzu: No  
 Τηρείται η συνθήκη αh1>=αh1kdu: No

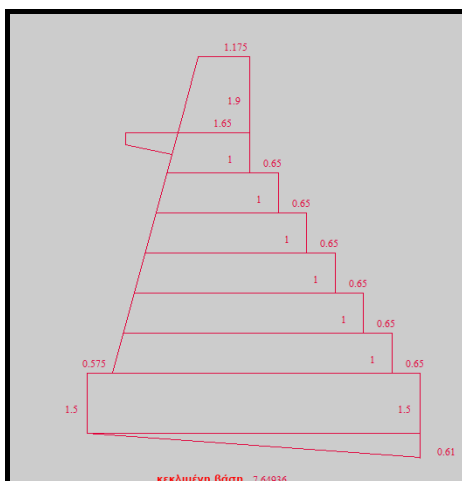
Εικόνα 23. Αποτελέσματα υπολογισμών προγράμματος Υ.Π.Ε.Κ.Α.



Εικόνα 24. Τομή φράγματος προγράμματος Υ.Π.Ε.Κ.Α.

ΣΥΝΘΕΤΙΚΕΣ ΕΥΣΤΑΘΙΕΣ	ΕΜΒΑΔΟ ΔΙΑΤΟΜΗΣ 38.4026	Εφα ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ 0.34297
ΘΕΣΗ ΤΗΣ R 2.70581	B 3= 2.55	B 6 = 1.275
Smin 1.85639	Smax 28.4814	(ΟΤΑΝ xR=B 6) Sμεγ 28.4814
ΣΥΝΤ. ΑΝΑΤΡΟΠΗΣ 2.7424	ΣΥΝΤ. ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ 1.60364	ΣΥΝΤ. ΒΥΘΙΣΗΣ 1.57998
ΣΥΝΤ. ΘΛΙΨΗΣ 1.57998		
ΔΥΝΑΜΕΙΣ		
Y1 4.26	Y2 6.42	Y3 8.58
Y4 10.74	Y5 12.9	Y6 15.06
Y7 26.055	Y8 5.5815	Y9 1.395
Y10 1.08426	Y11 0.09042	
C1 5.9565	C2 2.0735	C3 2.7885
C4 3.5035	C5 4.2185	C6 4.9335
C7 5.6485	C8 0.77	
P1 2.64	P2 3.74	P3 4.84
P4 5.94	P5 7.04	P6 8.14
P7 14.2725	P8 6.51206	P9 0.55
P10 2.8875	P11 0	A 9.59992

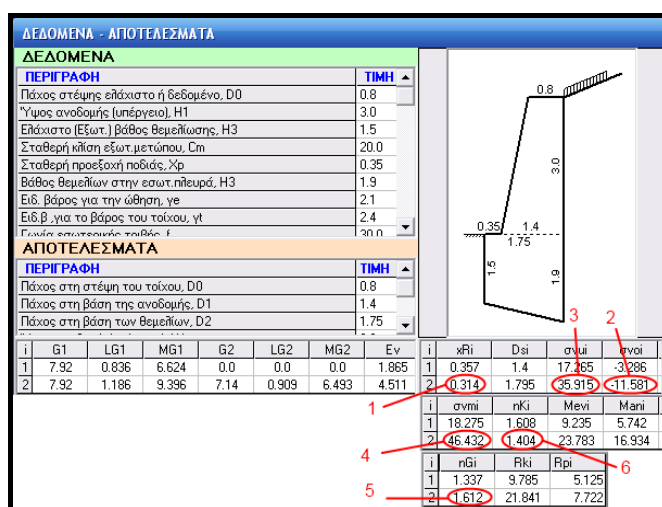
Εικόνα 25. Αποτελέσματα υπολογισμών προγράμματος Torrential – MIK.



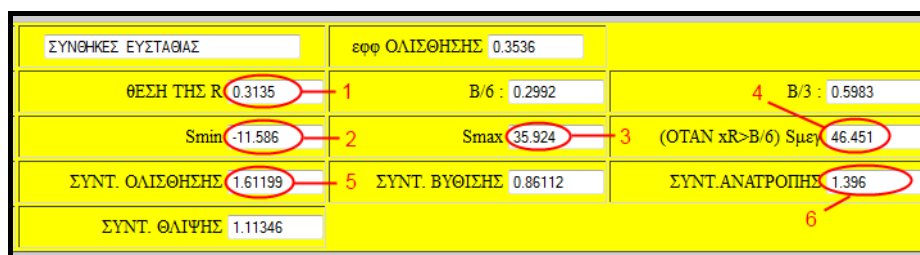
Εικόνα 26. Τομή φράγματος προγράμματος *Torrential* – *MIK*.

### Στατικός υπολογισμός τοίχου αντιστήριξης

Ο έλεγχος των αποτελεσμάτων του στατικού υπολογισμού σε τοίχο βαρύτητας έγινε με το εγκεκριμένο πρόγραμμα στατικού υπολογισμού τοίχων αντιστήριξης, του Υπουργείου Περιβάλλοντος & Κλιματικής Αλλαγής (Καπετανόπουλος 2001). Ειδικότερα υλοποιήθηκαν το σύνολο των υπολογισμών και με τα δύο προγράμματα και τα αποτελέσματα είναι ταυτόσημα (εικόνες 27, 28 & 29).

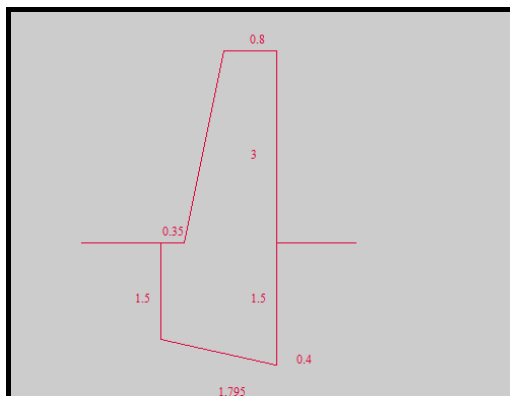


Εικόνα 27. Υπολογισμοί και τομή τοίχου αντιστήριξης προγράμματος *Υ.ΠΕ.ΚΑ*.



Εικόνα 28. Στατικοί υπολογισμοί τοίχου αντιστήριξης του προγράμματος *Torrential* – *MIK*

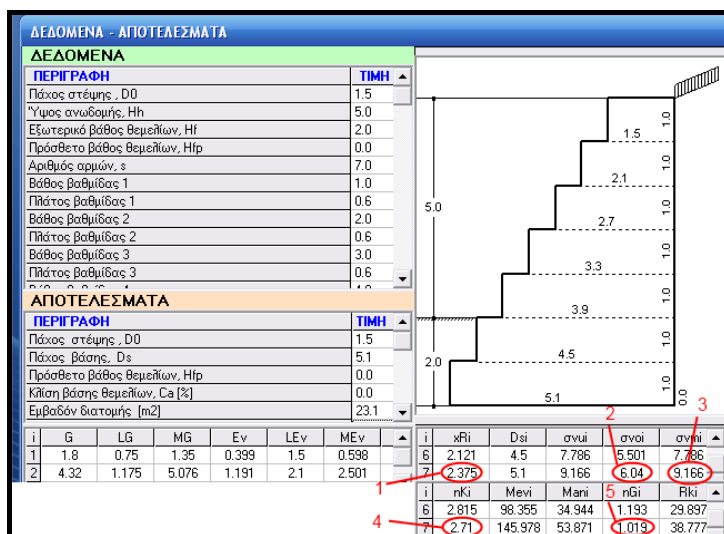




Εικόνα 29. Σχεδίαση της τομής τοίχου αντιστήριξης του προγράμματος Torrential – MIK.

### Στατικός υπολογισμός συρματόπλεκτου τοίχου (σαρζανέτ)

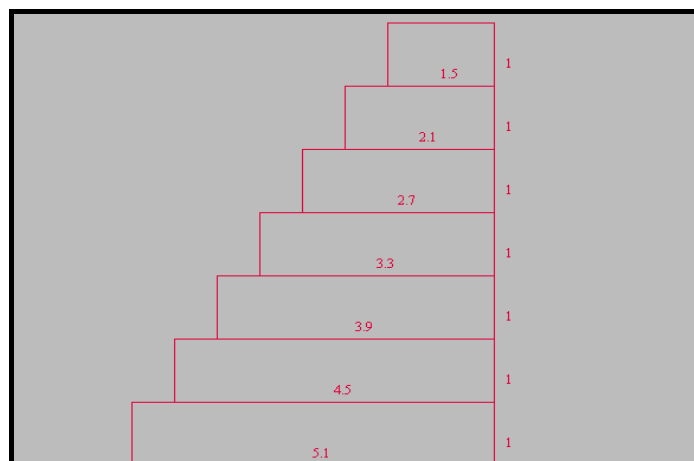
Ο έλεγχος των αποτελεσμάτων του στατικού υπολογισμού σε συρματόπλεκτο τοίχο (σαρζανέτ) έγινε με το εγκεκριμένο πρόγραμμα στατικού υπολογισμού σαρζανέτ, του Υπουργείου Περιβάλλοντος & Κλιματικής Αλλαγής (Καπετανόπουλος 2002). Ειδικότερα υλοποιήθηκαν το σύνολο των υπολογισμών και με τα δύο προγράμματα και τα αποτελέσματα είναι ταυτόσημα (εικόνες 30, 31 & 32).



Εικόνα 30. Στατικός υπολογισμός συρματόπλεκτου τοίχου προγράμματος Υ.Π.Ε.Κ.Α.

ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΕΥΣΤΑΘΙΑΣ	εμφ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ 0.5597		
ΘΕΣΗ ΤΗΣ R 2.3752	B/6 : 0.85	B/3 : 1.7	
Smin 6.04	Smax 9.167	(ΟΤΑΝ xR>B/6) Sμεγ 9.167	
ΣΥΝΤ.ΑΝΑΤΡΟΠΗΣ 2.71	ΣΥΝΤ. ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ 1.0184	ΣΥΝΤ. ΒΥΘΙΣΗΣ 3.67512	
ΣΥΝΤ. ΘΛΙΨΗΣ 4.36348			

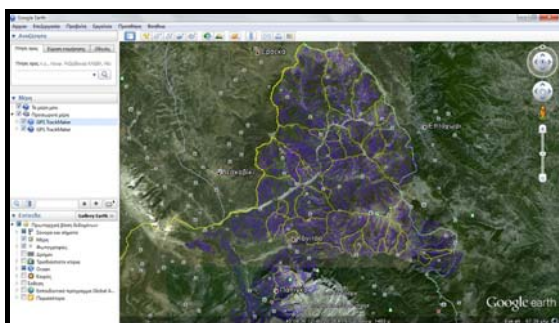
Εικόνα 31. Στατικός υπολογισμός συρματόπλεκτου τοίχου αντιστήριξης του προγράμματος Torrential – MIK.



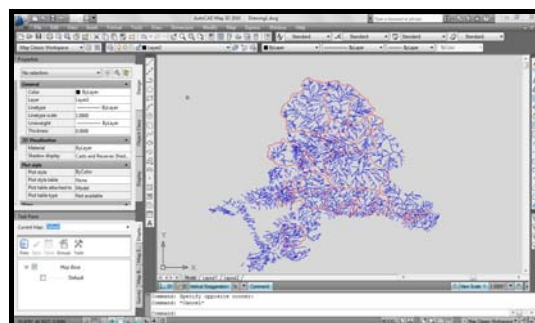
**Εικόνα 32.** Σχεδίαση της τομής συρματόπλεκτου τοίχου αντιστήριξης του προγράμματος *Torrential – MIK*.

### Συνεργασία προγράμματος *Torrential-MIK* με άλλα προγράμματα

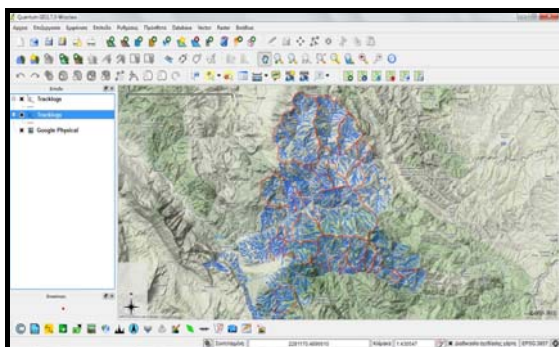
Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα του ανοικτού προγράμματος *Torrential-MIK* είναι η συνεργασία του με πλήθος άλλων προγραμμάτων. Αυτό το καθιστά συμβατό με προγράμματα όπως το *Google Earth*, *AutoCAD Map*, *Quantum GIS*, *Track Maker*, κ.α., δίνοντας την δυνατότητα στο χρήστη να κάνει όποιο συνδυασμό προγραμμάτων επιθυμεί. Στις επόμενες εικόνες γίνεται προβολή του υδρογραφικού δικτύου και των λεκανών απορροής σε διάφορα προγράμματα (εικόνες 33, 34, 35 & 36).



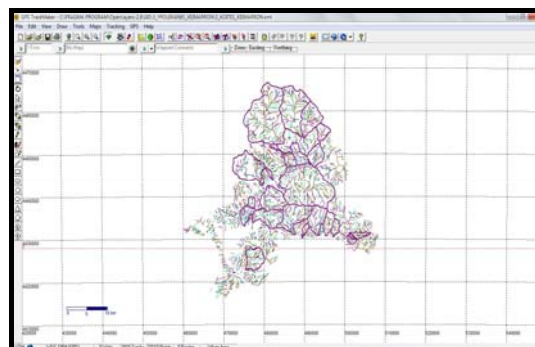
**Σχήμα 33.** Προβολή στο *Google Earth*.



**Σχήμα 34.** Προβολή στο *AutoCAD MAP*.



**Σχήμα 35.** Προβολή στο *Quantum GIS*.



**Σχήμα 36.** Προβολή στο *Track Maker*.

## Πλεονεκτήματα Προγράμματος Torrential - MIK

Το πρόγραμμα ανοικτού λογισμικού Torrential – MIK είναι το μοναδικό στην Ελλάδα που μπορεί να συνδυάζει υδραυλικούς υπολογισμούς και ολοκληρωμένη βάση δεδομένων γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών. Μπορεί να τροποποιηθεί από οποιονδήποτε έχει εμπειρία προγραμματισμού στις γλώσσες Html, JavaScript και φύλλα στυλ CSS. Εκτελείται απ' ευθείας από τον χρήστη, σε κάθε Η/Υ που διαθέτει λειτουργικό σύστημα windows και linux. Δεν έχει δοκιμαστεί σε λειτουργικό σύστημα Mac. Δεν απαιτείται καμία εγκατάσταση. Εκτελείται με απλή “αντιγραφή” και “επικόλληση” του φακέλου που περιέχει το πρόγραμμα “FRAGMA PROGRAM” οπουδήποτε στον Η/Υ που χρησιμοποιούμε. Μπορεί πολύ εύκολα να χρησιμοποιηθεί διαμέσου οποιουδήποτε server. Το πρόγραμμα εκτελείται επίσης και χωρίς σύνδεση στο internet, με την προϋπόθεση ότι στις εργασίες χαρτογράφησης θα χρησιμοποιηθούν χάρτες που δημιουργούνται από τον χρήστη (custom maps).

Η εκτεταμένη χρήση της γλώσσας JavaScript εξασφαλίζει αυξημένη ταχύτητα στην εκτέλεση του κώδικα που αφορά τους υδραυλικούς υπολογισμούς και την μεταφορά των χαρτών της Google και της ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ ΑΕ, στην επιφάνεια εργασίας του χρήστη. Συνεργάζεται με γνωστά GIS προγράμματα και δωρεάν εφαρμογές όπως το Google Earth, το Trackmaker καθώς και με οποιαδήποτε συσκευή GPS.

Διαθέτει απλή βάση δεδομένων (αρχείο τύπου excel), στο οποίο αποθηκεύονται οι πληροφορίες που αφορούν τις λεκάνες απορροής που προβάλλονται στο χάρτη.

## Βιβλιογραφία

- Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός, (2000). ΟΑΣΠ Απρίλιος 2001. Αθήνα.
- Καπετανόπουλος, Γ. (2002). Στατικός υπολογισμός φραγμάτων βαρύτητας, στατικός υπολογισμός τοίχων βαρύτητας από συρματοπλεκτα κιβώτια, (Αριθ. 142800/13-3-1984 & 116152/1289/19-11-2003. Δ/γές Γεωργίας, Δ/νση Αναδασώσεων Ο.Υ. Τμήμα Διευθέτησης Χειμάρρων).
- Καπετανόπουλος, Γ. (2002). Στατικός υπολογισμός τοίχων αντιστήριξης βαρύτητας, (Αριθ. 81204/2427/17-6-1993 & 93155/426/10-4-2002. Δ/γές Υπουργείου Γεωργίας, Δ/νση Αναδασώσεων Ο.Υ. Τμήμα Διευθέτησης Χειμάρρων).
- Καπετανόπουλος, Γ. (2001). Επίλυση προβλημάτων ομοιόμορφης ροής σε ανοιχτούς αγωγούς τραπεζοειδούς διατομής, (Αριθ. 81204/2427/17-6-1993 & 93155/426/10-4-2002). Δ/γές Υπουργείου Γεωργίας, Δ/νση Αναδασώσεων Ο.Υ. Τμήμα Διευθέτησης Χειμάρρων).
- Καπετανόπουλος, Γ. (2001). Υπολογισμός κλίσης αντιστάθμισης. (Αριθ. 90987/1090/16-10-2001. Δ/γή Υπουργείου Γεωργίας. Δ/νση Αναδασώσεων Ο.Υ. Τμήμα Διευθέτησης Χειμάρρων).
- Κατσάμπαλος, Κ. και Κουσουλάκου Α. (2005). Α.Π.Θ. Παγκόσμιο σύστημα εντοπισμού θέσης GPS.
- Κατσουγιαννόπουλος, Σ. (2008). Αναγωγή στοιχείων σε χαρτογραφικό επίπεδο. Τ.Ε.Ι. Σερρών. Τμήμα Γεωπληροφορικής & Τοπογραφίας.
- Κωτούλας, Δ. (1989). Τα χαμηλά Φράγματα. Έκδοση Γεωτεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας.
- Κωτούλας, Δ. (2001). Ορεινή Υδρονομική Τόμος Ι. Θεσσαλονίκη Α.Π.Θ. Τμήμα Εκδόσεων.

- Κωτούλας, Δ. (2001). Ορεινή Υδρονομική Τόμος II. Θεσσαλονίκη Α.Π.Θ. Τμήμα Εκδόσεων.
- Μπιλίρης, Χ. (2005). Εισαγωγή στη Γεωδαισία Ε.Μ.Π.
- Τυμπακιανάκης, Α. (2010). Μελέτη στην τεχνολογία Web Services μέσω της JavaScript, Πτυχιακή Εργασία. Τ.Ε.Ι. Κρήτης, Σχολή Εφαρμοσμένης Πληροφορικής & Πολυμέσων.
- Fournier, F. (1960). Glimat et erosion. Paris.
- Gavrilovič, Sl. (1972). Inzenjering o bujicn im tokovima i eroziji. Beograd.
- Kronfellner – Kraus, G. (1985). Quantitative estimation of torrent erosion, International Symposium on Erosion Debris Flow and Disaster Prevention, Tsukuba Japan.
- Kirkby, M.J. and Morgan, R.P.C. (editors), (1980). Soil Erosion. John Wiley and Sons. G. Britain.
- McGraw – Hill/Osborne, (2004). JavaScript: A Beginner’s Guide, Second Edition.
- Michael Moncur, (2000). Teach Yourself JavaScript in 24 Hours, Second Edition.
- Michael Moncur, (2007). Teach Yourself JavaScript in 24 Hours, 4rth Edition.
- Open Layers Manual, (2011). [www.openlayers.org](http://www.openlayers.org).
- Smith, J. (1997). Introduction to Geodesy J Wiley and Sons, Inc.
- Torge, W. (2000). Γεωδαισία. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Ε.Μ.Π. Αθήνα.
- Valentini, C. (1930). Sistemazione die torrenti a dei bacini montani. Milano.
- Williams, G.P. and Wolman, M.G. (1984). Downstream effects of dams on alluvian rivers, U.S.Geol. Surv. Prof. Pap. 1286, pp. 83.

## ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΣΤΙΓΜΙΑΙΟΥ ΜΟΝΑΔΙΑΙΟΥ ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑΤΟΣ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ CLARK ΚΑΙ Γ.Σ.Π.

### **Φώτιος Μάρης**

Εργαστήριο Διευθέτησης Ορεινών Υδάτων και Διαχείρισης Κινδύνου  
Τμήμα Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων  
Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης  
e-mail: [fmarris@fmenr.duth.gr](mailto:fmarris@fmenr.duth.gr)

### **Γεωργία Βαρσάμη**

Εργαστήριο Διευθέτησης Ορεινών Υδάτων και Διαχείρισης Κινδύνου  
Τμήμα Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων  
Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης  
e-mail: [georginavarsami@gmail.com](mailto:georginavarsami@gmail.com)

### **Αντώνιος Παύλου**

Σχολή Περιβάλλοντος και Ανάπτυξης, Τμήμα Γεωγραφίας  
Πανεπιστήμιο του Manchester  
e-mail: [pavlou.antonios@gmail.com](mailto:pavlou.antonios@gmail.com)

### **Απόστολος Βασιλείου**

Εργαστήριο Διευθέτησης Ορεινών Υδάτων και Διαχείρισης Κινδύνου  
Τμήμα Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων  
Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης  
e-mail: [apovassi@gmail.com](mailto:apovassi@gmail.com)

## **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Ο προσδιορισμός του στιγμιαίου μοναδιαίου υδρογραφήματος σε μια λεκάνη απορροής είναι ιδιαίτερα σημαντικός στην υδρολογική ανάλυση και το σχεδιασμό των διάφορων υδραυλικών έργων. Για τη σύνθεσή του απαιτούνται παρατηρημένα δεδομένα βροχόπτωσης-απορροής, ενώ σε περίπτωση που αυτά δεν είναι διαθέσιμα εφαρμόζονται μεθοδολογίες παραγωγής συνθετικών υδρογραφημάτων. Στην παρούσα εργασία έγινε χρήση της μεθόδου Clark καθώς και Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών. Οι βασικές παράμετροι που υπολογίστηκαν στη μέθοδο Clark είναι ο χρόνος συγκέντρωσης ( $T_c$ ), ο συντελεστής εναποθήκευσης ( $R$ ) και το ιστόγραμμα χρόνου-εμβαδού της λεκάνης απορροής. Στο ιστόγραμμα χρόνου-εμβαδού που δημιουργήθηκε το ύψος βροχόπτωσης θεωρήθηκε ίσο με 1mm και στη συνέχεια, με χρήση της γραμμικής διόδευσης ταμιευτήρα, παράχθηκε το τελικό υδρογράφημα. Στην εργασία αποδείχθηκε ότι η παραπάνω μεθοδολογία μαζί με τη χρήση των Γ.Σ.Π. μπορεί να δώσει αξιόπιστες λύσεις στην κατασκευή του στιγμιαίου μοναδιαίου υδρογραφήματος. Ειδικότερα η εφαρμογή είναι δυνατή και σε περιοχές που δεν έχουμε πραγματικά δεδομένα, δίνοντας αξιόπιστα αποτελέσματα, ενώ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για οποιαδήποτε επιθυμητή περίοδο σχεδιασμού.

**Λέξεις κλειδιά :** Στιγμιαίο Μοναδιαίο Υδρογράφημα, Μέθοδος Clark, GIS.

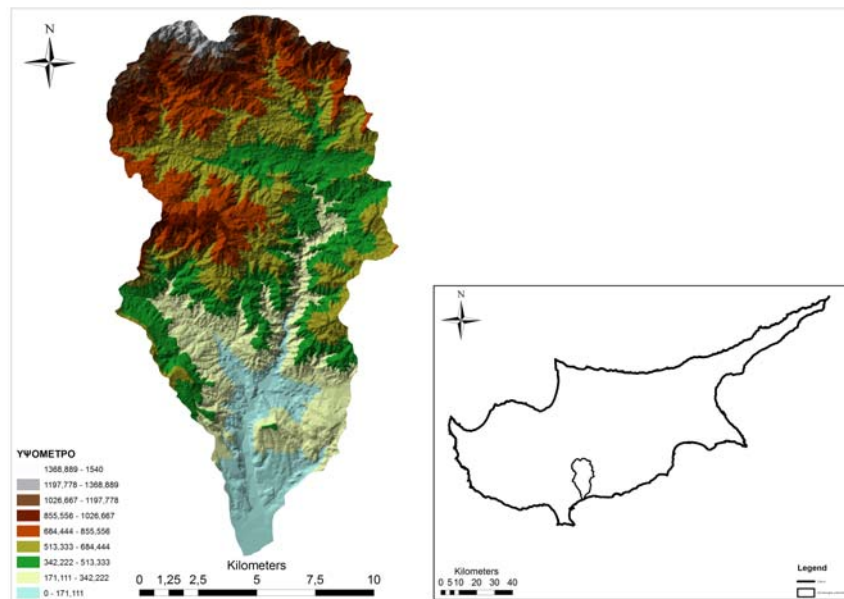
## Εισαγωγή

Στο μοναδιαίο υδρογράφημα το ύψος της απορροής ισούται με τη μονάδα. Διαιρώντας, δηλαδή, τον όγκο της απορροής με το εμβαδόν της υδρολογικής λεκάνης στην οποία αναφέρεται, το ύψος της απορροής θα είναι ίσο με ένα. Ιδιαίτερα σημαντικό σχετικά με το μοναδιαίο υδρογράφημα είναι ότι παρέχει τη δυνατότητα παραγωγής του υδρογραφήματος της πλημμύρας σχεδιασμού. Στο στιγμιαίο μοναδιαίο υδρογράφημα η επίδραση του χρόνου αγνοείται (διάρκεια=0 h) και κατασκευάζεται ένα μοναδικό μοναδιαίο υδρογράφημα για τη δοθείσα υδρολογική λεκάνη. Το πλεονέκτημα της χρήσης των στιγμιαίων μοναδιαίων υδρογραφημάτων έναντι των μοναδιαίων υδρογραφημάτων είναι ότι συνδέονται μόνο με την ενεργό βροχόπτωση (Wilson 1990). Στη συγκεκριμένη εργασία, για την κατασκευή του στιγμιαίου μοναδιαίου υδρογραφήματος έγινε εφαρμογή της μεθόδου του Clark (Clark 1945), ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα της οποίας είναι η δυνατότητα χρησιμοποίησής της στα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Η μεθοδολογία του Clark απαιτεί την εκτίμηση τριών βασικών παραγόντων. Ο πρώτος είναι ο χρόνος συγκέντρωσης ( $T^c$ ), που αντιπροσωπεύει το χρόνο που χρειάζεται για να φτάσει η ροή από το πιο απομακρυσμένο σημείο λεκάνης απορροής στην έξοδο αυτής. Για τον υπολογισμό του χρόνου αυτού χρησιμοποιήθηκε η εξίσωση καθυστέρησης (lag equation) της Soil Conservation Service (SCS), η οποία απαιτεί το μήκος του κύριου ποταμού, την κλίση της λεκάνης απορροής και τη μέση τιμή του αριθμού καμπύλης της λεκάνης. Οι συγκεκριμένοι παράγοντες μπορούν να υπολογιστούν γρήγορα και αξιόπιστα με τη χρήση των Γ.Σ.Π. Η επόμενη παράμετρος που πρέπει να καθοριστεί είναι ο συντελεστής εναποθήκευσης  $R$ , ο οποίος και αντικατοπτρίζει το φαινόμενο συγκράτησης της βροχόπτωσης από το υδρογραφικό δίκτυο. Ο υπολογισμός του έγινε γραφικά από ένα παρατηρημένο πλημμυρογράφημα της λεκάνης και χρησιμοποιήθηκε στη διαδικασία της γραμμικής διόδευσης (William 1986). Η τελευταία παράμετρος, το ιστόγραμμα χρόνου-εμβαδού της λεκάνης, αναπαριστά το εμβαδό της λεκάνης που συμβάλλει στη ροή στην έξοδο της λεκάνης, σε οποιαδήποτε δεδομένη στιγμή, μετά την εφαρμογή σε αυτή μιας μονάδας βροχόπτωσης. Επιπλέον, το ιστόγραμμα αναπαριστά το σχήμα και τις ιδιότητες διόδευσης της λεκάνης απορροής. Για τη σύνθεσή του κατασκευάστηκε το ψηφιακό μοντέλο εδάφους σε μορφή καννάβου και με ανάλυση 10x10m στο κάθε του κελί. Στη συνέχεια, στο ιστόγραμμα το ύψος βροχόπτωσης θεωρήθηκε ίσο με 1mm και δημιουργήθηκε ένα ενδιάμεσο στιγμιαίο μοναδιαίο υδρογράφημα. Με τη μεθοδολογία της γραμμικής διόδευσης ταμειυτήρα προέκυψε το τελικό στιγμιαίο μοναδιαίο υδρογράφημα, το οποίο παράχθηκε ως αποτέλεσμα μιας μονάδας βροχόπτωσης που σημειώθηκε σε ένα απείρως μικρό χρονικό διάστημα πάνω από την λεκάνη. Εφόσον η διάρκεια της βροχόπτωσης τείνει στο μηδέν, το σχήμα του υδρογραφήματος εξαρτάται μόνο από τα χαρακτηριστικά της λεκάνης.

## Περιοχή έρευνας

Η λεκάνη απορροής της Γερμασόγειας βρίσκεται στην Κύπρο, βορειανατολικά της Λεμεσού. Καταλαμβάνει έκταση 178 km<sup>2</sup> και το μήκος του κύριου υδατορέματος είναι περίπου 37 km. Το μέσο υψόμετρο της λεκάνης απορροής είναι 575,18 m, ενώ το μέγιστο υψόμετρο αγγίζει τα 1400 m. Ο ετήσιος μέσος όρος κατακρήμνισης είναι 638 mm, ενώ ο μέσος ετήσιος απορροϊκός όγκος είναι 22,5\*10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>. Η μέση ετήσια παροχή συναντάται στα 0,42 m<sup>3</sup>/sec. Τέλος σημαντική χαρακτηρίζεται η εδαφοκάλυψη αφού το

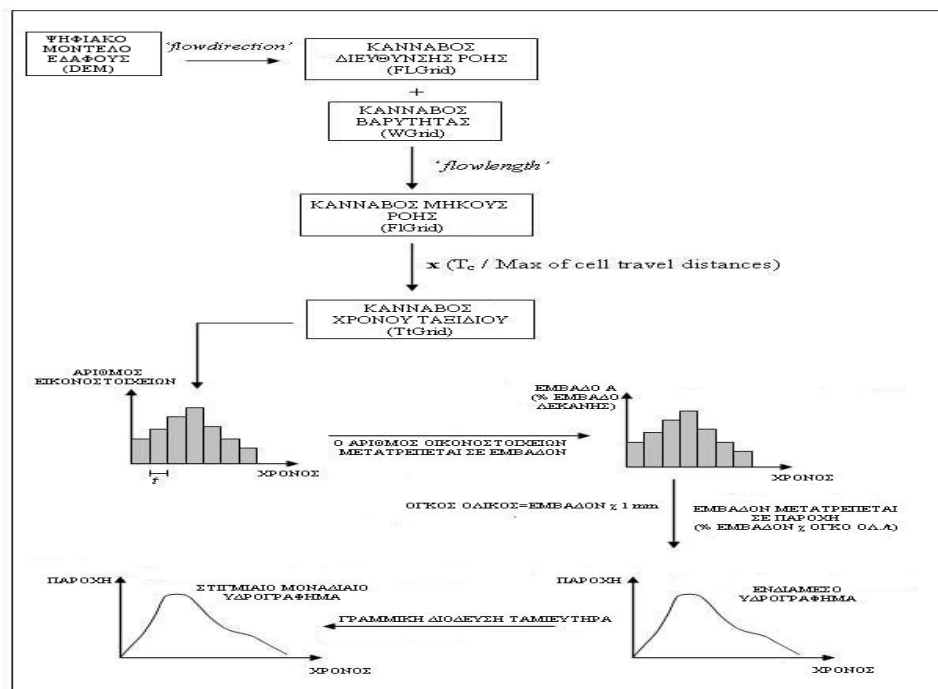
57,7 % καλύπτεται από δάση, το 33,75 από θάμνους, ενώ οι καλλιέργειες, οι αστικές περιοχές και οι περιοχές χωρίς σημαντική βλάστηση περιορίζονται στο 8,6%.



Σχήμα 1. Περιοχή μελέτης.

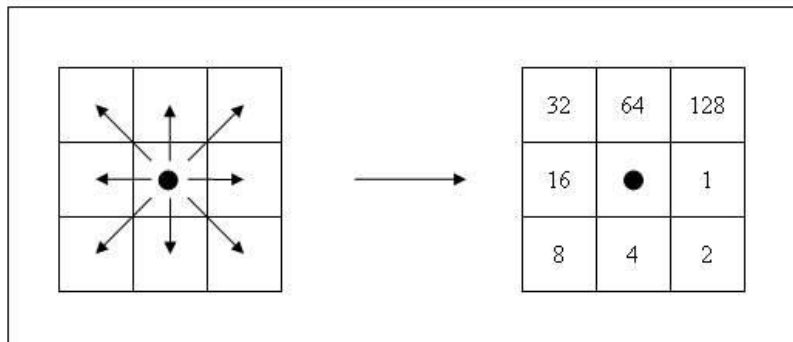
### Μεθοδολογία

Η ροή της εργασία εμφανίζεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 2. Ροή της εργασίας.

Για τη κατασκευή του ψηφιακού μοντέλου εδάφους χρησιμοποιήθηκαν οι ισοϋψείς ισοδιάστασης 20m και έπειτα έλαβε χώρα η μετατροπή του σε κανναβικό αρχείο ανάλυσης 10x10 m. Για τον υπολογισμό του καννάβου διεύθυνσης ροής (Flowdirection: FdGrid) έγινε χρήση της εργαλειοθήκης Hydrology του ArcGIS και της εντολής Flow Direction. Σε ένα τετραγωνικό περιβάλλον πλέγματος, κάθε φαντίο πλέγματος περιβάλλεται από οκτώ φαντία. Η κατεύθυνση της ροής από ένα φαντίο μπορεί να αναπαρασταθεί με έναν αριθμό που αντιπροσωπεύει μια από τις οκτώ κατευθύνσεις όπως παρουσιάζεται παρακάτω.



**Σχήμα 3.** Καννάβος διεύθυνσης ροής.

Στην συνέχεια, δημιουργήθηκε ο καννάβος βαρύτητας (WGrid) με χρήση της παρακάτω εξίσωσης:

$$WGrid = \frac{1}{VGrid} \quad (1)$$

όπου WGrid: ο καννάβος βαρύτητας και VGrid: ο καννάβος που αντιπροσωπεύει τη ταχύτητα ροής σε κάθε κελί του. Για τον υπολογισμό του VGrid έγινε εφαρμογή της εξίσωσης του Manning, η οποία χρησιμοποιείται συχνά στη ρευστομηχανική, ενώ οδηγεί σε αξιόλογα αποτελέσματα και στη χερσαία ροή (Linsley 1982) και περιγράφεται από τον παρακάτω τύπο:

$$V = \frac{1}{n} x R^{\frac{2}{3}} x \sqrt{s} \quad (2)$$

όπου V: η ταχύτητα ροής, n: ο συντελεστής τραχύτητας Manning, R: η υδραυλική ακτίνα και s: η κλίση της λεκάνης απορροής.

Οι παραπάνω παράγοντες εισήχθησαν με μορφή καννάβου στην εξίσωση 3:

$$VGrid = \frac{1}{nGrid} x RGrid^{\frac{2}{3}} x \sqrt{sGrid} \quad (3)$$

Ο καννάβος που αναπαριστά το συντελεστή Manning (nGrid) καθορίζεται από τις χρήσεις γης. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκε η βάση δεδομένων χρήσεων γης της



European Environmental Agency Corine 2006 για την Κύπρο και με τη βοήθεια του παρακάτω πίνακα δόθηκαν οι κατάλληλες τιμές σε κάθε κελί.

**Πίνακας 1.** Τιμές συντελεστή Manning (Fleckenstein 1998).

Χρήσεις γης	Συντελεστής Manning (n)
Δάσος	0,15
Αγροτικές καλλιέργειες	0,17
Λιβάδια	0,24
Επιφάνειες νερού	0,01
Οπωροφόρα δέντρα	0,08
Οικισμοί	0,015

Η δεύτερη παράμετρος που πρέπει να υπολογιστεί με βάση την εξίσωση του Manning είναι η υδραυλική ακτίνα. Για τους ανοιχτούς αγωγούς αυτή ορίζεται ως η αναλογία του εμβαδού της διαβρεχόμενης επιφάνειας προς τη διαβρεχόμενη περίμετρο. Στην εργασία αυτή όμως αυτό δεν ήταν εφικτή η εφαρμογή της, διότι είναι απαραίτητη και η υδραυλική ακτίνα της χερσαίας ροής σε ολόκληρη τη λεκάνη. Για τη δημιουργία του κανναβικού αρχείου RGrid, το κάθε κελί επιβάλλεται να πάρει μια τιμή ως προς την υδραυλική ακτίνα. Για την χερσαία ροή, όλα τα κελιά τα οποία δε συμμετέχουν στο υδρογραφικό δίκτυο έλαβαν την τιμή 0,001 εφόσον στο μοναδιαίο υδρογράφημα η τιμή της βροχόπτωσης ισούται με 1mm. Για τον υπολογισμό της υδραυλικής ακτίνας των ρεμάτων, υπολογίστηκε η συγκέντρωση ροής από το ψηφιακό μοντέλο εδάφους και έγινε εξαγωγή του υδρογραφικού δικτύου από τα κελιά που η συγκέντρωση ροής είναι μεγαλύτερη από 1000 (Usul 2002). Έπειτα, έγινε εκτίμηση της υδραυλικής ακτίνας σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα, ανάλογα με τις τιμές της συγκέντρωσης ροής.

**Πίνακας 2.** Τιμές της υδραυλικής ακτίνας (Fleckenstein 1998, Usul 2002).

Συγκέντρωση Ροής (DEM 10x10)	Υδραυλική Ακτίνα
<1000	0,001
1000-5000	0,04
5000-15000	0,08
15000-35000	0,12
>35000	0,25

Επιπλέον, ο υπολογισμός της κλίσης πραγματοποιήθηκε από το ψηφιακό μοντέλο υψομετρίας, με χρήση του πρόσθετου 3D Analyst.

Χρησιμοποιώντας το Raster Calculator και με τη βοήθεια της εξίσωσης 3, δημιουργήθηκε ο κάνναβος ταχύτητας ροής του κάθε κελιού σε ολόκληρη τη λεκάνη απορροής.

Επόμενο βήμα ήταν ο υπολογισμός του καννάβου μήκους ροής (Flowlength: FGrid) με χρήση της εργαλειοθήκης Hydrology του ArcGIS και της εντολής Flow Length, ο οποίος αντιπροσωπεύει την απόσταση ταξιδιού κάθε κυττάρου προς την έξοδο της λεκάνης απορροής. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να σημειώσουμε ότι στην παρούσα εργασία δημιουργήθηκαν δύο κάνναβοι μήκους ροής. Ο πρώτος παράχθηκε αποκλειστικά από το κανναβικό αρχείο της διεύθυνσης ροής. Στη δεύτερη περίπτωση στο κανναβικό αρχείο της διεύθυνσης ροής προστέθηκε και ο κάνναβος βαρύτητας και στη συνέχεια υπολογίστηκε το σταθμισμένο μήκος ροής (Sahoo 2006).

Ακολούθησε ο υπολογισμός του καννάβου χρόνου ταξιδιού. Για τη μετατροπή του καννάβου μήκους ροής σε χρόνο απαιτείται ο πολλαπλασιασμός του καννάβου μήκους ροής με το πηλίκο του χρόνου συγκέντρωσης δια τη μέγιστη τιμή του αρχείου FGrid (Kull and Feldman 1998):

$$TtGrid = \frac{Tc}{Max - of - cell - travel - lenghts} \times FGrid \quad (4)$$

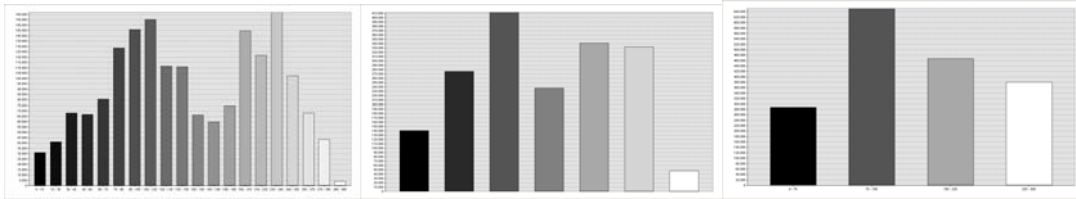
Ο χρόνος συγκέντρωσης ( $T_c$ ) είναι ο χρόνος που απαιτείται ώστε το περίσσειμα βροχόπτωσης να ταξιδέψει από το πιο απομακρυσμένο σημείο της λεκάνης μέχρι την έξοδό της (Schulz 1976). Στο τέλος αυτού του χρόνου, ολόκληρη η λεκάνη θα συμβάλλει στη ροή στην έξοδό της. Στη βιβλιογραφία, διάφορες εξισώσεις είναι διαθέσιμες για τον υπολογισμό του χρόνου της συγκέντρωσης (ASCE 1996). Μετά από εξέταση των διαθέσιμων παραμέτρων επιλέχθηκε η εξίσωση καθυστέρησης της Soil Conservation Service (SCS):

$$T_c = \frac{L^{0.8} \times \left(\frac{1000}{CN} - 9\right)^{0.7}}{190 \times S^{0.7}} \quad (5)$$

όπου  $T_c$ : ο χρόνος της συγκέντρωσης σε min, L: η μακρύτερη πορεία ροής της λεκάνης σε feet, η οποία είναι η μέγιστη τιμή του κανναβικού αρχείου μήκους ροής, CN: η μέση τιμή του αριθμού καμπύλης της λεκάνης και S: η μέση κλίση υδροκρίτη.

Στο επόμενο στάδιο έλαβε χώρα ο υπολογισμός του χρόνου ταξιδιού από κάθε κελί του καννάβου. Η μέγιστη τιμή του αρχείου FGrid αντιστοιχεί στο πιο απομακρυσμένο κελί της λεκάνης απορροής. Ο χρόνος ταξιδιού της ροής από το πιο απομακρυσμένο κελί μέχρι την έξοδο της λεκάνης μας δίνει το χρόνο συγκέντρωσης. Υπολογιστήκαν 2 κάνναβοι χρόνου ταξιδιού, ένας χωρίς τη συμμετοχή του συντελεστή βαρύτητας και ένας με το συντελεστή βαρύτητας.

Το ιστόγραμμα χρόνος-εμβαδό της λεκάνης καθορίζεται από τον κάνναβο χρόνο ταξιδιού της λεκάνης. Αρχικά, ιστογράμματα του καννάβου χρόνου ταξιδιού παράγονται για διαφορετικά χρονικά διαστήματα. Παρατηρείται ότι καθώς το χρονικό διάστημα μικραίνει το ιστόγραμμα μοιάζει με τα σύνθετα υδρογραφήματα, και καθώς αυξάνεται η μορφή του μοιάζει κατά προσέγγιση με ένα μοναδιαίο υδρογράφημα αιχμής (Straub 2000). Ο στόχος είναι μετά από διάφορες τιμές διαστήματος να καθοριστεί μια μορφή ιστογράμματος που να προσεγγίζει ένα μοναδιαίο υδρογράφημα αιχμής με το μικρότερο δυνατό χρονικό διάστημα (Kumar 2004).



**Σχήμα 4.** Ιστογράμματα χρόνου-εμβαδού για 15, 45 και 75 min.

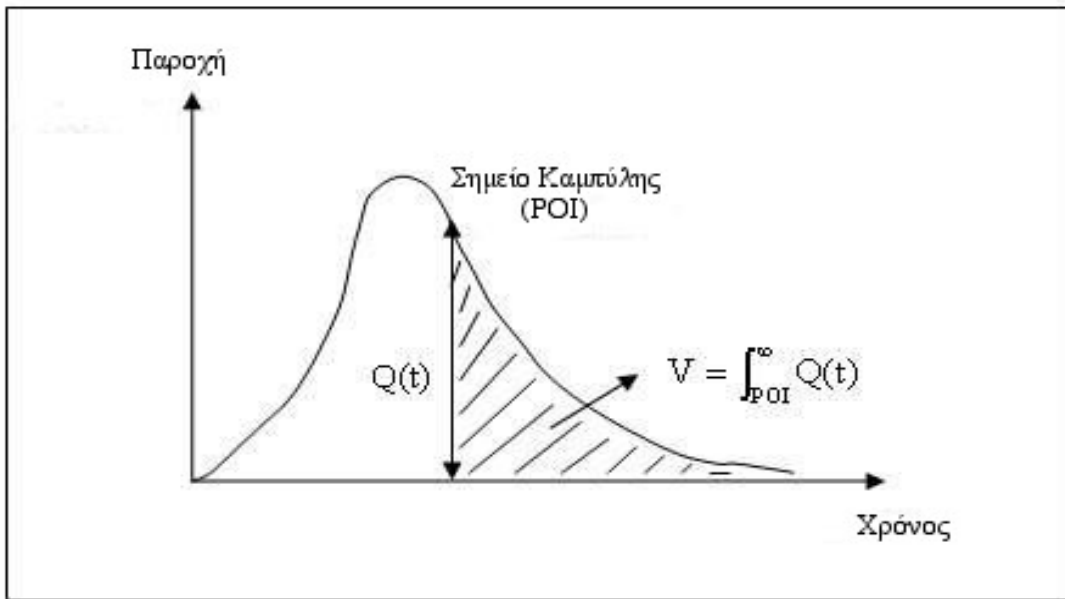
Το στιγμιαίο μοναδιαίο υδρογράφημα της λεκάνης θα παραχθεί εάν το επιλεγμένο χρονικό διάστημα είναι απείρως μικρό. Ουσιαστικά, είναι αδύνατο να δημιουργηθεί το ιστόγραμμα χρόνου ταξιδιού με απείρως μικρό χρονικό διάστημα (Ponce 1989). Έτσι, για να εφαρμοστεί η τεχνική Clark επιλέγεται το μικρότερο πιθανό χρονικό διάστημα. Το ιστόγραμμα χρόνου ταξιδιού έχει τις χρονικές τιμές στον άξονα των τετμημένων και τον αριθμό φατνίων στον άξονα των τεταγμένων. Το ιστόγραμμα χρόνος-εμβαδό της λεκάνης προκύπτει από το ιστόγραμμα χρόνου ταξιδιού με τη μετατροπή του αριθμού φατνίων σε εμβαδό (π.χ. 100 m<sup>2</sup> για το πλέγμα 10x10 m).

Στη συνέχεια, το μοναδιαίο περίσσειμα βροχόπτωσης κατανέμεται ομοιόμορφα σε ολόκληρη λεκάνη και αυτή η βροχόπτωση μεταβιβάζεται στην έξοδο της λεκάνης από ένα υδρογράφημα. Όπως προαναφέρθηκε, το ιστόγραμμα χρόνος-εμβαδό αντιπροσωπεύει το ποσοστό του εμβαδού της λεκάνης που συμβάλλει στη ροή στην έξοδο σε κάθε χρονικό διάστημα (Noorbaksh 2005). Μετά από τη στιγμιαία εφαρμογή της μοναδιαίας βροχόπτωσης, ο συνολικός όγκος του ύδατος που θα παρατηρηθεί στην έξοδο της λεκάνης καθορίζεται με τον πολλαπλασιασμό του εμβαδού της λεκάνης (178 km<sup>2</sup>) με το ύψος της βροχόπτωσης (1mm) (Noorbaksh 2005). Οι όγκοι μετατρέπονται έπειτα σε απορροές για τα αντίστοιχα χρονικά διαστήματα και με τη χάραξη αυτών των τιμών στις μέσες τιμές των χρονικών διαστημάτων καθορίζεται το ενδιάμεσο υδρογράφημα. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να τονιστεί ότι το ενδιάμεσο υδρογράφημα δε λαμβάνει υπόψη το φαινόμενο της αποθήκευσης ενός ποσοστού των κατακρημισμάτων στο υδρογραφικό δίκτυο. Επομένως, για τον υπολογισμό του τελικού υδρογραφήματος επιλέξαμε να χρησιμοποιήσουμε τη μέθοδο της γραμμικής διόδευσης ταμειυτήρα, όπως περιγράφεται στη παρακάτω εξίσωση (HEC 2000):

$$Q(t) = \frac{\Delta t}{R + 0,5\Delta t} I(t) + \left(1 - \frac{\Delta t}{R + 0,5\Delta t}\right) Q(t-1) \quad (6)$$

όπου  $Q(t)$ : το στιγμιαίο μοναδιαίο υδρογράφημα,  $\Delta t$ : το επιλεγμένο χρονικό διάστημα,  $R$ : ο συντελεστής εναποθήκευσης και  $I(t)$ : το ενδιάμεσο υδρογράφημα. Ο συντελεστής  $R$  ορίζεται ως η αναλογία του όγκου από το δεύτερο σημείο της καμπύλης προς τη τιμή της παροχής στο ίδιο σημείο (HEC 1982) και υπολογίζεται γραφικά όπως περιγράφεται στο παρακάτω σχήμα:

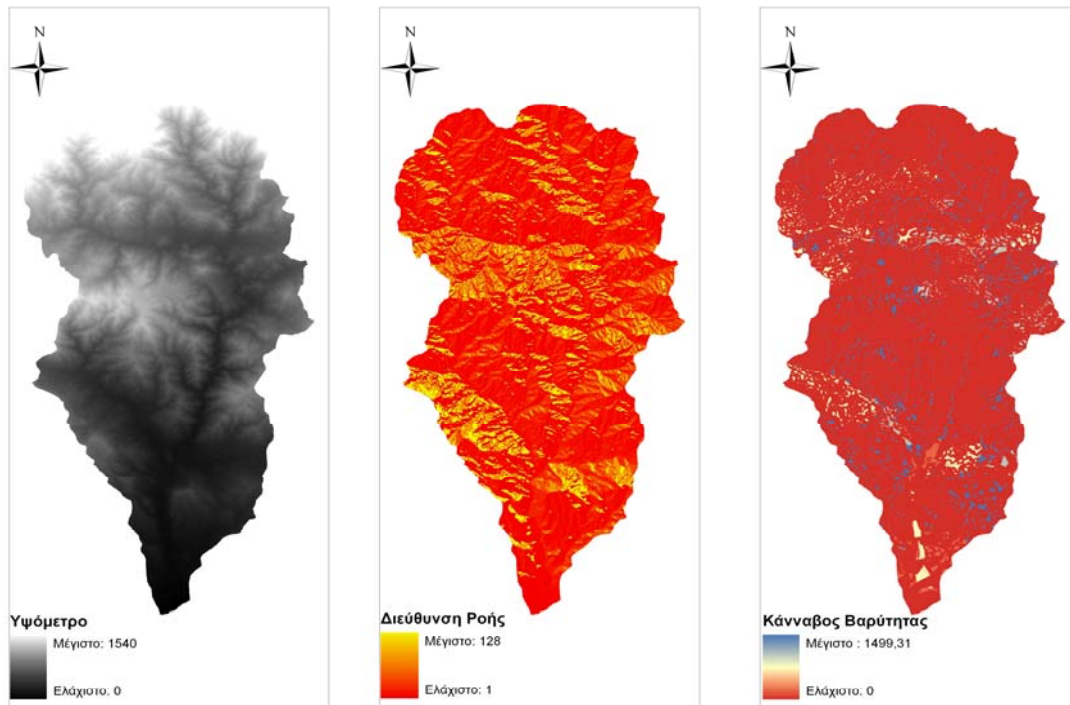
$$R = \frac{\int_{POI}^{\infty} Q(t)}{Q_{POI}} \quad (7)$$



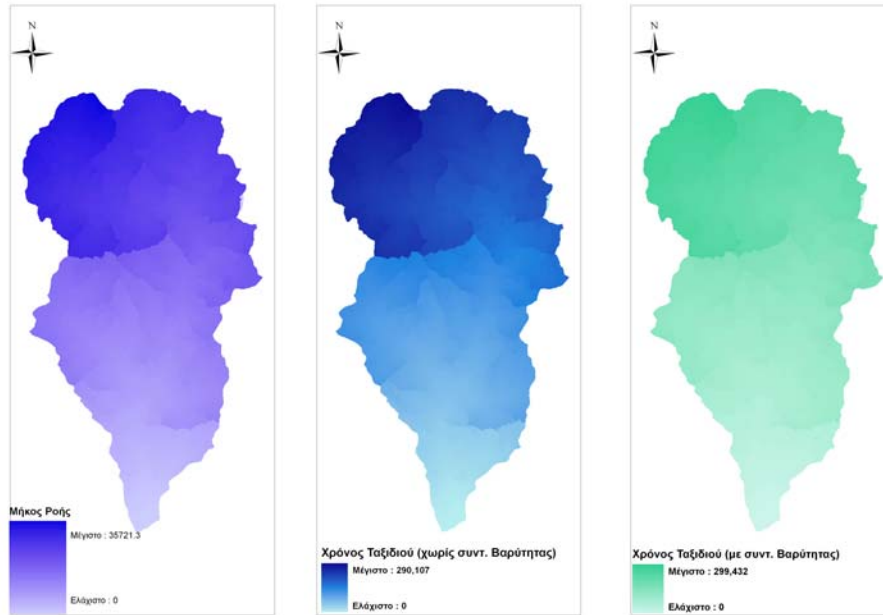
Σχήμα 5. Υπολογισμός του συντελεστή εναποθήκευσης (R).

### Αποτελέσματα

Τα απαραίτητα κανναβικά αρχεία για την υπολογισμού του στιγμιαίου μοναδιαίου υδρογραφήματος δημιουργήθηκαν με χρήση του ArcGIS και παρουσιάζονται παρακάτω.



Σχήμα 6. Τα κανναβικά αρχεία Υψόμετρον, Διεύθυνσης Ροής και Βαρύτητας.



**Σχήμα 7.** Τα κανναβικά αρχεία Μήκους Ροής, Χρόνου Ταξιδιού χωρίς συντελεστή βαρύτητας και Χρόνου Ταξιδιού με συντελεστή βαρύτητας.

Για τον υπολογισμό του χρόνου ταξιδιού ήταν επιβεβλημένος ο υπολογισμός του χρόνου συγκέντρωσης:

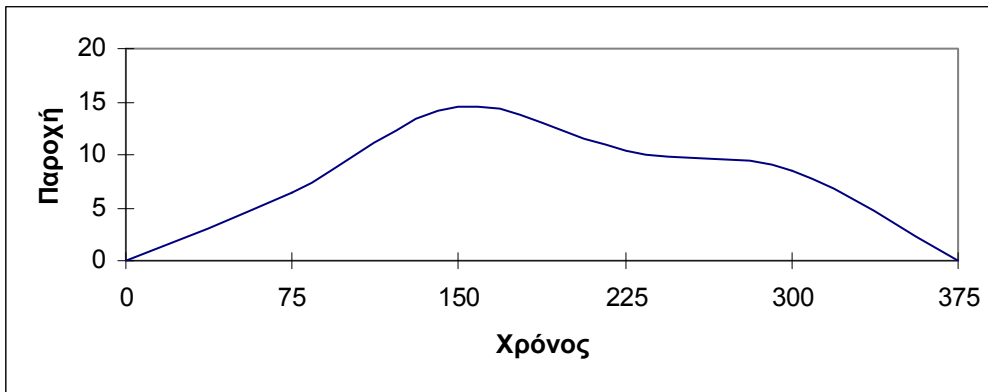
$$Tc = \frac{L^{0,8} x \left( \frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0,7}}{190 x S^{0,7}}$$

Ο συντελεστής C, υπολογίστηκε ίσος με 73,12, το μήκος της μεγαλύτερης ροής L ίσο με 35721,3 m (117195,86 feet), ενώ η μέση κλίση της λεκάνης απορροής ισούται με 36,81%. Από τα παραπάνω εκτιμήθηκε ότι ο χρόνος συγκέντρωσης αντιστοιχεί σε 290,1 min. Στη συνέχεια, υπολογίστηκε ο χρόνος ταξιδιού σε 290,1 min στην περίπτωση που δεν λαμβάνεται υπόψη ο συντελεστής βαρύτητας, ενώ στην αντίθετη περίπτωση η τιμή του χρόνου ταξιδιού είναι 299,4 min. Για τον καθορισμό του χρονικού διαστήματος χρησιμοποιήθηκε το ιστόγραμμα χρόνου-εμβαδού του σχήματος 4 και μετά από δοκιμές καταλήξαμε στην τιμή των 75 min.

Το ενδιάμεσο υδρογράφημα προέκυψε από τον ακόλουθο πίνακα και έχει την παρακάτω μορφή.

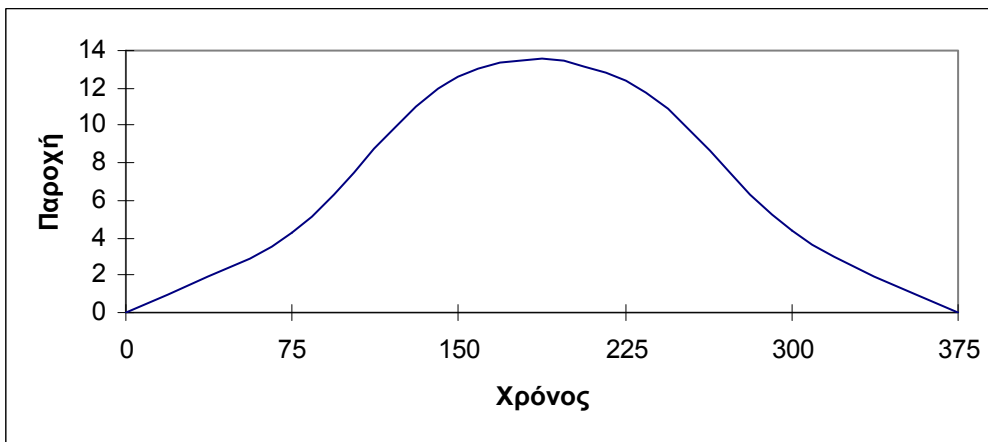
**Πίνακας 3.** Πίνακας υπολογισμού ενδιάμεσου υδρογραφήματος.

t(min)	Κλάσεις Χρόνου	Δt(min)	pixels	area(m <sup>2</sup> )	V(m <sup>3</sup> )	Q(m <sup>3</sup> /min)	Q(m <sup>3</sup> /sec)
0	0	75					
75	37,5		287913	28791300	28791,3	383,884	6,398067
150	112,5		652432	65243200	65243,2	869,9093	14,49849
225	187,5		467509	46750900	46750,9	623,3453	10,38909
300	262,5		380367	38036700	38036,7	507,156	8,4526
				<b>Εμβαδόν</b>	<b>178822100</b>		



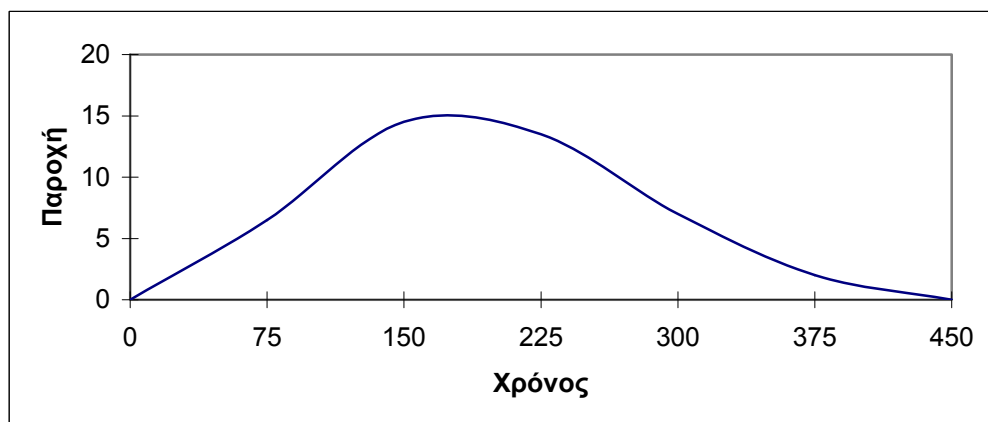
**Σχήμα 8.** Ενδιάμεσο Υδρογράφημα.

Από το ενδιάμεσο υδρογράφημα και χρησιμοποιώντας τη γραμμική διόδευση ταμειυτήρα προέκυψε το τελικό υδρογράφημα.



**Σχήμα 9.** Στιγμαίο Μοναδιαίο Υδρογράφημα (χωρίς συντελεστή βαρύτητας).

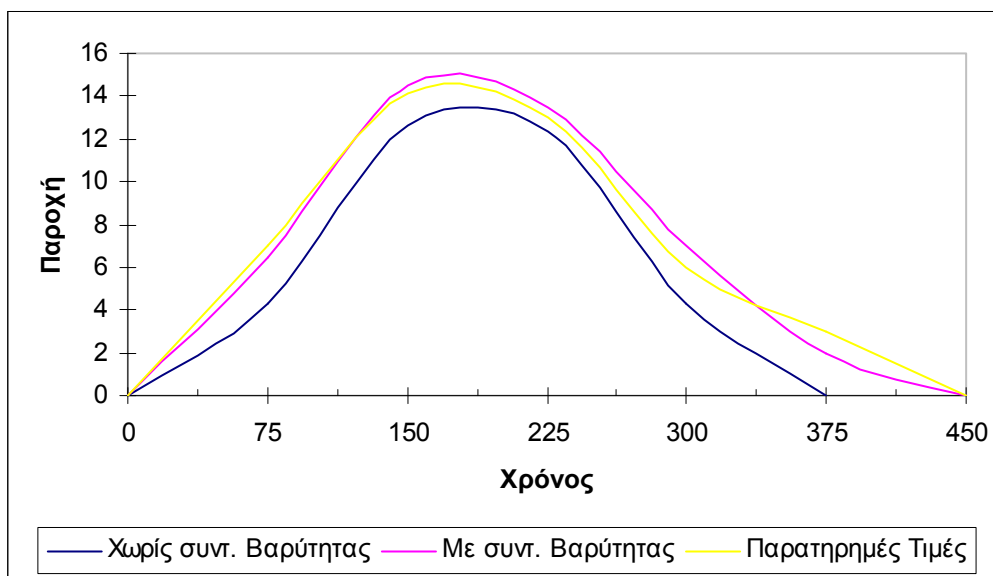
Αντίστοιχα παράχθηκε και το υδρογράφημα από τον κάρναβο βαρύτητας.



**Σχήμα 10.** Στιγμαίο Μοναδιαίο Υδρογράφημα (με συντελεστή βαρύτητας).

## Συμπεράσματα

Στην εργασία αυτή δημιουργήθηκαν δύο στιγμιαία μοναδιαία υδρογραφήματα. Το πρώτο προέκυψε μόνο από το ψηφιακό μοντέλο υψομετρίας, επομένως όλα τα κελιά θεωρήθηκε ότι έχουν την ίδια αντίσταση στη ροή. Το δεύτερο παράχθηκε με τη χρήση του καννάβου βαρύτητας που δηλώνει την αντίσταση του κάθε κελιού στη ροή σύμφωνα με τους τοπογραφικούς παράγοντες και την εδαφοκάλυψη. Τα υδρογραφήματα που δημιουργήθηκαν καθώς και ένα υδρογράφημα που συντέθηκε από πραγματικά δεδομένα εμφανίζονται συγκριτικά στο παρακάτω σχήμα.



**Σχήμα 11.** Σύγκριση Υδρογραφημάτων.

Η μέγιστη παροχή, ο χρόνος της μέγιστης παροχής καθώς ο χρόνος βάσης εμφανίζονται στον παρακάτω πίνακα.

**Πίνακας 4.** Συγκριτικός πίνακας υδρογραφημάτων.

	Μέγιστη Παροχή	Χρόνος της Μέγιστης Παροχής(min)	Χρόνος Βάσης (h)
<b>Χωρίς Συντελεστή Βαρύτητας</b>	12,591	187	6,25
<b>Με Συντελεστή Βαρύτητας</b>	14,5212	220	7,5
<b>Παρατηρημένο</b>	14,143	225	7,5

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, και τα 2 υδρογραφήματα συμπεριφέρονται ιδιαίτερα ικανοποιητικά σε σχέση με το πραγματικό. Ελαφρώς καλύτερη είναι η προσαρμογή του υδρογραφήματος με το συντελεστή βαρύτητας, που προέκυψε με χρήση της εξίσωσης του Manning.

Γενικότερα, από τα αποτελέσματα που εξάγονται από την εφαρμογή της μεθόδου Clark προκύπτει ότι δεν είναι απαιτητική σε εξισώσεις υπολογισμού των απαραίτητων σε αυτή παραγόντων. Η εφαρμογή της είναι δυνατή και σε περιοχές όπου δεν υπάρχουν

πραγματικά δεδομένα, δίνοντας αξιόπιστα αποτελέσματα, ενώ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για οποιαδήποτε επιθυμητή περίοδο σχεδιασμού. Επιπλέον, σε συνδυασμό με την τηλεπισκόπηση εξασφαλίζει ακόμα μεγαλύτερη ακρίβεια. Συμπερασματικά, η παραπάνω μεθοδολογία μαζί με τη χρήση των Γ.Σ.Π. μπορεί να δώσει αξιόπιστες λύσεις στην κατασκευή του στιγμιαίου μοναδιαίου υδρογραφήματος.

## **Βιβλιογραφία**

- ASCE (1996). American Society of Civil Engineers Hydrology Handbook, 2<sup>nd</sup> Edition, ASCE, USA.
- Clark, C.D. (1945). Storage and the Unit Hydrograph, ASCE Transactions, 110, pp. 1419-1446.
- Fleckenstein, J. (1998). Using GIS to derive Velocity Fields and Travel Times to Route Excess Rainfall in a Small-Scale Watershed, Univ. of California Davis web site.
- HEC (1982). Hydrologic Engineering Center: HEC-1 Training document No. 15, U.S. Army Corps of Engineers, Davis, California, USA.
- HEC (2000). Hydrologic Engineering Center HEC-HMS User's Manual, Davis, California.
- Kull, D.W. and Feldman, A.D. (1998). Evaluation of Clark's Unit Graph Method to Hydrologic Engineering Center Spatially Distributed Runoff, Journal of Hydrologic Engineering.
- Kumar, R., Chatterjee, C., Singh, R.D., Lohani, A.K. and Kumar, S. (2004). GIUH based Clark and Nash models for runoff estimation for an ungauged basin and their uncertainty analysis. Intl. J. River Manag., 2(4), pp. 281-290.
- Linsley, R.K., Kohler, M.A. and Paulhus, J.L.H. (1982). Hydrology for Engineers. 3<sup>rd</sup> Ed., McGraw-Hill Book Co., Inc., New York, N. Y.
- Melching, C.S. and Marquand, J.S. (1996). Equations for estimating synthetic unit Rd hydrograph parameter values for small catchments in Lake County, Illinois, USGS, 96-474, 49.
- Noorbaksh, M.E., (2005). Estimation of instantaneous unit hydrograph with Clark's method using GIS technique, Jour. Of Appl. Scienc., 5 (3), pp. 445-458.
- Ponce, V.M. (1989). Engineering Hydrology Principles and Practices. Prin. Hall Inc. NJ. Press, William. H., Flannery, Brain. P., Teukolsky, Saul. A. and Vetterling, Wiliam. T. (1986). Minimization or maximization of functions. Numerical Recipes, the art of scientific computing, pp. 274-334.
- Sabol, G.V. (1988). Clark unit hydrograph and R-parameter estimation, Jour. Of Hydraulic Engg., ASCE, 114 (1), pp. 103-111.
- Sahoo, B., Chandranath, C., Narendra, S.R., Singh, R. and Kumar, R. (2006). Flood Estimation by GIUH-Based Clark and Nash Models. Jour. Hydro. Engg., ASCE, 11(6), pp. 515-525.
- Schulz, E.F. (1976). Problems in Applied Hydrology, Water Resource Publication, Fort Collins, Colorado, USA.
- Straub, T.D., Melching, C.S. and Kocher, K.E. (2000). Equations for estimating Clark unit hydrograph parameters for small rural catchments in Illinois, Water Resources Investigations Report 00-4184 USGS.
- Usul, N. (2002). A Pilot Project for Flood Analysis by Integration of Hydrologic-Hydraulic Models and Geographic Information Systems (in Turkish), METU, Ankara, Turkey.
- Wilson, E.M., (1990). Engineering Hydrology, Macmillan, London, pp. 149-152.



## Η ΠΡΑΝΙΚΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΚΑΙ Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΗΣ

**Γεώργιος Ζαΐμης**

Καθηγητής Εφαρμογών – Διευθέτηση Ορεινών Υδάτων  
Τμήμα Δασοπονίας και Διαχείρισης Φυσικού Περιβάλλοντος  
Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Καβάλας  
e-mail: [zaimesgeorge@gmail.com](mailto:zaimesgeorge@gmail.com)

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η πρανική διάβρωση αποτελεί την κύρια πηγή φερτών υλών για τους ποταμούς και τους χειμάρρους. Η μεταφορά φερτών υλών από ποταμούς ή χειμάρρους είναι μια βασική τους λειτουργία. Σήμερα όμως οι πολύ μεγάλες ποσότητες από φερτές ύλες που μεταφέρουν, αποτελούν έναν από τους πιο σημαντικούς μη σημειακούς ρύπους. Μεγάλος αριθμός παραγόντων επηρεάζει την πρανική διάβρωση αλλά με κατάλληλη διαχείριση της βλάστησης ειδικά στις παρόχθιες περιοχές (ύπαρξη πλούσιας φυσικής βλάστησης με βαθύ ριζικό σύστημα) μπορεί να περιοριστεί σημαντικά η πρανική διάβρωση. Έντονη πρανική διάβρωση προκαλείται όταν διαταραχτεί η ισορροπία του ποταμού. Τρεις είναι οι κύριοι μηχανισμοί κατά τους οποίους προκαλείται η πρανική διάβρωση: α) η **ποτάμια παράσυρση**, β) η **μαζική ολίσθηση** και γ) οι **υποαέριοι μηχανισμοί**. Για τη μέτρηση της πρανικής διάβρωσης υπάρχει μια πληθώρα μεθόδων με τις παρακάτω γενικές κατηγορίες: α) **μακροπρόθεσμες**, β) **μεσοπρόθεσμες**, γ) **βραχυπρόθεσμες** και δ) **συνεχείς μετρήσεις**. Ο αριθμός δημοσιεύσεων για τον Ελλαδικό χώρο με αντικείμενο την πρανική διάβρωση είναι πολύ περιορισμένος σε σχέση με τις ανάλογες δημοσιεύσεις σε άλλες χώρες παγκοσμίως. Συγκεκριμένα μετά από σχετική βιβλιογραφική ανασκόπηση βρέθηκαν μόνο επτά δημοσιεύσεις που κάνουν αναφορά στην πρανική διάβρωση στον Ελλαδικό χώρο. Αυτό δείχνει ότι υπάρχει ανάγκη για μελέτες με αντικείμενο την διάβρωση των πρανών στην Ελλάδα.

**Λέξεις κλειδιά:** μη σημειακοί ρύποι, σημαντικοί παράγοντες, μέθοδοι μέτρησης, μηχανισμοί, δημοσιεύσεις στην Ελλάδα.

### Άνθρωποι, Ποταμοί και Ρύπανση

Η ιστορία της ανθρωπότητας και ποταμών είναι αλληλένδετη (Botkin and Beveridge 1997). Οι σημαντικότεροι αρχαίοι πολιτισμοί όπως της Αίγυπτου, Βαβυλωνίας και Περσίας αναπτύχθηκαν δίπλα σε μεγάλους ποταμούς όπως ο Νείλος, ο Τίγρης και ο Ευφράτης. Ακόμη και σήμερα ποταμοί ρέουν μέσα από πολλές πρωτεύουσες και σημαντικές πόλεις του κόσμου όπως το Λονδίνο, η Ρώμη, το Παρίσι, η Μαδρίτη, το Σικάγο και η Νέα Υόρκη.

Η στενή σχέση μεταξύ των ανθρώπων και των ποταμών οφείλεται λόγω των πολλών υπηρεσιών που παρέχουν οι ποταμοί στον άνθρωπο (Postel and Richter 2003). Ακόμη

και σήμερα, παρά τη μεγάλη τεχνολογική ανάπτυξη, οι ποταμοί παρέχουν στις περισσότερες χώρες τα μεγαλύτερα ποσοστά νερού για άρδευση και ύδρευση. Οι ποταμοί παρέχουν και διαδρόμους συγκοινωνίας για τη μεταφορά αγαθών και ανθρώπων. Οι άνθρωποι όμως επιζητούν να βρεθούν σε ποτάμιο περιβάλλον και λόγω των πολλών δραστηριοτήτων αναψυχής, π.χ. ψάρεμα, κολύμπι, ράφτινγκ, περπάτημα ή τρέξιμο στην ύπαιθρο, ορειβασία κλπ. Τέλος τα ποτάμια παρέχουν απαραίτητα ενδιαιτήματα για τη διαβίωση μεγάλου αριθμού ζώων και ψαριών. Όλα τα παραπάνω κάνουν αναγκαία και απαραίτητη την προστασία των ρεμάτων και ποταμών.

Μια χαρακτηριστική ιδιότητα των ποταμών είναι η μεταφορά διάφορων αντικειμένων (Allan 1994). Σχεδόν όλα τα αντικείμενα που μπορούν να βρεθούν στην επιφάνεια του έδαφος μπορούν να φτάσουν, με κάποιο τρόπο, τελικά σε ένα ποτάμι ή ένα ρέμα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι κάθε κομμάτι της επιφάνειας της γης ανήκει σε κάποια υδρολογική λεκάνη και με τη βοήθεια της επιφανειακής ροής του νερού, που μπορεί να προέρχεται από τη βροχή, μια μάνικα ή έναν σωλήνα, θα προσπαθήσει να το παρασύρει στο κοντινότερο ποτάμι.

Το φυσικό αυτό γεγονός έχει σαν αποτέλεσμα μέσα στο νερό των ποταμών να υπάρχει σημαντικός αριθμός διαφορετικών αντικειμένων. Τα αντικείμενα αυτά μπορεί να είναι χημικές ουσίες όπως το ασβέστιο, το σίδηρο, το φώσφορο και το άζωτο που είναι σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις και όχι ορατά από το ανθρώπινο μάτι, αλλά και αντικείμενα που μπορούμε να δούμε, όπως τα ζώδια, τα ιζήματα, τα φύλλα, τους κλαδίσκους, τα νεκρά ζώα, ακόμη και τους κλάδους δέντρων και ολόκληρα τα δέντρα.

Όλα αυτά τα αντικείμενα που μεταφέρουν οι ποταμοί λέγονται φερτά υλικά και τελικά αποτίθενται. Οι αποθέσεις γίνονται στην κοίτη του ποταμού αλλά επίσης και στα γειτονικά πλημμυρικά πεδία (κατά τη διάρκεια πλημμυρών) και στις εκβολές τους. Ο κύριος λόγος που τα δέλτα (δημιουργούνται στις εκβολές των ποταμών) και τα πλημμυρικά πεδία είναι τόσο εύφορα είναι οι αποθέσεις των φερτών υλικών. Επειδή είναι τόσο εύφορα οι περιοχές αυτές χρησιμοποιούνται ως γεωργικές που έχουν αντικαταστήσει τη φυσική βλάστηση (δενδρώδη και θαμνώδη).

Η ικανότητα αυτή των ποταμών να συγκεντρώνει και να μεταφέρει όλα αυτά τα αντικείμενα είχε σαν αποτέλεσμα κατά τις δεκαετίες του πενήντα, εξήντα και εβδομήντα τα ποτάμια στις αναπτυγμένες χώρες να δέχονται τεράστιες ποσότητες σημειακής ρύπανσης από εργοστάσια και εγκαταστάσεις λυμάτων (Haslam 1990). Σημειακή θεωρείται η ρύπανση όπου το σημείο προέλευσης του είναι συγκεκριμένο (π.χ. ένας σωλήνας). Οι δραστηριότητες κατά τις τρεις αυτές δεκαετίες είχαν ως αποτέλεσμα τη σημαντική μόλυνση των ποταμών και την υποβάθμιση τους.

Μετά τη δεκαετία του εβδομήντα με την ανάπτυξη του οικολογικού κινήματος και την αφύπνιση της οικολογικής συνείδησης των ανθρώπων πάρθηκαν σημαντικά μέτρα για τη μείωση της **σημειακής** μόλυνσης. Παρόλο αυτά τα μέτρα, πολλά από τα ποτάμια των αναπτυγμένων χώρων, ακόμη και σήμερα στον εικοστό πρώτο αιώνα, παραμένουν σε υποβαθμισμένη κατάσταση. Κύριος υπαίτιος είναι η **μη σημειακή** ρύπανση.

Μη σημειακή είναι η ρύπανση που δεν προκαλείτε από ένα συγκεκριμένο σημείο αλλά από μια ευρύτερη περιοχή. Μη σημειακή ρύπανση προέρχεται κυρίως από γεωργικές και αστικές περιοχές. Σήμερα στις περισσότερες αναπτυγμένες χώρες παίρνονται μέτρα για την αντιμετώπιση της μη σημειακής ρύπανσης. Επειδή βάση του ορισμού δεν προέρχεται από ένα συγκεκριμένο σημείο αλλά από μια ευρύτερη περιοχή, τα μέτρα πρέπει να βασίζονται σε μια ολοκληρωμένη διαχείριση της υδρολογικής λεκάνης του ποταμού ή ρέματος.

## Ποταμοί και Φερτές Ύλες (Ιζημάτα)

Μια από τις πιο βασικές λειτουργίες των ποταμών είναι η μεταφορά νερού αλλά επίσης και η μεταφορά φερτών υλών. Η ύπαρξη φερτών υλών ή ιζημάτων σε ρέματα ή ποταμούς είναι μια φυσική διαδικασία, αλλά πολύ μεγάλες ή πολύ μικρές ποσότητες ιζημάτων έχουν πολύ αρνητικές επιπτώσεις στη λειτουργία ενός ρέματος ή ενός ποταμού (Nerbonne and Vondracek 2001). Κάθε ρέμα ή ποτάμι βρίσκεται σε μια κατάσταση δυναμικής ισορροπίας. Αυτή η δυναμική ισορροπία καθορίζει τις ποσότητες νερού και φερτών υλών που μπορεί να μεταφέρει ώστε να διατηρείται η φυσική λειτουργία του.

Υπερβολικές ποσότητες ιζημάτων στο νερό των ρεμάτων ή των ποταμών μειώνει την ποιότητα του και κατά συνέπεια τη χρησιμότητα του ως πόσιμο νερό, για άρδευση αλλά και για τους υδάτινους οργανισμούς, και αυξάνει τις πιθανότητες να συμβούν πλημμύρες (Federal Interagency Stream Restoration Working Group 1998). Επίσης αυτές οι υπερβολικές ποσότητες φερτών υλών οδηγούν και στην αύξηση της απόθεσης των στις κοίτες των ποταμών ή ρεμάτων, στα αρδευτικά κανάλια, τις δεξαμενές και τα λιμάνια (Owens et al. 2005). Η απόθεση μεγάλων ποσοτήτων αλλάζει τη φυσική σύνθεση των στρωμάτων της κοίτης των ρεμάτων και των ποταμών με την αύξηση πρώτιστα των φερτών υλών μικρότερης διαμέτρου (π.χ. λάσπη, ιλύς και άργιλος). Πολλά από τα ασπόνδυλα και τα ψάρια απαιτούν οι κοίτες των ρεμάτων να έχουν μικρές ποσότητες φερτών υλών μικρότερης διαμέτρου (Minshall 1984). Επιπλέον, όταν οι κοίτες των ρεμάτων που έχουν υπερβολικές ποσότητες φερτών υλών μικρότερης διαμέτρου, μπορούν να αποσταθεροποιήσουν τα πρανή των ρεμάτων (Wilcock 1997) και είναι πιο ευαίσθητα στην επαναιώρηση φερτών υλών από την κοίτη, μια σημαντική πηγή μη σημειακών ρύπων όπως ιζημάτων (Evans et al. 1997) και θρεπτικών ουσιών (φώσφορος και άζωτο) (Owens and Wall 2002) στο νερό των ρεμάτων και ποταμών. Μεγάλες αποθέσεις φερτών υλών σε τεχνητές λίμνες μειώνουν τη αποταμιευτική χωρητικότητα του νερού και κατά συνέπεια τις διαθέσιμες ποσότητες νερού για άρδευση και ύδρευση (Wilkin and Hebel 1982). Τέλος μεγάλες ποσότητες φερτών υλών είτε στο νερό είτε ως αποθέσεις είναι αντιαισθητικές και μειώνουν την τουριστική αξία μιας περιοχής.

Σε πολλές χώρες του κόσμου τα φερτά υλικά θεωρούνται ως οι πιο συνήθεις μη σημειακοί ρύποι που υποβαθμίζουν ποταμούς, ρέματα και υδροτόπους. Σημαντικά προστατευτικά μετρά έχουν παρθεί για τη μείωση των φερτών υλών σε ποταμούς και ρεύματα που θα βοηθήσει στην βελτίωση της ποιότητας του νερού στις περισσότερες αναπτυγμένες χώρες. Συνήθως υδρολογικές λεκάνες με το μεγαλύτερο ποσοστό της γης να χρησιμοποιείται είτε ως γεωργικές καλλιέργειες είτε ως βοσκοτόπια έχουν μεγάλες συγκεντρώσεις φερτών υλών στο νερό (Allan 2004). Αντίθετα όσο αυξάνονται τα ποσοστά του δάσους στην υδρολογική λεκάνη η ποιότητα των υδάτων γίνεται καλύτερη και έχει μικρότερες συγκεντρώσεις φερτών υλών (Smart 1985).

Οι μεγαλύτερες ποσότητες των μη σημειακών ιζημάτων στα ρέματα και τους ποταμούς προέρχονται από **επιφανειακή, αυλακωτή** και **πρανική** διάβρωση (Sharpley et al. 2000, Kronvang et al. 2002). Η συνεισφορά του κάθε τύπου διάβρωσης στο ποσοστό των φερτών υλών που φτάνουν στο ρέμα ή τον ποταμό διαφέρει από περιοχή σε περιοχή. Σε κάποιες υδρολογικές λεκάνες μπορεί να κυριαρχεί η επιφανειακή διάβρωση με μικρές ποσότητες ιζημάτων να προέρχονται από την αυλακωτή και την πρανική ενώ σε άλλες κυριαρχεί η αυλακωτή και πρανική με μικρές ποσότητες από την επιφανειακή. Η συνεισφορά από κάθε τύπο διάβρωσης εξαρτάται από συγκεκριμένους

παράγοντες όπως την εδαφοκάλυψη και χρήση γης στην υδρολογική λεκάνη, την κατάσταση των παρόχθιων περιοχών και πρανών, την κλίση της υδρολογικής λεκάνης, το βαθμό και έκταση της αυλακωτής διάβρωσης κλπ. Σε αυτή την δημοσίευση θα επικεντρωθούμε στην πρανική διάβρωση.

### **Πρανική διάβρωση και οι παράγοντες που την επηρεάζουν**

Πρανική διάβρωση είναι η σταδιακή μετακίνηση των εκτιθέμενων υλικών από την επιφάνεια των πρανών του ποταμού ή του ρέματος (Εικόνα 1α). Η μετακίνηση των υλικών από τα πρανή μπορεί να γίνει κάτω από διάφορες συνθήκες και μηχανισμούς. Σημαντικοί παράγοντες που επηρεάζουν τόσο την σταθερότητα των πρανών όσο και το μέγεθος της διάβρωσης αποτελούν η εδαφική σύνθεση και η υγρασία των πρανών, η βλάστηση των πρανών, η ταχύτητα που ρέει το νερό στο ποταμό ή το ρέμα, η παρόχθια βλάστηση και χρήσης γης (Εικόνα 1β), η τοπογραφία, η βλάστηση, η χρήση γης και έκταση της υδρολογικής λεκάνης, η μορφολογία του ποταμού ή ρέματος και το κλίμα (ειδικά οι βροχοπτώσεις) τις υδρολογικής λεκάνης (Hagerty et al. 1981, Hooke 1980, Schumm et al. 1984, Geyer et al. 2002). Σε γενικές γραμμές πιο συχνή και μεγαλύτερη σε μέγεθος πρανική διάβρωση παρατηρείται στην εξωτερική πλευρά των μαιάνδρων.



**α**



**β**

**Εικόνα 1.** α) Παρατηρείται έντονη πρανική διάβρωση και στα δυο πρανή. β) Λόγω της υγιείας παρόχθιας βλάστησης τα πρανή εμφανίζουν σχεδόν μηδενική διάβρωση.

Οι πολλοί παράγοντες που επηρεάζουν την πρανική διάβρωση έχουν σαν αποτέλεσμα τα ποσοστά των ιζημάτων στα ποτάμια νερά που προέρχονται από τα πρανή να διαφέρουν από υδρολογική λεκάνη σε υδρολογική λεκάνη. Σε υδρολογικές λεκάνες, με κύρια χρήση γης την γεωργική, το ποσοστό των ιζημάτων των ποταμών που προέρχονται από πρανική διάβρωση είναι συνήθως γύρω στο 30-50 % (Odgaard

1987, Lawler et al. 1999, Schilling and Wolter 2000, Sekely et al. 2002). Σε πολλές περιπτώσεις το ποσοστό αυτό μπορεί να είναι ακόμη πιο μεγάλο και να φτάνει το 80-90 % (Kronvang et al. 1997, Simon et al. 1996). Συνήθως όσο πιο ψηλά είναι τα πρανή τόσο πιο επιρρεπή είναι στη διάβρωση με αποτέλεσμα να εισχωρούν μεγάλες ποσότητες ιζημάτων στα ποτάμια ή ρέματα. Τέλος το μέγεθος της πρανικής διάβρωσης μπορεί να είναι από μερικά εκατοστά το χρόνο σε μερικά μέτρα το χρόνο αλλά μέχρι και 100 μέτρα το χρόνο (Simon et al. 1999, Zaimes et al. 2008).

Η πρανική διάβρωση είναι ένα φυσικό φαινόμενο που συμβαίνει σε κάθε ποταμό και ρέμα. Στους περισσότερους ποταμούς και ρέματα υπάρχουν ενδείξεις της μετακίνησης της κοίτης των, λόγω της πρανικής διάβρωσης που συνέβαινε μετά από μια περίοδο χρονών από τη δημιουργία τους, και που εξαρτιόταν κυρίως από τις κλιματικές συνθήκες. Αυτή η μετακίνηση αποτελεί ένα φυσικό μηχανισμό λειτουργίας τους. Η πρανική διάβρωση αποτελεί πρόβλημα όταν το μέγεθος της διάβρωσης είναι εξαιρετικά πιο μεγάλο από το φυσικό μέγεθος.

Πρόβλημα πρανικής διάβρωσης υπάρχει σε υδρολογικές λεκάνες που έχουν κυρίως γεωργικές εκτάσεις η χρησιμοποιούνται ως βοσκοτόπια. Οι δυο αυτές χρήσεις γης μειώνουν την κάλυψη της βλάστησης της υδρολογικής λεκάνης για σημαντικές χρονικές περιόδους. Επιπλέον, αυτές οι χρήσεις γης μειώνουν την τραχύτητα της επιφάνειας, τη διήθηση του εδάφους και την εξατμισοδιαπνοή που οδηγεί σε μεγαλύτερη ποσότητα και ταχύτερη επιφανειακή απορροή του νερού στην υδρολογική λεκάνη (Hoffman and Ries 1991). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα πολύ μεγαλύτερες και συχνότερες παροχές και περισσότερες και μεγαλύτερες πλημμύρες που αυξάνουν την πρανική διάβρωση. Επιπλέον αυτές οι δυο χρήσεις γης ελαττώνουν και τη συνοχή των πρανών. Η μείωση της συνοχής και κατά συνέπεια της σταθερότητας των πρανών είναι αποτέλεσμα της μειωμένης βλάστησης στα πρανή και κατά συνέπεια και του μειωμένου μήκους και της μάζας των ριζών στο έδαφος (Dunaway et al. 1994). Οι γεωργικές καλλιέργειες αφήνουν τα πρανή γυμνά για μεγάλα χρονικά διαστήματα ενώ και τα γεωργικά φυτά συνήθως έχουν ριζικό σύστημα που δεν εισχωρεί βαθιά στο έδαφος σε σχέση με τη φυσική βλάστηση. Η υπερβόσκηση των φυτών μειώνει τη μάζα και το μήκος του ριζικού συστήματος τους. Επίσης πολλά ζώα πίνουν από το νερό των πόταμων και ρεματιών. Το ανεβοκατέβασμα των ζώων στα πρανή μπορεί να προκαλέσει την αποσταθεροποίηση τους και την ευκολότερη διάβρωση τους (Trimble and Mendel 1995). Ο Belsky et al. (1999) παρουσίασαν πολλές μελέτες που έδειξαν ότι η υπερβόσκηση των παρόχθιων περιοχών μειώνει τη σταθερότητα των πρανών και αυξάνει την πρανική διάβρωση.

Προβλήματα πρανικής διάβρωσης προκαλεί και η αστικοποίηση. Η αστικοποίηση αυξάνει το ποσοστό των επιφανειών που είναι αδιαπέραστες στο νερό στις υδρολογικές λεκάνες λόγω των κτηρίων και άλλων κατασκευών υποδομής όπως τα οδοστρώματα και οι χώροι στάθμευσης (Paul and Meyer 2001). Οι αδιαπέραστες επιφάνειες μειώνουν τη διήθηση και αυξάνουν την επιφανειακή απορροή (Dunne and Leopold 1978, Arnold and Gibbons 1996) και κατά συνέπεια αυξάνουν τις μέγιστες παροχές και πλημμύρες (Dunne and Leopold 1978). Ουσιαστικά, μπορεί να αλλάξει την υδρολογική συμπεριφορά και την κίνηση των ιζημάτων στην υδρολογική λεκάνη. Η αύξηση των αδιαπέραστων επιφανειών αυξάνει την απορροή που φτάνει στο κανάλι των ποταμών ή ρεμάτων. Οι αδιαπέραστες επιφάνειες όμως μειώνουν και τα ιζήματα που φτάνουν στο ρέμα ή ποταμό. Η μικρότερη ποσότητα ιζημάτων και μεγαλύτερη παροχή οδηγεί σε μεγαλύτερη διάβρωση των πρανών. Τέλος και η ευθυγράμμιση των ποταμών και ρεμάτων, μια τακτική συνήθως τόσο σε αστικά όσο και σε γεωργικά περιβάλλοντα

επίσης προκαλεί επιδείνωση της πρηνικής διάβρωσης λόγω της αύξησης της κλίσης των ρεμάτων και ποταμών (Schumm et al. 1984).

Η επιδείνωση της πρηνικής διάβρωσης προκαλείτε όταν ο πόταμος ή το ρέμα δεν είναι σε κατάσταση δυναμικής ισορροπίας. Όλα τα ρέματα και ποτάμια είτε με τη διάβρωση της κοίτης ή των πρηνών είτε με την απόθεση ιζημάτων προσπαθούν να βρεθούν σε μια κατάσταση δυναμικής ισορροπίας. Ένα ρέμα ή ένας ποταμός είναι σε κατάσταση δυναμικής ισορροπίας όταν το ποσό των ιζημάτων που αποτίθεται στο κανάλι από την υδρολογική λεκάνη είναι μακροπρόθεσμα ίσο με το ποσό των ιζημάτων που έχει την δυνατότητα το ρέμα να μεταφέρει. Η δυναμική ισορροπία των ρεμάτων και των ποταμών μπορεί να εκφραστεί με την αναλογία της «δύναμης του ρέματος» του Lane (1955). Η αναλογία είναι η ακόλουθη:

$$Q \times S \sim G \times D_{50}$$

Σύμφωνα με αυτήν την αναλογία, το γινόμενο της υδατοπαροχής (Q) και της κλίσης (S) του ρέματος είναι ανάλογο με το γινόμενο της στερεοπαροχής (G) και της καθοριστικής διαμέτρου ( $D_{50}$ ). Η μεταβολή οποιουδήποτε από τους παράγοντες της αναλογίας έχει σαν αποτέλεσμα τη διατάραξη της δυναμικής ισορροπίας του ρέματος ή του ποταμού. Σε μερικές περιπτώσεις η διαταραχή της ισορροπίας οδηγεί σε αποθέσεις ιζημάτων ενώ σε άλλες οδηγεί στη αύξηση της διάβρωσης της κοίτης και των πρηνών.

Οι προηγούμενες περιπτώσεις αύξησης της πρηνικής διάβρωσης μπορούν να εξηγηθούν με βάση την αναλογία του Lane. Συγκεκριμένα η μετατροπή εκτάσεων με φυσική βλάστηση σε χρήσεις γεωργικές ή βόσκησης οδηγεί στην αύξηση της υδατοπαροχής. Η μετατροπή εκτάσεων με φυσική βλάστηση σε αστικές επίσης οδηγεί σε αύξηση της υδατοπαροχής αλλά και μείωση της στερεοπαροχής. Τέλος η ευθυγράμμιση των ποταμών ή των ρεμάτων αυξάνει την κλίση του ρέματος και την ταχύτητα με τη οποία κινούνται τα ύδατα. Και στις τρεις περιπτώσεις διαταράσσεται η δυναμική ισορροπία με αποτέλεσμα την αύξηση της δυνατότητας μεταφοράς των ιζημάτων του ρέματος ή του ποταμού που οδηγεί στη διάβρωση τόσο της κοίτης αλλά και των πρηνών.

Όταν διαταραχτεί η δυναμική ισορροπία, ο έλεγχος της πρηνικής διάβρωσης είναι αρκετά δύσκολος λόγω του μεγάλου αριθμού των παραγόντων που την επηρεάζουν και έχουν προαναφερθεί. Επίσης το κόστος για σημαντική μείωση του μεγέθους της πρηνικής διάβρωσης είναι πολύ μεγάλο και μπορεί να χρειαστεί σημαντικό χρονικό διάστημα για την πλήρη αποκατάσταση της ισορροπίας, ειδικά σε πολύ διαταραγμένες υδρολογικές λεκάνες. Πολύ σημαντικό ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι παρόχθιες περιοχές επειδή ασκούν άμεση επίδραση στα πρηνή μέσω της ύπαρξης βλάστησης και τον τύπο και το ποσό διαταραχής που ασκεί στα πρηνή. Οι παρόχθιες περιοχές είναι ένας παράγοντας που οι άνθρωποι μπορούν να διαχειριστούν ευκολότερα έναντι των άλλων παραγόντων που επιδρούν στην πρηνική διάβρωση.

### **Μηχανισμοί Πρηνικής Διάβρωσης**

Για να προκληθεί πρηνική διάβρωση πρέπει να υπάρξουν οι κατάλληλες συνθήκες στα πρηνή που θα αδυνατίσουν τη συνοχή και την σταθερότητα τους. Οι Lawler et al. (1997a) βρήκαν ότι τρεις είναι οι κύριοι μηχανισμοί κατά τους οποίους προκαλείτε η πρηνική διάβρωση: α) η **ποτάμια παράσυρση** (fluvial entrainment), β) η **μαζική ολίσθηση** (mass failure), και γ) οι **υποαέριοι μηχανισμοί** (subaerial processes).

Η ποτάμια παράσυρση, είναι ο μηχανισμός κατά τον οποίο γίνεται άμεση αφαίρεση των κόκκων ή των συμπλεγμάτων από κόκκους του εδάφους από την κοίτη ή τα πρηνή του κατά τη ροή του νερού μέσα στο κανάλι του ποταμού ή του ρέματος. Είναι ένας υδραυλικός μηχανισμός που συχνότερα εμφανίζεται κατά τη διάρκεια των πλημμυρικών αιχμών όταν τα πρηνή διαποτίζονται με νερό και οι υδραυλικές δυνάμεις των ρεόντων υδάτων είναι ικανές να αποσπασουν τους εδαφικούς κόκκους ή τα συμπλέγματα των κόκκων από τα πρηνή. Οι χαρακτηριστικοί τύποι ποτάμιων παρασύρσεων είναι η πλευρική διάβρωση και η υποσκαπτική διάβρωση.

Το ύψος και η κλίση ενός πρηνούς μπορούν να αυξηθούν σε τέτοιο σημείο όπου οι δυνάμεις της βαρύτητας να υπερνικούν τις δυνάμεις συγκράτησης (διατμητική αντοχή) των υλικών του πρηνούς, με αποτέλεσμα να μπορεί να προκληθεί μαζική ολίσθηση. Η μαζική ολίσθηση είναι ένας γεωτεχνικός μηχανισμός, όπου η αστάθεια προκαλείται λόγω των μεγάλων κλίσεων και υψών των πρηνών και οδηγεί στην κατάρρευση των πρηνών. Ο μηχανισμός αυτός εμφανίζεται κατά την περίοδο καθόδου του υδρογραφήματος μετά από μια έντονη πλημμυρική αιχμή. Η αστάθεια των πρηνών προκαλείται από: α) την απώλεια της πίεσης που ασκείται στα πρηνή από τα ρέοντα νερά, β) τους χρόνους καθυστερήσεις λόγω της παραγωγής της θετικής πίεσης στους εδαφικούς πόρους από το νερό και γ) την απώλεια της μύζησης του εδάφους ή ολικής μύζησης λόγω της διήθησης του νερού στο έδαφος ή την κίνηση των υπόγειων νερών προς τα πρηνή (Simon et al. 2000). Οι χαρακτηριστικοί τύποι μαζικής ολίσθησης είναι οι περιστροφικές ολισθήσεις (κυκλικές και μη κυκλικές) και η στρωματοειδής ολισθήσεις.

Τέλος, ο υποαέριος μηχανισμός, ένας γεωφυσικός μηχανισμός, μειώνει την εδαφολογική συνοχή του πρηνούς με την αποδυνάμωση και τη χαλάρωση των κόκκων του εδάφους του πρηνούς κάτω από την επίδραση κλιματολογικών παραγόντων όπως η κρούση των σταγόνων βροχής στο έδαφος, τήξη και πήξη του εδάφους, κατά τη διάρκεια του χειμώνα όταν οι θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια της μέρας ανεβαίνουν πάνω και κατεβαίνουν κάτω από μηδέν βαθμούς Κελσίου, και της αποξήρανσης (π.χ. βρέξιμο και ξήρανση του εδάφους σε σύντομο χρονικό διάστημα) κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού (Couper and Maddock 2001). Αυτός ο μηχανισμός είναι περισσότερο προπαρασκευαστικός μιας και ετοιμάζει το υλικό πάνω στην επιφάνεια του πρηνούς που θα μετακινήσουν τα ρέοντα νερά σημαντικής παροχής που συμβαίνουν μετά από μεγάλες βροχοπτώσεις (μηχανισμός της ποτάμιας παράσυρσης).

Συνήθως και οι τρεις μηχανισμοί συμβάλλουν στη διάβρωση των πρηνών ενός ρέματος ή ενός ποταμού αλλά σε διαφορετικούς βαθμούς. Ο βαθμός επίδρασης αλλάζει ανάλογα με την έκταση της υδρολογικής λεκάνης, τις κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν στην υδρολογική λεκάνη, την κατάσταση του ρέματος, τη θέση πάνω στο διαβρωμένο πρηνές (ψηλά ή χαμηλά στο πρηνές). Συγκεκριμένα, ο υποαέριος μηχανισμός κυριαρχεί στα μικρότερης τάξης ρέματα και ποτάμια (1-3 τάξη βάση το Strahler 1957), η ποτάμια παράσυρση κυριαρχεί στις μέσης τάξης ρέματα και ποταμιά (4-6 τάξης) και η μαζική ολίσθηση στα μεγάλης τάξης ρέματα και ποτάμια (> 6 τάξης) (Couper and Maddock 2001).

### **Μέθοδοι Μέτρησης Πρηνικής Διάβρωσης**

Πολύ διαφορετικοί μέθοδοι χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της πρηνικής διάβρωσης για τους παρακάτω λόγους (Lawler 1994): α) η πολλαπλότητα των πιθανών προσεγγίσεων στη μελέτη της διάβρωσης των πρηνών (π.χ. έμφαση στο μέγεθος, τους μηχανισμούς ή τη γεωτεχνική διαδικασία της διάβρωσης), β) τα διαφορετικά

επιστημονικά υπόβαθρα των ερευνητών (π.χ. γεωλόγοι, εδαφολόγοι, υδρολόγοι, δασολόγοι, πολιτικοί μηχανικοί), γ) η χρονική περίοδος που μας ενδιαφέρει (π.χ. μήνες, χρόνια, δεκαετία, εκατονταετία), δ) η ποικιλία των ποτάμιων περιβαλλόντων (π.χ. από την άποψη του μεγέθους των καναλιών ή του κλιματολογικού/υδρολογικού καθεστώτος), (ε) οι διάφοροι περιορισμοί του χρόνου ή της χρηματοδότησης και (στ) οι τεχνολογικές εξελίξεις με την πάροδο του χρόνου.

Οι μεθοδολογίες που χρησιμοποιούνται μπορούν να χωριστούν σε τέσσερις κατηγορίες ανάλογα με τη χρονική περίοδο για την οποία μπορούν να δώσουν μετρήσεις. Οι κατηγορίες αυτές είναι οι παρακάτω (Lawler 1994): α) **μακροπρόθεσμες**, β) **μεσοπρόθεσμες**, γ) **βραχυπρόθεσμες** και δ) **συνεχείς μετρήσεις**. Ποια κατηγορία θα επιλεγεί εξαρτάται από το χρονικό διάστημα για το οποίο θέλουμε να συλλέξουμε πληροφορίες για τις αλλαγές του καναλιού του ποταμού ή του ρέματος, ποια θέλουμε να είναι η ακρίβεια των μετρήσεων και οι οικονομικές δυνατότητες.

Οι **μακροπρόθεσμοι μέθοδοι** είναι κατάλληλοι όταν οι υπολογισμοί δεν πρέπει να είναι μεγάλης ακριβείας και η χρονική περίοδος που μας ενδιαφέρει κυμαίνεται από 10 μέχρι 20000 χρόνια. Αυτή η ομάδα μεθόδων περιλαμβάνει τη χρήση των ιζηματικών στοιχείων, των βοτανικών στοιχείων, και των ιστορικών πηγών.

**ΙΖΗΜΑΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ:** Στην μέθοδο αυτή δημιουργείται μια χρονοσειρά των αλλουβιακών αποθέσεων (50 - 15000 χρόνια) (Nanson 1986). Βασίζεται στην ανάλυση ιζημάτων που είναι σχετικά αδιατάρακτα παρά το γεγονός όταν έχουν περάσει πάρα πολλά χρόνια. Η χρονολόγηση των ιζημάτων μπορεί να γίνει για παράδειγμα με την βοήθεια του άνθρακα ( $C^{14}$ ) (Nanson 1986). Η μέθοδο αυτή χρησιμοποιείται πιο συχνά για τις κοίτες των ποταμών πάρα για τα πρηνή.

**ΒΟΤΑΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ:** Η μεθοδολογία μπορεί να δώσει χρονοσειρές από 50-1000 έτη αλλά δεν έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως. Τα βοτανικά στοιχεία μπορούν να χαρακτηριστούν με τουλάχιστον τέσσερις διαφορετικούς τρόπους, αν και η δενδροχρονολογία είναι ο πιο συνηθής τρόπος. Κατά τη μέθοδο αυτή παίρνουμε καρότα από τα μεγάλα ηλικιακά δένδρα που βρίσκονται στην εξωτερική πλευρά των μαιάνδρων και μετά γίνεται η καταμέτρηση των δακτυλίων τους (Everitt 1968). Θεωρείται ότι η ηλικία της άκρης του πλημμυρικού πεδίου είναι η ίδια με των δένδρων που πήραμε το καρότα. Ένα από τα προβλήματα με αυτήν την μέθοδο είναι ότι οι δακτύλιοι δεν είναι πάντοτε ετήσιοι. Επίσης γεγονότα διάβρωσης ή απόθεσης στην κοίτη ή τα πρηνή του ρέματος μπορεί να επηρεάσουν την χρονοσειρά και να οδηγήσουν σε λάθος εκτιμήσεις.

Εκτιμήσεις μπορούν να γίνουν και με βάση τα εξωτερικά ή εσωτερικά χαρακτηριστικά των παρόχθιων δένδρων. Ο LaMarche (1966) χρησιμοποίησε την εκτενή έκθεση του ριζικού συστήματος παρόχθιων δένδρων ακριβώς δίπλα στα πρηνή. Επίσης, η μετακίνηση των πρηνών μπορεί να προκύψει από τις αλλαγές στα παλαιοβοτανικά στοιχεία (χρονολόγηση με τη βοήθεια άνθρακα) που εξάγονται από το ιζηματικά στρώματα (Alexander and Nunally 1972). Τέλος, μέθοδοι με λειχήνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν κυρίως σε ποταμούς που έχουν πολλές επιφάνειες με βράχους ή άλλες μεγάλες πέτρες (π.χ. Milne 1982).

**ΙΣΤΟΡΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ:** Η μέθοδος αυτή έχει χρησιμοποιηθεί από πολλούς ερευνητές για να αναπαραστήσουν τις μετακινήσεις ποταμών και ρεμάτων κατά τη διάρκεια των τελευταίων 150 ετών και περιστασιακά για πιο μεγάλους χρονικούς περιόδους. Χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό πρηνικής μετακίνησης μεγάλου μεγέθους. Πιο



συνήθεις πηγές περιλαμβάνουν χάρτες, αεροφωτογραφίες, σημειώσεις και ημερολόγια εξερευνητών, και άλλες αναφορές. Η μέθοδος είναι αρκετά απλή και περιλαμβάνει την επανασχεδίαση των ποταμών ή ρεμάτων (σήμερα συνήθως γίνεται ψηφιοποιήσει) για διάφορες χρονολογίες στην ίδια κλίμακα πάνω σε μια κοινή βάση (Hooke 1977). Οι διαφορές ανάμεσα στα ρέματα ή τα ποτάμια στο χρόνο μπορούν να μετρηθούν και να μετατραπούν στο μέγεθος της διάβρωσης τους για διάφορα χρονικά διαστήματα. Από όλες αυτές τις πηγές οι αεροφωτογραφίες είναι ιδιαίτερα χρήσιμες δεδομένου ότι περιέχουν πιο πολλές και πιο χρήσιμες πληροφορίες για το φυσικό τοπίο των κοιτών και των πρηνών από ότι οι χάρτες στην ίδια κλίμακα (Lewin and Weir 1977).

Στις **μεσοπρόθεσμες** μεθόδους έχουμε καταγραφή των δύο ή τριών διαστάσεων του καναλιού του ρέματος ή του ποταμού σε διάφορα χρονικά διαστήματα. Οι μέθοδοι στη κατηγορία αυτή είναι χαμηλής ακρίβειας και χρησιμοποιούνται για χρονικά διαστήματα από 1 έως 30 χρόνια (Wolman and Leopold 1957). Σε σχέση με τις άλλες κατηγορίες οι μέθοδοι αυτής της κατηγορίας έχουν χρησιμοποιηθεί πολύ πιο συχνά. Επειδή όμως χρειάζεται μεγάλος χρόνος για τη συλλογή των δεδομένων, χρησιμοποιούνται μόνο σε περιορισμένες περιοχές μελέτης ή δεν παίρνουμε μετρήσεις δεδομένων σε πολύ τακτικά χρονικά διαστήματα.

**ΠΛΑΝΙΜΕΤΡΙΚΗ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ:** Στην μέθοδο αυτή γίνεται καταγραφή δεδομένων για την δημιουργία της κάτοψης των καναλιών του ρέματος ή του ποταμού (Bannister and Raymond 1977). Η καταγραφή αυτή μπορεί να γίνει με διάφορα μηχανήματα: χωροβάτες, χωροβάτες με λείζερ, ταχύμετρα, θεοδόλιχους κλπ. Οι καταγραφές μετά από διάφορα χρονικά διαστήματα συγκρίνονται για να διαπιστωθούν οι διαφορές στα πρηνή.

**ΕΠΑΝΑΛΑΜΒΑΝΟΜΕΝΕΣ ΑΠΟΤΥΠΩΣΕΙΣ ΔΙΑΤΟΜΩΝ** (εικόνα 2α): Ένα από τα πλεονεκτήματα της μεθοδολογίας αυτής σε σχέση με την πλανιμετρική επανακαταγραφή είναι η καθιέρωση από μια σειρά μόνιμων διατομών. Αυτό γίνεται με τη δημιουργία μόνιμων σημείων σε κάποια απόσταση από την άκρη των πρηνών στο πλημμυρικό πεδίο είτε με μεταλλικές ράβδους είτε με μόνιμα σημεία από τσιμέντο. Τα σημεία είναι σε κάποια απόσταση από τα πρηνή για να μην χαθούν λόγω της διάβρωσης των πρηνών. Η σύγκριση των διατομών γίνεται για διάφορα χρονικά διαστήματα. Με την καταγραφή δεδομένων σε διάφορα σημεία της διατομής, είναι δυνατό να καταγραφεί η διάβρωση των πρηνών, η απόθεση ιζημάτων αλλά και οι αλλαγές στην κοίτη του ρέματος ή του ποταμού. Τα μηχανήματα που χρησιμοποιούνται μπορεί να είναι τα ίδια με την πλανιμετρική αποτύπωση, αλλά και πιο απλά όργανα π.χ. κλισίμετρο και μετροταινία. Η μεθοδολογία αυτή χρησιμοποιείται πιο συχνά από τις άλλες μεσοπρόθεσμες μεθόδους.

**ΕΝΑΕΡΙΑ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΣΑΡΩΣΗ (3D LASER SCANNING, LiDAR)**, είναι μια μέθοδο τηλεπισκόπησης που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία υψηλής ευκρίνειας τοπογραφικά στοιχεία για μεγάλες περιοχές (James et al. 2007). Το LiDAR είναι ο γενικότερος όρος για τη χρήση ακτινών laser στην τηλεπισκόπηση. Κατά την αέρια χρήση τα συστήματα LiDAR τοποθετούνται επάνω σε αεροσκάφη και παίρνουν μετρήσεις για την έκταση που θα χαρτογραφηθεί. Με βάση αυτές τις μετρήσεις παράγονται χάρτες που μπορούν να αναπαραστήσουν το κανάλι των ρεμάτων και ποταμών και το υδρογραφικό δίκτυο. Οι χάρτες που δημιουργούνται ως ψηφιακά μοντέλα εδάφους (DEM) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να εξαγάγουν πληροφορίες για επιφανειακή και πρηνική διάβρωση και τη μεταφορά ιζημάτων. Αυτό

πραγματοποιείται με γεωμορφολογικές ογκομετρικές συγκρίσεις των DEM που δημιουργήθηκαν από μετρήσεις σε διαφορετικές χρονικές περιόδους (Thoma et al. 2005).

Η τρίτη κατηγορία αποτελεί τους **βραχυπρόθεσμους μεθόδους** που χρησιμοποιούνται για μελέτες συντόμων χρονικών διαστημάτων (μερικούς μήνες μέχρι μερικά χρόνια) στα οποία έμφαση δίνεται στους μηχανισμούς της πρηνικής διάβρωσης και όχι μόνο στο μέγεθος της διάβρωσης. Οι μέθοδοι έχουν μεγάλη ακρίβεια (ακρίβεια χιλιοστών), με τις μετρήσεις να μπορούν να γίνουν και ημερήσια που επιτρέπει τον ερευνητή να συγκρίνει το μέγεθος της διάβρωσης των πρηνών με μεμονωμένα υδρομετεωρολογικά γεγονότα. Οι μέθοδοι αυτοί έχουν χρησιμοποιηθεί λιγότερο σε σχέση με τις μεσοπρόθεσμες επειδή οι βραχυπρόθεσμες χρειάζονται πολύ περισσότερες υπαίθριες μετρήσεις.

Οι ΡΑΒΔΟΙ ΔΙΑΒΡΩΣΕΙΣ είναι η πιο συνήθης βραχυπρόθεσμη μέθοδο που χρησιμοποιείται. Η βασική τεχνική έχει παραμείνει η ίδια για παρά πολλά χρόνια (Wolman 1959). Ράβδος ορισμένου μήκους εισάγεται κάθετα μέσα στο πρηνές. Ένα πρηνές μπορεί να έχει περισσότερες από μια ράβδους και στον κάθετο και στον οριζόντιο άξονα (Εικόνα 2β). Μόνο ένα μικρό μήκος της ράβδου παραμένει ορατό. Καθώς το πρηνές διαβρώνει μεγαλύτερο μέρος της ράβδου εκτίθεται και είναι ορατό. Οι μετρήσεις του ορατού τμήματος της ράβδου μπορούν να γίνουν σε τακτικά χρονικά διαστήματα (π.χ. κάθε μήνα) και οι ράβδοι σε πολλές περιπτώσεις χρωματίζονται με έντονα χρώματα για να διακρίνονται πιο εύκολα (Εικόνα 2β). Οι ράβδοι διάβρωσης θα συνεχίσουν να χρησιμοποιούνται και στο μέλλον γιατί αποτελούν φτηνή, απλή και αποτελεσματική μέθοδος για την μέτρηση της διάβρωσης των πρηνών.

ΕΠΑΝΑΛΑΜΒΑΝΟΜΕΝΗ ΦΩΤΟΓΡΑΦΗΣΗ. Είναι μια μεθοδολογία που χρησιμοποιείται συχνά στη γεωμορφολογία (Rogers et al. 1984). Για τις μελέτες διάβρωσης πρηνών, η επαναλαμβανόμενη φωτογράφιση μπορεί να βοηθήσει στον εντοπισμό των περιοχών όπου υλικά διαβρώνονται, στην ένδειξη των κύριων διαδρόμων μεταφοράς των ιζημάτων και στις αλλαγές της βλάστηση. Συνήθως υπάρχουν μόνιμες θέσεις (σταθμοί) για την τοποθέτηση της φωτογραφικής μηχανής. Επίσης σημαντικό είναι να γνωρίζουμε την ημέρα που τραβήχτηκε η φωτογραφία.

Η ΕΠΙΓΕΙΑ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑ παρόλο που μπορεί να δώσει ακριβή ποσοτικά στοιχεία όσον αφορά τη διάβρωση πρηνών έχει χρησιμοποιηθεί πολύ λιγότερο σε σχέση με την επαναλαμβανόμενη φωτογράφιση (Collins and Moon 1979). Η μεθοδολογία αυτή έχει την προοπτική να είναι μια πολύ χρήσιμη (Lawler 1989). Μια επίγεια φωτογραμμετρική μηχανή, ενσωματωμένη σε έναν θεοδόλιχο, παίρνει στερεοσκοπικές φωτογραφίες του πρηνούς που είναι υπό μελέτη. Με βάση τις στερεοσκοπικές φωτογραφίες μπορεί να δημιουργηθεί ένα τρισδιάστατο μοντέλο του πρηνούς για ποσοτικές συγκρίσεις. Αν και οι εφαρμογές της μεθόδου είναι πολυάριθμες το πραγματικό πλεονέκτημα βρίσκεται στον εντοπισμό γεωμορφολογικών αλλαγών (π.χ. διάβρωση πρηνών) παίρνοντας στερεοσκοπικές φωτογραφίες σε διάφορα χρονικά διαστήματα. Για την δημιουργία των στερεοσκοπικών φωτογραφιών η ειδική μηχανή τοποθετείται σε συγκεκριμένες θέσεις (σταθμοί) στο απέναντι πρηνές και παράλληλα προς το υπό μελέτη πρηνές. Η θέση του κάθε σταθμού υπολογίζεται ώστε να παρέχει την κατάλληλη επικάλυψη με την προηγούμενη φωτογραφία για τη δημιουργία του μοντέλου. Τέλος γίνεται ακριβής καταγραφή συγκεκριμένων σημείων του πρηνούς για τη δημιουργία του μοντέλου.

**ΠΑΓΙΔΕΣ ΙΖΗΜΑΤΩΝ.** Δίσκοι, σάκοι ή μεταλλικά κουτιά πιάνουν τα ιζήματα που πέφτουν από το πρανές (Hill 1973, Smith 1976). Τα αντικείμενα συλλογής στερεώνονται καλά στο πρανές για να μην φύγουν κατά τις μεγάλες παροχές του ρέματος ή του ποταμού. Ένα σημαντικό πρόβλημα είναι η μη καταμέτρηση των υλικών μικρής διαμέτρου (ιλύς και άργιλος) κατά τη διάρκεια βροχοπτώσεων ή μεγάλων παροχών. Για το λόγο αυτό η μέθοδος χρησιμοποιείται σε ρέματα και σε μικρούς ποταμούς για μικρά χρονικά διαστήματα (μεταξύ μεγάλων υδατοπαροχών) και κυρίως σε περιοχές όπου κυριαρχούν οι υποαέριοι μηχανισμοί.



α



β



γ

**Εικόνα 2.** Διάφοροι μέθοδοι μέτρησης πρανικής διάβρωσης. α) Μεσοπρόθεσμη: επαναλαμβανόμενες αποτυπώσεις διατομών. β) Βραχυπρόθεσμη: το πρανές έχει 10 ράβδους διάβρωσης που έχουν βαφεί με πορτοκαλί χρώμα. γ) Συνεχής Μετρήσεις: τοποθέτηση φώτο-ηλεκτρικής ράβδος διάβρωσης στο πρανές.

ΕΠΙΓΕΙΑ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΣΑΡΩΣΗ (3D LASER SCANNING, LiDAR). Η εφαρμογή εναέριας χρήσης laser scanning (LiDAR) έχει το πλεονέκτημα ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί για εκτάσεις μεγάλης κλίμακας. Παρόλο αυτό όταν ο σκοπός είναι η λεπτομερή μελέτη των μηχανισμών διάβρωσης των πρηνών, η παραπάνω μέθοδος δεν είναι και η πιο αποτελεσματική. Την λεπτομερειακή μελέτη των πρηνών μπορεί να επιτύχει η εφαρμογή επίγειας τρισδιάστατης σάρωσης (Nasermoaddeli and Pasche 2008, O'Neal and Pizzuto 2011). Η μεθοδολογία αυτή επίσης πλεονεκτεί σε σχέση με τις προηγούμενες βραχυπρόθεσμες μεθόδους (π.χ. ράβδοι διάβρωσης, φωτογραμμετρία) λόγω μεγαλύτερης χωρικής ή χρονικής ακρίβειας και επειδή έχει λιγότερες υπαίθριες εργασιακές απαιτήσεις. Οι πρόσφατες εξελίξεις στην τεχνολογία LiDAR, επιτρέπουν την πολύ υψηλή χωρική ανάλυση και ακρίβεια. Συνήθως η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται με echo-sounder αισθητήρες για μετρήσεις κάτω από την επιφάνεια του νερού, του πυθμένα του ρέματος ή ποταμού. Κατά τη μέθοδο αυτή υπάρχουν συγκεκριμένα σημεία (στόχοι) που σαρώνονται με μεγαλύτερη ακρίβεια ενώ παίρνονται δύο επικαλυπτόμενες σαρώσεις από τις οποίες δημιουργούνται τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους (DEM). Τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους διαφόρων χρονικών στιγμών συγκρίνονται για να παρατηρήσουμε εάν στο πρηνές υπήρξε διάβρωση ή απόθεση.

Μετρήσεις κατά την χρονική περίοδο των συμβάντων διάβρωσης και απόθεσης είναι πρωταρχική ανάγκη για να καταλάβουμε τους γεωμορφολογικούς μηχανισμούς. Επειδή η διάβρωση συνήθως πραγματοποιείται σε διακριτά χρονικά διαστήματα και είναι επεισοδιακή, οι λεπτομέρειες των επιμέρους συμβάντων διάβρωσης (π.χ. αργή και προοδευτική ή καταστροφική και στιγμιαία) και η χρονική κατανομή τους έχει παρά πολύ μεγάλο ενδιαφέρον. Αυτό σημαίνει ότι οι μετρήσεις πρέπει να δίνουν πληροφορίες για το πότε έγινε το συμβάν, το μέγεθος και τη διάρκεια του. Άρα υπάρχει ανάγκη για τη βελτίωση της χρονικής διακριτικότητας της διάβρωσης ώστε οι μετρήσεις να ταιριάζουν με τον ακριβή χρόνο του διαβρωτικού συμβάντος. Για το λόγο αυτό εφευρέθηκαν οι μεθοδολογίες **συνεχείς μετρήσεις**.

Για το πρόβλημα με την χρονική ακρίβεια του συμβάντος της διάβρωσης, η πρώτη μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε ήταν η ΦΩΤΟ-ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΡΑΒΔΟ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ (photo-electronic erosion pins) (Lawler et al. 1997b) (Εικόνα 2γ). Η μέθοδος αυτή μπορεί να πάρει συνεχείς μετρήσεις διάβρωσης ή απόθεσης κατά τη διάρκεια της ημέρας (όταν υπάρχει φως). Αποτελείται από μια σειρά από φωτοβολταϊκά κύτταρα που περικλείονται σε ένα αδιαπέραστο από νερό και διαφανή σωλήνα. Ο σωλήνας εισάγεται καθέτως στην πρόσοψη του πρηνούς. Όταν περισσότερα κύτταρα εκτεθούν στον ήλιο λόγω διάβρωσης τότε αυξάνεται και η ηλεκτρική τάση από τα κύτταρα. Εάν μειωθεί η ηλεκτρική τάση σημαίνει ότι λιγότερα κύτταρα είναι εκτιθέμενα στο ηλιακό φως και έχουμε απόθεση. Όταν πρωτοεισαχθεί στο πρηνές η συσκευή, μόνο τα δύο πρώτα κύτταρα είναι εκτεθειμένα (Εικόνα 2γ). Η ηλεκτρική τάση του οργάνου μπορεί να καταγράφει μέχρι και κάθε λεπτό σε ηλεκτρονικό σύστημα καταγραφής δεδομένων (datalogger). Οι μετρήσεις αυτές μπορούν να συγκριθούν με τις αντίστοιχες μετρήσεις υδατοπαροχής και βροχοπτώσεις.

Ο Lawler (2005) εφεύρε μια καινούργια μέθοδο για συνεχείς μετρήσεις κατά τη διάρκεια όλου του εικοσιτετράωρου (ημέρα και νύχτα). Η ΘΕΡΜΙΚΗ ΧΡΟΝΙΚΗ ΣΥΝΗΧΗΣΗ (thermal consonance timing) παρέχει ακριβέστερες, πιο συνεχείς και ποσοτικές πληροφορίες σχετικά με τη διάβρωση και απόθεση ενός συμβάντος καθώς και το μέγεθος, χρόνο και τη συχνότητα, που θα βοηθήσει στη σωστή κατανόηση των μηχανισμών διάβρωσης. Η μέθοδος βασίζεται στην παρακολούθηση των μεγάλων αλλαγών της θερμοκρασίας από τη μετάβαση από τα πρηνή, στον αέρα και στο νερό

των ρεμάτων ή των ποταμών. Η αλλαγή αυτή στην θερμοκρασία μπορεί να αποκαλύψει την ακριβή στιγμή της διάβρωσης.

Τέλος επειδή κάθε μέθοδος έχει άλλα προτερήματα και άλλα μειονεκτήματα για καλύτερα αποτελέσματα μπορεί να γίνει και συνδυασμός των ανωτέρων μεθόδων. Για παράδειγμα μπορεί να συνδυαστούν οι ιστορικές πηγές (αεροφωτογραφίες) για μακροπρόθεσμα δεδομένα, με την εναέρια τρισδιάστατη σάρωση για μεσοπρόθεσμα δεδομένα αρκετών χιλιομέτρων ενός ρέματος ή ποταμού, την χρήση ράβδων διάβρωσης για δεδομένα πιο τοπικού χαρακτήρα και της θερμικής χρονικής συνήχησης για τη δυνατότητα καταγραφής συγκεκριμένων συμβάντων διάβρωσης ή απόθεσης.

## **Δημοσιεύσεις Πρανικής Διάβρωσης στον Ελλαδικό Χώρο**

Σε παγκόσμιο επίπεδο, υπάρχει πάρα πολύ μεγάλος αριθμός δημοσιεύσεων για το μέγεθος, τους μηχανισμούς και τους παράγοντες που επηρεάζουν την πρανική διάβρωση για όλες τις ηπείρους. Αυτό είναι αναμενόμενο και φυσιολογικό λόγω της μεγάλης σημασίας του για την παραγωγή φερτών υλών σε ποτάμια και χείμαρρους και κατά συνέπεια των προβλημάτων ρύπανσης που μπορεί να προκαλέσει.

Κάποιος θα περίμενε και έναν σημαντικό αριθμό δημοσιεύσεων σε διεθνή περιοδικά και για το Ελλαδικό χώρο. Μετά από εκτενή έρευνα στις βάσεις δεδομένων Scopus, Scirus και Google Scholar με συνδυασμούς λέξεων κλειδιά «stream bank erosion» and «Greece», «streambank erosion» and «Greece», «river bank erosion» and «Greece», «stream erosion» and «Greece», «river erosion» and «Greece» και «bank erosion» and «Greece» βρήκαμε έναν πολύ μικρό αριθμό δημοσιεύσεων. Συγκεκριμένα ο συνολικός αριθμός των δημοσιεύσεων που βρήκα ήταν επτά, με ένα κεφάλαιο σε τόμο βιβλίου, τρεις δημοσιεύσεις σε επιστημονικά περιοδικά, μια δημοσίευση σε ανοιχτό περιοδικό και τρεις σε πρακτικά συνεδρίου. Η μόνη δημοσίευση που είχε ως κύριο θέμα την πρανική διάβρωση ήταν το κεφάλαιο σε τόμο βιβλίου που ερεύνησε πως η κατασκευή φραγμάτων και οι αμμοληψίες επηρεάζουν το μέγεθος της πρανικής διάβρωσης (Nicholas et al. 1999). Σε καμιά από τις άλλες δημοσιεύσεις δεν ήταν η πρανική διάβρωση το κύριο θέμα. Στην πρώτη χρονολογικά δημοσίευση που ήταν σε επιστημονικό περιοδικό το θέμα ήταν οι πλημμύρες με αναφορά στο χαρακτηριστικό ότι οι μεγαλύτερες ποτάμιες παροχές τον χειμώνα αυξάνουν και την πρανική διάβρωση (Panagoulia and Dimou 1999). Στις άλλες δύο επιστημονικές δημοσιεύσεις, στην μία γίνεται αναφορά σε παράγοντες που οδηγούν στην αύξηση της πρανικής διάβρωσης (Manariotis and Yannopoulos 2004) και στην άλλη το γεγονός ότι τα περισσότερα φερτά υλικά προέρχονται από τη διάβρωση των πρανών ενώ γίνεται και αναφορά σε ενδεδειγμένους μεθόδους αντιμετώπισης αυτού του περιβαλλοντικού προβλήματος (Lazaridou et al. 2004). Στην δημοσίευση στο ανοιχτό περιοδικό πάλι γίνεται αναφορά παραγόντων που επηρεάζουν την πρανική διάβρωση (Mertzanis et al. 2011) όπως και στις δύο δημοσιεύσεις σε πρακτικά συνεδρίων (Manariotis and Yannopoulos 2001, Zarris et al. 2006). Στην τελευταία δημοσίευση σε πρακτικά συνεδρίου γίνεται αναφορά σε περιπτώσεις που μπορεί να αυξηθεί η παροχή φερτών υλικών από τα πρανά ενώ δημιούργησαν και ένα δείκτη για την ποιοτική περιγραφή της δημιουργίας χαραδρών σε μια υδρολογική λεκάνη (Zarris et al. 2007).

## **Συμπεράσματα**

Η πρανική διάβρωση παρόλο που είναι ένα φυσικό φαινόμενο μπορεί κάτω από ανθρωπογενείς επιδράσεις να προκαλέσει πολύ σημαντικά προβλήματα. Επειδή

σημαντικό μέρος των ανθρώπινων δραστηριοτήτων λαμβάνει χώρα σε υδατικά συστήματα ή σε παρακείμενες περιοχές, η μελέτη και η κατανόηση αυτού του φαινομένου είναι απαραίτητη. Για το λόγο αυτό παγκοσμίως υπάρχει πλήθος δημοσιεύσεων για την πρηνική διάβρωση σχετικά με τους παράγοντες που το προκαλούν, τους μηχανισμούς και τις μεθοδολογίες για την εκτίμηση του φαινομένου. Κάτι ανάλογο δεν έχει συμβεί όμως στον Ελλαδικό χώρο για την πρηνική διάβρωση που σημαίνει ότι υπάρχει ένα σημαντικό κενό στην επιστήμη. Για να μπορέσουμε να καταλάβουμε τη σημαντικότητα ή όχι αυτού του φαινομένου στην Ελλάδα πρέπει να γίνουν αρκετές μελέτες στα διάφορα υδατικά συστήματα της χώρας καθώς και στα διάφορα κλιματικά περιβάλλοντα της χώρας. Μελέτες πρέπει να γίνουν τόσο στους μεγάλους και μικρούς ποταμούς της χώρας όσο και στην πληθώρα των χειμάρρων που ρέουν στην χώρα. Πρέπει επίσης να γίνουν μελέτες για αυτά τα υδατικά συστήματα τόσο σε παραθαλάσσιες περιοχές όσο και σε ηπειρώτικες πεδινές και ορεινές περιοχές. Με βάση αυτές τις μελέτες θα μπορέσουν να δημιουργηθούν και να παρθούν επιτυχημένα μέτρα αντιμετώπισης της πρηνικής διάβρωσης στην Ελλάδα.

## **Βιβλιογραφία**

- Alexander, C.S. and Nunally, N.R. (1972). Channel stability on the lower Ohio River. *Annals of the Association of American Geographers*. Vol.62, No. 3, pp. 411-417.
- Allan, J.D. (2004). Landscapes and riverscapes: The influence of land use on stream ecosystems. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*. Vol. 35, No. 3, pp. 257-284.
- Allan, J.D. (1994). *Stream Ecology: Structure and Function of Running Waters*. Dordrecht: Springer.
- Arnold, C.L. and Gibbons, C.J. (1996). Impervious surface coverage: The emergence of a key environmental indicator. *Journal of the American Planning Association*. Vol. 62, No. 2, pp. 243-258.
- Bannister, A. and Raymond, S. (1977). *Surveying*. London: Pitman.
- Belsky, A.J., Matzke, A. and Uselman, S. (1999). Survey of livestock influences on stream and riparian ecosystems in the western United States. *Journal of Soil and Water Conservation*. Vol. 54, No. 1, pp. 419-431.
- Botkin, D.B. and Beveridge, C.E. (1997). Cities as environments. *Urban Ecosystems*. Vol. 1, No. 1, pp. 3-19.
- Collins, S.H. and Moon, G.C. (1979). Stereometric measurement of streambank erosion. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. Vol. 45, No. 2, pp. 183-190.
- Couper, P. and Maddock, I.P. (2001). Subaerial river bank erosion processes and their interaction with other bank erosion mechanisms on the River Arrow, Warwickshire, UK. *Earth Surface Processes and Landforms*. Vol. 26, No. 6, pp. 631-646.
- Dunaway, D., Swanson, S.R., Wendel, J. and Clary, W. (1994). The effect of herbaceous plant communities and soil textures on particle erosion of alluvial streambanks. *Geomorphology*. Vol. 9, No. 1, pp. 47-56.
- Dunne, T. and Leopold, L. (1978). *Water in environmental planning*. San Francisco : W.H. Freeman.
- Evans, R.D., Proving, A., Mattie, J., Hart, B. and Wisniewski, J. (1997). Interactions between sediments and water summary of the 7th international symposium. *Water Air and Soil Pollution*. Vol. 99, No. 1-4, pp. 1-7.

- Everitt, B.L. (1968). Use of Cottonwood in an investigation of the recent history of a flood plain. *American Journal of Science*. Vol. 266, No. 6, pp. 417-439.
- Federal Interagency Stream Restoration Working Group. (1998). Stream corridor restoration. Principles, processes and practices. Washington, D.C: The National Academy Press.
- Geyer, W.A., Nepl, T., Brooks, K. and Carlisle, J. (2002). Woody vegetation protects streambank stability during the 1993 flood in central Kansas. *Journal of Soil and Water Conservation*. Vol. 55, No. 4, pp. 483 - 486.
- Hagerty, D.J., Sharifounnasab, M. and Spoor, M.F. (1983). Riverbank erosion: A case study. *Bulletin of the Association of Engineering Geologists*. Vol. 20, No. 4, pp. 411-437.
- Haslam, S.M. (1990). River pollution: an ecological perspective. London: Belhaven Press.
- Hill, A.R. (1973). Erosion of river banks composed of glacial till near Belfast, Northern Ireland *Zeitschrift fur Geomorphologie*. Vol. 17, No. 4, pp. 428-442.
- Hoffman, L. and Ries, R.E. (1991). Relationship of soil and plant characteristics to erosion and runoff on pasture and range. *Journal of Soil and Water Conservation*. Vol. 46, No. 2, pp. 143-147.
- Hooke, J.M. (1977). The distribution and nature of changes in river channel patterns: the example of Devon. In: Gregory, K.J. (ed.). *River Channel Changes*. Chichester: John Wiley.
- Hooke, J.M. (1980). Magnitude and distribution of rates of river bank erosion. *Earth Surfaces and Processes*. Vol. 5, No. 2, pp. 143-157.
- James, L.A., Watson, D.G. and Hansen, W.F. (2007). Using LiDAR data to map gullies and headwater streams under forest canopy: South Carolina, USA. *Catena*. Vol. 71, No. 1, pp. 132-144.
- Kronvang, B., Grant, R. and Laubel, A.L. (1997). Sediment and phosphorus export from a lowland catchment: Quantification of sources. *Water Air and Soil Pollution*. Vol. 99, No. 1, pp. 465-476.
- Kronvang, B., Grant, R., Label, A.L. and Pedersen, M.L. (2002). Quantifying sediment and nutrient pathways within Danish agricultural catchments. In: Haygarth, P.M, Jarvis S.C. (eds.). *Agriculture, hydrology and water quality*. Wallingford: CAB International.
- Lazaridou, P.L., Daniil, E.I., Michas, S.N., Papanicolaou, P.N. and Lazarides, L.S. (2004). Integrated environmental and hydraulic design of Xerias River, Corinthos, Greece, training works. *Water, Air, and Soil Pollution: Focus*. Vol. 4, No. 4-5, pp. 319-330.
- LaMarche, V.C. (1966). An 800 year history of stream erosion as indicated by botanical evidence. U.S. Geological Survey Professional Paper. Washington, DC: USGS.
- Lane, E.W. (1955). The importance of fluvial morphology in hydraulic engineering. *Proceedings of the American Society of Civil Engineers*. Vol. 81, No. 745, pp. 1-18.
- Lawler, D.M. (1989). Some developments in erosion monitoring. 2: The potential of terrestrial photogrammetric methods. Working Paper, 48. Birmingham: University of Birmingham, School of Geography.
- Lawler, D.M. (1993). The measurement of river bank erosion and lateral channel change: A review. *Earth Surfaces and Processes and Landforms*. Vol.18, No. 9, pp. 777-821.

- Lawler, D.M., Thorne, C.R. and Hooke, J.M. (1997a). Bank erosion and instability. In: Thorne C.R., Hey R.D., Newson M.D. (eds). *Applied Fluvial Geomorphology for River Engineering and Management*. Chichester: John Wiley & Sons.
- Lawler, D.M., Couperthwaite, J., Bull, L.J. and Harris, N.M. (1997b). Bank erosion event and process in the Upper Severn Basin. *Hydrology and Earth Systems Sciences*. Vol. 1, No. 3, pp. 523-534.
- Lawler, D.M., Grove, J.R., Couperwaite, J.S. and Leeks, G.J.L. (1999). Downstream change in river bank erosion rates in the Swale-Ouse system, northern England. *Hydrological Processes*. Vol. 13, No. 7, pp. 977-992.
- Lawler, D.M. (2005). Defining the moment of erosion: the principle of thermal consonance timing. *Earth Surface Processes and Landforms*. Vol. 30, No. 13, pp. 1597-1615.
- Lewin, J. and Weir, M.J.C. (1977). Morphology and recent history of the Lower Spey. *Scottish Geographical Magazine*. Vol. 93, No. 1, pp. 45-51.
- Manariotis, I.D. and Yannopoulos, P.C. (2001). Environmental impact of riverine activities on Alfios River and measures toward sustainability. In: V.A. Tsihrintzis and P. Tsalides (eds.) *Proceedings of the International Conference of Ecological Protection of the Planet Earth I*, 5-8 June 2001, Xanthi, Greece.
- Manariotis, I.D. and Yannopoulos, P.C. (2004). Adverse effects on Alfeios River basin and an integrated management framework based on sustainability. *Environmental Management*. Vol. 34, No. 2, pp. 261-269.
- Mertzanis, A., Papadopoulos, A., Goudelis, G., Pantera, A. and Efthimiou, G. (2011). Human - induced impact to the environment and changes in the geomorphology: Some examples of inland and coastal environments in Greece. *Journal of Ecology and the Natural Environment*. Vol. 3, No. 8, pp. 273-297.
- Minshall, G.W. (1984). Aquatic insect-substratum relationships. In: Resh, V.H., and Rosenberg, D.M. (eds.). *The Ecology of Aquatic Insects*. New York: Praeger.
- Milne, J.A. (1982). River channel change in the Harthorpe Valley, Northumberland, since 1897. *Research Series*, 13. Newcastle: University of Newcastle-upon-Tyne, Department of Geography.
- Nanson, G.C. (1986). Episodes of vertical accretion and catastrophic stripping: a model of disequilibrium floodplain development. *Geological Society American Bulletin*. Vol. 97, No. 12, pp. 1467-1475.
- Nasermoaddeli, M.H. and Pasche, E. (2008). Application of terrestrial 3D laser scanner in quantification of the riverbank erosion and deposition. In: Altinakar, M.S., Kokpinar, M.A., Aydin, I., Cokgar, S. and Kirkgoz, S. (eds), *Riverflow 2008, Proceedings of International Conference on fluvial Hydraulics*, Cesme-Ismir, Turkey, Sep. 3-5, Vol. 3, pp. 2407-2416.
- Nicholas, A.P., Woodward, J.C., Christopoulos, G. and Macklin, M.G. (1999). Modeling and monitoring river response to environmental change: The impact of dam construction and alluvial gravel extraction on bank erosion rates in the lower Alfios basin, Greece. In: A.G. Brown, and T.A. Quine (Eds), *Fluid processes and environmental change*. New York: John Wiley & Sons.
- Odgaard, A.J. (1987). Streambank erosion along two rivers in Iowa. *Water Resources Research*. Vol. 23, No. 7, pp. 1225-1236.
- O'Neal, M.A. and Pizzuto, J.E. (2011). The rates and spatial patterns of annual riverbank erosion revealed through terrestrial laser-scanner surveys of the South



- River, Virginia. *Earth Surface Processes and Landforms*. Vol. 36, No. 5, pp. 695-701.
- Owens, P.N. and Walling, D.E. (2002). The phosphorus content of fluvial sediment in rural and industrialized river basins. *Water Research*. Vol. 36, No. 3, pp. 685-701.
- Paul, M.J. and Meyer, J.L. (2001). Streams in the urban landscape. *Annual Review of Ecology and Systematics*. Vol. 32, No. 1, pp. 333-365.
- Panagoulia, D. and Dimou, G. (1997). Sensitivity of flood events to global climate change. *Journal of Hydrology*. Vol. 191, N. 1-4, pp. 208-222.
- Postel, S. and Richter, B. (2003). *Rivers for life: Managing water for people and nature*. Washington, DC: Island Press.
- Rogers, G.F., Malde, H.E. and Turner, R.H. (1984). *Bibliography of repeat photography for evaluating landscape change*, Salt Lake City: University of Utah Press.
- Schumm, S.A., Harvey, M.D. and Watson, C.C. (1984). *Incised channels: Morphology, dynamics and control*. Littleton: Water Resources Publication.
- Schilling, K.E. and Wolter, C.F. (2000). Applications of GPS and GIS to map channel features in Walnut Creek, Iowa. *Journal of the American Water Resource Association*. Vol. 36, No. 6, pp. 1423-1434.
- Sekely, A.C., Mulla, D.J. and Bauer, D.W. (2002). Streambank slumping and its contribution to the phosphorus and suspended sediment loads of the Blue Earth River, Minnesota. *Journal of Soil and Water Conservation*. Vol. 57, No. 5, pp. 243-250.
- Simon, A., Rinaldi, M. and Hadish, G. (1996). Channel evolution in the loess area of the Midwestern United States. In: *Proceedings of the sixth federal interagency sedimentation conference*, Las Vegas, Nevada. Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office.
- Simon, A., Curini, A., Darby, S. and Langendoen, E.J. (1999). Streambank mechanics and the role of bank and near-bank processes in incised channels. In: Darby S.E. and A. Simon (eds.). *Incised rivers channels: Processes forms, engineering and management*. Chichester: John Wiley and Sons Press.
- Sharpley, A.N., Foy, R.H. and Withers, P.J.A. (2000). Practical and innovative measures for the control of agricultural phosphorus losses to water: An overview. *Journal of Environmental Quality*. Vol. 29, No. 1, pp. 1-9.
- Simon, A., Curini, A., Darby, S.E. and Langendoen, E.J. (2000). Bank and near-bank processes in an incised channel. *Geomorphology*. Vol. 35, No. 3-4, pp. 93-217.
- Smart, M.M., Jones, J.R. and Sebaugh, J.L. (1985). Stream-watershed relations in the Missouri Ozark Plateau province. *Journal of Environmental Quality*. Vol. 14, No. 1, pp. 77-82.
- Smith, D.G. (1976). Effects of vegetation on lateral migration of anastomosed channels of a glacial meltwater river. *Geological Society of America Bulletin*. Vol. 87, No. 6, pp. 857-860.
- Strahler, A.N. (1957). *Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology*. *Transaction of the American Geophysical Union*. Vol. 34, No. 6, pp. 913-920.
- Trimble, S.W. and Mendel, A.C. (1995). The cow as a geomorphic agent - A critical review. *Geomorphology* Vol. 13, pp. 233-253.
- Thoma, D.P., Gupta, S.C., Bauer, M.E. and Kirchoff, C.E. (2005). Airborne laser scanning for riverbank erosion assessment. *Remote Sensing of Environment*. Vol. 95, No. 4, pp. 493-501.

- Wilcock, P.R. (1997). The components of fractional transport rate. *Water Resources Research*. Vol. 33, No. 1, pp. 247-258.
- Wilkin, D.C. and Hebel, S.J. (1982). Erosion, redeposition, and delivery of sediment to Midwestern streams. *Water Resource Research*. Vol. 18, No. 4, pp. 1278-1282.
- Wolman, M.G. and Leopold, L.B. (1957). River flood plains; some observations on their formation. US. Geological Survey Professional Paper 282C. Washington, DC: USGS.
- Wolman, M.G. (1959). Factors influencing erosion of a cohesive river bank. *American Journal of Science*. Vol. 257, No. 1, pp. 204-216.
- Zaimes, G.N., Schultz, R.C. and Isenhardt, T.M. (2008). Riparian land-uses and precipitation influences on stream bank erosion in central Iowa. *Journal of American Water Resource Association*. Vol. 42, No.1, pp. 83-97.
- Zarris, D., Lykoudi, E. and Panagoulia, D. (2006). Assessing the impacts of sediment yield on the sustainability of major hydraulic system. In: E. Gidarakos et. al. (eds). *Proceedings of the International Symposium of "Protection and Restoration of the Environment VIII"*. Chania, Crete, Greece 3-7 July 2006.
- Zarris, D., Lykoudi, E. and Panagoulia, D. (2007). Sediment yield estimates in North-western Greece and analyses with hydrologic and geomorphologic factors. In: *Bulletin of the Geological Society of Greece* vol. XXXVII, 2007. *Proceedings of the 11th International Congress, Athens, May 24-26, 2007.*

## ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΤΟΥ ΣΤΑΘΕΡΟΥ ΟΡΟΥ ΣΕ ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΟΛΛΑΠΛΗΣ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ ΩΣ ΔΕΙΚΤΗ ΒΑΣΙΚΗΣ ΡΟΗΣ

### **Κυριακή Κιτικίδου**

Λέκτορας, Τμήμα Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων  
Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης  
e-mail: [kkitikid@fmenr.duth.gr](mailto:kkitikid@fmenr.duth.gr)

### **Ιωάννης Γκουγκουρέλας**

ΕΤΕΠ, Τμήμα Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων  
Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης  
e-mail: [gkougkou@fmenr.duth.gr](mailto:gkougkou@fmenr.duth.gr)

### **Γεώργιος Χατζηλαζάρου**

ΕΕΔΠ, Τμήμα Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων  
Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης  
e-mail: [gchatzil@fmenr.duth.gr](mailto:gchatzil@fmenr.duth.gr)

## **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Σε αυτή την εργασία αναπτύσσεται ένα μοντέλο βροχόπτωσης-απορροής με ανάλυση πολλαπλής παλινδρόμησης. Διαχωρίζεται η γραμμική συνιστώσα της απορροής από την παρατηρηθείσα παροχή με τη μέθοδο της Μέγιστης Σταθερής Παροχής (Fixed Maximum Discharge, FMD), η οποία λειτουργεί ως φίλτρο αποκοπής υψηλών συχνοτήτων. Σε αυτό το μοντέλο, ο σταθερός όρος μπορεί να ερμηνευτεί ως στατιστική έκφραση της βασικής ροής. Η μέθοδος μπορεί να εφαρμοστεί κυρίως σε λεκάνες απορροής ποταμών και δευτερευόντως σε μόνιμα σημεία μέτρησης παροχής. Στις λεκάνες απορροής μπορεί να μελετηθεί η σχέση μεταξύ του γεωλογικού τύπου και της παροχής σε περίοδο ξηρασίας. Ο σταθερός όρος σε ένα μοντέλο πολλαπλής παλινδρόμησης με τη μέθοδο FMD μπορεί να εκφράσει την παροχή κατά την ξηρή περίοδο.

**Λέξεις κλειδιά:** απορροή, βροχόπτωση, παλινδρόμηση.

### **Εισαγωγή**

Σε αυτή την εργασία αναπτύσσεται ένα μοντέλο πολλαπλής παλινδρόμησης βροχόπτωσης-απορροής, με μετρήσεις βροχόπτωσης ως εισροή (input) και εκτιμήσεις απορροής ως εκροή (output). Αυτό το μοντέλο μπορεί να διαχωρίσει τη γραμμική συνιστώσα της απορροής με τη μέθοδο της Μέγιστης Σταθερής Παροχής (Fixed Maximum Discharge, FMD) (Hydrologic Methods ch. 4), η οποία λειτουργεί ως φίλτρο αποκοπής υψηλών συχνοτήτων. Σε αυτό το σχεδιασμό, ο σταθερός όρος του μοντέλου

παλινδρόμησης μπορεί να θεωρηθεί ως ανεξάρτητος όρος της απορροής στην βροχόπτωση. Οι Shiraishi et al. (1976), αναφέρουν ότι ο σταθερός όρος ενός μοντέλου πολλαπλής παλινδρόμησης θα μπορούσε να ερμηνευθεί ως η τιμή της βασικής ροής μιας λεκάνης απορροής, επειδή εκφράζει τιμή εκροής χωρίς τιμή εισροής. Οι Mushiakhe et al. (1981) μελέτησαν τη σχέση της παροχής σε περίοδο ξηρασίας και τους γεωλογικούς τύπους σε μια λεκάνη απορροής βασισμένοι σε συνήθη δεδομένα παροχής από παλιούς σταθμούς παραγωγής ενέργειας.

Στην παρούσα εργασία συζητιέται η σχέση μεταξύ του σταθερού όρου ενός μοντέλου πολλαπλής παλινδρόμησης βροχόπτωσης-απορροής και των γεωλογικών τύπων μιας λεκάνης απορροής. Για τη σωστή εφαρμογή της μεθόδου θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν δεδομένα από λεκάνες απορροής και μόνιμα σημεία μέτρησης παροχής στα ανάντη και σε χρονικές περιόδους ορισμένες έτσι ώστε να αποφευχθούν οι επιδράσεις του χιονιού (Μιμίκου και Φωτόπουλος 2004). Επίσης θα πρέπει να οριστεί και η γεωλογική περίοδος δημιουργίας των πετρωμάτων της περιοχής (πχ Καινοζωική Τεταρτογενής). Τέτοια μοντέλα απεικονίζουν τη σχέση μεταξύ βροχόπτωσης και απορροής, όταν η παροχή είναι χαμηλή εξαιτίας απόρριψης των τιμών υψηλής παροχής από την εφαρμογή της μεθόδου FMD. Οι παράμετροι των μοντέλων ομαδοποιούνται και γίνεται συζήτηση σχετικά με τους παράγοντες ελέγχου των χαρακτηριστικών απορροής.

### Μέθοδος της ανάλυσης βροχόπτωσης-απορροής

Για την έκφραση της σχέσης βροχόπτωσης-απορροής χρησιμοποιήθηκαν οι σειρές Volterra (Boyd et al. 1984), στις οποίες η παρούσα χρονική στιγμή  $t$  χρησιμοποιείται ως αρχικό σημείο:

$$y(t) = \sum_{n=0}^{\infty} \int_{(n)} \dots \int_0^{\infty} \sum h_n(\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n) \cdot \prod_{k=1}^n x(t - \tau_k) d\tau_1 d\tau_2 \dots d\tau_n \quad (1)$$

$$\text{με } x(t - \tau_k) = A_r \cdot R(t - \tau_k)$$

όπου  $A_r$ : εμβαδό μιας λεκάνης απορροής,  $R(t - \tau_k)$ : ένταση της βροχόπτωσης σε μια περιοχή,  $y(t)$ : η τιμή της απορροής στη λεκάνη τη χρονική στιγμή  $t$ ,  $h_n$ : συντελεστής απορροής Kernel  $n$ -οστού βαθμού,  $\tau_k$ : ολοκληρωμένη μεταβλητή που δείχνει τη χρονική υστέρηση της απορροής.

Η εκτίμηση των  $k$  συντελεστών Kernel ατομικά είναι περίπλοκη, με δεδομένο ότι οι συναρτήσεις βάσης των σειρών Volterra είναι συσχετισμένες και απαιτείται η λύση συστήματος ολοκληρωμένων εξισώσεων. Χρησιμοποιώντας τους όρους 2<sup>ου</sup> βαθμού σε συνδυασμό με ανάλυση πολλαπλής παλινδρόμησης, η εξίσωση (1) μπορεί να πάρει την εξής διακριτή μορφή:

$$y(t) = A_0 + \sum_{i=1}^n A_i \cdot X(t - \tau_i) + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m B_{ij} \cdot X(t - \tau_i) \cdot X(t - \tau_j) \quad (2)$$

Οι παράμετροι  $A_0$ ,  $A_i$  και  $B_{ij}$  εκτιμώνται με τη μέθοδο των ελάχιστων τετραγώνων, στην οποία οι όροι 1<sup>ου</sup> βαθμού  $A_0$ ,  $A_i$  και οι όροι 2<sup>ου</sup> βαθμού  $B_{ij}$  εκτιμώνται ξεχωριστά με τη μέθοδο FMD.

Για την επίλυση της εξίσωσης (2), τα δεδομένα μπαίνουν σε πίνακα όπου κάθε  $i$ -οστή γραμμή απεικονίζει τα δεδομένα της  $i$ -οστής μέρας. Η  $i$ -οστή γραμμή αποτελείται από τα δεδομένα  $t$  της εξίσωσης (2). Αν η εξίσωση (2) λυθεί με τη μέθοδο των ελάχιστων τετραγώνων, οι τιμές των παραμέτρων  $A_i$  και  $B_i$  δε μπορούν να είναι λογικές λόγω πολυσυγγραμμικότητας. Στη μέθοδο FMD, η στήλη με μικρές τιμές  $y(t)$  επιλέγεται όταν η τιμή παροχής είναι μεγαλύτερη από μια τιμή FDM και μόνο η 1<sup>η</sup> τάξη της εξίσωσης (2), δηλ. η γραμμική συνιστώσα, λύνεται με τη μέθοδο των ελάχιστων τετραγώνων. Οι όροι 2<sup>ου</sup> βαθμού λύνονται όταν η τιμή που στοχεύουμε είναι ίση με  $y(t)$  μείον τη γραμμική εκτίμηση. Αυτή είναι η μη γραμμική συνιστώσα. Οι παράμετροι  $A_i$  αποτελούνται από μοναδιαία υδρογραφήματα, οι διαστάσεις των επεξηγηματικών παραμέτρων υπολογίζονται με τη μέθοδο της προσαύξησης ενώ η μέγιστη διάσταση υπολογίζεται με την προϋπόθεση ότι όλοι οι μερικοί συντελεστές παλινδρόμησης είναι θετικοί αριθμοί.

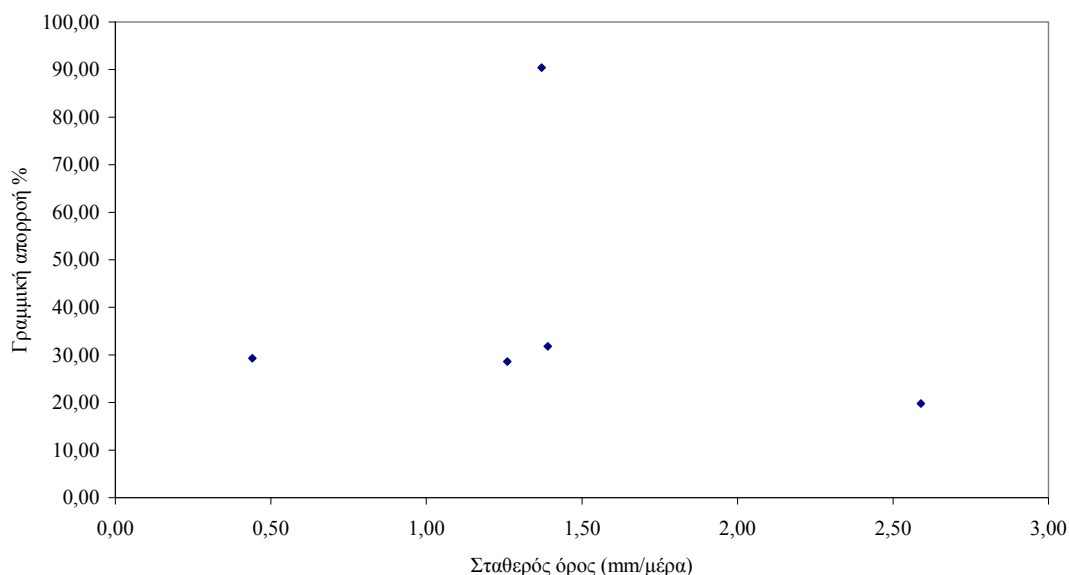
### Αποτελέσματα-Συζήτηση

Τα χαρακτηριστικά απορροής στα μοντέλα εκφράζονται ως (α) σταθερός όρος και μερικοί συντελεστές παλινδρόμησης, (β) FMD, (γ) πολλαπλός συντελεστής συσχέτισης και (δ) χρονική υστέρηση  $n$  (μέρες). Το (γ) είναι κριτήριο καλής προσαρμογής ενός μοντέλου στα δεδομένα και ακρίβειας των παρατηρηθεισών τιμών. Αν ο αριθμός  $n$  (μέρες) είναι μεγάλος, η επίδρασή του στα (α) και (β) είναι αμελητέα. Έχει παρατηρηθεί ότι η αιτία για τη μικρή χρονική υστέρηση  $n$  είναι η χαμηλή ακρίβεια των δεδομένων (Singh 1988). Έχοντας δεδομένα σαν κι αυτά του Πίνακα 1, μπορούμε να μελετήσουμε τη σχέση βροχόπτωσης-απορροής ως εξής:

**Πίνακας 1.** Παράμετροι των μοντέλων απορροής για την περιοχή X.

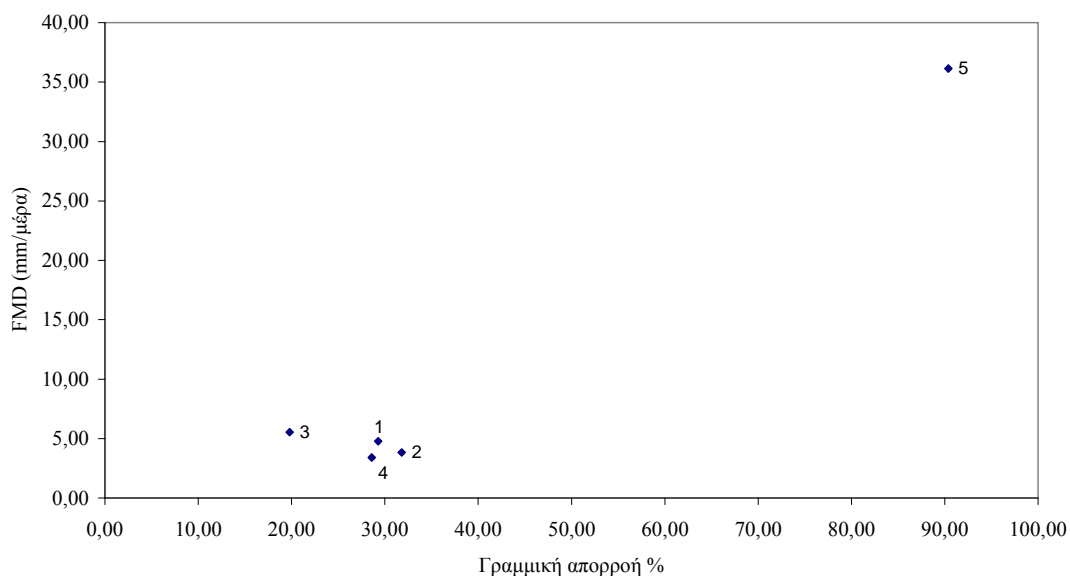
A/A	Ποταμός	Λεκάνη	Εμβαδό (km <sup>2</sup> )	Γραμμική απορροή %	Σταθερός όρος (mm/μέρα)	FDM (mm/μέρα)	Γεωλογικός τύπος
1	A	A	271,20	29,30	0,44	4,78	A
2	B	B	179,40	31,80	1,39	3,85	B
3	C	C	125,00	19,80	2,59	5,53	C
4	D	D	254,00	28,60	1,26	3,40	B
5	E	E	267,40	90,40	1,37	36,13	D

Στο σχήμα 1 φαίνεται η σχέση μεταξύ του ποσοστού απορροής από το γραμμικό μοντέλο και των σταθερών όρων. Σε αυτό το σχήμα η σχέση δε φαίνεται ισχυρή.



**Σχήμα 1.** Σταθεροί όροι και ποσοστά γραμμικών απορροών.

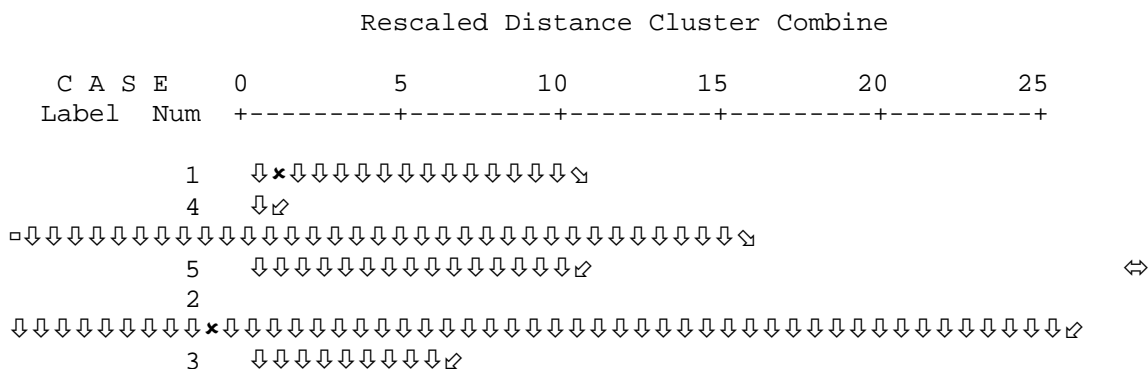
Στο σχήμα 2 φαίνεται η σχέση μεταξύ FMD και απορροής % από το γραμμικό μοντέλο. Εδώ μπορούμε να δούμε ποιοι ποταμοί διαφοροποιούνται ως προς την απορροή τους (σε αυτό το παράδειγμα το σημείο 5, δηλ. ο ποταμός E στη λεκάνη E).



**Σχήμα 2.** Γραμμική απορροή % και FMD.

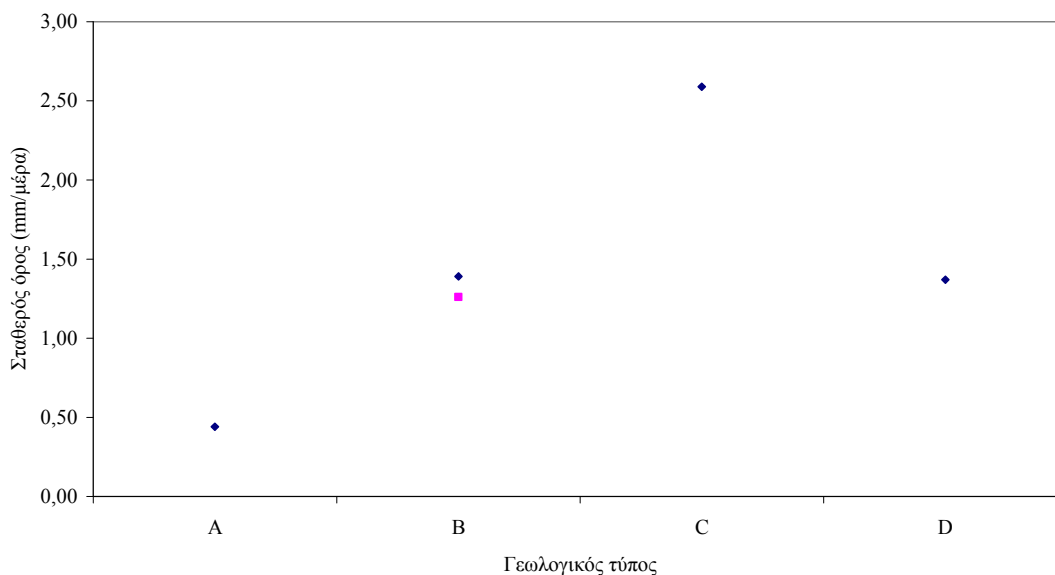
Για την ανάλυση των χαρακτηριστικών απορροής κάθε λεκάνης, μπορούμε να ομαδοποιήσουμε τα μοναδιαία υδρογραφήματα εφαρμόζοντας ανάλυση σε συστάδες (cluster analysis) (σχήμα 3). Αν ο χρόνος υστέρησης  $n$  (μέρες) θεωρηθεί ως διάσταση, κάθε μοναδιαίο υδρογράφημα μπορεί να εκφραστεί ως σημείο σε διάστημα  $n_{\max}$  (όπου  $n_{\max}$

είναι η μέγιστη χρονική υστέρηση). Χρησιμοποιώντας το τετράγωνο της Ευκλείδειας απόστασης σαν κλίμακα διαστήματος και τη μέθοδο της ένωσης με βάση το μέσο όρο ανάμεσα στις ομάδες (average linkage between groups) παρατηρούμε ότι, στο παράδειγμά μας, κοινά χαρακτηριστικά απορροής φαίνεται να έχουν οι λεκάνες όπου βρίσκονται τα σημεία 1, 4 και 5 (1<sup>η</sup> ομάδα) και 2 και 3 (2<sup>η</sup> ομάδα).



**Σχήμα 3.** Δενδρόγραμμα των στατιστικών μοναδιαίων υδρογραφημάτων.

Στο σχήμα 4, αν και τα δεδομένα είναι εικονικά και λίγα, μπορεί να φανεί η σχέση μεταξύ γεωλογικού τύπου και σταθερού όρου (στο γεωλογικό τύπο B οι δυο τιμές των σταθερών όρων βρίσκονται κοντά). Παίρνοντας υπόψη ότι ο σταθερός όρος εκφράζει την παροχή σε περίοδο ξηρασίας (μηδενική βροχόπτωση στο μοντέλο παλινδρόμησης μας δίνει παροχή ίση με το σταθερό όρο), μπορούμε να δούμε πώς μια στατιστική παράμετρος, δηλ. ο σταθερός όρος ενός μοντέλου παλινδρόμησης, συνδέεται με το γεωλογικό τύπο.



**Σχήμα 4.** Γεωλογικοί τύποι και μέσοι όροι.

## Συμπέρασμα

Ο σταθερός όρος σε ένα μοντέλο πολλαπλής παλινδρόμησης μπορεί να ερμηνευτεί ως η βασική ροή, όταν το μοντέλο εφαρμόζεται σε ανάλυση βροχόπτωσης-απορροής με τη μέθοδο της Μέγιστης Σταθερής Παροχής (Fixed Maximum Discharge, FMD). Ένας σταθερός όρος, σα συνάρτηση γεωλογικού τύπου, μπορεί να εκφράσει την παροχή κατά την ξηρή περίοδο σε μια λεκάνη απορροής.

## Βιβλιογραφία

- Boyd, S., Chua, L. and Desoer, C. (1984). Analytical Foundations of Volterra Series. IMA Journal of Mathematical Control and Information. Oxford University Press. Vol. 1, No. 3, pp. 243-282.
- Hydrologic Methods. Chapter 4. Ανακτήθηκε από [http://www.google.gr/url?sa=t&rct=j&q=fixed%20maximum%20discharge%20watersheds&source=web&cd=2&ved=0CE4QFjAB&url=http%3A%2F%2Fwww.dcr.virginia.gov%2Fstormwater\\_management%2Fdocuments%2FChapter\\_4.pdf&ei=m8FUOqRCYPf4QSHyaiUCQ&usg=AFQjCNEdppEvAWBS3oZnE\\_Q-HSH1WVLapQ&cad=rja](http://www.google.gr/url?sa=t&rct=j&q=fixed%20maximum%20discharge%20watersheds&source=web&cd=2&ved=0CE4QFjAB&url=http%3A%2F%2Fwww.dcr.virginia.gov%2Fstormwater_management%2Fdocuments%2FChapter_4.pdf&ei=m8FUOqRCYPf4QSHyaiUCQ&usg=AFQjCNEdppEvAWBS3oZnE_Q-HSH1WVLapQ&cad=rja)
- Μιμίκου, Μ. και Φωτόπουλος, Φ. (2004). Υδατικό περιβάλλον και ανάπτυξη – Σημειώσεις μεταπτυχιακού μαθήματος. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, σελ. 131.
- Mushiake, K., Takahashi, Y. and Ando, Y. (1981). Effects of basin geology on river-flow regime in mountainous areas in Japan. (In Japanese with English summary). Proceedings of JSCE 309, pp. 51-62.
- Shiraishi, H., Oonishi, R. and Ito, Y. (1976). Nonlinear approach to rainfall-runoff process by multiple regression analysis. (In Japanese with English summary). Trans. JSIDRE 63, pp. 43-49.
- Singh, V. (1988). Hydrologic Systems - Rainfall-runoff modeling. Prentice Hall. Englewood. Cliffs. New Jersey.



## ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΑΝΤΙΠΥΡΙΚΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΛΙΜΝΟΔΕΞΑΜΕΝΗΣ ΛΑΪΛΙΑ ΣΕΡΡΩΝ

### **Βασίλειος Παπαθανασίου**

Msc Δασολόγος – Χειμαρρολόγος, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης  
Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος  
Εργαστήριο Διευθέτησης Ορεινών Υδάτων  
e-mail: [bparatha@yahoo.gr](mailto:bparatha@yahoo.gr)

### **Διονύσιος Μαρίνος**

Δρ Χειμαρρολόγος-Υδρολόγος Α.Π.Θ.  
Αποκεντρωμένη Διοίκηση Μακεδονίας - Θράκης  
Δασική Υπηρεσία: Δασαρχείο Σιδηροκάστρου  
e-mail: [dionisiosm@yahoo.com](mailto:dionisiosm@yahoo.com)

### **Κυριάκος Τσεμπερίδης**

Δρ. Δασολόγος – Χειμαρρολόγος, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης  
Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος  
Εργαστήριο Διευθέτησης Ορεινών Υδάτων  
e-mail: [kit76@for.auth.gr](mailto:kit76@for.auth.gr)

### **Γρηγόρης Βάρρας**

Επίκουρος Καθηγητής, Τ.Ε.Ι. Ηπείρου  
Εργαστήριο Ανθοκομίας και Αρχιτεκτονικής Τοπίου  
e-mail: [grvarras@gmail.com](mailto:grvarras@gmail.com)

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στους ορεινούς όγκους της Ελλάδας υπάρχουν σημαντικοί υδάτινοι φυσικοί πόροι που επιτρέπουν τη δημιουργία ορεινών λιμνοδεξαμενών και υγροτοπικών οικοσυστημάτων υψηλής βιοκοινωνικής λειτουργίας με δυνατότητες άμεσης παροχής νερού σε επίγεια και εναέρια πυροσβεστικά μέσα αλλά και χρήση τους για την πρόληψη των δασικών πυρκαγιών. Τα υδαποθέματα αυτά μπορούν να συμβάλλουν στην ευρωστία και ανάπτυξη των δασικών οικοσυστημάτων και στην ανθεκτικότητά τους έναντι των δασικών πυρκαγιών.

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται η έρευνα και ανάλυση των γεωμετρικών υδρολογικών, περιβαλλοντικών και βιοοικολογικών στοιχείων και δυνατοτήτων της ορεινής λιμνοδεξαμενής Λαιλιά Σερρών (με την δημιουργία χωμάτινου φράγματος βάρους) και της υδρολογικής της λεκάνης.

**Λέξεις κλειδιά:** Λιμνοδεξαμενή Λαιλιά, αντιπυρικές λιμνοδεξαμενές, ορεινοί τεχνητοί υγρότοποι.

## **Εισαγωγή, αντικείμενο**

Η έντονη ορειογραφική διαμόρφωση της Ελλάδας έχει ως αποτέλεσμα τη μικρή παρουσία ορεινών λιμνών, με σημαντική υδροτοπική-περιβαλλοντική και βιοοικολογική αξία. Πέραν αυτών η μη ορθολογική ανθρώπινη παρέμβαση (βοσκή, ορεινή γεωργία) περιόρισε ακόμη περισσότερο τους μικρούς αυτούς ορεινούς υδροτοπικούς χώρους, με αποτέλεσμα την απουσία σήμερα τέτοιων υδροτοπικών οικοσυστημάτων.

Η χωρική παρουσία-διασπορά τέτοιων λιμνών και λιμνοδεξαμενών, που σε περίπτωση πυρκαγιάς αποτελούν τις εγγύτερες πηγές άντλησης ύδατος πυρόσβεσης (αντιπυρικές λιμνοδεξαμενές) μειώνοντας το χρόνο επέμβασης, τις εντάσσει στα πολυτιμότερα εργαλεία αντιπυρικής προστασίας. Η έλλειψή τους το 2007, ήταν μια από τις κύριες, αν όχι η κυριότερη αιτία της ταχείας εξάπλωσης και της μεγιστοποίησης των καταστροφών ιδιαίτερα των μεγάλων πυρκαγιών του 2007 και του 2009. Εκτός της άμεσης συμβολής τους, υπάρχει και η δυνατότητα μιας έμμεσης αντιπυρικής λειτουργίας των ορεινών και πολύ ορεινών υδροτόπων γιατί παρέχουν, σε περιόδους μεγάλης και παρατεταμένης ξηρασίας, νερό στην υποκείμενη δασική χλωρίδα, επιτρέποντας στις δασικές φυτοκοινωνίες να διατηρούν τη ζωτικότητα τους και να καθίστανται ανθεκτικότερες σε ασθένειες και πυρκαγιές. Παράλληλα η παρουσία του νερού αναβαθμίζει την αισθητική του τοπίου και, παρέχει δυνατότητες ανάπτυξης ορεινού τουρισμού.

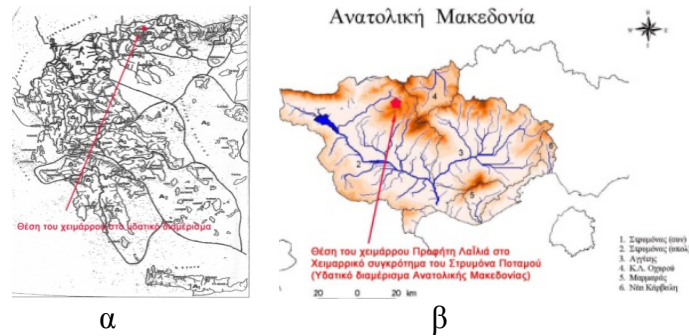
Στη συνέχεια θα αναφερθούν τα χαρακτηριστικά της ορεινής λιμνοδεξαμενής Λαϊλιά Σερρών, που σχεδιάστηκε στην περιοχή «Δασικό Φυλάκιο» και έχει στόχο τη δημιουργία ενός εύκολα προσβάσιμου και επαρκούς ορεινού αντιπυρικού υδροτοπικού οικοσυστήματος. Η όποια χρήση νερού από τον ταμιευτήρα της λιμνοδεξαμενής Λαϊλιά, αναπληρώνεται άμεσα από τη σημαντική βασική θερινή παροχή του χειμάρρου Μαϊμούνια. Η λιμνοδεξαμενή έτσι διαθέτει πάντοτε επάρκεια ύδατος, για την κάλυψη των παρουσιαζόμενων αναγκών: νερό αντιπυρικής προστασίας, αναψυχής, βιοοικολογικών λειτουργιών (πανίδας-χλωρίδας), τεχνητής χιόνωσης (χιονοδρομικού κέντρου Λαϊλιά) κλπ. Αυτή θα λειτουργεί ως υδατόπυργος διανομής μέρους των σημαντικών αφικνούμενων θερινών υδατοφορτίων, προς την υποκείμενη ζώνη, χωρίς να θίγονται τα υδατοαποθέματά της, για άμεση αντιπυρική άντληση. Η παρουσία του νερού στο χώρο αναψυχής θα μεγιστοποιήσει το αισθητικό – αναψυχικό αποτέλεσμα. Η παραπάνω σχεδιασθείσα λιμνοδεξαμενή εντάσσεται στα πλαίσια της υδρονομικής διευθέτησης του χ. Μαϊμούνια με έμφαση στην τακτοποίηση-αντιμετώπιση των υδατικών προβλημάτων της ανώτερης κεντρικής λεκάνης του, όπου τοποθετείται η ομώνυμη λιμνοδεξαμενή. Τονίζεται ότι ενδεχόμενη μερική ή ολική εκκένωση της λιμνοδεξαμενής δε δημιουργεί προβλήματα, επειδή η κατάντη πορεία σχηματιζόμενου (μικροπλημμυρικού) κύματος δεν διέρχεται από καμία οικιστική περιοχή, ή περιοχή ειδικού ενδιαφέροντος.

## **Μέθοδοι, υλικά**

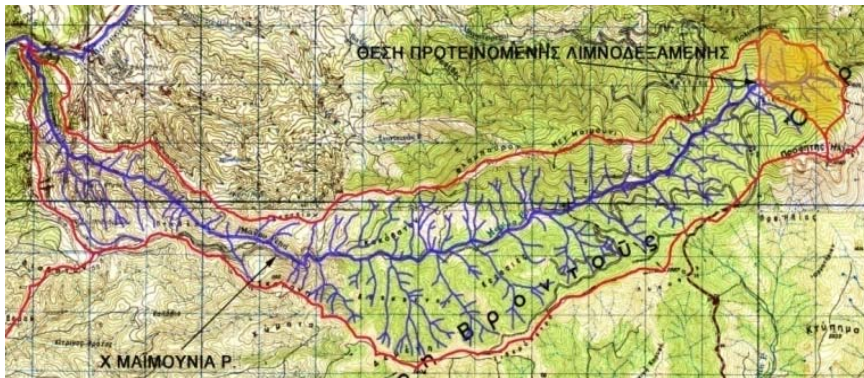
Καταγράφηκαν τα γεωμετρικά, υδρολογικά, κατασκευαστικά, οικονομοτεχνικά και λειτουργικά στοιχεία της λιμνοδεξαμενής Λαϊλιά και της τροφοδότιδας λεκάνης της. Τα στοιχεία αυτά λήφθηκαν από το Ερευνητικό Έργο 81339, με τίτλο «Σχεδιασμός αντιμετώπισης των προβλημάτων λειψυδρίας του νομού Σερρών και κατασκευή μιας πειραματικής αντιπυρικής λιμνοδεξαμενής στην περιοχή του Λαϊλιά», που εκπονήθηκε από την Επιτροπή Ερευνών του Α.Π.Θ., με Επιστημονικό Υπεύθυνο τον Θεοφάνη Παυλίδη Επ. Καθηγητή του Εργαστηρίου Διευθέτησης Ορεινών Υδάτων.

## Περιοχή έρευνας και χαρακτηριστικά λιμνοδεξαμενής Λαϊλιά Σερρών

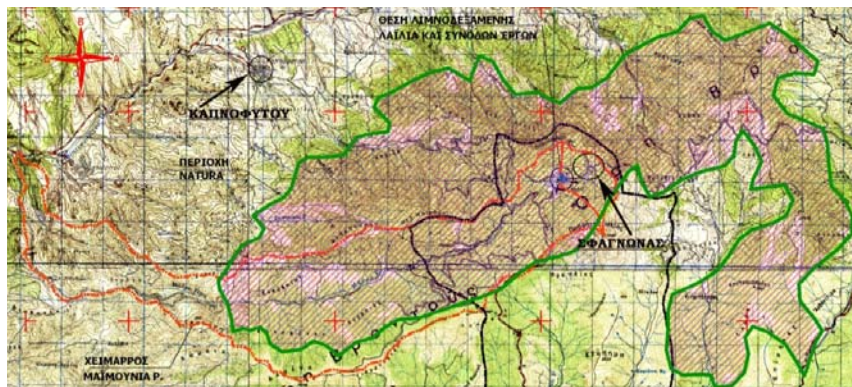
Η θέση της λιμνοδεξαμενής Λαϊλιά, της λεκάνης τροφοδοσίας της (ανώτερο τμήμα του κλάδου Μαϊμούνια ρ., του χειμάρρου Κρουσοβίτη, συμβάλλοντα του Στρυμόνα), και της υποκείμενης προς βελτίωση της υδατικής της επάρκειας περιοχής δίνεται στα Σχήματα 1α,β, 2, 3 και στις Εικόνες 1α,β.



**Σχήμα 1α,β.** Η θέση της λιμνοδεξαμενής Λαϊλιά και της προς υδατική ενίσχυση υποκείμενης περιοχής α) στον ελλαδικό χώρο, και β) στο υδατικό διαμέρισμα Β<sub>3</sub> του Στρυμόνα.



**Σχήμα 2.** Η λεκάνη του χειμάρρου Μαϊμούνια, με τη θέση της λιμνοδεξαμενής, την τροφοδοτίδα λεκάνη της (ανώτερη λεκάνη του χειμάρρου Μαϊμούνια ρ.)



**Σχήμα 3.** Η λεκάνη απορροής του χειμάρρου Μαϊμούνια ρ. με την τροφοδοτίδα λεκάνη, τη θέση της λιμνοδεξαμενής Λαϊλιά Σερρών και την περιοχή εγκατάστασης της άγριας πανίδας. Με πράσινο περίγραμμα δίνονται τα όρια της ζώνης Natura.

## Μορφολογικά, υδρογραφικά, βλάστησης και γεωλογικά στοιχεία

Τα μορφομετρικά (Ορεογραφικά-υψομετρικά, ανάγλυφου, κλίσεων κ.λ.π) και υδρογραφικά χαρακτηριστικά της τροφοδοτίδας λεκάνης της λιμνοδεξαμενής Λαϊλιά (Σχ. 1) παρέχονται αναλυτικά στον Πίνακα 1.

**Πίνακας 1.** Μορφομετρικά & υδρογραφικά στοιχεία τροφοδοτίδας λεκάνης της λιμνοδεξαμενής Λαϊλιά.

ΜΟΡΦΟΜΕΤΡΙΚΑ-ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	Συμβ.	Μονάδα μέτρησης	Τροφοδοτίδα λεκάνη
Επιφάνεια λεκάνης	F	Km <sup>2</sup>	1,72
Περίμετρος υδροκρίτη	Π	Km	6,52
Μέγιστο υψόμετρο	H <sub>max</sub>	M	1.849
Ελάχιστο υψόμετρο	H <sub>min</sub>	M	1.440
Μέσο υψόμετρο	H <sub>m</sub>	M	1.552,3
Μεγ. Υψομετρική διαφορά ( $\Delta H_{max}=H_{max}-H_{min}$ )	$\Delta H_{max}$	M	409
Μέση υψομετρική διαφορά ( $\Delta H_m=H_m-H_{min}$ )	$\Delta H_m$	M	112,36
Μήκος υδρογραφικού δικτύου	SL	Km	9,012
Μήκος κεντρικής κοίτης	L <sub>κ</sub>	Km	1,66
Μέση κλίση κεντρικής Κοίτης	J <sub>LK</sub>	(%)	8,187
Πυκνότητα υδρογραφικού δικτύου ( $D=SL/F$ )	D	Km/Km <sup>2</sup>	5,24
Μήκος χωροσταθμικών	ΣS	Km	24,51
Ισοδιάσταση χωροσταθμικών	H <sub>d</sub>	Km	0,02
Μέση κλίση λεκάνης $J_F=(H_d*\Sigma S*100)/F$	J <sub>F</sub>	(%)	28,49

Οι συνθήκες βλάστησης της τροφοδοτίδας λεκάνης, του περιμετρικού χώρου της λιμνοδεξαμενής και της περιοχής εγκατάστασης της άγριας πανίδας με τις ειδικού ενδιαφέροντος περιοχές δίνονται στην Εικόνα 1 και στον Πίνακα 2.



**Εικόνα 1.** Απόψεις της μορφής, δομής και σύνθεσης της σύμπυκνης δασικής βλάστησης και των χαρακτηριστικών λιβαδικών διακένων της τροφοδοτίδας λεκάνης, του χώρου έδρασης της λιμνοδεξαμενής και της περιοχής εγκατάστασης της άγριας πανίδας.

**Πίνακας 2.** Κατανομή της έκτασης της τροφοδοτίδας λεκάνης της λιμνοδεξαμενής Λαϊλιά και της περιοχής θερινής υδατικής ενίσχυσης ( $F = 738$  στρέμματα) κατά μορφή χρήσης/κάλυψης γης.

Κατηγορία χρήσης / κάλυψης γης	Τροφοδοτίδα λεκάνη λιμνοδεξαμενής Λαϊλιά	
	Έκταση	
	(στρέμματα)	(%)
Δάση συμπαγή:	1.570,00	91,24
Δάση αραιά:	70,00	4,07
Σύνολο:	1.640,00	95,31
Πυκνές λιβαδικές εκτάσεις	63,20	3,67
Αραιοί Βοσκότοποι	7,55	0,44
ΣΥΝΟΛΟ:	70,75	4,11
Κοίτες, Γυμνές - Βραχώδεις εκτάσεις	10,00	0,58
ΓΕΝΙΚΟ ΣΥΝΟΛΟ:	1720,75	100,00

Οι γεωλογικές συνθήκες της περιοχής προήλθαν από τους γεωλογικούς χάρτες του ΙΓΜΕ κλίμακας 1:50.000 (Αχλαδοχώριο, Σέρρες). Από τους χάρτες αυτούς (Σχ. 2, 3, 4) και από επιτόπια έρευνα προέκυψε ότι στις μελετούμενες περιοχές κυριαρχούν τα κρυσταλλοπυριγενή πετρώματα, με κυρίαρχα πετρώματα τον χαλαζιακό μονζονίτη, που κατά θέσεις μετατρέπεται σε γνευσιακό χαλαζιακό μονζονίτη, σε γρανίτη και γρανοδιორίτη.



**Σχήμα 4.** Γεωλογικός χάρτης των περιοχών έρευνας (απόσπασμα από τα φύλλα Αχλαδοχώριο και Σέρρες κλίμακας 1:50.000).

#### Γενικά στοιχεία της λιμνοδεξαμενής Λαϊλιά Σερρών

Τα γεωμετρικά, υδρολογικά, κατασκευαστικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά με τη γενική διάταξη της λιμνοδεξαμενής Λαϊλιά, η θέση της οποίας στο χώρο δίνεται στα Σχήματα 1α,β, 4 και την Εικόνα 1 παρέχονται στο Σχήμα 1α,β,γ,δ,ε,στ του Παραρτήματος και στον Πίνακα 3.

**Πίνακας 3.** Γεωμετρικά, υδρολογικά-υδραυλικά, κατασκευαστικά, λειτουργικά και οικονομοτεχνικά στοιχεία της λιμνοδεξαμενής Λαϊλιά Σερρών.

Στοιχείο ή χαρακτηριστικό	Μέγεθος
Υψόμετρο πυθμένα (m)	1.445,14
Υψόμετρο στέψης φράγματος (m)	1.453,00
Υπέργειο υδρονομικό ύψος φράγματος Hh (m)	6,36
Υπέργειο συνολικό ύψος φράγματος Hs (m)	7,86
Ανάπτυγμα του κατά μήκος άξονα του φράγματος I <sub>A</sub> (m)	164,00
Πάχος στέψης φράγματος D <sub>A</sub> (m)	6,00
Πάχος βάσης φράγματος D <sub>F</sub> (m)	53,00
Κλίσεις μετώπων m : n	3:1
Μέγιστο Λιμναίο Μήκος (m)	145,50
Μέγιστο Λιμναίο Πλάτος (m)	202,20
Μέσο Λιμναίο Βάθος (m)	2,40
Επιφάνεια Κατάκλυσης στη σταθερή στάθμη (m <sup>2</sup> )	F <sub>ΣΥ</sub> = 17.555,00
Επιφάνεια Κατάκλυσης στην ανώτερη στάθμη (m <sup>2</sup> )	F <sub>ΑΣΥ</sub> = 18.701,00
Χωρητικότητα λιμνοδεξαμενής στη σταθερή στάθμη (m <sup>3</sup> )	V <sub>ΣΥ</sub> = 42.175
Χωρητικότητα λιμνοδεξαμενής στην ανώτερη στάθμη (m <sup>3</sup> )	V <sub>ΑΣΥ</sub> = 56.670
Υδατικό δυναμικό λεκάνης τροφοδοσίας (m <sup>3</sup> /έτος)	V <sub>QR</sub> = 869.281
Μέση θερινή βασική παροχή (m <sup>3</sup> /sec)	10,36
Μέση θερινή παροχή ξηρότερης περιόδου (m <sup>3</sup> /sec)	7,88
Μέσος χρόνος αναπλήρωσης του λ. ταμειυτήρα (ημέρες)	15,26

### Σύνοψη, κρίσεις, συμπεράσματα, προτάσεις

Από την ανάλυση των συνθηκών και του τρόπου λειτουργίας και διαχείρισης του φυσικού και χειμαρρικού περιβάλλοντος της τροφοδότιδας λεκάνης και της υποκείμενης περιοχής θερινής υδατικής ενίσχυσης της λιμνοδεξαμενής Λαϊλιά προκύπτουν τα ακόλουθα:

Η περιβαλλοντική κατάσταση της συνολικής περιοχής Λαϊλιά Σερρών και της λεκάνης είναι εξαιρετική. Πρόκειται για άριστα διατηρημένο σύμπυκνο υψηλό δασικό σύμπλεγμα, με μικρά χαρακτηριστικά διάκενα (Εικ. 1). Είναι πολύ υψηλής περιβαλλοντικής και βιοοικολογικής αξίας και σημασίας συνιστάμενο από σύμπυκνη δασική βλάστηση οξυάς, ελάτης, δασικής πεύκης κλπ., ενταγμένο σε πολύ μεγάλο τμήμα του στο δίκτυο Natura ευρισκόμενης υπό καθεστώς ελεγχόμενης δασοβιολογικής διαχείρισης, με μόνο κίνδυνο την πυρκαγιά. Η συνηρεφής δασική βλάστηση απομειώνει τα εντατικά και αποτρέπει πλήρως τα εκτατικά χειμαρρικά φαινόμενα, ενώ ο αποσαθρωτικός μηχανισμός, παρά την προστασία της δασικής βλάστησης, παράγει σημαντική ποσότητα φερτών υλών μικρής και μέσης διαμέτρου (χονδρή άμμος, λεπτοί χάλικες), τα οποία πολύ εύκολα διακινούνται από τα χειμαρρικά νερά. Η δασική βλάστηση ασκεί εξαιρετικά ρυθμιστικό ρόλο δρώντας ως τεράστιο σφουγγάρι, που παρακρατεί μεγάλες ποσότητες των κατακρημνισμάτων, τις οποίες εν συνεχεία αποδίδει με τη μορφή βασικής θερινής παροχής σε ύστερο χρόνο. Για τους παραπάνω λόγους η τοποθέτηση της λιμνοδεξαμενής Λαϊλιά στο κέντρο σχεδόν του δασικού συμπλέγματος, με συμμετρική ανάπτυξη δασοδρόμων πρόσβασης αποτελεί έργο υψηλής αντιπυρικής προστασίας.

Σχετικά με την κατάσταση της περιοχής της ζώνης έδρασης και κατάκλυσης της λιμνοδεξαμενής και της περιμετρικής της ζώνης παρατηρούμε ότι πρόκειται για ένα τυπικό διάκενο- έγκοιλο (Εικ. 2), που αποτελεί σημαντικό νησίδα διέλευσης, διαμονής, διατροφής και αναζήτησης νερού της πανίδας. Στο χώρο αυτό η λιμνοδεξαμενή λειτουργεί προσθετικά στη βιοοικολογική και περιβαλλοντική αξία της περιοχής. Η επιλεγείσα θέση της λιμνοδεξαμενής αποτελεί άριστη χωροθετική θέση με επαρκή επιφάνεια και βάθη 3,00-6.00 m, τα οποία απαιτεί η άντληση νερού από πυροσβεστικά οχήματα και κυρίως ελικόπτερα. Η Δασική Υπηρεσία θεωρεί τον επιλεγέντα χώρο, ως τον βέλτιστο χώρο δημιουργίας μόνιμης και σταθερής επιφάνειας νερού, ικανού να καλύψει τις υδατικές ανάγκες της υποκείμενης εμπλουτισμένης με άγρια πανίδα από άγρια ζαρκάδια, ελάφια, πτηνά όπως φασιανοί κλπ.

Η λιμνοδεξαμενή σχηματίζεται με την κατασκευή ενός μικρού χωμάτινου φράγματος υπέργειου ύψους  $H_h = 7,86$  m και ύψους στη στάθμη υπερχειλίσσης,  $H_h = 6,36$ m, τοποθετούμενου στη βάση (στένεμα) εντός ενός φυσικού έγκοιλου με πλευρικό επιπεδοκοιλωματικό διάκενο. Η επιφάνεια κατάκλυσης στη στάθμη υπερχειλίσσης ανέρχεται σε  $F_{\Sigma Y} = 17,555$  στρέμματα και στην πλημμυρική στάθμη σε  $F_{\Lambda \Sigma Y} = 18,701$  στρέμματα και οι αντίστοιχες λιμναίες χωρητικότητες σε  $V_{\Sigma Y} = 42.175 \text{ m}^3$  και  $V_{\Lambda \Sigma Y} = 56.670 \text{ m}^3$  αντίστοιχα. Ο μέσος χρόνος φυσικής πλήρωσης των  $42.175 \text{ m}^3$  της υδρολεκάνης ανέρχεται μόλις σε 17,71 ημέρες.

Με την κατασκευή της λιμνοδεξαμενής επιδιώκονται οι ακόλουθοι στόχοι:

- α) η αντιμετώπιση πλημμυρικών – στερεομεταφορικών - διαβρωτικών προβλημάτων.
- β) η ταμίευση επαρκούς, για τις ανάγκες της πυρόσβεσης ποσότητας νερού, ικανού να αποληφθεί εύκολα από τα πυροσβεστικά μέσα (επίγεια και εναέρια).
- γ) η διασφάλιση του αναγκαίου, για την υδατική ενίσχυση-κάλυψη της υποκείμενης περιοχής, εγκατάστασης και προστασίας της άγριας πανίδας (ελάφια, ζαρκάδια κ.λ.π.)
- δ) η (μικρή) ενίσχυση των υπογείων υδροφορέων της περιοχής, μέσω της κάθετης και πλευρικής διήθησης από το λιμναίο χώρο της λιμνοδεξαμενής.
- ε) η δημιουργία μιας αισθητικής πολύ ορεινής λιμνοδεξαμενής με έντονα αναψυχικά στοιχεία, που την καθιστούν σημαντικό χώρο ορεινής αναψυχής.
- στ) η δημιουργία ενός μικρού αλλά εξαιρετικά σημαντικού ορεινού υγρότοπου.

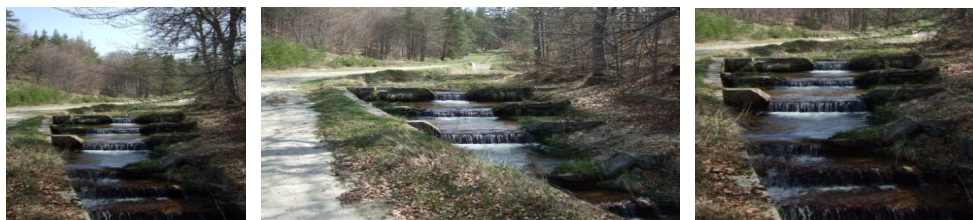
Από τη λιμνοδεξαμενή ξεκινά ένα αρκετά πυκνό επαρχιακό και κυρίως δασικό οδικό δίκτυο, που επιτρέπει την εύκολη απόληψη και μεταφορά του νερού πυρόσβεσης, προς όλα τα σημεία του δασικού συμπλέγματος, ενώ παρέχει τη δυνατότητα μεταφοράς και διανομής με ανοικτό βαρυτικό δίκτυο του πλεονάζοντος (υπερχειλίζοντος) νερού από τον υπερχειλιστή της λιμνοδεξαμενής. *Ο μέγιστος διανυόμενος χρόνος άντλησης και ρίψης του νερού από τα επίγεια πυροσβεστικά μέσα (λειτουργικός χρόνος πυρόσβεσης) ανέρχεται μόλις σε 17min. Σήμερα ο χρόνος αυτός με βάση τη σημερινή υδροληψία από τη θέση των πυροσβεστικών κρουνών της Ορεινής ανέρχεται τουλάχιστον σε 64min. Παράλληλα δίνεται η δυνατότητα ανεφοδιασμού με νερό σε πυροσβεστικά ελικόπτερα μειώνοντας ακόμη περισσότερο το χρόνο λήψης και την αποτελεσματικότητα κατάσβεσης πιθανής δασικής πυρκαγιάς. Υπενθυμίζεται τέλος ότι το έργο αποτελεί Πρότυπη Πιλοτική Εφαρμογή με δυνατότητα ευρείας εφαρμογής σε δυσπρόσιτους ορεινούς όγκους του ελλαδικού χώρου.*

Η σχετικά μικρή χωρητικότητα της λιμνοδεξαμενής, σε συνδυασμό με την απουσία στα κατάντη αυτής, οικιστικής ζώνης, σε καμία περίπτωση δεν δημιουργεί κίνδυνο πλημμυρικών συμβάντων από ενδεχόμενη θραύση της κατασκευής και πλήρη εκκένωση της.

Η θέση τοποθέτησης και ανάπτυξης του ενσωματωμένου με το φυσικό περιβάλλον της περιοχής χωμάτινου φράγματος δημιουργεί μια λειτουργική λιμνοδεξαμενή ενταγμένη αρμονικά στο φυσικό περιβάλλον του Λαϊλιά, στα ανάντη της οποίας έχουν κατασκευασθεί σειρά μικρών ουδών με έντονο αισθητικό αποτέλεσμα (Εικ. 3) που δένει αρμονικά με την υπό κατασκευή λιμνοδεξαμενή. Παράλληλα δημιουργείται ένας πρότυπος τεχνητός ορεινός υγροβιότοπος, που τόσο λείπει από τη χώρα μας. Η φύση της κατασκευής, από τοπικά γεώδη υλικά, σε συνδυασμό με τις προσαρμοσμένες στο χώρο παρεμβάσεις, που συνάδουν με την αισθητική, τη φυσιογνωμία και την αισθητική του χώρου επιτυγχάνουν απόλυτα τους επιδιωκτούς στόχους. Στη χώρα μας άλλωστε μεταξύ του 1928-1978 έχει απολεστεί πάνω από το 60% των υγροτόπων.



**Εικόνα 2.** Απόψεις της περιοχής ανάπτυξης του φράγματος και της λιμνοδεξαμενής Λαϊλιά Σερρών.



**Εικόνα 3.** Απόψεις των ανάντη της θέσης της λιμνοδεξαμενής, μικρών ουδών στερέωσης της κοίτης.

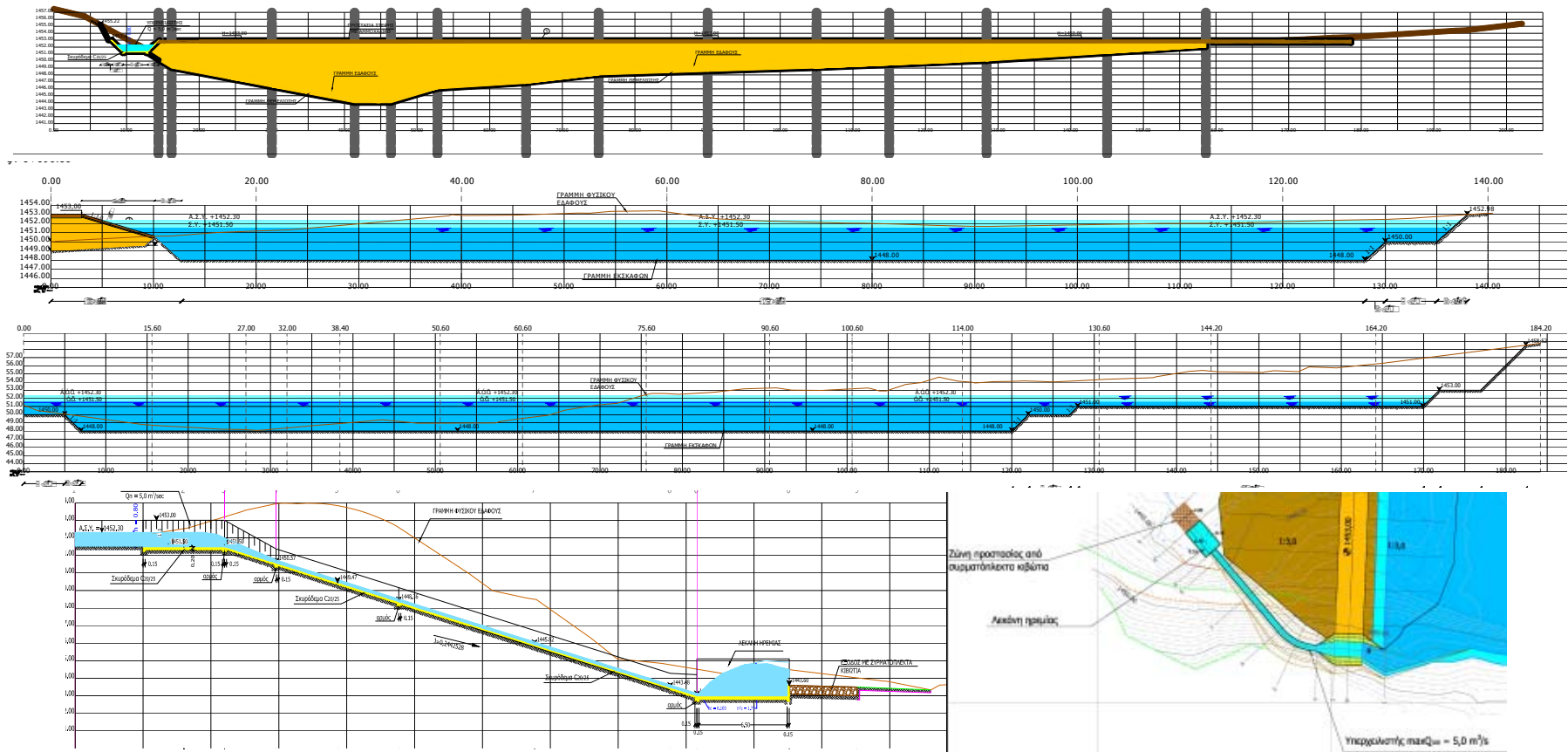
### **Βιβλιογραφία**

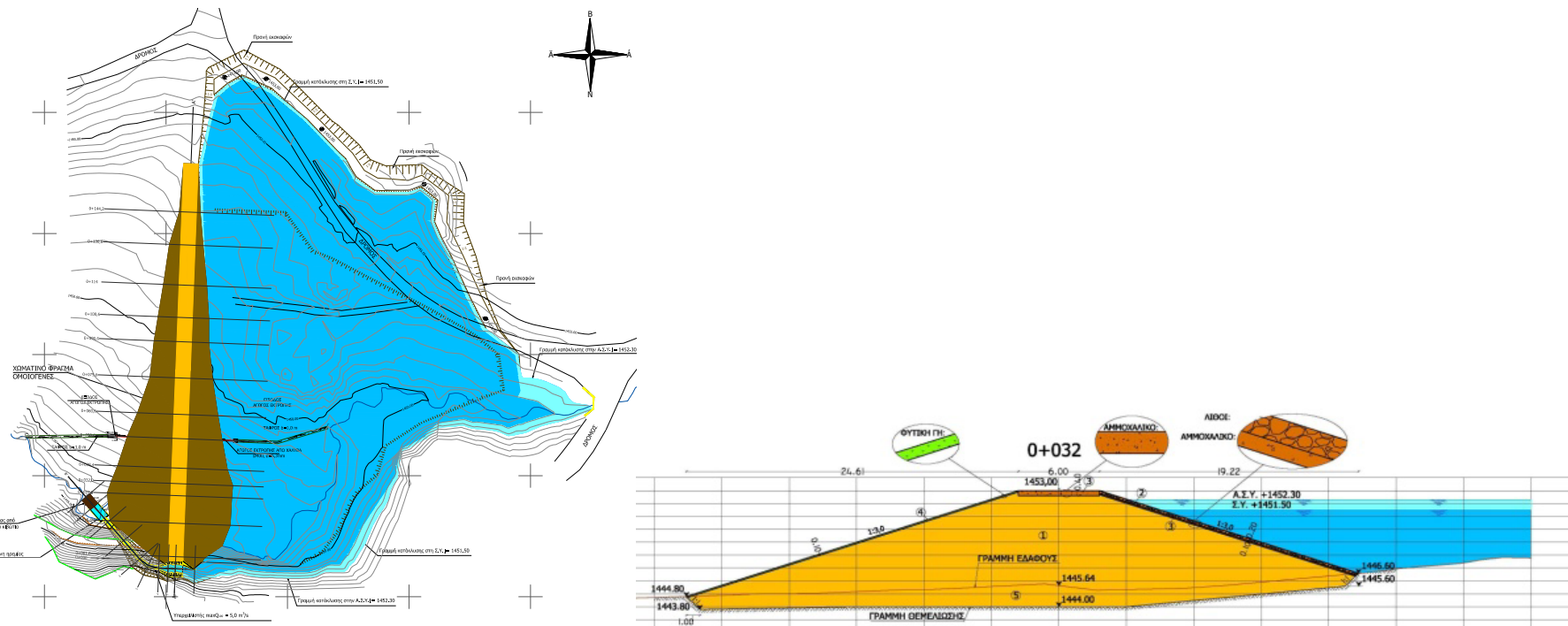
- Bell, F.G. (1981). Engineering properties of soils and rocks. Butterworth Co. Ltd.  
 Γεωλογικοί Χάρτες του ΙΓΜΕ κλίμακας 1:50.000, (φύλλο χάρτη "Αχλαδοχώρι").  
 Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού. Χάρτες κλίμακας 1:50.000 έκδοσης 1970  
 (Αχλαδοχώρι, Σέρρες, Σιδηρόκαστρο) και 1:5.000 (φύλλο 3423/4 από φύλλο  
 Αχλαδοχώρι).  
 Κωτούλας, Δ. (1989). Τα χαμηλά φράγματα. ΓΕΩΤΕΕ. Θεσσαλονίκη.  
 Ξανθόπουλος, Θ. (1990). Εισαγωγή στην τεχνική υδρολογία. Εκδόσεις Συμμετρία.  
 Αθήνα.



- Παυλίδης, Θ. (1998). Έρευνα αντιμετώπισης των υδατικών προβλημάτων και ορθολογικής διαχείρισης και αξιοποίησης του υδατικού δυναμικού του νομού Πιερίας. Κωδ. Έργου: 20259.
- Παυλίδης, Θ. (2000). Έρευνα χειρισμού των υδατορευμάτων του Δ.Δ. Αθύρων του Δήμου Πέλλας, για την αντιμετώπιση των υδατικών τους προβλημάτων. Κωδ. Έργου: 20753.
- Παυλίδης, Θ. (2002). Διερεύνηση των χειμαρρικών και υδατικών συνθηκών και σχεδιασμός υδρονομικής διευθέτησης του χειμάρρου Γέρμας, με εφαρμογή ενός πιλοτικού αντιπλημμυρικού – αρδευτικού φράγματος πολλαπλών σκοπών. Κ.Ε.: 20259.
- Παυλίδης, Θ. (2002). Διερεύνηση των χειμαρρικών συνθηκών και σχεδιασμός μιας ολοκληρ. υδρονομικής διευθέτησης χειμάρρων στο Δήμο Ν. Καζαντζάκη. Κ.Ε.: 20526.
- Παυλίδης, Θ. (2003). Σχεδιασμός πιλοτικών εφαρμογών αντιμετώπισης των υδατικών προβλημάτων του Δήμου Κορεστίων του νομού Καστοριάς. Κ.Ε.: 21346.
- Παυλίδης, Θ. (2004). Έρευνα αντιμετώπισης των υδατικών προβλημάτων περιοχών του νομού Κοζάνης. Πιλοτικές εφαρμογές στο Δήμο Μουρικίου. Κ.Ε.: 21400.
- Παυλίδης, Θ. (2006). Φράγματα Δοκοί – Καμπύλα. Θεσσαλονίκη.
- Παυλίδης, Θ. (2006). Ορεινή Υδρονομική II. Θεσσαλονίκη.
- Παυλίδης, Θ. (2006). Δασική Υδρολογία – Υδάτινοι Πόροι. Θεσσαλονίκη.
- Παυλίδης, Θ. (2008). Έρευνα του υδατοστερεομεταφ. προβλήματος και των χωροθετικών δυνατοτήτων χειμάρρων του Δήμου Τυμπακίου στα πλαίσια επίλυσης των υδατικών προβλημάτων. Πιλοτικές εφαρμογές στους χειμάρρους "Μάγειρο" και "Μαγαρικάρι". Κ.Ε.: 80115.
- Στρατηγικό σχέδιο ανάπτυξης (Master Plan) Λαϊλιά.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ (ΤΕΧΝΙΚΑ ΣΧΕΔΙΑ ΛΙΜΝΟΔΕΞΑΜΕΝΗΣ)





**Σχ. 1α,β,γ,δ,ε,στ.** α) Κατά μήκος τομή (πρόοψη), β,γ) Κατά μήκος και εγκάρσια τομή της υδρολεκάνης, δ,ε) κατά μήκος τομή και κάτοψη του υπερχειλιστή ασφαλείας και στ) τομή του φράγματος.



**ΤΑ ΧΙΟΝΟΛΟΓΙΚΑ, ΜΟΡΦΟΤΕΧΝΙΚΑ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ  
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΤΙΚΩΝ ΧΙΟΝΟΔΡΟΜΙΚΩΝ  
ΚΕΝΤΡΩΝ ΤΗΣ ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ**

**Θεοφάνης Παυλίδης**

Επίκουρος Καθηγητής, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης  
Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος  
Εργαστήριο Διευθέτησης Ορεινών Υδάτων  
e-mail: [pav1th@for.auth.gr](mailto:pav1th@for.auth.gr)

**Χαρίσιος Γκανάτσιος**

Δρ Δασολόγος – Υδρολόγος Ι.Δ.Α.Χ, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης  
Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος  
Εργαστήριο Διευθέτησης Ορεινών Υδάτων  
e-mail: [cganats@for.auth.gr](mailto:cganats@for.auth.gr)

**Αικατερίνη Κάλφα**

Msc Δασολόγος – Περιβαλλοντολόγος, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης  
Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος  
Εργαστήριο Διευθέτησης Ορεινών Υδάτων  
e-mail: [katekalfa@for.auth.gr](mailto:katekalfa@for.auth.gr)

**Βασίλειος Παπαθανασίου**

Msc Δασολόγος – Χειμαρρολόγος, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης  
Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος  
Εργαστήριο Διευθέτησης Ορεινών Υδάτων  
e-mail: [bparatha@yahoo.gr](mailto:bparatha@yahoo.gr)

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Τα τελευταία χρόνια στη χώρα μας καταγράφεται μια συνεχής αύξηση της χιονολογικής ζήτησης (χιονοδρομία, χιονολογικές δραστηριότητες, χιονολογική αναψυχή κλπ). Η ζήτηση αυτή, πέραν της απόλαυσης που παρέχουν το χιόνι και οι χιονοκαλυμμένες επιφάνειες, οφείλεται στο ότι τα αθλήματα του χιονιού και οι εν γένει χιονολογικές δραστηριότητες αποτελούν τη χειμερινή περίοδο την κύρια μορφή διεξόδου από την καθημερινότητα. Η συνεχής αυξητική ζήτηση χιονολογικών αγαθών και δραστηριοτήτων αποτυπώνεται στον αριθμό και στην επέκταση των ήδη λειτουργούντων στον ελλαδικό χώρο χιονοδρομικών κέντρων. Σημαντικό επίσης στοιχείο, που εκφράζει την άνθηση της χιονοδρομίας και των αθλημάτων χιονιού γενικότερα, είναι ο συνεχώς αυξανόμενος αριθμός επισκέψεων στα χιονοδρομικά κέντρα.

Στην παρούσα εργασία καταγράφονται τα χιονολογικά, μορφολογικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά των σημαντικότερων χιονοδρομικών κέντρων της ΒΔ. Μακεδονίας (Καιμάκτσαλάν, Σέλι, Τρία-Πέντε Πηγάδια).

**Λέξεις κλειδιά :** Χιονολογία, Χιονοδρομικά Κέντρα, Χιονολογική Αναψυχή.

## Εισαγωγή

Η χιονοδρομία, ως μέσο μετακίνησης, αποτελούσε, για τους ανθρώπους των συχνά χιονοσκεπών περιοχών, μια αναγκαία δραστηριότητα, συνυφασμένη με την επιβίωση τους. Για το λόγο αυτό η χιονοδρομία ως έκφραση μετακίνησης ταυτίζεται με την ύπαρξη του ανθρώπου στις περιοχές αυτές, όπως δείχνει το ηλικίας 4.000 ετών καλοδιατηρημένο ski, στο μουσείο Fiskatorpes της Στοκχόλμης (Παυλίδης 2005).

Η χιονοδρομία με τη σημερινή της μορφή αποτελεί το πλέον δημοφιλές χειμερινό άθλημα με εκατομμύρια οπαδούς σε ολόκληρο τον κόσμο. Η διάδοση της άρχισε τα τέλη του 19<sup>ου</sup> αιώνα αρχικά στις περί τις Άλπεις περιοχές (Ελβετία, Αυστρία, Γαλλία, Γερμανία, Ιταλία.). Η διάδοση της χιονοδρομίας στις άλλες Ηπείρους αρχίζει με το τέλος του 1ου Παγκοσμίου Πολέμου, όταν άρχισαν και δημιουργήθηκαν οι πρώτες Εθνικές Ομοσπονδίες Χιονοδρομίας, με κορύφωση τη διενέργεια το 1924 της 1<sup>ης</sup> Χειμερινής Ολυμπιάδας στο Chamoniix της Γαλλίας. Ιδιαίτερη ώθηση στη χιονοδρομία, τις χιονολογικές δραστηριότητες και ευρύτερα τη χιονολογική αναψυχή και τον ορεινό χειμερινό και όχι μόνο τουρισμό έδωσε η ραγδαία εξέλιξη των διαφόρων τύπων αναβατήρων (lift), που κατέστησαν τη χιονοδρομία προσιτή στις λαϊκές μάζες.

Η συνεχής αύξηση των χιονοδρομικών κέντρων στην χώρα μας αντανακλά την αυξανόμενη χιονοδρομική ζήτηση. Παράλληλα με τη χιονοδρομία άρχισε η διάδοση νέων αθλητικών χιονολογικών δραστηριοτήτων (snowboard, snowbicycle, snowmobile, χιονοβάδισμα διαφόρων τύπων, έλκυθρα μηχανοκίνητα ή ζωήλατα, κ.λ.π.), οι οποίες σε συνδυασμό με τις παρεχόμενες υπηρεσίες αναψυχής, κατέστησαν τα χιονοδρομικά κέντρα ιδιαίτερα προσφιλείς τόπους χειμερινής καταφυγής. Στην Ελλάδα οι πρώτοι χιονοδρόμοι που εμφανίζονται το 1920 είναι Έλληνες του Εξωτερικού. Το 1928 ιδρύθηκαν οι Ορειβατικοί σύλλογοι Αθηνών και Πατρών και το 1930 ο Ελληνικός Ορειβατικός Σύνδεσμος Ε.Ο.Σ. Ο Ε.Ο.Σ. αρχικά περιλάμβανε 11 αθλητικά ορειβατικά σωματεία, από τα οποία προήλθαν οι πρώτες ομάδες χιονοδρομίας. Ο «Ε.Ο.Σ.» το 1977 μετονομάστηκε σε Ελληνική Ομοσπονδία Ορειβασίας – Χιονοδρομίας Ε.Ο.Ο.Χ., η οποία το 1983, διαχωρίστηκε στην Ελληνική Ομοσπονδία Ορειβατικών Συλλόγων «Ε.Ο.Ο.Σ.» και στην Ελληνική Ομοσπονδία Χιονοδρομίας «Ε.Ο.Χ.». Το 1931 και το 1932 διοργανώνονται στον Παρνασσό και το Παναχαϊκό οι πρώτοι αγώνες χιονοδρομίας στη χώρα μας, ενώ το 1934 και 1935 οι αγώνες διεξάγονται στο Σαραντάπηχο και τη Ζήρια Κορινθίας. Το 1932 δημιουργείται το πρώτο Ελληνικό Τάγμα Χιονοδρομίας, οι εγκαταστάσεις του οποίου βρίσκονται στον Θεσσαλικό Όλυμπο και το 1934 δημιουργήθηκε στο Σέλι, το πρώτο ελληνικό χιονοδρομικό κέντρο, το οποίο αποτέλεσε την αφετηρία της χιονοδρομίας στην Ελλάδα. Από το 1932, οργανώνονται Πανελλήνιοι Χιονοδρομικοί Αγώνες και από το 1936 η Ελλάδα συμμετέχει στους Χειμερινούς Ολυμπιακούς Αγώνες. Στη χώρα μας δημιουργήθηκαν πάνω από 100 αθλητικά σωματεία στα οποία καλλιεργούνται τα Αλπικά Αγωνίσματα, οι Δρόμοι Αντοχής, το Δίαθлон και η Χιονοσανίδα (snowboard). Ήδη η Ελληνική Εθνική Ομάδα Χιονοδρομίας άρχισε, μετά το 1980, σταδιακά να πραγματοποιεί συνεχώς καλύτερες επιδόσεις και να βρίσκεται παγκοσμίως στις 25 πρώτες θέσεις. Τη δεκαετία του 1970 η Ελλάδα διοργάνωσε τη Βαλκανιάδα του 1985 στο Χ.Κ. Παρνασσού, ενώ το Παγκόσμιο Κριτήριο Δρόμων Αντοχής, μη Αλπικών Χωρών, έγινε στα Χ.Κ. Σελίου και 3-5 Πηγάδια. Οι αγώνες αυτοί χαρακτηρίστηκαν ως Μίνι Ολυμπιάδες, με τους Έλληνες αθλητές να κατακτούν, για πρώτη φορά, 4 χρυσά μετάλλια.

Τελευταία παρατηρείται μεγάλη εξάπλωση του αθλήματος του Snowboard (χιονοσανίδα). Οι διάφορες μορφές της χιονοδρομίας, του χιονοβαδίσματος (πεζοπορία, ορειβασία, ανάβαση, αναρρίχηση) και του Snowboard, σε συνδυασμό με τις λοιπές χειμερινές extreme αναψυχικές δραστηριότητες, καθώς και με λοιπές χειμερινές δραστηριότητες (διαμονή, διατροφή, αναψυχή, εκπαίδευση κλπ) συγκροτούν τις κύριες μορφές του χειμερινού τουρισμού σε όλες τις χώρες. Στη χώρα μας οι παραπάνω δραστηριότητες συνθέτουν σχεδόν το σύνολο του χειμερινού τουρισμού. Επισημαίνουμε ότι η χειμερινή περίοδος δεν ταυτίζεται με τον χειμώνα αλλά με την χρονική παρουσία επαρκούς χιονιού και χιονοκαλύματος ικανού, για την ανάπτυξη των αθλημάτων και των δραστηριοτήτων στο χιόνι και στον πάγο. Στη χώρα μας η χειμερινή ή ορθότερα η χιονολογική περίοδος κινείται στο διάστημα 15-20 Δεκεμβρίου μέχρι 20 Μαρτίου-10 Απριλίου. Τέλος στην παραπάνω κατηγορία θεωρούμε ότι εντάσσονται και τα αθλήματα και η αναψυχή στον πάγο (παγοδρομίες διαφόρων μορφών, πατινάζ, καλλιτεχνικό πατινάζ κλπ). Τα αθλήματα αυτά παρόλο που διεξάγονται σε κλειστούς ελεγχόμενους χώρους όλο το χρόνο εντούτοις, για οικονομικούς λόγους (αυξημένο κόστος συντήρησης και λειτουργίας των παγοδρομιών) η διάρκειά τους επικεντρώνεται κυρίως την ψυχρή χειμερινή περίοδο.

Τέλος στην έννοια του χειμερινού τουρισμού και μάλιστα του πλέον ακριβού ανήκει και η διαμονή σε πολυτελή ξενοδοχεία ή οικίες από χιόνι και πάγο (τα γνωστά igloo) σε περιοχές του αρκτικού κύκλου (Αλάσκα, Καναδάς, Γροιλανδία κλπ). Τελευταία άρχισε να αναπτύσσεται στη χώρα μας, ο ελεύθερος ορειβατικός-χιονοδρομικός τουρισμός στον οποίον βοήθησαν τα πολλά ορειβατικά καταφύγια και ο τουρισμός περιπέτειας (Rafting, Kanoë-kayak, ανεμοπτερισμός, trekking, mountain Bicycle, Snowmobile κλπ). Η παρούσα εργασία καταγράφει και αξιολογεί τα χιονολογικά (κλιματικά, μορφολογικά – μορφομετρικά) στοιχεία, τις υποδομές και τις παρεχόμενες υπηρεσίες των χιονοδρομικών κέντρων Βόρα, Καϊμάκτσαλάν, Σελίου και 3-5 Πηγάδια της ΒΔ Μακεδονίας.

## **Υλικά και μέθοδοι**

Η μέθοδος έρευνας ακολούθησε τα ακόλουθα στάδια :

1. Ερευνήθηκαν οι παράγοντες του χιονολογικού περιβάλλοντος (ορεογραφία - υψομετρία - ανάγλυφο, κλίμα, γεωϋπόθεμα, βλάστηση) της ευρύτερης και της ειδικής (στενής) περιοχής έδρασης των μελετούμενων Χ.Κ. ως εξής: Το μέγιστο  $H_{max}$ , ελάχιστο  $H_{min}$  και μέσο  $H_m$  υψόμετρο, υψομετρική διαφορά  $\Delta H$  και τα στοιχεία αναγλύφου, έγιναν με επεξεργασία χαρτών της Γ.Υ.Σ. κλίμακας 1:50.000, 1:20.000 1:5.000. Οι ανευρεθείσες κλίσεις εντάχθηκαν στις ακόλουθες βαθμίδες κλίσεων: Κλίση μικρή (<15,00%), κλίση μέτρια (15,01-30,00%), κλίση ισχυρή, (30,01- 45,00%) κλίση πολύ ισχυρή ((45,01- 60,00%) και κλίση εξαιρετικά ισχυρή (>60,01%). Παράλληλα καταγράφηκε ο γενικός και ο ειδικός προσανατολισμός της περιοχής ανάπτυξης των Χ.Κ.
2. Η έρευνα της γεωλογικής συγκρότησης έγινε με χρήση γεωλογικών χαρτών κλίμακας 1:50.000 του Ι.Γ.Μ.Ε. εμβαδομέτρηση των απαντώμενων πετρωμάτων ενταγμένων στους ακόλουθους χειμαρρικούς πετρολογικούς σχηματισμούς του Κρυσταλοπυριγενούς (Μ) Νεογενούς (S), Σχιστολιθικού (G), Φλυσχικού (F), Ασβεστολιθικού (K) και Προσχωσιγενούς (P) (Κωτούλας 1969, 1975, Παυλίδης 1998).

3. Οι συνθήκες βλάστησης προήλθαν από επεξεργασία σχετικών χαρτών (δασοπονικοί, διαχειριστικοί, ορθοφωτοχάρτες, αεροφωτογραφιών) και από επιτόπια καταγραφή. Η ταξινόμησή τους έγινε στις ακόλουθες κατηγορίες μορφών βλάστησης: Δάση πυκνά (Δπ) και αραιά (Δα), Θαμνώνες πυκνοί (Θπ) και αραιοί (Θα), Λιβάδια πυκνά (Λπ) και αραιά (Λα) και άγονες εκτάσεις (Άγονα, Γυμνά, Βραχώδη εδάφη, κοίτες).

4. Αξιοποιήθηκαν διαθέσιμα κλιματικά-χιονολογικά στοιχεία, τα χαρακτηριστικά και οι ιδιότητες του πίπτοντος χιονιού και των χιονοστρωμάτων των μελετηθέντων Χ.Κ. Τα αναζητηθέντα χιονολογικά στοιχεία ήταν: Ημέρες χιονιού (N), ολικής ( $N_{ox}$ ) και μερικής χιονοκάλυψης ( $N_{μχ}$ ), υδροϊσοδύναμο χιονιού  $H_x$ , χιονοπυκνότητα, χιονοσκληρότητα  $H_s$  και πάχος χιονοστρωμάτων (D), λοιποί κλιματικοί παράγοντες (Ηλιοφάνεια  $H_B$ , Άνεμος A κ.λ.π.), Τοπικές συνθήκες συσσώρευσης του χιονιού, Χιονολισθητική επικινδυνότητα κλπ.) που τα επηρεάζουν (Κωτούλας 1982, Gray και Male 1981, Παυλίδης 1996, 1999, 2006). Επισημαίνεται ότι ιδιαίτερη σημασία δόθηκε στη διάρκεια και τους παράγοντες που επηρεάζουν τη διατήρηση χιονοστρωμάτων.

5. Καταγράφηκαν τα ακόλουθα βασικά στοιχεία των υποδομών και των λειτουργικών χιονολογικών χαρακτηριστικών και οι μορφές των παρεχομένων χιονολογικών υπηρεσιών στα μελετούμενα Χ.Κ:

- Η έναρξη και η λήξη της χιονοδρομικής λειτουργικής περιόδου
- Η διάρκεια της συνολικής και της λειτουργικής χιονοδρομικής περιόδου
- Οι υπάρχουσες υποδομές (Lift, διαδρομές, κλπ) με τα κατώτερα χαρακτηριστικά τους
- Ο βαθμός και η εξέλιξη της επισκεψιμότητας (Αριθμός και διάρκεια παραμονής επισκεπτών, κλπ).

## Περιοχή έρευνας

Η έρευνα κάλυψε τις περιοχές των Χ.Κ. Καϊμακτσαλάν (Βόρα), Τρία-Πέντε Πηγάδια και Σέλι, της ΒΔ Μακεδονίας, η θέση των οποίων στον ελλαδικό χώρο δίνεται στο Σχήμα 1. Ειδικότερα το Χ.Κ. Καϊμακτσαλάν ή (Χ.Κ. Βόρα) (Κωδ. 1) βρίσκεται στις Δ, κλιτύες του όρους Βόρας (Καϊμακτσαλάν), στο νομό Πέλλας, το Χ.Κ. Τρία-Πέντε Πηγάδια (Κωδ. 2) αναπτύσσεται στις Α.ΝΑ κλιτύες του όρους Βερμίου στο ύψος της Νάουσας και το Χ.Κ. Σελίου (κωδ. 3) στις Α.ΝΑ του Βέρμιου όρους Β της Βέροιας.

## Αποτελέσματα έρευνας

### Χρονολογικό περιβάλλον (ορειογραφία-ανάγλυφο, γεωϋπόθεμα, γεωμετρία, υποδομές χ.κ.)

Τα στοιχεία του χιονολογικού περιβάλλοντος (ορειογραφία, ανάγλυφο, γεωϋπόθεμα, κλίμα, βλάστηση) των Χ.Κ. έρευνας (Σχ. 1) δίνονται στον Πίνακα 1. Τα αντίστοιχα στοιχεία (χιονολογικά, υποδομών-υπηρεσιών-λειτουργικά, των lift και των πιστών, του εξοπλισμού και των συνοδών ή παράλληλων δραστηριοτήτων δίνονται στους Πίνακες 1, 2, 3, 4 και 5.





α



β

**Σχήμα 1.** Οι θέσεις των χιονοδρομικών κέντρων Βόρα (κωδ. 1), Τρία-Πέντε Πηγάδια (κωδ. 2) και Σελίου (κωδ. 3) στο χώρο της Ελλάδας (α) και της ΒΔ Μακεδονίας (β).

**Πίνακας 1.** Παράγοντες χιονολογικού περιβάλλοντος (κλίμα, ορογραφία-ανάγλυφο-γεωυπόθεμα,) βλάστηση, γεωμετρικά και λειτουργικά στοιχεία των μελετηθέντων Χ.Κ.

Μέγεθος ή Χαρακτηριστικό	Χιονοδρομικά Κέντρα		
	Χ.Κ. Βόρας	Χ.Κ. 3-5 Πηγάδια	Χ.Κ. Σελίου
<b>I. ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ</b>			
<b>1. Ευρύτερη περιοχή (Ε)</b>			
Μέγιστο ( $H_{maxE}$ ), Ελάχιστο ( $H_{minE}$ ), υψόμετρο Υψομετρικό ανάπτωμα ( $\Delta H_E = H_{maxE} - H_{minE}$ )	1850, 2524 674	1300-2005 705	1370-2065 695
<b>2. Περιοχή χιονοδρομίας (Χ)</b>			
Μέγιστο ( $H_{maxE}$ ), Ελάχιστο ( $H_{minE}$ ), υψόμετρο Υψομετρικό ανάπτωμα ( $\Delta H_E = H_{maxE} - H_{minE}$ )	2018, 2480 462	1340-2005 665	1515-1720 205
<b>II. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ</b>			
<b>1. Ευρύτερη περιοχή</b>			
$I_1$ Μέση κλίση επιφάνειας ( $J_E$ ) (%)	33,23	37,76	32,17
<b>1. Περιοχή χιονοδρομίας</b>			
$I_1$ Μέση κλίση επιφάνειας ( $J_E$ ) (%)	30,92 (10-58)	43,03 (15-60)	16,79 (5-30)
<b>III. ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΣΥΓΚΡΟΤΗΣΗ</b>			
<b>1. ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ (Ε)</b>			
Κρυσταλοπυριγενής (Μ), Νεογενής (S), Σχιστολιθικός (G), Φλυσχικός (F), Ασβεστολιθικός (Κ), Προσχωσιγενής (Ρ)	Μ (51%), G (49%)	Κ (65%), S (18%), F (13%), Μ (4%)	Κ (68%), F (22%), S (7%), Μ (3%)
<b>2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΧΙΟΝΟΔΡΟΜΙΑΣ</b>			
Κρυσταλοπυριγενής (Μ), Νεογενής (S), Σχιστολιθικός (G), Φλυσχικός (F), Ασβεστολιθικός (Κ), Προσχωσιγενής (Ρ)	Μ (46%), G (54%)	Κ (48%), S (46%), F (6%)	Κ(65%), S(18%), F(17%)
<b>V. ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ</b>			
<b>1. ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ</b>			
Δάση πυκνά (Δπ), Δάση αραιά (Δα), Θάμνοι πυκνοί (Θπ), Θάμνοι αραιοί (Θα), Λιβάδια πυκνά (Λπ), Λιβάδια αραιά (Λα) Άγρονα Γυμνά ή Βραχώδη (Α)	Δπ(34), Δα(17), Θπ(5), Θα(9), Λπ(11), Λα(18), Α(6)	Δπ(41), Δα(14), Θπ(5), Θα(7), Λπ(9), Λα(17), Α(7)	Δπ(29), Δα(9), Θπ(7), Θα(13), Λπ(8), Λα(26), Α(8)
<b>2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΧΙΟΝΟΔΡΟΜΙΑΣ</b>			
Δάση πυκνά (Δπ), Δάση αραιά (Δα), Θάμνοι πυκνοί (Θπ), Θάμνοι αραιοί (Θα), Λιβάδια πυκνά (Λπ), Λιβάδια αραιά (Λα) Άγρονα Γυμνά ή Βραχώδη, Κοίτες, Πίστες (Α)	Δπ(14), Δα(9), Θπ(3), Θα(6), Λπ(11), Λα(38), Α(19)	Δπ(42), Δα(9), Θπ(3), Θα(7), Λπ(8), Λα(14), Α(17)	Δπ(24), Δα(17), Θπ(5), Θα(11), Λπ(9), Λα(18), Α(16)

VI. ΕΙΔΙΚΑ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ			
1. <u>ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ</u>			
1 <sub>1</sub> Προσανατολισμός γενικός	A, NA	A, NA	NA, A
1 <sub>2</sub> Προσανατολισμός ειδικός	A, NA, BA	A, NA, BA	NA, A,N, NΔ
2. <u>ΠΕΡΙΟΧΗ ΧΙΟΝΟΔΡΟΜΙΑΣ</u>			
2 <sub>1</sub> Προσανατολισμός γενικός	NA, A, BA	Δ	NΔ
2 <sub>2</sub> Προσανατολισμός ειδικός	BA, A, (NA, B)	Δ, NΔ, NA,	NΔ, Δ, A, NA

**Πίνακας 2.** Χιονολογικά στοιχεία και χαρακτηριστικά των περιοχών έρευνας.

Χιονολογικά χαρακτηριστικά, Μονάδα	Χ.Κ. Βόρας	Χ.Κ. 3-5 Πηγάδια	Χ.Κ.Σελίου
1. Ημέρες χιονιού (Ημέρες) 2. Ηλιοφάνεια (%)	(19), (38)	(15), (43)	(14), (48)
3. Ημέρες ολικής - μερικής χιονοκάλυψης (Ημέρες)	(117), (195)	(103), (156)	(99), (152)
4. Κυριαρχούντες άνεμοι	BΔ, B	B, BΔ, NA	B, BΔ, NA
5. Μέγιστη ταχύτητα ανέμου (Km/h)	162	144	138
6. Ημέρες ομίχλης με ορατότητα <25m (Ημέρες)	15	7	5
7. Μέσο πάχος χιονοστρώματος ημερών ολικής χιονοκάλυψης (εκτός πιστών) (cm)	19	16	15
8. Υδροϊσοδύναμο χιονιού χιονόπτωσης (%)	6,78	6,89	6,90
9. Βαθμός χιονοσκληρότητας (Εμπειρική κλίμακα)	2-3 (4)	2 (3)	2 (3)
10. Μέσο πάχος συμπιεσμένου χιονοστρώματος των ημερών ολικής χιονοκάλυψης (cm)	2,72	2,68	2,69
11. Στην περιοχή σωρεύεται (+) ή απάγεται (-) χιόνι	(+) (-)	(+) (-)	(+) (-)
12. Καταγραφή χιονολισθητικών φαινομένων	OXI	OXI	OXI
13. Διάρκεια λειτουργικού χιονοστρώματος (Ημέρες)	108	97	93

**Πίνακας 3.** Υποδομές, Υπηρεσίες, Λειτουργικά - Κοινωνικοοικονομικά στοιχεία των Χ.Κ. έρευνας.

Υποδομές, Υπηρεσίες, Διαδρομές, Λειτουργικά-κοινωνικοοικονομικά στοιχεία	Χ.Κ. Καϊμακτσαλάν	Χ.Κ. 3-5-Πηγάδια	Χ.Κ. Σελίου
I ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ* (ΕΝΑΡΞΗ)	1994	1988	1934
Έναρξη, Λήξη, Διάρκεια (ημέρες)	(20/11-4/4), (104)	(28/11-25/3), (87)	(30/1122/3), (82)
II.ΠΑΡΕΧΟΜΕΝΕΣ ΥΠΟΛΟΙΠΕΣ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ			
1 ΑΡΙΘΜΟΣ (N) ΧΙΟΝΟΔΡΟΜΙΚΩΝ ΔΙΑΔΡΟΜΩΝ	13+3αρχ.	4+3αρχ+3ΔΑντ.	13+3Αρ+2ΔρΑντ
2 ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΝΑΒΑΘΗΡΩΝ (LIFT) (E=εναέριοι, Σ=συρόμενοι, BL=baby lift)	E(1),Σ(2),BL(3)	E(1),Σ(4),BL(3)	E(2),Σ(5),BL(3)
3 ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ (ΝΑΙ, ΟΧΙ)	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ
3.1.Υπηρεσία σήμανσης, συντήρησης, χάραξης, συμπίεσης και προστασίας πιστών.	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ
3.2.Υπηρεσία πληροφόρησης καιρικών φαινομένων	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ
3.3. Υπηρεσία αντιμετώπισης ατυχημάτων και παροχής πρώτων	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ

βοηθειών (ιατρείο) κλπ, υπηρεσιών			
3.4. Υπηρεσία ενημέρωσης κανόνων (FIS) και συμπεριφοράς των χιονοδρόμων εντός και εκτός των σημασμένων διαδρομών (πιστών)	OXI	NAI	OXI
3.5. Υπηρεσία ελέγχου του εξοπλισμού των χιονοδρόμων (NAI) (OXI)	OXI	OXI	OXI
4 ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ :			
4.1. Κλασική χιονοδρομία, snowboard, Παραπέντε, Πεζοπορία (Trekking), Ορειβασία, Ποδήλατο βουνού (Mountain bicycle), Motocross (Enduro), Κατασκίνωση, Ιππασία, Airboard, Τοξοβολία, Snowcat, Fun Park, Παιδότοπος	NAI, NAI, NAI, NAI, NAI, NAI, NAI, NAI, NAI, NAI, NAI	NAI, NAI, OXI, NAI, NAI, NAI, NAI, NAI, NAI, OXI, OXI, OXI, OXI, OXI	NAI, NAI, OXI, NAI, NAI, NAI, NAI, NAI, NAI, OXI, OXI, OXI, OXI, OXI
5 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ			
5.1. Τεχνητή χιόνωση, Ελικοδρόμιο, Ανεμοδρόμιο-Ανεμοπορία	NAI, OXI, NAI	NAI, OXI,	NAI, OXI
5.2. Χώρος στάθμευσης αυτοκινήτων (E= Επαρκής), (ΣΕ= σχετικά επαρκής) (OE= Ολίγον Επαρκής) (A=Ανεπαρκής)	ΣΕ	ΣΕ	ΣΕ
5.3. Χώρος στάθμευσης τροχόσπιτων και τροχοσκηνών (E= Επαρκής), (OE=Ολίγον Επαρκής) (A= Ανεπαρκής)	OE	ΣΕ	ΣΕ
5.4. Σχολές εκμάθησης και ενοικίασης εξοπλισμού (E=Επαρκής), (ΣΕ=σχετικά επαρκής) (A= Ανεπαρκής)	E	ΣΕ	ΣΕ
5.5. Υπάρχουν άλλες εγκαταστάσεις παροχής, υποβοήθησης ή συμπλήρωσης των δραστηριοτήτων των Χ.Κ. NAI, OXI	NAI	NAI	NAI
5.6. Γήπεδα ποδοσφαίρου NAI, OXI	OXI	NAI	NAI
5.7. Ποδήλατα (snow bicycles), μηχανάκια χιονιού (snow mobiles) κλπ.	NAI	NAI	NAI
5.8. Ξενοδοχεία-Ξενώνες εντός ή εγγύς του Χ.Κ. (*) ή στις εγγύς περιμετρικές κοινότητες (**) Αριθμός Ξενοδοχείων (N= ), Αριθμός κλίνων (v= )	N=1 V=46	N=2 V=161	N=4 V=223
5.9. Cafe, αναψυκτήρια, εστιατόρια κλπ. (E= Επαρκή) (ΣΕ= σχετικά επαρκή) (A= Ανεπαρκή)	ΣΕ-E	ΣΕ-E	E-ΣΕ

**Πίνακας 4.** Χαρακτηριστικά των lift και των χιονοδρομικών διαδρομών (πιστών) των Χ.Κ. έρευνας.

Όνομασία	Χαρακτηριστικά									
	Τύπος	Μήκος m	Υψόμετρα m			Διαδρομές	κλίση J(%)	Δυναμικότητα	Έκθεση	Δυσκολία
			Πέρας	Αρχή	ΔΗ					
<b>ΧΙΟΝΟΔΡΟΜΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΚΑΪΜΑΚΤΣΑΛΑΝ (Χ.Κ. ΒΟΡΑ)</b>										
<b>I: LIFT (ΑΝΑΒΑΤΗΡΕΣ)</b>										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1.Κρέμαση (1984)	Συρόμενος Διθέσιος	900	2480	2220	247	1,5,6,LR <sub>3</sub> SnowTubin g	27,44	951	A, (NA)	-
2.Σαραντόβρυση 1 (1994)	Εναέρια διθέσια καρέκλα	1538,9	2379,5	2076	303,5	2A,2B,3,4, αγων. 2Κ <sub>1</sub> ,Κ <sub>2</sub>	19,72	1200	N, (NA)	-

3.Σαραντόβρυση 2 (2004)	Συρόμενος Μονοθέσιος	780	2210	2080	130	2,9,10,αγων . R <sub>2</sub>	16,67	900	B	-
4.Μετερίζι (1998)	Συρόμενος Μονοθέσιος	469,8	2132	2022	110	7,8,αγων. R <sub>1</sub> , Snow Board Fan Park,	23,41	500	B	-
5.lift αρχαρίων 1	Συρόμενος	100	2050	2030	20	Αρχαρ. 1	10,00	250		-
6.lift αρχαρίων 2	Συρόμενος	100	2050	2030	20	Αρχαρ. 2	10,00	250		-
7.lift αρχαρίων 3	Συρόμενος	100	2070	2050	20	Αρχαρ. 3	10,00	250		-
<b>II: ΔΙΑΔΡΟΜΕΣ ( ΠΙΣΤΕΣ)</b>										
1 Διαδρομή	-	1200	2480	2200	280	-	23,33	-		Μπλέ
2 Διαδρομή	-	2200	2210	2080	130	-	5,91	-	N, NA	Μπλέ
2 <sub>α</sub> Διαδρομή	-	900	2230	2100	130	-	14,44	-		Μπλέ
2 <sub>β</sub> Διαδρομή	-	1600	2350	2100	250	-	15,63	-		Μπλέ
3 Διαδρομή	-	2000	2350	2100	250	-	12,50	-		Κόκκινη
4 Διαδρομή	-	1800	2350	2100	250	-	13,89	-	N, NA	Κόκκινη
5 Διαδρομή	-	1200	2480	2200	280	-	23,33	-	A, NA	Κόκκινη
6 Διαδρομή	-	1000	2480	2200	280	-	31,11	-	A, NA	Κόκκινη
7 Διαδρομή	-	1000	2150	2030	120	-	12,00	-		Μπλε
8 Διαδρομή	-	700	2150	2030	120	-	17,14	-		Κόκκινη
9 Διαδρομή	-	900	2210	2080	130	-	14,44	-	N, NA	Μπλέ
10 Διαδρομή	-	700	2210	2080	130	-	18,57	-		Κόκκινη
11 Αγων. R <sub>1</sub>	-	1600	2350	2100	250	-	15,63	-		Κόκκινη
12 Αγων. R <sub>2</sub>	-	500	2150	2030	120	-	24,00	-		Κόκκινη
LR <sub>3</sub>		800							A, NA	
13 Baby 1	-	150	2050	2030	20	-	13,33	-		Πράσινη
14 Baby 2	-	150	2050	2030	20	-	13,33	-		Πράσινη
15 Baby 3	-	150	2050	2030	20	-	13,33	-		Πράσινη
Πίστα R <sub>1</sub> αγων.	-	7.000								
Πίστα R <sub>2</sub> αγων.	-	19.900								

### **ΧΙΟΝΟΔΡΟΜΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΤΡΙΑ-ΠΕΝΤΕ ΠΗΓΑΔΙΑ**

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
<b>I: ANABATHRES (LIFT)</b>										
1	Εναέριος (διθέσιος)	1500	1975	1430	535	1,2,3,4	35,67	820		-
2	Συρόμενος πιάτο	650	1575 1995	1445 1975		2,4		900		-
3	Συρόμενος πιάτο	400	1490	1430		2		900		-
4	Συρόμενος πιάτο	680	1785	1490		2,3		900		-
5	Συρόμενος πιάτο	700	1995	1975		2,4		600		-
6 Baby Lift I	-	200	1430	1410	20	BL I	10,00	250		-
7 Baby Lift II		200	1430	1410	20	BL II	10,00	250		-
8 Baby Lift III		150	1995	1980	15	BL III	10,00	150		-
<b>II: ΔΙΑΔΡΟΜΕΣ ( ΠΙΣΤΕΣ)</b>										
1. Αριστοτέλης 1	-	1800	1800	1430	370		20,55	-		Κόκκινη
Αριστοτέλης 2	-	750	1575	1430	145		19,33	-		Κόκκινη
Αριστοτέλης 3	-	850					12,38			Μπλέ
2. Παράδεισος	-	2600	1975	1430	545		20,96	-		Κόκκινη
Παράδεισος (Πλατώ)		(220+ 400)					13,56			Μπλέ Μπλέ
3. Λούκι	-	800	1975	1775	200		25,00	-		Κόκκινη
4. Φίλιππος	-	2000	1975	1430	545		27,25	-		M-K-M
Φίλιππος (Πλατώ)	-	650					14,82	-		Μπλέ

5. Αρχαρίων Ι	-	200	1430	1410	20		10,00			Πράσινη
6. Αρχαρίων ΙΙ	-	200	1430	1410	20		10,00			Πράσινη
7. Αρχαρίων ΙΙΙ	-	200	1430	1410	20		10,00			Πράσινη
Lang Lauf 1 Αγ.	-	3.000			95					
Lang Lauf 2 Αγ.	-	5.000			95					
Lang Lauf 3 Τουρ	-	10.000			95					

### ΧΙΟΝΟΔΡΟΜΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΣΕΛΙΟΥ

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
<b>I: ΑΝΑΒΑΤΗΡΕΣ (LIFT)</b>										
1. Φύλιππος (2002)	Εναέρια 2θέ- σια καρέκλα	1750 (1250)	1620	1520 (1740)	100 (220)	-	5,71 17,60	1200	ΝΔ, Ν	
2. Αλέξανδρος 1 (1983, 2007)	Συρόμενο ζεύγος πιάτο	1150	1790	1530	260	-	22,61	900	ΝΔ	-
3. Αλέξανδρος 2 (1983, 2007)	Συρόμενο ζεύγος πιάτο	1150	1790	1530	260	-	22,61	900	ΝΔ	-
4. Δίας (2000)	Συρόμενος (πιάτο)	840	1890	1620	270	-	32,14	900	Ν,(ΝΔ)	
5. Ηρακλής (2000)	Συρόμενος (πιάτο)	840	1890	1620	270	-	32,14	900	ΝΔ,(Ν)	
6. Άρης (2000)	Συρόμενος (πιάτο)	840	1830	1620	210	-	25,00	900	ΝΑ	
7. Αμύντας (2002)	Συρόμενος (πιάτο)	500	1800	1620	180	1,2-	36,00	700	ΝΔ,(Ν)	
8. Ιάσων	Babylift (Σχοινί)	100	1520	1500	20	-	20,00	250	Δ,ΝΔ	
9. Ορφέας	Baby-lift	120	1620	1600	20	-	16,67	300	ΝΔ	
10. Ερμής	Baby-lift	100	1660	1630	20	-	20,00	300		
11. Βέρης	Baby-lift	100	1520	1500	20	-	20,00	250	ΝΝΔ	
<b>II: ΔΙΑΔΡΟΜΕΣ (ΠΙΣΤΕΣ)</b>										
1. Περσεφόνη	-	1300	1620	1515	260	Lift 1,5	20,00	-	Α	Μπλέ
2. Ολυμπιάδα	-	1000	1620	1515	250	Lift 1,5	19,23	-		Μ, Κ.
3. Ρωξάνη	-	900	1700	1515	195	Lift 1,2	21,67	-		Κόκκινη
4. Ήρα (Αρσούμ.1)	-	800	1874	1678	240	Lift 3,4	34,66	-		Κόκκινη
5. Άρτεμις (Αρσ.2)	-	800	1874	1678	240	Lift 3.4	33,26	-		Κόκκινη
6. Εύκλεια (Αρσ.3)	-	900	1874	1740	240	Lift 3,4	21,18	-		Μπλέ
7. Εγνατία (Περιφ)	-	3000	1874	1515	370	Lift 3,4	12,33	-		Μπλέ
8. Ερατώ(Λούκι)	-	1200	1780	1515	250	Lift 2	20,83	-		Μ-Κ
9. Ευρυδίκη (Συνδ)	-	600	1700	1620	170	Lift 1,3,4	16,00	-		Μπλέ
10. Μουσών, Νέα	-	1500	1780	1530	250	Lift 2	16,67	-		Μπλε
11. Ιφιγένεια	-	900	1830	1620	220	Lift 6	23,33	-		Μπλέ
12. Ηλέκτρα	-	900	1830	1620	220	Lift 6	23,33	-		Μπλέ
13. Δάφνη	-	1000	1830	1620	220	Lift 6	20,00	-		Μπλέ
14. Baby.Lift I	-	120	1520	1500	20	Βέρης 7	1	-		Πράσινη
15. Baby.Lift II	-	150	1520	1510	10	Ιάσων 8	8,33	-		Πράσινη

16. Baby.Lift III	-	100	1520	1515	5	Ορφέ- ας 9	5,00	-		Πράσινη
17. Baby.Lift IV (Αρσούμπασι)	-	150	1640	1620	10	Ορφέ- ας 9	6,67	-		Πράσινη
18. Lang Lauf 1 Αγωνιστική	-	5Km	-	-	-	-	-	-	-	-
19. Lang Lauf 2 Τουριστική	-	3Km	-	-	-	-	-	-	-	-

**Πίνακας 5. Λοιπές Υποδομές - Εξοπλισμός -Δραστηριότητες των Χ.Κ. Έρευνας.**

Υποδομές Εξοπλισμός-	Χ.Κ. Σελίου	Χ.Κ.3-5 Πηγάδια	Χ.Κ. Βόρα
Χιονοστρωτή- ρες Αποχιονιστικά. Μέσα κίνησης εντός Πίστας	Τέσσερις Χιονοστρωτήρες, Τρία αποχιονιστικά, Μια φρέζα και Δύο μαχαίρια αποχιονισμού-διανομής και άλατος. Δύο Motocross	Δύο (2) Χιονοστρωτήρες Ένα αποχιονιστικό, Μια φρέζα και Ένα μαχαίρι αποχιονισμού - διανομής άλατος. Δύο Motocross	Δύο (2) Χιονοστρωτήρες Ένα Εκχιονιστικό Mercedes Δύο εκχιονιστικά προσωρινής μίσθωσης
Parking	Parking 36 στρέμματα 400 αυτοκινήτων και 20 πούλμαν	Parking 800 οχήματα 200 τροχόσπιτων	Parking 200 θέσεις
Ιατρείο	Ιατρείο-Πρώτες Βοήθειες πλήρως εξοπλισμένο με ειδικευμένο νοσοκόμο, ιατρό και ασθενοφόρο (συνεργασία με το Ε.Κ.Α.Β).	Ιατρείο-Πρώτες Βοήθειες πλήρως εξοπλισμένο με ειδικευμένο νοσοκόμο, υπεύθυνο ιατρό και ασθενοφόρο (συνεργασία με το Ε.Κ.Α.Β).	Ιατρείο-Πρώτες Βοήθειες πλήρως εξοπλισμένο με ειδικευμένο νοσοκόμο, υπεύθυνο ιατρό και ασθενοφόρο (συνεργασία με το Ε.Κ.Α.Β).
Σχολές εκπαίδευσης	5 οργανωμένες σχολές	1 σχολή Σκι και snowboard	1 σχολή ski και snowboard
Διαμονή- Διατροφή- Διασκέδαση	Καταφύγια, Σαλέ Ξενώνες, Ξενοδοχεία, Δωμάτια, Καφέ-Μπαρ, Ταβέρνες, Εστιατόρια	Καταφύγια, Σαλέ Ξενώνες, Ξενοδοχεία, Δωμάτια, Καφέ-Μπαρ, Ταβέρνες, Εστιατόρια	Καταφύγια, Σαλέ Ξενώνες, Ξενοδοχεία, Δωμάτια, Καφέ-Μπαρ, Ταβέρνες, Εστιατόρια
Τεχνητό χιόνι, Νυκτερινός Φωτισμός.	OXI, NAI	NAI, NAI	NAI, NAI
Λοιπές Αναψυχικές Δραστηριότητες	Ορειβασία, Πεζοπορία, Γήπεδο ποδοσφαίρου με χλοοτάπητα. Ειδικές δια- δρομές για περιπάτους και τρέξιμο, mountain bike, Snowmobile, motocross. Ιππασία σε χιόνι	Προπονητικό γήπεδο ποδοσφαίρου με χλοοτάπητα. Μονοπάτι Ε4. Ειδικές δασικές διαδρομές περιπάτων, τρέξιμο mountain bike motocross, Snowmobile trekking. Βατήρας για αλεξίπτωτο πλαγιάς (parapente) και αιωρόπτερο.	Flying Box, Τοξοβολία, Αναρρίχηση (φυσική- τεχνητή πίστα). Μονοπάτια Ε4 και Ε6. Διαδρομές Fun track, Snow mobile mountain bike, Ανεμοδρόμιο, Αλεξίπτωτο πλαγιάς (parapente), trekking, Rafting Πίστα motocross και Tubbing
Συντήρηση	Ημερήσια Εβδομαδιαία Μηνιαία Ετήσια	Ημερήσια Εβδομαδιαία Μηνιαία Ετήσια	Ημερήσια Εβδομαδιαία Μηνιαία Ετήσια

Καταφύγια-κλίβες	Σ.Χ.Ο. Βεροίας, 80 Ε.Ο.Σ. Θεσσαλονίκης 60	Ε.Ο.Σ. Νάουσας 18 Ε.Ο.Σ. Νάουσας 35 Ε.Ο.Σ. Νάουσας 60	
Λοιπές εγκαταστάσεις	Στο Χ.Κ. Βόρα σε ύψος 1.050m και απόσταση 2,5km από την Παναγίτσα λειτουργούν δύο πίστες αρχαρίων 275m, ένας αναβατήρας (πίατο) 210m και ένας συρόμενο 50m, καθώς και μηχανήμα παραγωγής τεχνητού χιονιού από τα τέλη Δεκεμβρίου έως τα τέλη Μαρτίου. Υπάρχει ειδικός φωτισμός για νυχτερινές καταβάσεις.		

Στο Σχήμα 2α,β,γ παρέχονται τα σχεδιαγράμματα των Χιονοδρομικών Κέντρων Βόρα ή Καϊμακτσαλάν (Σχ. 2α), 3-5 Πηγάδια (Σχ. 2β) και Σελίου (Σχ. 2γ).



α



β

γ

**Σχήμα 2α,β,γ.** Σχεδιαγράμματα των Χ.Κ. α) Βόρας (Καϊμακτσαλάν), β) Σέλι και γ) 3-5 Πηγάδια.

### Σύνοψη, κρίσεις, συμπεράσματα

Στη χώρα μας παρά το μεσογειακό της κλίμα και την κυριαρχία των θερινών διακοπών - ενασχολήσεων, η ορεινότητα του αναγλύφου της δημιουργεί προϋποθέσεις ανάπτυξης και των χειμερινών αναψυχικών – αθλητικών τουριστικών ενασχολήσεων με κυρίαρχη ενασχόληση την χιονοδρομία και τις παράπλευρες αναψυχικές δραστηριότητες. Μετά το 1970 και ιδιαίτερα μετά το 1980 η ανάπτυξη τις χιονοδρομίας

στη χώρα μας ήταν εντυπωσιακή. Αυτή η έντονη αύξηση της χιονοδρομικής – χιονολογικής ζήτησης στη χώρα μας οδήγησε στη δημιουργία, την ανάπτυξη και επέκταση 20 ενεργών Χ.Κ.

Η παρούσα έρευνα αφορούσε τα κατασκευαστικά, χιονολογικά, γεωμορφολογικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά των Χ.Κ. Βόρα, 3-5 Πηγαδιών και Σελίου, που είναι από τα καλύτερα Χ.Κ. της Ελλάδας, τα οποία βρίσκονται στην Κεντρική Μακεδονία. Σημειώνεται ότι το Χ.Κ. Σελίου, που αποτελεί το αρχαιότερο Χ.Κ. της Ελλάδας συνέβαλε τα μέγιστα στην ανάπτυξη της χιονοδρομίας στη χώρα μας. Συνοψίζοντας τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας προκύπτουν τα ακόλουθα:

Το Χ.Κ. Βόρας (Καϊμακτσαλάν) είναι το υψηλότερο (εκκίνηση στα 2480 m) και εκείνο το οποίο έχει τη μεγαλύτερη διάρκεια χιονοκάλυψης από όλα τα Χ.Κ. της χώρας μας. Στο Χ.Κ. του Βόρα πέραν της μορφών της χιονοδρομίας καλλιεργείται σε κατάλληλη πίστα το άθλημα του snowboard. Οι επισκέπτες εξυπηρετούνται με 7 Lift μέγιστης δυναμικότητας 3600 ατ/ώρα και έχουν διαθέσιμες 15 πίστες συνολικού μήκους 15 Km. Διατίθενται επίσης δύο διαδρομές ανωμάλου δρόμου (Cross country) 7 και 20 Km. Στο Χ.Κ. του Βόρα πέραν του stantart εξοπλισμού, υπάρχει πρόσθετος εξοπλισμός, όπως τεχνητή χιόνωση, πίστες snowboard και snow tubing park, snowbar, διαδρομές με fun track, snowmobile και mountain bike. Ταυτόχρονα εγγύς του Χ.Κ. υπάρχει πλήθος συνοδών δραστηριοτήτων, όπως πεζοπορία, ορειβασία, αναρρίχηση (βράχος-τεχνητή πίστα), Flying Box, τοξοβολία, αλεξίπτωτο πλαγιάς (parapente), ανεμοπτερισμός, πεζοπορία, χιονοδρομία αντοχής στα Μονοπάτια Ε4 και Ε6, ανεμοδρόμιο, trekking, rafting, πίστα αγώνων motocross.

Το Χ.Κ. 3-5 Πηγάδια με το ποιοτικά καλύτερο χιόνι και την καλύτερη τεχνητή χιόνωση, έχει τις καλύτερες πιστοποιημένες από την F.I.S, αγωνιστικές χιονοδρομικές διαδρομές. Το Χ.Κ. 3-5 Πηγάδια αποτελεί το καλύτερο προπονητικό και αγωνιστικό Χ.Κ. της χώρας μας. Οι περισσότεροι Πανελλήνιοι αγώνες, που άρχισαν το 1932 έχουν διεξαχθεί στα Χ.Κ. 3-5 Πηγάδια και στο Σέλι. Στις δύο αυτές πίστες έχουν διεξαχθεί η Βαλκανιάδα του 1985 και το Παγκόσμιο Κριτήριο Δρόμων Αντοχής, μη Αλπικών Χωρών, η μικρή καλούμενη μικρή χειμερινή Ολυμπιάδα. Το Χ.Κ. 3-5 Πηγάδια χρησιμοποιείται, πέραν των προπονήσεων των αθλητών της χιονοδρομίας, ως το καλύτερο θερινό προπονητικό κέντρο της Ελλάδας, όπου ελληνικές και όχι μόνο ποδοσφαιρικές ομάδες, εκτελούν το στάδιο της προετοιμασίας τους. Κύριο χαρακτηριστικό του Χ.Κ. 3-5 Πηγάδια είναι ότι η κίνηση των χιονοδρόμων και των επισκεπτών των αναβατήρων γίνεται μέσα από ένα πανέμορφο δάσος. Οι επισκέπτες εξυπηρετούνται με 8 Lift μέγιστης δυναμικότητας 6400 ατ/ώρα και έχουν διαθέσιμες 7 διαδρομές, 3 αγωνιστικές και μία τουριστική πίστα συνολικού μήκους 8,5 Km. Διατίθενται επίσης 3 διαδρομές ανωμάλου δρόμου (Cross country) 3.5 και 10 Km. Στο Χ.Κ. 3-5 Πηγάδια υπάρχει ο stantart εξοπλισμός και πρόσθετος εξοπλισμός όπως η καλύτερη και παλαιότερη τεχνητή χιόνωση των πιστών, χώρος snowboard, διαδρομές με snowmobile και mountain bike. Παράλληλα εγγύς του Χ.Κ. υπάρχει πλήθος συνοδών δραστηριοτήτων, όπως πεζοπορία, ορειβασία, αναρρίχηση, αλεξίπτωτο πλαγιάς (parapente), ανεμοπτερισμός, πεζοπορία στο Μονοπάτι Ε4, χιονοδρομία αντοχής στις 3 διαδρομές εκτός πιστών, snowmobile, mountain bike, αεροπτερισμός, αλεξίπτωτο πλαγιάς (parapente), trekking, χώρος ελεύθερου moto cross.

Το Χ.Κ. Σελίου είναι το αρχαιότερο Χ.Κ. της χώρας μας, η δημιουργία του οποίου αποτέλεσε την αφετηρία της χιονοδρομίας στη χώρα μας. Στο Χ.Κ. Σελίου, πέραν των διαμορφών της χιονοδρομίας υπάρχει ζώνη ανάπτυξης του snowboard. Οι επισκέπτες εξυπηρετούνται με 7 Lift και 4 BL συνολικής δυναμικότητας 7500 ατ/ώρα και έχουν



διαθέσιμες 17 πίστες (13 + 3 BL) συνολικού μήκους 15 Km. Διατίθενται επίσης δύο πίστες ανωμάλου δρόμου (Cross country) 3 και 5 Km. Στο Χ.Κ. Σελίου, πέραν του stantart υπάρχει και πρόσθετος εξοπλισμός όπως η μόλις εγκατασταθείσα τεχνητή χιόνωση, χώροι snowboard, snowmobile, mountain bike. Εγγύς του Χ.Κ. υπάρχει πλήθος συνοδών δραστηριοτήτων όπως πεζοπορία, ορειβασία, αναρρίχηση, πεζοπορία - χιονοδρομία αντοχής σε ειδικές διαδρομές, moto cross.

Οι περισσότεροι Πανελλήνιοι αγώνες, που άρχισαν το 1932 έχουν διεξαχθεί στα Χ.Κ. 3-5 Πηγάδια και στο Σέλι.

## Βιβλιογραφία

- Bariffi, A. (1996). La carta di localirrazione delle Valanghe, Neve e Valangh, n° 21.
- Bolognesi, R., Busser, O., Good, N. (1995). Le previsione delle Valanghe in Svizzera, Strategia e Strumenti. Neve e Valanghe, n° 24.
- De Quervain, M. (1968). Die Role des Waldes beim Lawinenschutz, S.Z.F. Nr. 4-5.
- De Quervain, M. (1978). Wald und Lawinen, Intern. Seminar "Mountain Forest and Avalanches".
- Gray, D.M., Male, D.H. (1981). Handbook of Snow. Princeples processes management and use. Pergamon Press. Willowda.
- Κωτούλας, Δ. (1969). Οι χείμαρροι της Β. Ελλάδος, Επιστημονική Επετηρίδα Γ.Δ. Σχολής (Παράρτημα). Θεσσαλονίκη.
- Κωτούλας, Δ. (1979). Συμβολή στη μελέτη του γενικού μηχανισμού δράσεως ενός χειμαρρικού δυναμικού, Επετ. Για τα 50 χρόνια της Δασολογίας, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.
- Κωτούλας, Δ. (1982). Το χιόνι, οι χιονολισθήσεις και η διευθέτησή τους. Πανεπιστημιακές Παραδόσεις. Α.Π.Θ.
- Langhem, E.J. (1981). Physics and properties of snowcover. In D.M. Gray, D.H. Male(ed) Handbook, pp. 275.
- Langhem, E.J. (1992). Fisica e propriete delle neve. Neve e Valangh n° 15.
- Leocha, Charles. A. (2008). Ski Snowboard America. Top Winter Resorts in USA and Canada.
- Liakos, L. (1954). Restauration des terrains au-dessus de la limite supérieure de la vegetation forestière ameliorations pastorales dans les Alpes meridionales, Thessaloniki.
- Μουλόπουλος, Χ. (1968). Ορεινή υδρονομική Ι. Α.Π.Θ. Θεσσαλονίκη.
- North Pacific Division Corps of Engineers U.S. Army, (1956). Snow Hydrology, Oregon.
- Παυλίδης, Θ. (1996). Υδατικό δυναμικό χιονιού και συνθήκες χιονοκαλύμματος στην επαρχία Μετσόβου. Επιστημονική Επετηρίδα Τμήματος Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος, τόμος ΛΘ/2, pp. 904-941.
- Παπαμιχαήλ, Δ. και Παυλίδης, Θ. (1998). Έρευνα αντιμετώπισης και αξιοποίησης των υδατικών προβλημάτων του ορεινού όγκου του Χορτιάτη. Ερευνητικό Έργο 7025. Επιτροπή Ερευνών Α.Π.Θ.
- Παυλίδης, Θ., Καρατζάς, Σ., Καραχάλιος, Π., Μαρίνος, Δ. και Παπαθανασίου, Β. (1999). Το χιόνι και τα χιονοκαλύμματα: η σημασία και οι δυνατότητες αξιοποίησής τους. Τόμος MB/1, Vol 42/1, pp. 347.
- Παυλίδης, Θ. (2006). Χιονολογία - Χιονολογική αξιοποίηση. Πανεπιστημιακές Παραδόσεις. Θεσσαλονίκη.

- Peck, L.F. (1972). Snow Measurement Predicament.  
Regione del Veneto, Giunta Regionale, (1980). Manuele delle Valanghe. Torino.
- Schild, M. (1972). Lawinen, Zürich.
- U.S. Acerl. (1993). Tutorial users and programmers” manual U.S. Acerl-Champagne, USA.
- Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. (1995). Η Ελλάδα Οικολογικό και Πολιτιστικό Απόθεμα. Αθήνα.
- Φλόκας, Α. (1986). Μαθήματα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας. Α.Π.Θ. Θεσσαλονίκη.

## ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥ ΒΑΘΜΟΥ ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗΣ ΤΩΝ ΥΔΡΟΝΟΜΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΣΤΟ ΦΥΣΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

### **Χαρίσιος Γκανάτσιος**

Δρ. Δασολόγος – Υδρολόγος Ι.Δ.Α.Χ, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης  
Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος  
Εργαστήριο Διευθέτησης Ορεινών Υδάτων  
e-mail: [cganats@for.auth.gr](mailto:cganats@for.auth.gr)

### **Γρηγόρης Βάρρας**

Επίκουρος Καθηγητής, Τ.Ε.Ι. Ηπείρου  
Εργαστήριο Ανθοκομίας και Αρχιτεκτονικής Τοπίου  
e-mail: [grvarras@gmail.com](mailto:grvarras@gmail.com)

### **Αικατερίνη Κάλφα**

Msc Δασολόγος – Περιβαλλοντολόγος, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης  
Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος  
Εργαστήριο Διευθέτησης Ορεινών Υδάτων  
e-mail: [katekalfa@for.auth.gr](mailto:katekalfa@for.auth.gr)

### **Βασίλειος Παπαθανασίου**

Msc Δασολόγος – Χειμαρρολόγος, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης  
Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος  
Εργαστήριο Διευθέτησης Ορεινών Υδάτων  
e-mail: [bparatha@yahoo.gr](mailto:bparatha@yahoo.gr)

### **Κυριάκος Τσεμπερίδης**

Δρ. Δασολόγος – Χειμαρρολόγος, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης  
Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος  
Εργαστήριο Διευθέτησης Ορεινών Υδάτων  
e-mail: [kit76@for.auth.gr](mailto:kit76@for.auth.gr)

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα υδρονομικά έργα (έργα διευθέτησης χειμάρρων) έχουν ως στόχο την αποτροπή ή τον έλεγχο των χειμαρρικών φαινομένων (αποσαθρώσεων, διαβρώσεων, ολισθήσεων, κατακρημνίσεων), την σταθεροποίηση των κοιτών και την παροχή αντιπλημμυρικής προστασίας. Για το λόγο αυτό τα υδρονομικά, ως εκ της φύσεως τους, αποτελούν σημαντικά προστατευτικά – περιβαλλοντικά έργα, με αποτέλεσμα να εξαιρούνται της έγκρισης περιβαλλοντικών όρων.

Παράλληλα τα υδρονομικά έργα σε υποβαθμισμένες λεκάνες και κοίτες, πέραν της παρεχόμενης προστασίας, συμβάλλουν στη διαμόρφωση και την εξέλιξη των χειμάρρων και παραχειμάρριων περιβαλλόντων.

Στην παρούσα εργασία ερευνάται ο βαθμός ένταξης και η συμβολή των υδρονομικών έργων στο φυσικό περιβάλλον.

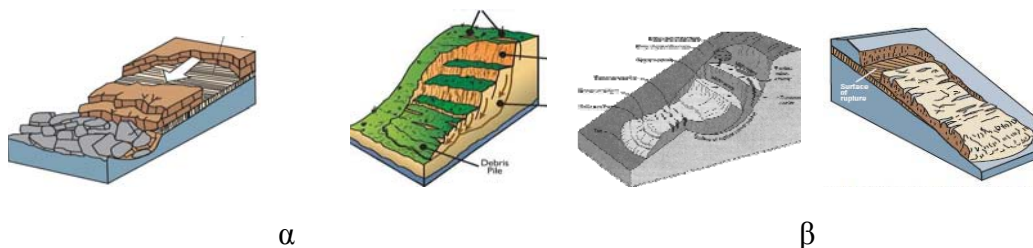
**Λέξεις κλειδιά:** Υδρονομικά έργα και περιβάλλον, Φράγματα και περιβάλλον.

## Εισαγωγή, αντικείμενο

Τα πάσης φύσεως έργα διευθέτησης των χειμάρρων (φυτοκομικά, φυτοτεχνικά, αγροτεχνικά και τεχνικά), αποτελούν ένα αλληλένδετο σύστημα έργων προστασίας, από τις δυσμενείς χειμαρρικές λειτουργίες (διαβρώσεις πάσης μορφής, ολισθήσεις, αποσαθρώσεις, κατακρημνίσεις) και τα έντονα πλημμυρικά φαινόμενα (Σχ. 1α,β, Εικ. 1α έως ε, 2, 3α έως ια), που αποδομούν και αποσταθεροποιούν το ανθρωπογενές και φυσικό περιβάλλον.

Βασικά έργα διευθέτησης είναι τα πάσης φύσεως φράγματα, τα οποία αποτελούν τον κορμό των υδρονομικών έργων, πάνω στα οποία στηρίζεται η επίτευξη των αρχών διευθέτησης (προστατευτικός, υδρολογικός, αξιοποίησης). Δομικά υλικά στις διευθετήσεις χειμάρρων ήταν η πέτρα, το χώμα, φυτευτικό υλικό, το ξύλο (ζων και νεκρό), το σκυρόδεμα, τα συρματοκιβώτια και συνδυασμός αυτών.

Μέχρι το 1970 κυρίαρχο υλικό κατασκευής των τεχνικών υδρονομικών έργων (φράγματα, πρόβολοι, παράλληλοι τοίχοι κ.λ.π.) ήταν η πέτρα αυτούσια, ή σε μίξη με άλλα φυσικά ή τεχνικά υλικά, όπως χώμα (βαθμίδες πάσης μορφής), συρματοπλεκτες κατασκευές (σεραζανέτ), σκυρόδεμα (λιθοδομή, λιθόδεμα, λιθεπένδυση), ξύλο κ.λ.π. υλικά. Η κυριαρχία του σκυροδέματος, στην κατασκευή των τεχνικών υδρονομικών έργων, άρχισε από 1970, αλλά ακόμη και τότε συχνά τα φράγματα λιθεπενδύονταν.



**Σχήμα 1α,β.** Σχηματική απόδοση α) του μηχανισμού αποσάθρωσης και κατακερματισμού των πετρωμάτων και β) χαρακτηριστικών ολισθητικών φαινομένων.





γ



δ

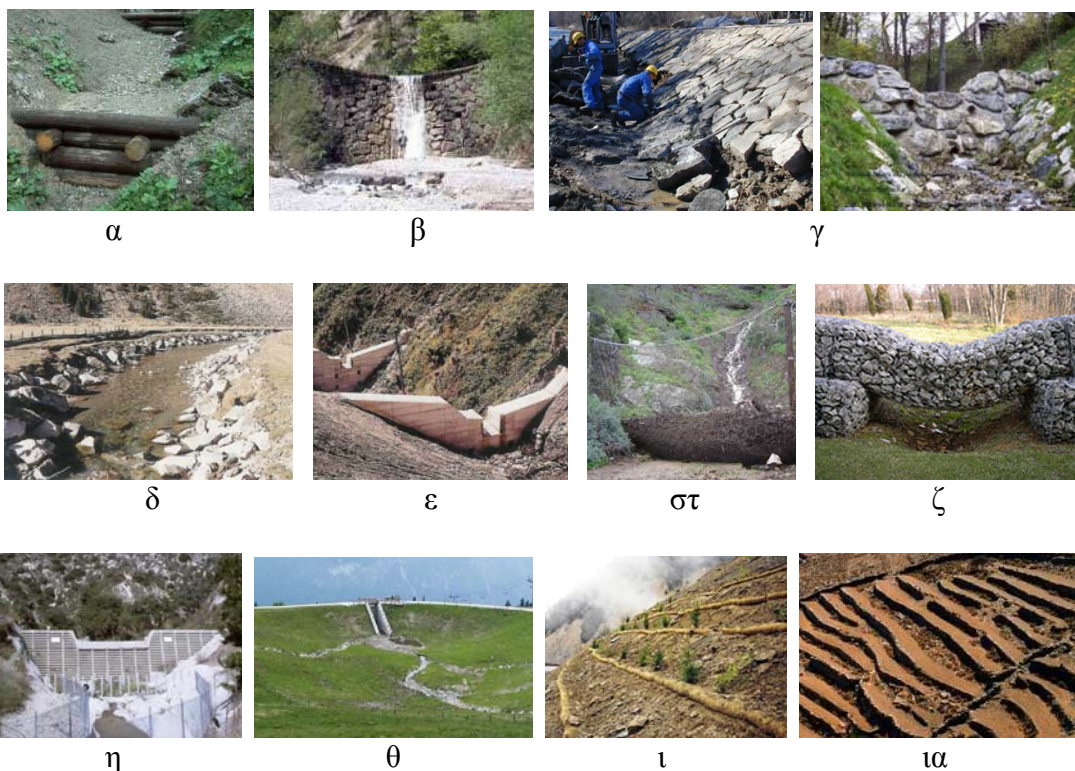
ε

**Εικόνα 1α,β,γ,δ.** Χαρακτηριστικές απόψεις δυσμενών χειμαρρικών φαινομένων. α) διαβρώσεις ( $\alpha_1$  = επιφανειακές,  $\alpha_2$  = πρηνικές,  $\alpha_3$  = αυλακωτές,  $\alpha_4$  = φαραγγωτές,  $\alpha_5$  = χαραδρωτικές), β) αποσαθρώσεις, γ) ολισθήσεις, δ) βραχοκατακρημνίσεις και ε) σύνθετα χειμαρρικά φαινόμενα.



**Εικόνα 2.** Χαρακτηριστικά πλημμυρικά συμβάντα του ελλαδικού χώρου (Παυλίδης 2012).

Στην Εικόνα 3 παρέχονται απόψεις έργων με διάφορα δομικά υλικά, με την επισήμανση της μέχρι το 1970 κυριαρχίας ως δομικού υλικού φυσικών υλικών (κυρίως πέτρας) στην κατασκευή των υδρονομικών έργων διευθέτησης. Τα υλικά των κατασκευών αυτών πέραν του κύριου στόχου τους (αποτροπή διαβρώσεων, αποσαθρώσεων, ολισθήσεων και πλημμυρικών φαινομένων), σε συνδυασμό με το υγρό στοιχείο, τις υδατοπτώσεις και τα χειμάρρια και παραχειμάρρια περιβάλλοντα (φαράγγια, χαράδρες, κ.λ.π), αναδείκνυαν και βελτίωναν το φυσικό περιβάλλον. Όπου δε οι λιθόδητες κατασκευές, ιδιαίτερα τα φράγματα, συνυπήρχαν με πέτρινα γεφύρια η συνύπαρξή τους προσέδιδε ένα ιδιαίτερο αισθητικό αποτέλεσμα, με την αρμονική εναλλαγή και συναρμογή των χρωμάτων του τοπίου και των φυσικών υλικών των κατασκευών αυτών, με αποτέλεσμα να συνιστούν πλέον ουσιώδη στοιχεία της αρχιτεκτονικής και πολιτιστικής μας κληρονομιάς.



**Εικόνα 3.** Απόψεις υδρονομικών έργων διευθέτησης: α) κορμοφράγμα, β) Ξηρολίθινο φράγμα, γ) Λιθόδημητες κατασκευές, δ) Λιθόστρωση πρανών, ε) φράγματα από σκυρόδεμα, στ) συρμάτινο φράγμα, ζ) συρματόπλεκτο φράγμα, η) Προκατασκευασμένο φράγμα, θ) χωμάτινο φράγμα, ι) στερέωση κλιτύων με κορδόνια από νεκρό ή ζων υλικό, ια) ξηρολίθινες βαθμίδες συγκράτησης εδαφών σε ελληνικά νησιά.

Στην παρούσα εργασία αναζητήθηκαν, καταγράφηκαν και αναδείχθηκαν τα δομικά, αρχιτεκτονικά, αισθητικά και περιβαλλοντικά στοιχεία τυπικών υδρονομικών έργων του ελλαδικού χώρου και αξιολογήθηκε, στα πλαίσια της παρεχόμενης προστασίας η υδρονομική τους λειτουργία, η συμβολή, η προσαρμοστικότητα τους στο φυσικό περιβάλλον.

### Περιοχή, μέθοδοι, υλικά έρευνας

Η έρευνα διεξήχθη σε χειμάρρους, όπου υπήρχαν πληροφορίες υλοποιηθέντων από τη Δασική Υπηρεσία υδρονομικών έργων. Η έρευνα πέραν του ρόλου, της αξίας, της σημασίας και της αποτελεσματικότητας των έργων διευθέτησης, προχώρησε στην αναζήτηση και στην αξιολόγηση της αισθητικής και περιβαλλοντικής προσαρμογής τους και της συμβολής τους στην ανέλιξη του φυσικού, αλλά και του ανθρωπογενούς περιβάλλοντος.

### Αποτελέσματα, κρίσεις, συμπεράσματα

Κατά την αναζήτηση των έργων διευθέτησης ανευρέθηκαν και καταγράφηκαν χαρακτηριστικά υδρονομικά έργα διευθέτησης (επιφάνεια, κοίτες). Χαρακτηριστικά έργα διευθέτησης κοιτών και λεκανών απορροής χειμάρρων παρέχουν οι Εικόνες 4α,β,

έως 15 στις οποίες καταγράφεται και αναδεικνύεται ο ρόλος και οι επιπτώσεις αντιπροσωπευτικών έργων διευθέτησης κοιτών και λεκανών χειμάρρων.

Στην Εικόνα 4α,β παρέχεται η επίτευξη απόλυτης αντιδιαβρωτικής προστασίας των εδαφών, με πλήρη επανεγκατάσταση - κάλυψη γυμνής επιφάνειας με βλάστηση και παράλληλη βιοοικολογική και αισθητική ανέλιξη του φυσικού περιβάλλοντος.

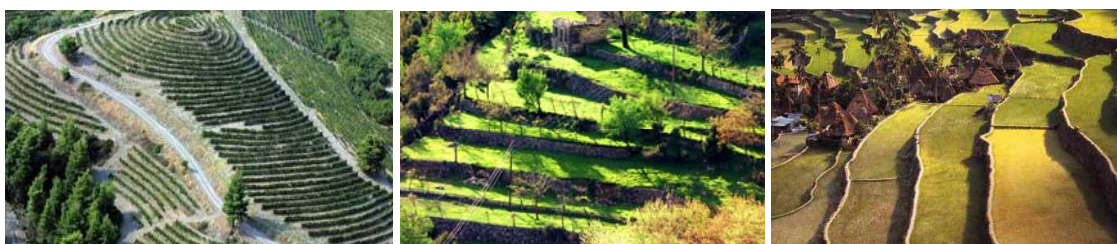


α

β

**Εικόνα 4α,β.** Σταθεροποίηση – αναβλάστηση – αποκατάσταση διαταραγμένων εδαφών α) με σπορά και κορμοσειρές προστασίας και β) με διαμόρφωση-σπορά-επαναδημιουργία βλάστησης σε απόλυτα γυμνά διαβρωμένα εδαφικά πρανή.

Η Εικόνα 5 παρέχει ενδεικτικές απόψεις ξηρολίθινων αναβαθμίδων (Ξηρολιθιές ή Πεζούλες ή Άνδηρα ή Αιμασιές ή Βασταοί ή Τράφοι, κ.λ.π.) συγκράτησης των εδαφών και αύξησης του βαθμού διήθησης σε ελληνικά νησιά, ώστε να καταστούν γεωργικά εκμεταλλεύσιμα (Παυλίδης κ.ά. 2012α, Πετανίδου 2001). Οι βαθμίδες είναι έργα εντασσόμενα στα φυτοτεχνικά και αγροτεχνικά συστήματα διευθέτησης χειμάρρων, που οι πέραν του αντιδιαβρωτικού και αντιπλημμυρικού τους χαρακτήρα και της βελτίωσης των περιβαλλοντικών συνθηκών, αποτελούσαν τα βασικά έργα επιβίωσης του ντόπιου πληθυσμού, δημιουργώντας συνθήκες ανάπτυξης της γεωργίας και κτηνοτροφίας στα σκελετωμένα εδάφη των Κυκλάδων και όχι μόνο. Οι βαθμίδες με τη μείωση της επιφανειακής κλίσης και τη συναρμογή τους με έργα συλλογής της ομαλότερα κινούμενης απορροής διασφάλιζαν το αναγκαίο νερό επιβίωσης. Τονίζεται ότι το γαλάζιο της θάλασσας και το βαθμιδωμένο με πεζούλες χερσαίο Κυκλαδίτικο τοπίο, που καθορίστηκε και καθορίζεται από την αρμονική σύζευξη της ξηρολιθιάς με τη θάλασσα, μένουν ανεξίτηλα χαραγμένα στη μνήμη του επισκέπτη των νήσων αυτών.



**Εικόνα 5.** Αντιμετώπιση της διάβρωσης των εδαφών και ομαλοποίηση – διήθηση – συγκράτηση του νερού με βαθμίδες σε νησιά του Αιγαίου, οι πεζούλες, βρίσκονται σε αρμονική συνύπαρξη με τη θάλασσα καθορίζουν αρμονικά και καταλυτικά το Κυκλαδίτικο τοπίο του οποίου αποτελούν σημείο αναφοράς.

Στην Εικόνα 6 δίνονται απόψεις των εντυπωσιακών αναβαθμίδων στερέωσης – συγκράτησης των εδαφών και του νερού για τις καλλιέργειες στην περιοχή του

Γιουανγιάνγκ (ΝΔ Κίνα). Οι βαθμίδες αυτές, όπως και σε πολλές άλλες περιοχές της ΝΑ Ασίας, των Φιλιππίνων, του Περού και άλλων περιοχών της γης αποτελούν απτή απόδειξη ότι υπάρχουν ανθρώπινες επεμβάσεις που όχι μόνο δεν σκυλεύουν το φυσικό περιβάλλον αλλά απεναντίας το φθάνουν σε πολύ υψηλά επίπεδα αισθητικής, επιτυγχάνοντας παράλληλη την αιεφόρο απόληξη αγαθών χωρίς υποβάθμιση της παραγωγικής διαδικασίας.



**Εικόνα 6.** Απόψεις των εντυπωσιακών αναβαθμίδων στερέωσης – συγκράτησης των εδαφών και του νερού για καλλιέργεια στην περιοχή του Γιουανγιάνγκ (ΝΔ Κίνα).

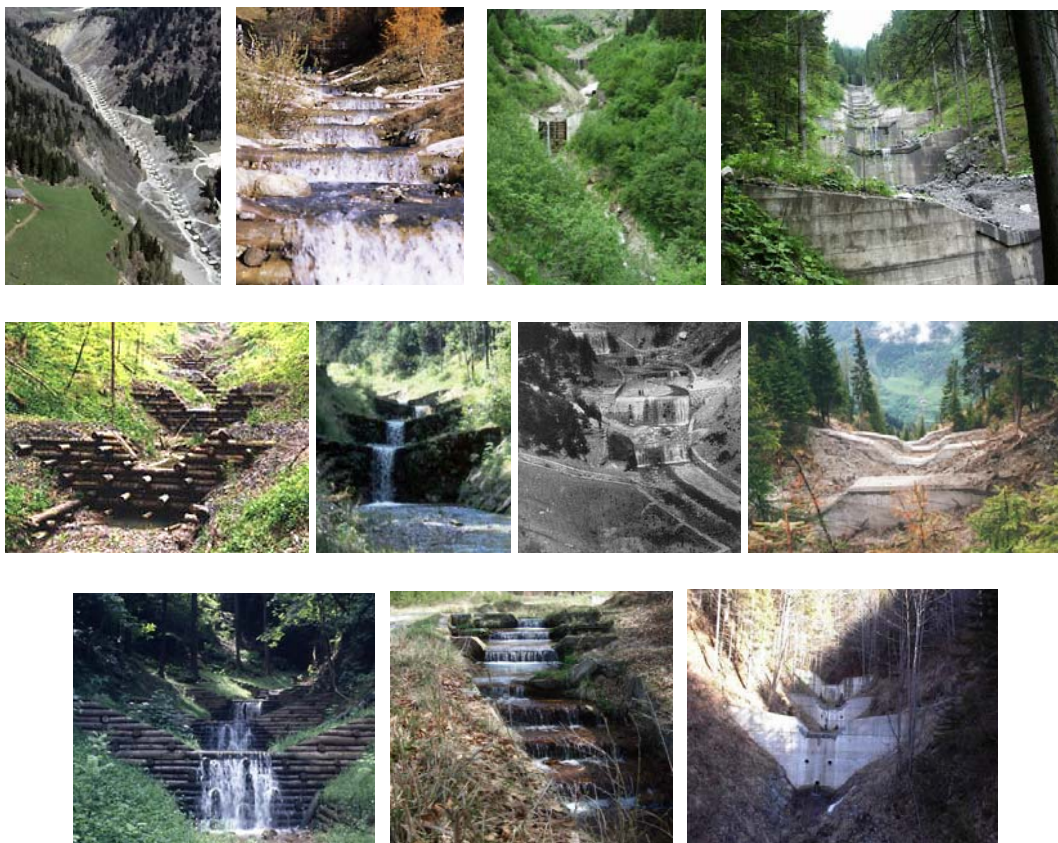
Στην Εικόνα 7 παρέχονται χαρακτηριστικές απόψεις έργων αποτροπής των αξονικών διαβρώσεων των κοιτών των χειμάρρων. Στις Εικόνες αυτές παρέχεται ανάγλυφα η επίτευξη των ακόλουθων στόχων (Κωτούλας 2001):

- Η παροχή αντιδιαβρωτικής και κατεπέκταση αντιπλημμυρικής προστασίας.
- Η περιβαλλοντική υπεροχή των υλοποιηθέντων με πλήρη ή με σχεδόν πλήρη χρήση ως δομικού υλικού φυσικών υλικών και ιδιαίτερα της πέτρας, του χώματος και του ξύλου.
- Η απόλυτη ένταξη των έργων στο τοπικό φυσικό περιβάλλον, το οποίο και αναδεικνύουν με την παρουσία τους και κυρίως με τη δημιουργία ευνοϊκών συνθηκών ανάπτυξης παρόχθιας χειμάρριας και παραχειμάρριας βλάστησης, αλλά και με το αισθητικό αποτέλεσμα απλών ή επάλληλων υδατοπτώσεων.

Στην Εικόνα 8 δίνονται απόψεις σειράς έργων αντιπλημμυρικής-αντιδιαβρωτικής προστασίας – διαμόρφωσης **της κοίτης και των πρανών πεδινών κοιτών χειμάρρων**, του συστήματος αποτροπής των αξονικών διαβρώσεων των κοιτών. Στην Εικόνα 8 αποτυπώνεται ανάγλυφα η επίτευξη των ακόλουθων στόχων:

- Η παροχή εγκοιτωμένης αντιδιαβρωτικής-αντιπλημμυρικής προστασίας με κατασκευή σειράς μηδενικού ύψους ή μέχρι ύψους 2,00 m φραγμάτων (ζωστήρες, ουδοί), με παράλληλη διαμόρφωση – εγκοίτωση των κοιτών.





**Εικόνα 7.** Απόψεις της εναρμόνισης και της βελτίωσης του φυσικού περιβάλλοντος με σειρά έργων στερέωσης των κοιτών και εγκοίτωσης της παροχής σε χειμάρρους. Διακρίνεται η επίτευξη αυξημένης περιβαλλοντικής αξίας χειμάρριων και παραχειμάρριων χώρων, καθώς και το αισθητικό αποτέλεσμα συνεχών μικρών υδατοπτώσεων.

- Η κάλυψη της κοίτης ή μεγάλου μέρους αυτής με φυσικά υλικά (κυρίως με μεγάλους λίθους, ή ογκόλιθους προστασίας και αύξησης της τραχύτητας και της επακόλουθης εναερίωσης (αυτοοξυγόνωσης) των κινούμενων υδάτων. Οι λίθοι τοποθετούνται είτε ελεύθεροι (χύδην) ή σπανιότερα πακτώνονται σε υπόθεμα σκυροδέματος θεμελίωσης μικρού πάχους. Συχνά διακόπτονται από σειρές ζωστήρων, ουδών, ή μικρών σιδηρών ή ξύλινων πασσάλων στερέωσης.
- Η πρανική προστασία επιτυγχάνεται με πλήρη κάλυψη των πρανών με χυτούς λίθους και ογκολίθους, ξυλοσειρές, ή συρματοκιβώτια προστασίας καλυμμένα με φυτά και πόες δημιουργώντας ένα ενιαίο αισθητικό - περιβαλλοντικό σύνολο την καλούμενη πράσινη διευθέτηση.
- Την περιβαλλοντική υπεροχή των υλοποιηθέντων με πλήρη ή με σχεδόν πλήρη χρήση, ως δομικού υλικού φυσικών υλικών και ιδιαίτερα της πέτρας του σεραζανέτ, του ξύλου και των φυτεύσεων.

Την απόλυτη εναρμόνιση και ένταξη των έργων στο περιβάλλον (φυσικό και υδάτινο), στο οποίο προσδίδουν νέα ποιοτικά και περιβαλλοντικά στοιχεία, το οποίο και αναδεικνύουν, καθιστώντας το περιβαλλοντικά επιθυμητό. Η λόγω των λίθων προστασίας της κοίτης και των πρανών, των ζωστήρων και των ουδών στερέωσης, αυξημένη τραχύτητα επιτρέπει τη βέλτιστη για πεδινές κοίτες αυτοοξυγόνωση του

νερού και ευνοϊκές συνθήκες βέλτιστης ανάπτυξης παρόχθιας χειμάρριας και παραχειμάρριας βλάστησης, Η όλη διαμόρφωση των πρανών επιτρέπει την κάλυψή τους με την εγκατάσταση φυτών της πράσινης καλούμενης διευθέτησης, η οποία και αποτελεί βασική επιδίωξη περιβαλλοντικής ανέλιξης των πεδινών κοιτών. Τα παραπάνω με την προσθήκη του αρμονικού αποτελέσματος μικρών συνεχών αισθητικών υδατοπτώσεων.



**Εικόνα 8.** Απόψεις διευθετημένων με ζωστήρες, ουδούς, λίθους και ξύλινες κατασκευές κοιτών και πρανών και την προσθήκη έργων πράσινης διευθέτησης σε πεδινές κοίτες.

Στη συνέχεια δίνονται εικόνες προσαρμοσμένων στο φυσικό περιβάλλον ειδικών υδρονομικών έργων διευθέτησης (κυρίως φραγμάτων πολλαπλών σκοπών). Στην Εικόνα 9α δίνονται εντυπωσιακά φράγματα δημιουργίας μικρών ορεινών λιμνών στα πλαίσια ελέγχου και αναδιανομής των πλημμυροφορτίων πολύ ορεινών Αλπικών χειμάρρων. Διακρίνεται η εντυπωσιακή προσαρμογή των φραγμάτων στο χώρο και η παρουσία του γαλάζιου του νερού των ταμιευτήρων που προσδίδει στο Αλπικό τοπίο μια πρόσθετη έντονη αισθητική πινελιά. Επισημαίνεται ότι πέραν της αισθητικής και της προστατευτικής αξίας των μικρών αυτών πολύ ορεινών φραγμάτων-ταμιευτήρων, οι λιμναίοι αυτοί χώροι αποτελούν είτε άμεσα είτε έμμεσα (διέλευση πτηνοπανίδας, παροχή νερού στις κατάντη περιοχές τη θερμή ξηρή περίοδο) εξαιρετικά εργαλεία βελτίωσης του φυσικού περιβάλλοντος και δημιουργίας επάλληλων υγροτόπων, Έργα αυτού ή παρεμφερούς χαρακτήρα ή επιβάλλεται να γίνονται στους ορεινούς και πολύ ορεινούς χειμάρρους της χώρας μας, στα πλαίσια της διευθέτησης των χειμάρρων, αλλά και στα πλαίσια κάλυψης υδατικών αναγκών του λείψυδρου ορεινού ελλαδικού χώρου και

της ανάδειξης και βελτίωσης υποβαθμισμένων χειμαρρικών περιβαλλόντων και όχι μόνο. Στην Εικόνα 9β παρέχεται άποψη του υδρευτικού φράγματος Μόρνας, από το οποίο υδροδοτείται η ΒΔ, Β και ΒΑ Πιερία (περίπου το 59% του νομού Πιερίας). Διακρίνεται η ισχυρή προσαρμογή του φράγματος - ταμιευτήρα στο περιβάλλον και η βελτίωση του, από την παρουσία του υγρού στοιχείου, που του προσδίδει ένα εξαιρετικά ποιοτικό περιβαλλοντικό στοιχείο.



α



β

**Εικόνα 9α,β.** α) Απόψεις των εντυπωσιακών μικρών ορεινών φραγμάτων δημιουργίας μικρών εκτονωτικών αναδιανεμητικών λιμνών των πολύ ορεινών χειμάρρων των Άλπεων και β) του έντονα προσαρμοσμένου στο φυσικό περιβάλλον της περιοχής υδρευτικού φράγματος Μόρνας (έργο της Δασικής Υπηρεσίας).

Η Εικόνα 10α,β,γ,δ,ε παρέχει χαρακτηριστικές απόψεις υδρονομικών έργων διευθέτησης (κυρίως φραγμάτων), του ελλαδικού χώρου τα οποία είτε σχεδιάστηκαν και εμπλουτίστηκαν με πρόσθετα περιβαλλοντικά και λειτουργικά στοιχεία, είτε τα απέκτησαν μέσω της σταθεροποίησης των κοιτών που παρείχαν. Χαρακτηριστικό του συνόλου των έργων αυτών, πέραν του κύριου προστατευτικού σκοπού τους, είναι η αρμονική ένταξη και προσαρμογή τους στο τοπικό φυσικό και υδάτινο περιβάλλον το οποίο αναβαθμίζουν δημιουργώντας μια σημαντική περιβαλλοντική πολιτιστική κληρονομιά με έντονα ποιοτικά και αισθητικά στοιχεία.

Στα έργα της Εικόνας 10α αποτυπώνεται η πλήρης εναρμόνιση τους με το φυσικό περιβάλλον, με την κίνηση του νερού των αισθητικών υδατοπτώσεων, που μεγιστοποιεί την εναερίωση και τον αυτοκαθαρισμό του από οργανικούς ρύπους. Στην Εικόνα 10β δίνεται η απόλυτη εναρμόνιση της πέτρας ως υλικού κατασκευής (ξηρολιθιά, δομημένη, επενδεδυμένη) με τον περιβάλλοντα χώρο.

Στην Εικόνα 10γ δίνονται φράγματα ευρισκόμενα σε απόλυτη αρμονία με το φυσικό και υδάτινο περιβάλλον, αλλά και με ανθρώπινες κατασκευές, όπως πέτρινα γεφύρια.

Στην Εικόνα 10δ δίνεται η έντονη περιβαλλοντική ανέλιξη του χειμάρριου και παραχειμάρριου περιβάλλοντος λόγω της δημιουργίας βελτιωμένων βιοοικολογικών και περιβαλλοντικών συνθηκών από την προστατευτική λειτουργία φραγμάτων.

Τέλος στην Εικόνα 10ε παρέχονται απόψεις της διαμόρφωσης των εκχειλιστών φραγμάτων, που πέραν του κύριου σκοπού τους, διαμορφώνονται με τρόπο που να επιτρέπουν την προς τα ανάντη κίνηση των ιχθύων.

Ενδεικτικά της προσαρμογής των υδρονομικών έργων διευθέτησης στο τοπικό, υδατικό και πολιτιστικό περιβάλλον κατασκευής παρέχουν οι Εικόνες 11α,β και 10α,β,γ,δ. Στην Εικόνα 11α δίνονται απόψεις της πανέμορφης χειμάρριας και παραχειμάρριας ζώνης του χειμάρρου Κρουσοβίτη Σιδηροκάστρου (Παυλίδης 2012) και η απόλυτη ενσωμάτωση στο φυσικό περιβάλλον σειράς φραγμάτων της Δασικής

Υπηρεσίας. Το φράγμα της Εικόνας 11α όχι μόνο δεν αλλοιώνει την ομορφιά του χειμαρρικού τοπίου αλλά την αναβαθμίζει σε ύψιστο βαθμό οδηγώντας στο συμπέρασμα **ότι τα υδρονομικά έργα αποτελούν και πρέπει να αποτελούν καταπληκτικά εργαλεία βελτίωσης, ανάδειξης και προβολής των χειμάρριων και παραχειμάρριων τοπίων και περιβαλλόντων.**



α



β

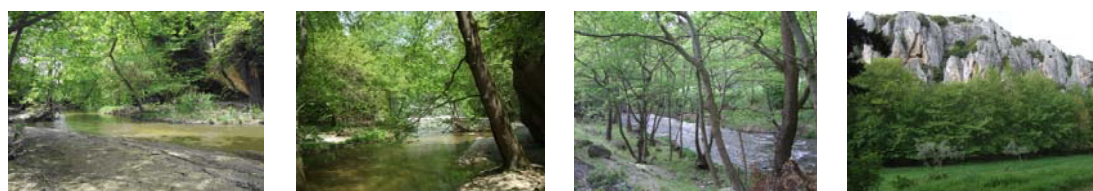
γ



δ

ε

**Εικόνα 10α,β,γ,δ,ε.** Απόψεις της προσαρμογής και ένταξης των τεχνικών υδρονομικών έργων στο τοπικό φυσικό και υδάτινο περιβάλλον.



α



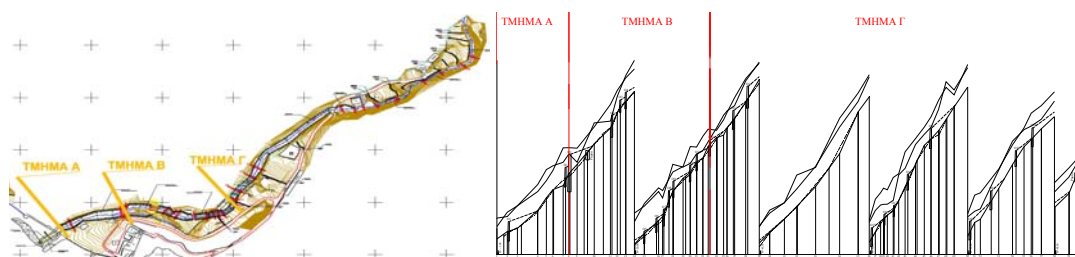
β

**Εικόνα 11α,β.** Άνω: Το πανέμορφο χειμάρριο - παραχειμάρριο περιβάλλον του Κρουσοβίτη Κάτω: Η πλήρης εναρμόνιση του φράγματος συγκράτησης φερτών υλών με το υδάτινο, χειμάρριο και παραχειμάρριο περιβάλλον, το οποίο και αναδεικνύει.

Η Εικόνα 12 παρέχει απόψεις των πλημμυρικών καταστροφών του χειμάρρου Αεροπόταμου Αγίου Διονυσίου Αγίου Όρους και το Σχήμα 2α,β το σχέδιο διευθέτησης του, με τα προτεινόμενα έργα σε κάτοψη και μηκοτομή. Στην Εικόνα 12α,β δίνονται πανοραμικές απόψεις του συνόλου των υλοποιηθέντων έργων, καθώς και της διαμόρφωσης – επέκτασης της εκβολής του χειμάρρου με λειτουργική και αισθητική διαμόρφωση του μικρού λιμανιού (αρσανά) και των υλοποιηθέντων έργων του συστήματος διευθέτησης. Στην Εικόνα 12 δίνονται χαρακτηριστικές απόψεις των πλημμυρικών καταστροφών του προκάλεσε ο χειμάρρος Αεροπόταμος, στο Σχήμα 3α,β δίνεται το σχέδιο χειμάρρου Αεροπόταμου με τα προτεινόμενα έργα σε κάτοψη και μηκοτομή και στην Εικόνα 13α,β πανοραμική άποψη τμήματος των υλοποιηθέντων έργων και των έργων του συστήματος διευθέτησης και διαμόρφωσης της κοίτης εκβολής του χειμάρρου και του μικρού αρσανά της Μονής.



**Εικόνα 12.** Χαρακτηριστικές απόψεις πλημμυρικών καταστροφών του χειμάρρου Αεροπόταμος Ι. Μ. Αγίου Διονυσίου Αγίου Όρους.



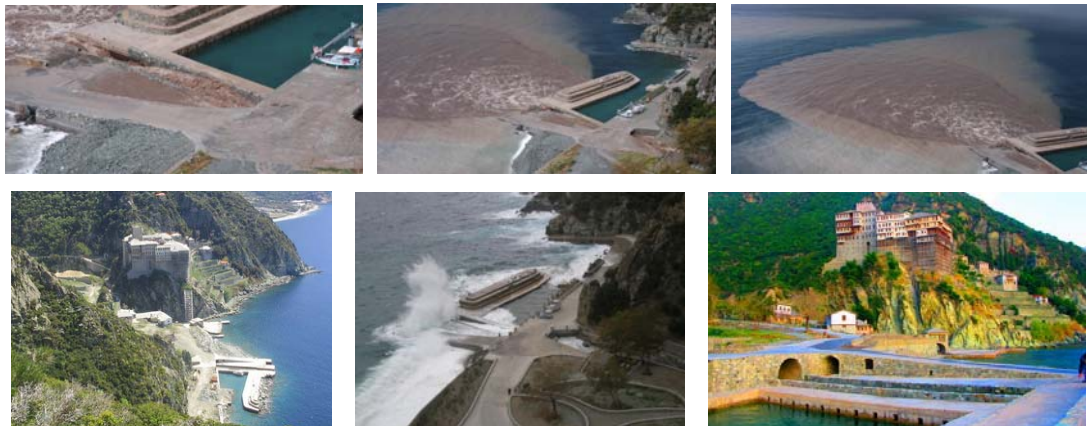
**Σχήμα 2α,β.** Τα προτεινόμενα έργα του συστήματος διευθέτησης του χειμάρρου Αεροπόταμου της Ι. Μ. Αγίου Διονυσίου Αγίου Όρους α) κάτοψη και β) μηκοτομή της κεντρικής κοίτης.



**Εικόνα 13α,β.** α) Απόψεις του συνόλου των έργων του συστήματος διευθέτησης του χειμάρρου Αεροπόταμος της Ι. Μ. Αγίου Διονυσίου Αγίου Όρους (Σχ. 2, Παυλίδης 2012β). Στη διευθέτηση εντάσσεται το σύνολο των εντός και εκτός κοίτης έργων και β) άποψη μέρους των έργων σε πλημμυρική λειτουργία, μετά την κατασκευή του συνόλου των έργων διευθέτησης.

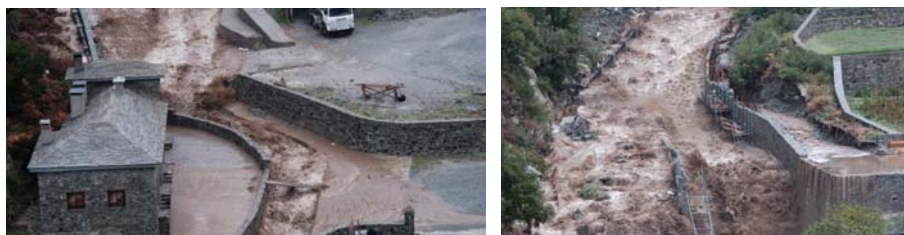


α



β

**Εικόνα 14α,β.** α) Χαρακτηριστικές απόψεις του εντυπωσιακού και πρωτοπορειακού ειδικού φράγματος συγκράτησης φερτών υλών, ενταγμένου στο συνολικό σύστημα διευθέτησης του χειμάρρου Αεροπόταμος της Ι. Μ. Αγίου Διονυσίου Αγίου Όρους, φράγματος έντονα προσαρμοσμένου στο φυσικό περιβάλλον της Μονής, (Παυλίδης 2012) β) χαρακτηριστικές απόψεις της προσαρμογής, προώθησης, επέκτασης της εκβολής του χειμάρρου Αεροπόταμος εντός του θαλάσσιου χώρου, ώστε να αποφεύγεται η πρόσχωση του με λασπορροές.



**Εικόνα 15.** Χαρακτηριστική άποψη της λασπορροής του χειμάρρου Αεροπόταμος.

### **Βιβλιογραφία**

- Βάρρας, Γ., Παυλίδης, Θ., Γκανάτσιος, Χ., Τσιρογιάννης, Ι.Λ. και Φραντζή, Α. (2007). Η χρήση της ξηρολιθιάς ως δομικού υλικού κατασκευών.
- Βάρρας, Γ., Παυλίδης, Θ., Γκανάτσιος, Χ., Κάλφα, Α., Παπαθανασίου, Β. και Στεργίου, Α. (2012α). Αξιολόγηση της ενσωμάτωσης των πέτρινων τοξωτών γεφυριών του ελλαδικού χώρου στο φυσικό περιβάλλον.
- Κωτούλας, Δ. (2001). Ορεινή Υδρονομική. Τόμος Πα: Τα ρέοντα ύδατα. Θεσσαλονίκη.
- Κωτούλας, Δ. (2001). Ορεινή Υδρονομική. Τόμος Πβ: Υδρονομικά Έργα. Θεσσαλονίκη.
- Παυλίδης, Β. (2012). Περιβαλλοντικές επιπτώσεις χειμάρρων αστικοποιημένων παραθαλάσσιων περιοχών (το παράδειγμα του χειμάρρου Φούρκας). Διπλωματική Διατριβή. Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών. Α.Π.Θ.
- Παυλίδης, Θ., Βάρρας, Γ., Γκανάτσιος, Χ., Κάλφα, Α., Κουκλάδας, Σ., Τσεμπερίδης, Κ. και Στεργίου, Α. (2012α). Η συμβολή των ξηρολίθινων αναβαθμών στο φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον και στην υδρονομική λειτουργία του ελλαδικού χώρου.
- Παυλίδης, Θ., Γκανάτσιος, Χ. και Κάλφα, Α. (2012β). Αρχές, σύστημα και έργα διευθέτησης του χειμάρρου «Αεροπόταμος» Αγίου όρους.
- Πετανίδου, Θ. (2001). Ο ρόλος των αναβαθμίδων στο παρελθόν και η σημασία τους για το μέλλον των νησιών σε σχέση με την οικονομία, την οικολογία και τον πολιτισμό, τομ. 1-2, αδημοσίευτη Τεχνική Έκθεση προς το Υπουργείο Αιγαίου, Μυτιλήνη.





## **Η ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΩΝ ΞΗΡΟΛΙΘΙΝΩΝ ΑΝΑΒΑΘΜΩΝ ΣΤΟ ΦΥΣΙΚΟ ΚΑΙ ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΕΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΥΔΡΟΝΟΜΙΚΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΕΛΛΑΔΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ**

### **Γρηγόρης Βάρρας**

Επίκουρος Καθηγητής, Τ.Ε.Ι. Ηπείρου  
Εργαστήριο Ανθοκομίας και Αρχιτεκτονικής Τοπίου  
e-mail: [grvarras@gmail.com](mailto:grvarras@gmail.com)

### **Χαρίσιος Γκανάτσιος**

Δρ. Δασολόγος – Υδρολόγος Ι.Δ.Α.Χ, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης  
Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος  
Εργαστήριο Διευθέτησης Ορεινών Υδάτων  
e-mail: [cganats@for.auth.gr](mailto:cganats@for.auth.gr)

### **Αικατερίνη Κάλφα**

Msc Δασολόγος – Περιβαλλοντολόγος, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης  
Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος  
Εργαστήριο Διευθέτησης Ορεινών Υδάτων  
e-mail: [katekalfa@for.auth.gr](mailto:katekalfa@for.auth.gr)

### **Θεοφάνης Παυλίδης**

Επίκουρος Καθηγητής, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης  
Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος  
Εργαστήριο Διευθέτησης Ορεινών Υδάτων  
e-mail: [pavlth@for.auth.gr](mailto:pavlth@for.auth.gr)

## **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Αναβαθμοί ή αναβαθμίδες, ή πεζούλες είναι απλοί ξηρολίθινοι τοίχοι, που επιδιώκουν, μέσω της μείωσης των κλίσεων του εδάφους, την αποτροπή της εδαφικής διάβρωσης και τη βελτίωση της εδαφικής υγρασίας, με σκοπό τη διατήρηση, επέκταση και δημιουργία καλλιεργήσιμης γης. Η κατασκευή τους γινόταν σχεδόν αποκλειστικά με αργούς λίθους χωρίς συνδετικό υλικό, μια τεχνική με παγκόσμια εφαρμογή. Οι ξηρολίθινες πεζούλες αποτελούσαν και αποτελούν κυρίαρχο συστατικό ελλαδικού φυσικού περιβάλλοντος, ιδιαίτερα των νήσων των Κυκλάδων. Ξηρολίθινες βαθμίδες απαντώνται κυρίως σε περιοχές με έντονα προβλήματα θερινής λειψυδρίας, σε διαβρωμένα, αδύναμα και γενικά ακατάλληλα, να καλλιεργηθούν εδάφη, αλλά και σε βαθειά επικλινή εδάφη με έντονα προβλήματα επιφανειακών και αυλακωτών διαβρώσεων. Συχνά οι ξηρολιθιές είχαν και ρόλο οριοθέτησης ιδιοκτησιών. Σήμερα οι ξηρολιθιές έχουν αφεθεί στη μοίρα τους και κινδυνεύουν να καταστραφούν. Το να μην αφήσουμε να χαθούν αυτά τα πολιτιστικά αγροτεχνουργήματα του μοχθούντος ανθρώπου, που του επέτρεψαν να ζήσει και να μεγαλουργήσει στο χώρο αυτό, δεν αποτελεί σπονδή στη διατήρηση της παράδοσης και της πολιτιστικής μας κληρονομιάς,

αλλά είναι μέγιστη έκφραση πολιτισμού. Τονίζουμε ότι όση αξία έχει ένας αρχαίος ή νεότερος ναός, μια αρχαία κατοικία, κ.λ.π., άλλο τόση αξία έχουν και οι ξηρολιθιές αυτά τα σπουδαία μνημεία της αγροτικής μας ιστορίας. Στην παρούσα εργασία αναδεικνύονται τα αγροτεχνικά, αρχιτεκτονικά, κατασκευαστικά, υδρολογικά-υδρονομικά κ.λ.π. χαρακτηριστικά των ξηρολιθινών βαθμιδώσεων του ελλαδικού με επικέντρωση στις ξηρολιθιές των νήσων των άνυδρων Κυκλάδων.

**Λέξεις κλειδιά:** *Ξηρολιθιές, Αναβαθμίδες, Πεζούλες, Άνδηρα, Αιμασιές, Βασταοί, Τράφοι.*

## **Γενικά, εισαγωγή**

Ο άνθρωπος στο πέρασμα του χρόνου, άφησε ανεξίτηλα τα σημάδια της πορείας και του τρόπου ζωής του, κληρονομώντας μας εντυπωσιακές κατασκευές. Στην ορεινή ημιορεινή Ελλάδα, η εξεύρεση αγροτικής γης, λόγω της στενότητας της καλλιεργήσιμης γης και των υδατικών πόρων, καθώς και η ανάγκη διατήρησης υφιστάμενων εδαφών υποκειμένων σε διάβρωση, αποτελούσε αδήριτη ανάγκη. Η ανάγκη αυτή οδήγησε στην αναζήτηση και τη δημιουργία αγροτικής γης ικανής να θρέψει τον πληθυσμό. Ο άνθρωπος, ως τέκνο της επιβίωσής του δάμασε, με απλούς ξηρολιθινούς τοίχους, κακοτράχαλες, επικλινείς, απρόσιτες κλιτύες, δημιουργώντας κλιμακωτές οριζόντιες λωρίδες (βαθμίδες) γόνιμης γης, μετατρέποντας άγονα εδάφη σε καλλιεργήσιμες εκτάσεις. Στην προσπάθεια παραγωγής των αναγκαίων για την επιβίωσή του αγαθών, σε δύσκολες περιοχές, όπως η Αιγαιακή νησιώτικη Ελλάδα, είναι χαρακτηριστική η προσπάθεια του να μην αφήσει σπιθαμή ανεκμετάλλευτης γης, προσδίνοντας ένα ιδιαίτερο χρώμα στα ελληνικά νησιά.

Η δημιουργία, στις ευκολοδιάβρωτες και έντονα επικλινείς κλιτύες του ελλαδικού χώρου, επαρκούς και κατάλληλης, για τη διατροφή του πληθυσμού αγροτικής γης, ήταν δυνατή μόνο με την κατασκευή ξηρολιθινών τοίχων στήριξης των πολύτιμων εδαφών (Εικ. 1).

Η συγκράτηση του χώματος, που επέτρεπε την ανάπτυξη της γεωργίας σε τελείως γυμνές, πετρώδεις, ή άγονες εκτάσεις, όπου φύτευαν μόνο φρύγανα και αγκάθια. Με τη βαθμίδωση του εδάφους δημιουργήθηκαν προϋποθέσεις καλλιεργειών σε αφιλόξενα εδάφη, όπου καλλιεργούσαν σιτάρι, όσπρια, ελιές, αμπέλια, συκιάς, ξηρικά κηπευτικά (ντοματάκια, μελιτζάνες, φασολάκια, κολοκύθια, κ.λ.π.).

- Η μείωση της κλίσης και η αύξηση της εδαφικής μάζας και του εδαφικού πορώδους επιτύγχανε ταυτόχρονα τη μείωση ή την εξάλειψη της διάβρωσης, τη διατήρηση του πολύτιμου χώματος, την ομαλοποίηση της απορροής και την αυξημένη διήθηση του νερού. Η αυξημένη διήθηση και η ελεγχόμενη απορροή αποτελούσαν τον τροφοδότη αναπλήρωσης των χρησιμοποιούμενων υδατικών πόρων (πηγές, πηγάδια), η δε αύξηση της εδαφικής υγρασίας των βαθμιδωμένων αγρών επέτρεπε την ανάπτυξη όλων σχεδόν των αναγκαίων, για τη διατροφή του πληθυσμού καλλιεργειών.

- Η δημιουργία τοπικών μικροκλιμάτων τα οποία αποτελούσαν και αποτελούν καταφύγια της άγριας ζωής. Στους προστατευόμενους από τον άμεσο θερινό ήλιο κοιλωματικούς βιότοπους των ξηρολιθινών διαβιούν είδη σαύρας, φίδια, σαλιγκάρια κ.λ.π., ενώ στις σχισμές τους περνούν τη χειμερία νάρκη και συντελούνται τα στάδια μεταμόρφωσης πλήθους εντόμων, οι αράχνες βρίσκουν τροφή, ενώ στις μεγαλύτερες κοιλότητες ζουν σκαντζόχοιροι, τρωκτικά, πουλιά κ.λ.π.

- Στις ξηρολιθιές ο άνθρωπος κατασκεύασε τις καλούμενες μελισσοθυρίδες ή μελισσότρυπες, που συνέβαλαν στην ανάπτυξη της τοπικής μελισσοτροφίας. Πρόκειται

για δημιουργούμενα ανοίγματα (οπές), από δύο όρθιες και μία οριζόντια πέτρα οροφής, όπου οι μελισσοκόμοι τοποθετούσαν ειδικές θήκες. Όταν το βάθος της μελισσότρυπας ήταν μεγαλύτερο του πάχους της ξηρολιθιάς, τότε το πρόσθετο τμήμα της κυψέλης εισχωρούσε στο έδαφος. Στην υποδοχή τοποθετούσαν πήλινη κυψέλη, την οποία έκλειναν με πέτρα (Εικ. 2). Το ύψος τοποθέτησης των κυψελών καθορίζονταν έτσι ώστε να μην μπαίνει νερό ούτε να έχει πολλή ζέστη. Με τον τρόπο αυτό οι μελισσοκόμοι δημιουργούσαν, σε περιοχές υψηλών θερινών θερμοκρασιών, ευνοϊκές συνθήκες ανάπτυξης των μελισσών.

Αιώνες τώρα οι καλλιέργειες βαθμιδωμένων με ξηρολιθιές επικλινών ευδιάβρωτων εδαφών μετέτρεπαν άγονα εδάφη σε καλλιεργήσιμες εκτάσεις, συγκρατώντας το έδαφος και την εδαφική υγρασία καθιστώντας την κατοίκηση των περιοχών αυτών δυνατή. Σήμερα οι ξηρολίθινες βαθμίδες, τα μικρά αυτά αγροτεχνικά– αρχιτεκτονικά αριστουργήματα του ανθρώπινου μόχθου, το μέγιστο αυτό συστατικό της πολιτιστικής μας κληρονομιάς, που επέτρεψαν την ύπαρξη και την πολιτιστική εξέλιξη των περιοχών κατασκευής τους, έχουν εγκαταλειφθεί στην τύχη τους. Το να αποτρέψουμε να χαθούν τα μικρά αυτά πολιτιστικά αριστουργήματα, δεν αποτελεί απλά έκφραση σεβασμού στην πολιτιστική μας κληρονομιάς, αλλά χρέος μας στη διατήρηση και συνέχιση του φυσικού περιβάλλοντος του χθες και του σήμερα. Αυτό επειδή η εγκατάλειψη των ξηρολίθινων βαθμίδων οδηγεί, σε αυξημένη διάβρωση και μείωση των υδατικών διαθεσίμων, με ιδιαίτερα δυσμενείς επιπτώσεις στην εντατική γεωργία και στον τουρισμό, που απαιτούν αυξημένες ποσότητες νερού. Για τους λόγους αυτούς οι ξηρολιθιές πρέπει να επιβιώσουν, επειδή η παρουσία τους θα αυξήσει, βελτιώσει και θα διατηρήσει τοπικούς χαρακτηριστικούς βιοκοτόπους, συμβάλλοντας στη διατήρηση της βιοποικιλότητάς τους. Τα παραπάνω με την επισήμανση ότι η παρουσία των ξηρολίθινων βαθμίδων διαμορφώνει και χαρακτηρίζει καταλυτικά το τοπικό ανάγλυφο (Εικ. 3).



**Εικόνα 1.** Απόψεις ξηρολίθινων αναβαθμίδων.



**Εικόνα 2.** Αποψη μελισσοθυρών.

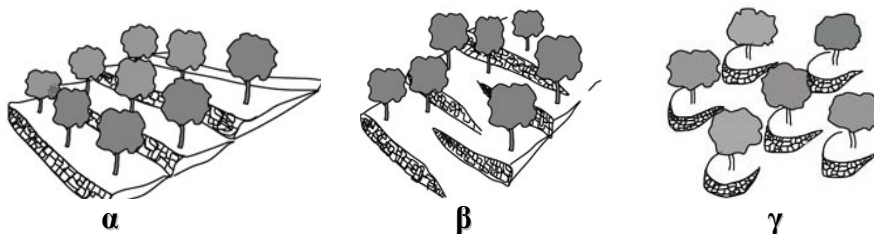


**Εικόνα 3.** Απόψεις της καταλυτικής επίδρασης των ξηρολίθινων βαθμίδων στο τοπικό ανάγλυφο.

## Χαρακτηριστικά, υλικά και τεχνικές κατασκευής των ξηρολιθιών

Η μορφή, ο τύπος και οι διαστάσεις των ξηρολιθιών σχετίζονταν με την επιδιωκόμενη μείωση της εδαφικής κλίσης, τις κλιματικές συνθήκες και τις ασκούμενες καλλιέργειες. Η κυρίαρχη διάταξη των ξηρολιθιών ήταν κατά τις ισοϋψείς, ή με ελαφρά απόκλιση από αυτές (Εικ. 4α). Στις σχηματιζόμενες με τη διάταξη αυτή βαθμίδες καλλιεργούνταν κυρίως ετήσιες καλλιέργειες σιτηρών, οσπρίων κ.λ.π. (Εικ. 4β). Άλλες μορφές ξηρολιθιών ήταν οι παράλληλες ή κλιμακωτές (Σχ. 1α, Εικ. 4γ), οι επάλληλες ή διάπλεκτες (Σχ. 1β, Εικ. 4δ), οι οποίες σχημάτιζαν βουστροειδείς διαδρόμους πρόσβασης σε ειδικά, ή στα υψηλά σημεία της βαθμίδας, οι ξηρολιθιές – θύλακες από ημισεληνοειδείς ξηρολιθιές, όπου καλλιεργούνταν δενδρώδεις καλλιέργειες, συνήθως ελιές, συχνά δε ένα μόνο δένδρο (Σχ. 1γ, Εικ. 4ε).

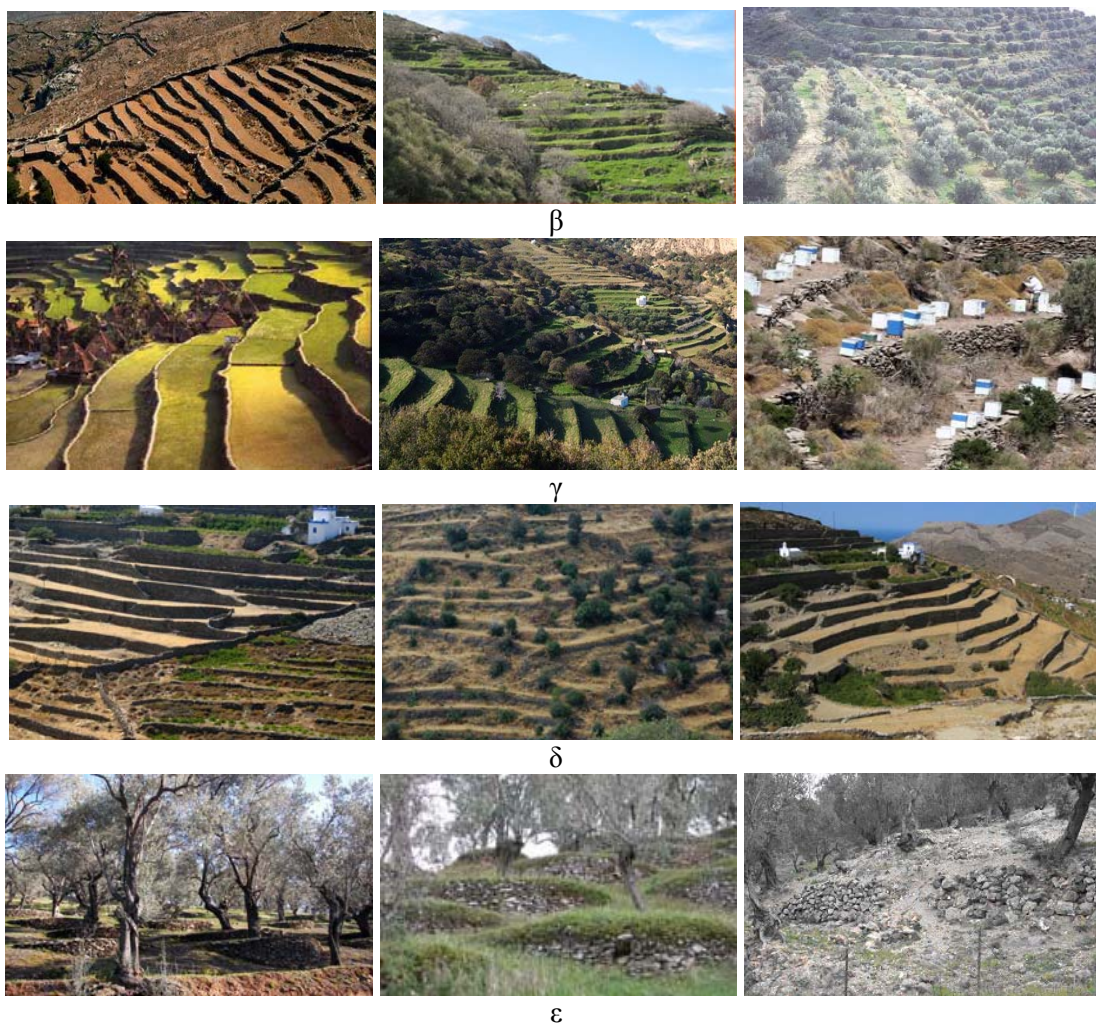
Η όλη εργασία μετατροπής άγονων – διαβρωμένων κεκλιμένων επιφανειών σε καλλιεργήσιμες αναβαθμίδες περιελάμβανε τις ακόλουθες εργασίες: εκχέρσωση, καθάρισμα από λίθους, κατασκευή της ξηρολιθιάς και ενίσχυση-προσθήκη εδάφους στη σχηματιζόμενη αναβαθμίδα. Η κατασκευή των βαθμίδων γίνονταν το χειμώνα, που ήταν μαλακό το χώμα έδρασης. Η επιλογή του χώρου ανάπτυξης, διαμόρφωσης και διάταξης- τοποθέτησης των ξηρολιθινών τοίχων, για τη δημιουργία των βαθμίδων καλλιέργειας γινόταν με βάση, την ένταση και τη διαβρωτική ισχύ των βροχοπτώσεων, τη θέση στο χώρο, την επιδιωκόμενη, για το είδος της καλλιέργειας, επιθυμητή κλίση του εδάφους και τέλος την ανάγκη ασφαλούς στράγγισης των νερών της βροχής, ώστε αυτά να οδηγούνται ασφαλώς και χωρίς προβλήματα στο εγγύτερο ρέμα. Όπου η προς το εγγύτερο ρέμα στράγγιση δεν ήταν άμεσα δυνατή, εκεί εγκάρσια πέτρινα αυλάκια, διέτρεχαν τη συνολική επιφάνεια των αναβαθμίδων, χωρίς να καταστρέφουν τις διατρεχόμενες καλλιέργειες, μέχρις ότου βρεθεί κατάλληλη διέξοδος διαφυγής προς ένα ρέμα. Ακολουθώντας, έμπηζαν στο έδαφος σε ευθεία γραμμή όρθια καλάμια ύψους 0,60 – 0,70m, όπου δενόταν το ζύγι του τοίχου της ξηρολιθιάς.



**Σχήμα 1α,β,γ.** Οι βασικοί τύποι αναβαθμίδων: α) παράλληλες, β) επάλληλες και γ) θύλακες.



α



**Εικόνα 4α,β,γ,δ,ε.** Αναβαθμίδες α) κατά τις ισοϋψείς, β) διαμόρφωση – ετοιμασία βαθμίδων για καλλιέργεια και καλλιέργεια ελιάς, γ) παράλληλες ή κλιμακωτές, δ) επάλληλες και ε) θύλακες.

Η διάνοιξη των θεμελίων γινόταν με κασμά και πτύο με την εκσκαφή να προχωρά με ομοιόμορφες στρώσεις τα καλούμενα πουκάμισα. Εδάφη με ισχυρή κλίση απαιτούσαν την εξαγωγή πολλών πουκάμισων. Η εκσκαφή επιδίωκε να φθάσει σε στέρεο έδαφος, κατά κανόνα βραχώδες, πράγμα συχνά δύσκολο. Όταν η εκσκαφή των στρώσεων δεν γινόταν με επιμελημένο τρόπο το έργο κινδύνευε, επειδή το έδαφος έπρεπε να παραλαμβάνει το βάρος του τοίχου της ξηρολιθιάς και του χώματος της βαθμίδας. Οι όποιες κακοτεχνίες είχαν αρνητικές επιπτώσεις στη διάβρωση, την υγρασία και επομένως στην απόδοση του χωραφιού και τη σταθερότητα του τοίχου της ξηρολιθιάς. Η βάση της ξηρολιθιάς διαμορφώνονταν επίπεδη με ελαφρά κλίση 3-7%, προς την κλιτύ της ανάντη βαθμίδας. Η βάση της ξηρολιθιάς είχε πάχος συνήθως 0,60 - 0,80m, το οποίο επέτρεπε τη χρήση μεγαλύτερων λίθων, χωρίς να απαιτείται περαιτέρω θραύση τους.

Η εργασία άρχιζε από τη βάση των κλιτύων, με την κατασκευή της πρώτης συλλεκτήριας αύλακας με μικρή, προς τα ανάντη, αρνητική κλίση, στο άκρο της οποίας θεμελιωνόταν η πρώτη ξηρολιθιά. Ακολούθως ένα μέτρο, πριν από την επόμενη ξηρολιθιά άνοιγαν συλλεκτήρια αύλακα, η οποία παραλάμβανε την απορρέουσα

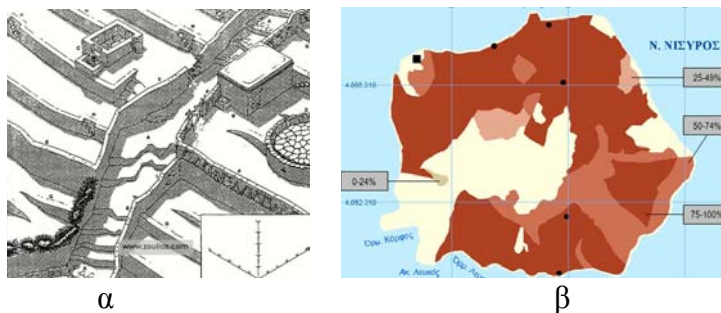
ποσότητα του νερού. Οι αύλακες αυτές, με ένα σύστημα πέτρινων μονοπατιών-καναλιών, οδηγούσαν το νερό σε διπλανά ρέματα, όπου μικρά επάλληλα χωματολίθινα φράγματα, από ξερολιθιά και πηλό, κρατούσαν το νερό των βροχών εμποδίζοντας τη γένεση ή τη γιγάντωση πλημμυρών. Τα παραπάνω έργα αποτελούσαν και αποτελούν, για τις ξηροθερμικές ελλαδικές περιοχές, υψίστης σημασίας υδρονομικά έργα, τα οποία δυστυχώς η ορεινή υδρονομική της Αυστριακής σχολής, που εκπαίδευσε τους πρώτους έλληνες δασολόγους, αγνόησε παντελώς. Για το λόγο αυτό θεωρούμε δάσκαλο της ορεινής υδρονομικής τον ανώνυμο έλληνα εργάτη των ξηρολίθινων αναβαθμίδων των συλλεκτήριων και των κατευθυντήριων αυλάκων και τάφρων, καθώς και των αποθηκευτικών μικρών φραγμάτων. Στην ουσία τους οι ξηρολιθιές, με τη χρήση της πέτρας και ευφυή ανθρώπινη επέμβαση, διαιωνίζουν την ουσιαστική ανακύκλωση του νερού και μεγιστοποιούν την προσαρμοσμένη και απόλυτα συμβατή με την παραγωγική διαδικασία του φυσικού περιβάλλοντος υδατική κάρπωση.

Το ύψος των ξηρολιθιών ήταν συνάρτηση της υφιστάμενης και κυρίως της επιδιωκόμενης να δημιουργηθεί εδαφικής κλίσης, το δε πλάτος της καθορίζονταν συνήθως στο 1/3 του ύψους. Καθοριστικό στοιχείο της γεωμετρίας των ξηρολιθιών, της επιφάνειας και του εύρους των βαθμίδων, ήταν οι απαιτήσεις των καλλιεργούμενων ειδών σε έδαφος και υγρασία, οι δυνατότητές τους να αντεπεξέρχονται ή να αποτρέπουν διαβρωτικά φαινόμενα και οι καλλιεργητικές συνθήκες. Έτσι βαθμίδες, που προοριζόταν για ευαίσθητες μονοετείς καλλιέργειες (κηπευτικά, λαχανικά, όσπρια κ.λ.π.), είχαν μικρές κλίσεις (< 5%). Αντίθετα βαθμίδες, προοριζόμενες για την καλλιέργεια της ελιάς, διαμορφώνονταν με κλίσεις ακόμη και 15-20%.

Τα προϊόντα εκσκαφής χρησιμοποιούνταν για το χτίσιμο της ξηρολιθιάς ή για την πλήρωση της αναβαθμίδας. Το υλικό κατασκευής της ξηρολιθιάς ήταν οι λίθοι εκκαθάρισης της περιοχής της αναβαθμίδας. Σπάνια χρησιμοποιούνταν λίθοι προερχόμενοι από τοπικά νταμάρια. Στην κατασκευή της ξηρολιθιάς χρησιμοποιούνταν οι μεγάλοι ογκώδεις λίθοι στα θεμέλια της ξηρολιθιάς, οι μεγάλοι πλατείς στη στέγη και στα στήματα και οι μικρότεροι ενδιάμεσα. Η μεταφορά των λίθων και του προστιθέμενου χρώματος ενίσχυσης του εδάφους των βαθμίδων γινόταν με μουλάρια. Οι καλύτερες και μακροβιότερες πεζούλες φτιάχνονταν από μάρμαρα και σκληρό επεξεργασμένο ασβεστόλιθο. Το χτίσιμο και η επιδιόρθωση της ξηρολιθιάς αποτελούσε μόνιμη αγροτική εργασία, όπως η άρωση, η σπορά, κ.λ.π. Σπάνια η κατασκευή τους γινόταν από τεχνίτες, ή από ομάδες γεωργών.

Η έκταση, που καταλάμβαναν οι ξηρολίθινες βαθμίδες στα νησιά του Αιγαίου, ήταν πολύ μεγάλη και διαμόρφωναν την αισθητική του τοπίου. Για παράδειγμα το 42-58% της έκτασης των νήσων του Ανατολικού Αιγαίου καταλάμβαναν οι ξηρολίθινες βαθμίδες, με εύρος εξάπλωσης μεταξύ 60-1200m. Στην Τήνο, δεν υπάρχει βουνό χωρίς τους δαντελωτούς πέτρινους σχηματισμούς, ενώ το 84% της ΒΔ Κέας καλύπτεται από πεζούλες, με αναφορά ότι προπολεμικά το 90% της καλλιεργήσιμης έκτασης ήταν αναβαθμίδες (Σχ. 2α). Στην Κέα απαντάται ο τύπος της χαμηλής φαρδειάς πεζούλας με διαμορφωμένα σκαλοπάτια κατά διαστήματα, ο οποίος χρησιμοποιήθηκε κυρίως σε περιοχές αμπελιών και σε ελαφρά κεκλιμένα εδάφη. Το ύψος των πεζουλών της Κέας κυμαινόταν μεταξύ 0,10-2,50 m, το δε πλάτος των σχηματιζόμενων-καλλιεργούμενων βαθμίδων σε 2-4 m. Στη Φολέγανδρο και στην Σίκινο (Σχ. 2β) οι πεζούλες κυριαρχούσαν παντού παράγοντας όλα τα βασικά είδη διατροφής, όπως σιτάρι, κριθάρι (για τις ανάγκες της ζυθοποιείας του Φιξ), κηπευτικά, λαχανικά, ζωοτροφές, όσπρια (ρεβύθια, φακές αμπελοφάσουλα), πατάτες, αμπέλια κρασί (η Σίκινο στην αρχαιότητα

λεγόταν Οινόη), ελιές, λάδι, (παλιά το νησί παρήγαγε πενήντα τόνους λάδι ενώ τώρα δεκαπέντε).



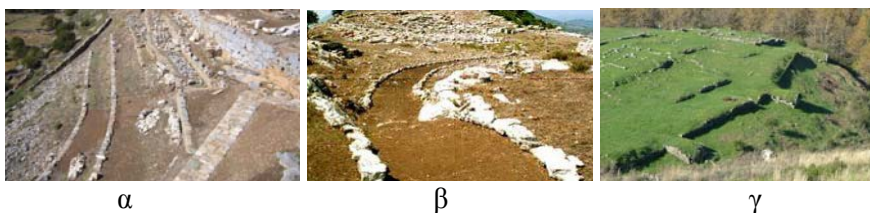
**Σχήμα 2α,β.** α) Τοπογραφική απεικόνιση των ξηρολίθινων επεμβάσεων (αναβαθμίδες, τοίχοι ιδιοκτησιών και μονοπατιών και βαθμίδων μονοπατιών στη Κέα (T.M. Whitelaw 1991) και β) απόδοση του ποσοστού συμμετοχής των ξηρολίθινων αναβαθμίδων σε περιοχές της Νισύρου.

Σε άνυδρα νησιά, όπως η Τήνος, η Σίκινος, η Κέα κ.λ.π. η φύτευση και η ανάπτυξη της συκιάς και της αμπέλου τα πρώτα χρόνια, μέχρι την ανάπτυξη ικανού ριζικού συστήματος, λόγω των δυσμενών κλιματικών συνθηκών ήταν πολύ δύσκολη. Για το λόγο αυτό έσκαβαν τις πέτρες, στη βάση των θεμελίων των ξηρολιθίων, δημιουργώντας κατάλληλα κοιλώματα (τις τακαδούρες) προσέθεταν χώμα, δημιουργώντας ευνοϊκές συνθήκες ανάπτυξης της αμπέλου και της συκιάς και φύτευαν τα μοσχεύματα της αμπέλου και της συκιάς. Στη συνέχεια, ασκώντας την αρχαία τεχνική υποβοήθησης των νέων φυταρίων, τοποθετούσαν κάθε χρόνο στη βάση της ξηρολιθιάς νέο χώμα.

Σήμερα οι ξηρολιθινές πεζούλες στα περισσότερα νησιά, με την ανάπτυξη του τουρισμού έχουν εγκαταληφθεί και κινδυνεύουν με ολική καταστροφή. Όμως ακόμα και τώρα σηματοδοτούν με την παρουσία τους το νησιώτικο τοπίο, ιδιαίτερα το Κυκλαδίτικο θυμίζοντάς μας τον ανθρώπινο ιδρώτα και μόχθο. Η καταγραφή-κατάσταση-περιγραφή των ξηρολιθίων (πεζουλών) γίνεται ως εξής:

- Ξηρολιθιές με διακριτά ίχνη τμημάτων της όλης κατασκευής.
- Ξηρολιθιές σχεδόν πλήρως κατεστραμμένες αλλά με παρουσία εμφανών τμημάτων.
- Ξηρολιθιές που έχουν υποστεί μερική καταστροφή.
- Ξηρολιθιές σε καλή κατάσταση.

Από αρχαιολογικές παρατηρήσεις προκύπτει ότι ο χρόνος και ο τρόπος κατασκευής των ξηρολιθίων χάνεται στα βάθη των αιώνων, όπως φαίνεται στις ακροπόλεις της Καρθαίας της Κέα (Εικ. 5α., Μενδώνη και Μαζαράκης-Αινιάν 1994), στην Πλατιάνα Ηλείας (Εικ. 5β, Σγουροπούλου 2007), στην Γιτάνη Θεσπρωτίας (Εικ. 5γ, Λάζου κ.ά. 2007), κ.λ.π.



**Εικόνα 5α,β,γ.** Απόψεις των ξηρολίθινων βαθμίδων στήριξης στις ακροπόλεις α) της Καρθαίας Κέας, β) της Πλατιάνας Ηλείας και γ) της Γιτάνης Θεσπρωτίας.

Οι ξηρολίθινες αναβαθμίδες ενώ γενήθηκαν, ως ανάγκη επιβίωσης, ανέδειξαν μέσα από την ανάγκη αυτή, μια αγροτική φιλοσοφία που μετέτρεψε τα έργα αυτά, από έργα επιβίωσης σε έργα πολιτισμού, που αποπνέουν μια εμπνευσμένη περιβαλλοντική ηθική, και μετατρέπουν άγονες περιοχές σε εργαστήρια ζωής και τέχνης. Όμως ενώ η φύση αποδέχθηκε και ακόμη περισσότερο σεβάστηκε τα έργα αυτά, εμείς οι απόγονοι-κληρονόμοι των κατασκευών αυτών τα εγκαταλείψαμε στην τύχη τους αγνοώντας ότι, ακόμη και χωρίς παραγωγική βάση, μας δίνουν πάρα πολλά ζητώντας μας ψίχουλα και περισσότερο αγάπη. Επισημαίνουμε ότι το έντονα διαμορφωμένο με ξηρολίθινες βαθμίδες Αιγαιακό τοπίο, με πέτρα, χωρίς συνδετικό υλικό δεν είναι μόνον αισθητικά εξαιρετικά αρμονικό, αλλά ήταν άρρηκτα δεμένο με τη ζωή των ανθρώπων και τον πολιτισμό τους. Η ισχυρή εξάρτηση των κατοίκων με το βαθμιδωμένο με ξηρολιθιές τοπίο, αποτυπώνεται στο ποικίλο τοπικό λεξιλόγιο των βαθμίδων (βαστάδια, βασταοί, σέτια, γύροι, δαμάκια, κλιμακωτά, λουριά, λούροι, μαντάλια, οξιές, οχθιές, παραλώματα, πεζούλες, σκάλες, σκαλιά, τάβλες, τοίχαλα, τράφοι, κ.λ.π).

Χαρακτηριστικό της γεωμετρίας των ξηρολιθιών είναι ότι βρίσκονται σε μια απόλυτα προσάδουσα στο φυσικό τοπίο αρμονία, διαγράφουν απαλές οβάλ, κυκλωτερείς ή παράγωνες πορείες αποφεύγοντας τις απόλυτες ευθείες και τις αυστηρές γραμμές των σύγχρονων καλλιεργειών, με την άχαρη μονοτονία τους. Η εναρμόνιση των ξηρολιθιών στις χωροσταθμικές και στις γραμμές του χώρου αποτελεί ένα από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους. Η συμμετρία των πέτρινων όγκων της ξηρολιθιάς είναι τόσο αρμονικά δεμένη με το περιβάλλον, που μοιάζει σαν να σχηματίστηκαν από το χέρι της φύσης και όχι από ανθρώπινη παρέμβαση, επιτυγχάνοντας μια εντυπωσιακή αισθητική βελτίωση του κακοτράχαλου τοπίου των βαθμιδωμένων με ξηρολιθιές επιφανειών (Εικ. 1, 3, 4α,β,γ,δ,ε, και 6). Παράλληλα η έλλειψη συνδετικού υλικού παρείχε στους ξηρολίθινους τοίχους πλαστικότητα και προσαρμοστικότητα στις πιέσεις του εδάφους και του νερού, με αποτέλεσμα να υφίστανται πλαστικές παραμορφώσεις αλλάζοντας σχήματα και γραμμές. Για το λόγο αυτό όταν καταστρέφονταν ένα τμήμα τους δεν κατέρρεαν και δεν απαιτούσαν ολική αποκατάσταση.

Η αποκατάσταση-συντήρηση των βλαβών των ξηρολιθιών (τοίχου και εδάφους), που ήταν αναπόσπαστο μέρος της αγροτικής εργασίας, γινόταν μετά το πέρας των εργασιών συγκομιδής της παραγωγής (συνήθως τον Οκτώβριο), πριν την έναρξη της νέας καλλιεργητικής περιόδου. Οι όποιες ζημιές των ξηρολιθιών, οι καλούμενες στις Κυκλάδες βουλίστρες, έπρεπε να επιδιορθωθούν πριν την έναρξη της βροχερής περιόδου, ώστε να συγκρατηθεί το πολύτιμο χόμα και το ακόμη πολυτιμότερο νερό. Σήμερα με την εγκατάλειψη της συντήρησης τους οι βουλίστρες είναι πολύ περισσότερες από τις στεκούμενες ξηρολιθιές. Η τεχνική κατασκευής και συντήρησης των ξηρολιθιών, με την πάροδο των χρόνων, χάνεται και μαζί τους χάνονται τα ουσιαστικότερα ίσως μνημεία της πολιτιστικής κληρονομιάς των περιοχών αυτών. Επισημαίνουμε ότι η παραπάνω εγκατάλειψη σχετίζεται με την κρατούσα άποψη ότι η παραγωγή ντόπιων προϊόντων στις πεζούλες είναι ασύμφορη, γεγονός τελείως λανθασμένο, ιδιαίτερα σήμερα, που χρυσοπληρώνονται τα εισαγόμενα αγροτικά προϊόντα, και το νερό των βυτιοφόρων πλοίων. Η εγκατάλειψη των καλλιεργειών στις πεζούλες πιστεύουμε ότι προήλθε περισσότερο από την καλύτερη (αλλά πόσο βέβαιη;) απόδοση του τουρισμού, κυρίως όμως από το κοπιαστικό της καλλιέργειας τους. Είναι πάντως παρήγορο ότι το πολύ υψηλό κόστος των εισαγόμενων προϊόντων άρχισε να ωθεί στην καλλιέργεια των καλύτερων αναβαθμίδων, για την παραγωγή κυρίως κηπευτικών, που να καλύπτουν τις ανάγκες της τουριστικής περιόδου.





**Εικόνα 6.** Απόψεις της τοπιακής βελτίωσης τμημάτων περιοχών με ξηρολίθινες βαθμίδες.

Οι πέτρες θεμελίωσης, οι οποίες εξασφάλιζαν την σταθερότητα των ξηρολιθιτών της κατασκευής, οι καλούμενες μπατικές, έπρεπε να είναι μεγαλύτερες, ώστε να εισχωρούν στο χώμα της ανάντη βαθμίδας. Μπατικές πέτρες υπήρχαν επίσης σε διάφορα σημεία των επιπέδων του μετώπου της ξηρολιθιάς, οι οποίες λειτουργώντας ως στερεωτικές προεκτάσεις έδεναν τον τοίχο με τη γη εξασφαλίζοντας μεγαλύτερη σταθερότητα. Οι λοιπές μικρότερες πέτρες, οι καλούμενες δρομικές, διαμόρφωναν την πρόσοψη της ξηρολιθιάς. Συχνά για τη στήριξη δύσκολων ή ιδιαίτερης σημασίας ξηρολιθινών αναβαθμίδων χρησιμοποιήθηκαν τα λεγόμενα στήματα. Τα στήματα είναι όρθιες συνεκτικές πέτρες, που ως φέρον σκελετός παραλαμβάναν και εξουδετέρωναν την ασκούμενη υδροστατική δύναμη και το ίδιο βάρος της ξηρολιθιάς. Τα στήματα τοποθετούνταν ανά 0,50-2,00m, και πακτώνονταν κατά το 1/4-1/5 του μήκους τους στο έδαφος, ενώ σε βραχώδη τμήματα, όσο επέτρεπε η σκληρότητα του πετρώματος. Τα στήματα συχνά υποστηρίζονταν από πέτρινες σφήνες, ώστε να ίστανται κατακόρυφα (η λέξη στήματα προέρχεται από τη λέξη ίσταμαι). Τα στήματα χρησιμοποιούνταν κυρίως σε ειδικές ξηρολιθιές σε βραχώδη εδάφη, ή σε επιχωματικές ή ασταθείς επιφάνειες. Η κρατούσα άποψη ότι τα στήματα γινόταν για εξοικονόμηση υλικού δεν ευσταθεί, επειδή η αφθονία της πέτρας ήταν δεδομένη, ιδιαίτερα στα πετρώδη νησιά του Αιγαίου, η δε εξόρρυξη και η μεταφορά τους πέραν της απώλειας χρόνου ήταν αντιοικονομική. Επισημαίνουμε ότι, όπως όλες οι κατασκευές οι ξηρολιθινές αναβαθμίδες, όφειλαν να είναι σταθερές, λειτουργικές και αισθητικές, ώστε να εκπληρώνουν το σκοπό τους. Παράλληλα στις απόκρημνες κλιτύς η επάλληλη τοποθέτηση ξηρολιθιτών με στήματα, περιόριζε την καταστροφή αποτρέποντας την επέκτασή της.

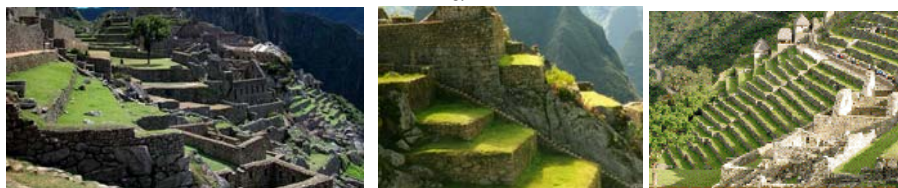
Η περιοχή θεμελίωσης των ξηρολιθιτών αξιοποιείτο με το φύτεμα των αμπελιών και των συκιών, επειδή μόνο στις θέσεις αυτές ήταν κατορθωτό να επιτύχει η φύτευση και η ανάπτυξη του αναγκαίου ριζικού τους συστήματος τα πρώτα δύσκολα χρόνια, στις κλιματολογικές συνθήκες των άνυδρων νήσων του Αιγαίου. Τα παραπάνω με την παρατήρηση ότι το αμπέλι και η συκιά η υγρασία που απαιτούσαν για την επίτευξη της παραγωγής ήταν δύσκολο να διασφαλιστεί τους θερμούς θερινούς μήνες των Κυκλάδων με τους πολύ ισχυρούς βοριάδες. Στα θεμέλια των ξηρολιθιτών έσκαβαν τις πέτρες στο κάτω μέρος για την δημιουργία κοιλωμάτων, τις γνωστές «τακαδούρες», και φύτευαν τα μοσχεύματα του αμπελιού και της συκιάς, για να μην συνθλίβονται από το βάρος του τοίχου. Τις τακαδούρες τις πλήρωναν με επιφανειακό χώμα, μια τεχνική ανανέωσης του χώματος, ώστε τα φυτά να βρίσκουν περισσότερη υγρασία και να προστατεύονταν από τον αέρα. Ταυτόχρονα, οι αγρότες εξοικονομούσαν χώρο για τις

υπόλοιπες καλλιέργειές τους. Όταν τα δέντρα έπαυαν να καρποφορούν, οι πεζούλες γκρεμίζονταν και ξανακτίζονταν από την αρχή. Με τον τρόπο αυτό αναμοχλεύονταν το λιγιστό χώμα και ξαναζωντάνευε η παραγωγική λειτουργία.

Ξηρολίθινες αναβαθμίδες καταγράφονται, όπου υπήρξε ανθρώπινη παρουσία, με σκοπό την απόκτηση γης, τη συγκράτηση του εδάφους και του νερού, τη στερέωση ευάλωτων σε διαβρώσεις, ολισθήσεις και αποσαθρώσεις κλιτύων, τη δημιουργία συνθηκών ασφαλούς δόμησης πόλεων, ναών, κ.λ.π., αλλά και την κατασκευή εντυπωσιακών έργων πολιτισμού. Ιδιαίτερα πριν την ανακάλυψη συνδετικών υλικών γνωστά έργα της αρχαιότητας και εντυπωσιακά μνημεία πολιτισμού, όπως οι Πυραμίδες, η Ακρόπολη, το Σινικό Τείχος (Εικ. 7α), το Machu Picchu (Εικ. 7β), οι κρεμαστοί κήποι της Βαβυλώνας, κ.λ.π., κατασκευάστηκαν με λαξευμένους ξηρολίθινους ογκόλιθους από πέτρες, μάρμαρο, γρανίτες, ασβεστόλιθους. Επισημαίνουμε ιδιαίτερα τις εκπληκτικές εκτεταμένες καλλιεργούμενες αναβαθμίδες, που απαντώνται σε διάφορα μέρη της γης, ιδιαίτερα στην περιοχή Γιουανγιάνγκ της ΝΔ Κίνας και στη ΝΑ Ασία κ.λ.π. (Εικ. 7γ).



α



β



γ

**Εικόνα 7α,β,γ.** Απόψεις αναβαθμίδων των περιοχών α) του ξηρολίθινου Σινικού τείχους. β) του Machu Picchu (Περού) και γ) του Γιουανγιάνγκ (ΝΔ Κίνα).

### Αξιολόγηση, σύνοψη, συμπεράσματα

Το αγροτεχνικό τοπίο είναι αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης του φυσικού, του αγροτικού και του ανθρωπογενούς περιβάλλοντος. Η αλληλεπίδραση αυτή σε ολόκληρο το μεσογειακό και ελλαδικό χώρο, ιδιαίτερα στα άνυδρα νησιά Αιγαίου, έδωσε χαρακτηριστικά βιοκοινωνιολογικά περιβάλλοντα, των οποίων κύρια στοιχεία ήταν η μικρή αλλά ζωτική, για τις άνυδρες αυτές περιοχές παραγωγή και ταυτόχρονα η μεγάλη βιοοικολογική και αισθητική τους αξία. Οι ξηρολίθινες αναβαθμίδες αποτελούν τη σημαντικότερη-δημιουργικότερη και χαρακτηριστικότερη ανθρώπινη επέμβαση στο ελλαδικό και μεσογειακό τοπίο. Οι βαθμίδες αποτελούν στοιχεία υψηλής

βιοκοιολογικής, αισθητικής και ιστορικής αξίας και συγκροτούν μια από τις μεγαλύτερες πολιτιστικές κληρονομίες της χώρας μας και ιδιαίτερα των Κυκλάδων. Η οικολογική και αγροτική τους αξία απορρέει από το ότι οι αναβαθμίδες αποτελούν πολύτιμο μέσο συντήρησης των φυσικών πόρων (έδαφος, νερό).

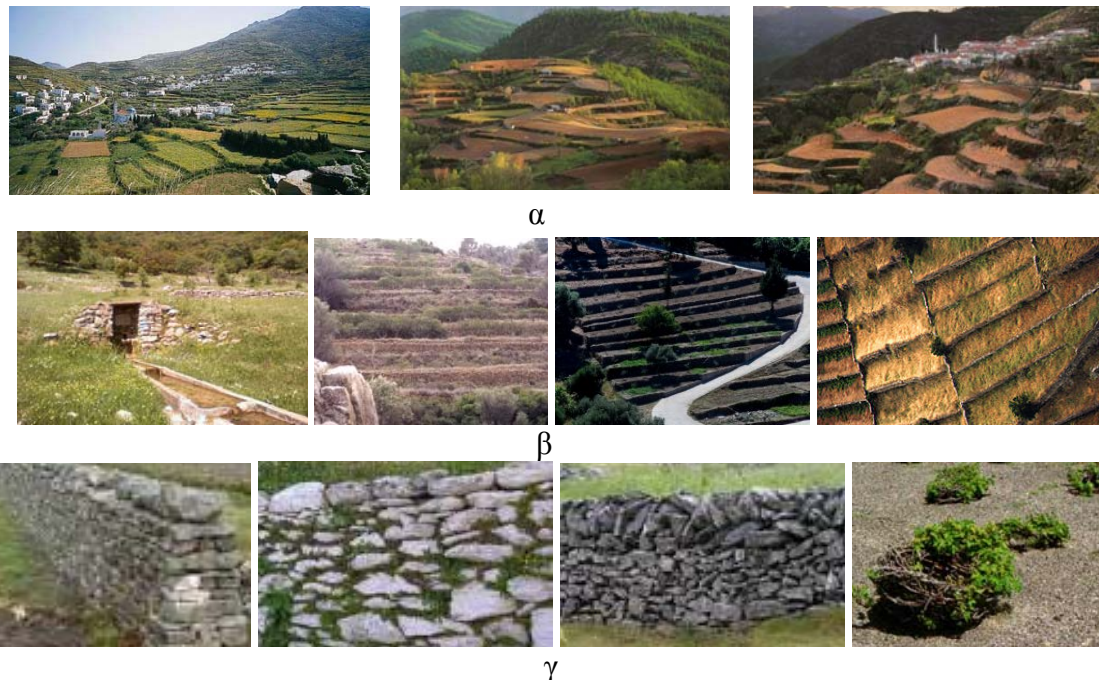
Στα πετρώδη νησιά της χώρας μας η ανάγκη εξεύρεσης γης με τη χρήση της ξηρολιθιάς προκάλεσε στον μοχθούντα αγρότη μια σχεδόν ερωτική σχέση με την πέτρα. Η ένωση πέτρας και ανθρώπινου μόχθου έδωσε στις ξηρολίθινες βαθμίδες, αυτά τα θαυμάσια μικρά αρχιτεκτονήματα, (Εικ. 8) που μαζί με τις λοιπές πετρόκτιστες κατασκευές (Μάντρες, αυλότοιχοι, γκαλντερίμια, αλώνια, αγροκίες, κονάκια, πατητήρια κ.λ.π.), έδεναν αρμονικά με το τραχύ πετρώδες φυσικό τοπίο. Τα έργα αυτά συγκροτούσαν μια ενιαία τοπιακή ενότητα ζυμωμένη με τον ιδρώτα και την απίστευτη θέληση και δύναμη του ανθρώπου να τιθασεύσει την άγονη γη, με αποτέλεσμα να μην μπορείς εύκολα να αποδεχθείς ότι γεννήθηκαν από ανθρώπινα χέρια. Οι ελαφρά κυκλικές κατά μήκος των ισοϋψών πορείες των ξηρολιθιών, συνιστούν αρχέγονες χαράξεις στις πλαγιές λόφων και βουνών.



**Εικόνα 8.** Απόψεις της προσαρμογής και της ανάδειξης του τοπίου από τις ξηρολίθινες αναβαθμίδες.

Στα άνυδρα με μικρή προσφερόμενη για καλλιέργεια γη νησιά του Αιγαίου, ο άνθρωπος στην προσπάθεια να αυξήσει την αγροτική γη, διαμόρφωσε νέα δεδομένα επεμβαίνοντας στο τοπίο και δημιουργώντας νέα βιοτοπικά δεδομένα. Οι επεμβάσεις αυτές είναι από τις ελάχιστες ανθρώπινες παρεμβάσεις, που όχι μόνο δεν υποβάθμισαν το φυσικό περιβάλλον, αλλά αντίθετα το βελτίωσαν σημαντικά. Στα νέα αυτά ανθρωπογενή αγροτικά τοπία η αμειψισπορά, η αγρανάπαυση και ιδιαίτερα η καλλιέργεια στις αναβαθμίδες προστάτευαν και βελτίωναν τα φτωχά εδάφη. Συχνά ο περιορισμένος χώρος στα νησιά του Αιγαίου οδήγησε σε μεθόδους προσεκτικής διαχείρισης της γης, όπως στην Κέα οι μικτές καλλιέργειες σιτηρών και ήμερης δρυός (*Quercus macrolepis*), τα περιστρεφόμενα αμπέλια σε ξηρά πετρώδη εδάφη, κ.λπ. Οι αναβαθμίδες (πεζούλες) σε συνδυασμό με τις μικρές κοιλάδες, τις εναλλαγές της πέτρας, του χρώματος και του πράσινου των καλλιεργειών (αροτριάδες, κηπευτικά,

αμπέλια, οπωρώνες, λαχανικά, ελαιώνες, κ.λ.π.), τις ρεματιές με την πυκνή βλάστηση, τις γυμνές βραχώδεις ή με χαμηλή θαμνώδη ή λιβαδική βλάστηση πλαγιές, τους πέτρινους όγκους δημιουργούσαν ένα εντυπωσιακά πολύπλοκο αγροτο-βιοοικολογικό μωσαϊκό.



**Εικόνα 9α,β,γ.** Απόψεις του αγροτοβιοοικολογικού περιβάλλοντος των ξηρολίθινων αναβαθμίδων. α) Εκτεταμένες ξηρολίθινες βαθμίδες με ήπια κλίση, β) αριστερά σύστημα υδρομάστευσης με ξηρολίθινες βαθμίδες και δεξιά τυπικές στενές ξηρολίθινες βαθμίδες σε επικλινή εδάφη και γ) μορφές ξηρολιθιών και δεξιά ο ιδιαίτερος τρόπος καλλιέργειας περιστρεφόμενης αμπέλου σε πετρώδη εδάφη της Σαντορίνης.

Τις τελευταίες δεκαετίες η σημασία των ξηρολίθινων αναβαθμίδων έχει μειωθεί εξαιτίας της δύσκολης πρόσβασής τους και της αδυναμίας καλλιέργειας με μηχανικά μέσα (τρακτέρ), με αποτέλεσμα να εγκαταλειφθούν και να καταρρέουν. Με την πάροδο των γενεών, που μεγάλωσαν, έζησαν, αγάπησαν και θεωρούσαν ως αυτονόητη πράξη τη φροντίδα – συντήρηση των ξηρολίθινων αναβαθμίδων και των επί αυτών εδαφών, η νέα γενιά, αποκομμένη από το χθες και το φυσικό περιβάλλον αδυνατεί να κατανοήσει την αξία των έργων αυτών. Με τη μερική ή ολική καταστροφή των ξηρολιθιών άρχισε να επέρχεται η διάβρωση του εδάφους και να αυξάνει η επιφανειακή απορροή του νερού. Στα πλαίσια αντιμετώπισης της συνεχιζόμενης κατάρρευσης των ξηρολιθιών άρχισε πρόσφατα να επιδοτείται η επισκευή ή η ανακατασκευή των αναβαθμών, από αγρότες με προϋπόθεση την άσκηση ορθολογικής γεωργίας, με αντιστοιχία βοσκότων ζώων και εδαφικής παραγωγικότητας και με μειωμένη χρήση λιπασμάτων και ζιζανιοκτόνων. (Στην Εικ. 10 δίνονται τρόποι ανακατασκευής κατεστραμμένων ξηρολιθιών). Η αγάπη και η φροντίδα διατήρησης των ξηρολίθινων αναβαθμίδων και των εδαφών, που διατηρούσαν επί αιώνες γενεές επι γενεών, πράξεις αυτονόητες στο πρόσφατο παρελθόν, σήμερα εξέλειπαν με αποτέλεσμα η νέα γενιά, αποκομμένη από το χθες και το φυσικό περιβάλλον, να αδυνατεί να κατανοήσει την αξία των έργων αυτών.

Κι όμως η προστασία και η διατήρηση αυτών των ξεχωριστών τοπίων, που αποτελούν ανεκτίμητη παρακαταθήκη και βασική πολιτιστική κληρονομιά έπρεπε εδώ και χρόνια να τεθούν σε καθεστώς προστασίας, ως τόποι αειφορικής εδαφικής και υδρολογικής λειτουργίας και ως τόποι ιδιαίτερου φυσικού κάλλους. Αποτελεί χρέος προς την πολιτιστική μας κληρονομιά, στους εαυτούς και τα παιδιά μας, όχι απλά να διατηρήσουμε τις ξηρολίθινες αναβαθμίδες, αλλά να τις μεγιστοποιήσουμε, ώστε να αυξήσουμε τις ευεργετικές εδαφικές και υδρολογικές επιπτώσεις τους. Εξάλλου ο τουρισμός, η καλούμενη βαρειά βιομηχανία της χώρας μας, δεν πρόκειται να έχει διάρκεια ζωής, χωρίς να έχει ως προτεραιότητα την φροντίδα, την προστασία και τον σεβασμό στην ανεπανάληπτη ομορφιά των διαυλακωμένων με ξηρολιθιές τοπίων της και στην αειφορία των υδατικών καρπώσεων, που προσφέρουν οι ταπεινές αναβαθμίδες.

Η καταστροφή των ξηρολιθιών πέραν της απώλειας της ιστορικής μας κληρονομιάς, οδηγεί σε υποβάθμιση της ποιότητας της ζωής μας. Η άποψή μας είναι ότι η διατήρηση των ξηρολιθινών αναβαθμιδών έπρεπε να αποτελεί πρώτο θέμα στην οικολογική προσέγγιση και στην οικολογική συνείδηση των ελλήνων, ιδιαίτερα των κατοίκων των νήσων. Μόνο όταν τα νερά των χειμάρρων απαλλαγμένα φερτών υλών καταστούν χειμαρρικά καθαρά και οι θάλασσες δεν θολώνουν με την πρώτη βροχή, μπορούμε να θεωρήσουμε ότι πετύχαμε το στόχο μας. Πιστεύουμε ότι μόνο όταν διατηρηθεί το έδαφος και αποκατασταθούν οι επιτευχθείσες με τις αναβαθμίδες υδρολογικές ισορροπίες απορροής και διήθησης, εμπλουτίζοντας τα υπόγεια νερά, τις πηγές και τα πηγάδια, καθιστώντας υδατικά αυτάρκη τα νησιά μας, τότε και μόνο τότε υπάρχει πραγματικά μέλλον. Αυτό επειδή πιστεύουμε, ότι έδαφος και νερό συνιστούν την κορωνίδα της οικολογίας και όχι οι συχνά έχουσες ιδιοτελή κριτήρια διαφημιζόμενες καμπάνιες προστασίας διαφόρων μεμονωμένων ειδών χλωρίδας.



**Εικόνα 10α,β.** Ανακατασκευή ξηρολιθινών βαθμιδών α) σε περιοχή εγγύς της αρχαίας Τίρυνθας, από μαθητές του Γυμνασίου Προσύμνας και β) στην Κλειώ Λέσβου.

Επισημαίνουμε την ουσία των ξηρολιθινών βαθμιδώσεων της προστασίας του λιγοστού χώματος από τη διάβρωση και του έλεγχου – ρύθμισης της επιφανειακής απορροής. Πιστεύουμε ότι οι ξηρολιθινές βαθμιδώσεις αποτελούν το μεγαλύτερο αντιδιαβρωτικό και ενισχυτικό των υδατικών πόρων έργο που έχει συντελεστεί από την αρχαιότητα μέχρι σήμερα στον ελλαδικό χώρο. Το συγκεντρωμένο και προστατευόμενο χώμα έχει τη μέγιστη δυνατή για την περιοχή υγρασία, ενώ η αυξημένη διήθηση αποτελεί μέγιστη υδρολογική πράξη, καθόσον αποτελεί τη μόνη δυνατότητα αύξησης του ρυθμού αναπλήρωσης των χρησιμοποιούμενων υδροφορέων (πηγών, πηγαιδιών, γεωτρήσεων). Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι στη νήσο Τήνο με βαθμιδωμένο με ξηρολιθιά το 54% των 194,3 Km<sup>2</sup> της επιφανείας της και θεωρώντας ότι για το μέσο ετήσιο ύψος βροχής της νήσου η μικρότερη δυνατή αύξηση της διηθούμενης βροχόπτωσης ανέρχεται σε 55 mm, προκύπτει ότι η βαθμιδωμένη με ξηρολιθιά επιφάνεια των 94,892 Km<sup>2</sup> της Τήνου αποδίδει ετήσια 5.219.000 m<sup>3</sup> διηθούμενου

νερού. Η ποσότητα αυτή αν έρρεε επιφανειακά τότε θα κατέλιγε, διαβρώνοντας τα εδάφη στη θάλασσα την οποία και θα υποβάθμιζε. Ας αναρωτηθεί κάποιος αν, πότε και πού, υπάρχει με τις συνθήκες των Κυκλαδίτικων νησιών τέτοιας απόδοσης έργο. Αρκεί και μόνον η παραπάνω θεώρηση για να καταδειχθεί ότι ανεξάρτητα του αν και πόσο καλλιεργούνται και αποδίδουν αγροτικά προϊόντα οι ξηρολίθινες βαθμίδες, η διατήρησή τους αποτελεί, ιδιαίτερα για τα άνυδρα νησιά μας, μέγιστης απόδοσης έργο, το οποίο ζητά μόνο μια απλή περιοδική συντήρηση.

## **Βιβλιογραφία**

- Βερνίκος, Ν., Δασκαλοπούλου, Σ. και Παυλογεωργάτος, Γ. (2002). Πρόταση ταξινόμησης ξερολιθικών κατασκευών. Διεθν. Επ. Ημερίδα: Ο δομικός λίθος στα μνημεία. Αθήνα. Μυτιλήνη, σελ. 265-276.
- Brunet, M. (2005). Τα αγροτικά τοπία της Ελλάδας.
- Doukellis, P. (1998). Versants pierreux et champs de culture à Ceos.
- Δουκέλλης, Π.Ν. Το ελληνικό τοπίο. Μελ. Ιστορ. γεωγραφίας και πρόσληψης του τοπίου. Αθήνα.
- Kizos, T., Dalaka, A. and Petanidou, T. (2009). Farmers' practices and landscape change: Evidence from the abandonment of olive cultivation on terraces on Lesbos, Greece. *Agriculture and Human values*. DOI 10.1007/s10460-009-9206-9.
- Λάζου, Θ., Λάμπρου, Β. και Γκάνια, Χ. (2007). Γιτάνη. ΥΠ.ΠΟ. Αθήνα.
- Marathianou, M., Kosmas, C., Gerontidis, S. and Detsis, V. (2000). Land-use evolution and degradation in Lesbos (Greece): A historical approach. *Land Degradation & Development* 11, pp. 63-73.
- Μενδώνη, Λ.Γ. και Μαζαράκης-Αινιάν, Α.Ι. (1994). Κέα – Κύθνος – Ιστορία και Αρχαιολογία. Ιστορία και αρχαιολογία: πρακτικά του Διεθνούς Συμποσίου Κέα - Κύθνος, 22-25 Ιουνίου 1994 = Kea - Kythnos: history and archaeology: proceedings of an International Symposium\ nKea - Kythnos, 22-25 June 1994, Μελετήματα 27, Πρακτικά Διεθνούς Συμποσίου Αθήνα 1998, σελ. 309-330.
- Παπανικολάου, Α. (1998). Η οικοδομική εξέλιξη της νότιας κλιτύς της Ακροπόλεως της Κερθαίας κατά τον 6ο και 5ο αιώνα π.Χ. και η στέγη του ναού της Αθηνάς στην Κερθαία. Πρακτικά Διεθνούς Συμποσίου Κέα - Κύθνος. Ιστορία και Αρχαιολογία, Μελετήματα 27. Αθήνα.
- Πετανίδου, Θ. (2001). Ο ρόλος των αναβαθμίδων στο παρελθόν και η σημασία τους για το μέλλον των νησιών σε σχέση με την οικονομία, την οικολογία και τον πολιτισμό, τόμ. 1-2, αδημοσίευτη Τεχνική Έκθεση προς το Υπουργείο Αιγαίου. Μυτιλήνη.
- Πετανίδου, Θ. (2005). Βαστάδια και τάβλες: Λαξεύοντας το τοπίο της Νισύρου. Νίσυρος.
- Petanidou, T., Kizos, T. and Soulakellis, N. (2008). Socioeconomic dimensions of the agricultural landscape change in the Mediterranean: the case of the abandonment of cultivation terraces on Nisyros island, Greece. *Environmental Management* 41, pp. 250-266.
- Rackham, O. and Moody, J.A. (1996). Terraces. Wells, B. (ed.) *Agriculture in Ancient Greece – Proceedings of the seventh International Symposium at the Swedish Institute at Athens, 16-17 May 1990*, Stockholm: Paul Åströms Förlag, pp. 123-130.
- Σγουροπούλου, Χ. (2007). Η Ακρόπολη της Πλατιάνας. ΥΠ.ΠΟ. Αθήνα.

- Σημαντώνη-Μπουρνιά, Ε., Ζάχο, Γ., Πανάγου, Τ., Κουτσομπού, Μ., Μπιλή, Θ. και Μαυροκορδάτου, Δ. (2006). Το έργο Συντήρηση και Ανάδειξη αρχαίας Καρθαίας Κέας. Τα έτη 2002-2004. Αρχαιογν. 14.
- Whitelaw, T.M. (1991). The ethnoarchaeology of recent rural settlement and land use in Northwest Keos. In, J.F. Cherry, J.L. Davis and E. Mantzourani (eds) Landscape Archaeology as Long-term History.
- Theodosiou, A. (2002). Drystone Construction in Alpine Regions. 8th International Drystone - Walling Congress.
- FAO-UNESCO, (1989). Soil Map of the World, revised legend. World Resources Report 60, FAO. Rome. Reprinted as technical paper 20. ISRIC. Wageningen.
- Ασπράς, Γ. (2008) Κατασκευή και στατική ανάλυση της ξηρολιθιάς, Άνδρος. Πανεπιστήμιο Αιγαίου: Πρόγραμμα για τη μελέτη των ξηρολιθικών κατασκευών στο Αιγαίο, στη Θράκη και στην Κρήτη από το Πανεπιστήμιο Αιγαίου. Μυτιλήνη.





## ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗΣ ΤΩΝ ΠΕΤΡΙΝΩΝ ΤΟΞΩΤΩΝ ΓΕΦΥΡΙΩΝ ΤΟΥ ΕΛΛΑΔΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ ΣΤΟ ΦΥΣΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

### **Γρηγόρης Βάρρας**

Επίκουρος Καθηγητής, Τ.Ε.Ι. Ηπείρου  
Εργαστήριο Ανθοκομίας και Αρχιτεκτονικής Τοπίου  
e-mail: [grvarras@gmail.com](mailto:grvarras@gmail.com)

### **Θεοφάνης Παυλίδης**

Επίκουρος Καθηγητής, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης  
Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος  
Εργαστήριο Διευθέτησης Ορεινών Υδάτων  
e-mail: [pavlth@for.auth.gr](mailto:pavlth@for.auth.gr)

### **Χαρίσιος Γκανάτσιος**

Δρ Δασολόγος – Υδρολόγος Ι.Δ.Α.Χ, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης  
Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος  
Εργαστήριο Διευθέτησης Ορεινών Υδάτων  
e-mail: [cganats@for.auth.gr](mailto:cganats@for.auth.gr)

### **Αικατερίνη Κάλφα**

Msc Δασολόγος – Περιβαλλοντολόγος, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης  
Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος  
Εργαστήριο Διευθέτησης Ορεινών Υδάτων  
e-mail: [katekalfa@for.auth.gr](mailto:katekalfa@for.auth.gr)

## **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Τα πέτρινα τοξωτά αποτελούσαν, από την αρχαιότητα μέχρι τις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα, τον κύριο τύπο γεφυριών οδών και αγωγών μεταφοράς νερού. Στον ελλαδικό χώρο έχουν κατασκευασθεί, ανθεκτικά στο χρόνο και στην ορμή των χειμαρρικών νερών, γεφύρια απaráμιλλης ομορφιάς, πραγματικά αρχιτεκτονικά αριστουργήματα. Τα πέτρινα τοξωτά γεφύρια των ελλήνων μαστόρων, διακρίνονταν πέραν της επίτευξης του σκοπού κατασκευής τους, από απόλυτο σεβασμό στο φυσικό περιβάλλον της περιοχής. Βασικά στοιχεία του σεβασμού τους, προς το φυσικό περιβάλλον, ήταν η εναρμονισμένη, με τον τόπο κατασκευής, επιλογή-χρήση τοπικών φυσικών δομικών υλικών και η επιλογή του χώρου και του τρόπου δόμησης, ώστε το τελικό αποτέλεσμα να είναι απόλυτα προσαρμοσμένο και ενσωματωμένο στο φυσικό χώρο. Επισημαίνεται ότι τα ελληνικά πολύτοξα πέτρινα γεφύρια διακρίνονταν, από τη διαφορετική ακτίνα καμπυλότητας των διαδοχικών τους θόλων, σε αντίθεση των Ρωμαϊκών, που είχαν τόξα ισομεγέθη και της αυτής καμπυλότητας. Για τους παραπάνω λόγους τα πέτρινα γεφύρια του ελλαδικού χώρου αποτελούν βασικά στοιχεία της αρχιτεκτονικής και πολιτιστικής μας κληρονομιάς και αναπόσπαστα στοιχεία των τοπικών φυσικών περιβαλλόντων.

Στην παρούσα εργασία αναλύονται και βαθμονομούνται με μια νέα προτεινόμενη εμπειρική αξιολόγηση – βαθμονόμηση, τα κατασκευαστικά, δομικά και λειτουργικά στοιχεία αντιπροσωπευτικών πέτρινων τοξωτών γεφυριών του ελλαδικού χώρου και αξιολογείται η ενσωμάτωση και η αισθητική προσαρμογή τους στα χαρακτηριστικά του φυσικού περιβάλλοντος των περιοχών κατασκευής τους.

**Λέξεις κλειδιά:** Τοξωτά γεφύρια, Πέτρινα γεφύρια, Πέτρινα γεφύρια και φυσικό περιβάλλον.

## **Εισαγωγή, γενικά, ιστορικό**

Τα γεφύρια από την αρχαιότητα αποτελούσαν και αποτελούν κομβικά στοιχεία των παλαιών και σύγχρονων οδικών και σιδηροδρομικών αρτηριών, που επιτύγχαναν τη ζεύξη-διέλευση των οδών μεταφοράς και επικοινωνίας, από χειμάρρους και ποταμούς, καθώς και τη μεταφορά νερού (υδατογέφυρες). Τα γεφύρια, ως βασικά έργα υποδομής, που επέτρεψαν την ανάπτυξη του εμπορίου και τη διακίνηση ανθρώπων, εμπορευμάτων, ιδεών και πολιτισμών, όφειλαν, να αποπνέουν αίσθημα ασφάλειας και να ανθίστανται στις μέγιστες υδατοστερεομεταφορικές φορτίσεις των χειμάρρων κατασκευής τους και στη διαχρονική διαβρωτική δράση του κλίματος. Δεν είναι τυχαίο ότι οι πρώτες γέφυρες σχετίζονται άμεσα με την παρουσία εμπορικών οδών, αποτελώντας βασικά έργα των πρώτων οργανωμένων πολιτισμών και κοινωνιών, π.χ. Κινεζικός, Βαβυλωνιακός, Περσικός, Ελληνικός, Ρωμαϊκός, κ.λ.π. Στη συνέχεια η εξέλιξη της γεφυροποιίας συνδυάστηκε με την εξέλιξη της οδοποιίας, των συγκοινωνιών, αλλά και των πολεμικών επιχειρήσεων. Με βάση τον τύπο, τα υλικά κατασκευής διακρίνονται οι παρακάτω περίοδοι κατασκευής γεφυριών, με την επισήμανση της μικρής διαφοροποίησης της διάρκειας της 2<sup>ης</sup> και 3<sup>ης</sup> χρονικής περιόδου, έναντι του συνόλου σχεδόν των λοιπών μελετητών (Γκράσσο 1995, Κόκκας 2003, Κολτσιδόπουλος 1995, Μαντάς 2005, κ.λ.π.):

**Περίοδος 1η: 4000 π.Χ. - 200 π.Χ.** Στην περίοδο αυτή γίνεται χρήση ακατέργαστων ή ελαφρά κατεργασμένων φυσικών υλικών (φυσικές πλάκες, πέτρες και ογκόλιθοι, χώμα, κορμοί και κλάδοι δέντρων, κ.λ.π.).

**Περίοδος 2η: 200 π.Χ. - 1500 μ.Χ** Στην περίοδο αυτή κυριαρχεί η χρήση ακατέργαστων και μερικώς κατεργασμένων υλικών (λαξευμένες πέτρες, πελεκητά ξύλα, κ.λ.π) και αρχίζει η χρήση συνδετικού υλικού, όπως πηλόχωμα, ασβεστοκονίαμα, κ.λ.π.) διαφόρων σχημάτων και μεγεθών.

**Περίοδος 3η: 1500 μ.Χ. - 1940.** Την περίοδο αυτή κυριαρχεί η χρήση κατεργασμένης πέτρας είτε ως ξηρολιθιάς, είτε με χρήση ως συνδετικού υλικού κυρίως του **κουρασάνι**. Το κουρασάνι, που το κατασκεύαζαν οι μάστορες της εποχής, αποτελούνταν από μίγμα τριμμένου κεραμιδιού, σβησμένου ασβέστη, ελαφρόπετρας, χώματος, νερού και ξερών χόρτων. Σε περιπτώσεις αυξημένων απαιτήσεων αντοχής, πρόσθεταν στο μίγμα ασπράδια αυγών και μαλλιά ζώων, για να αυξήσουν την αποτελεσματικότητα και τη συνεκτικότητα του. Ο ξυλότυπος, που αποτελούσε βασικό στοιχείο της κατασκευής, κατασκευάζονταν από επεξεργασμένη τοπική ξυλεία. **Μέχρι το τέλος της περιόδου αυτής όλες οι κατασκευές γεφυρών χρησιμοποιούσαν, ως δομικό υλικό, αποκλειστικά ακατέργαστα, ημικατεργασμένα ή κατεργασμένα φυσικά υλικά.**

**Περίοδος 4η: 1940 μ.Χ. - 2010.** Την περίοδο αυτή η πέτρα, ως δομικό υλικό, αντικαθίσταται, από σύγχρονα μη φυσικά βιομηχανικά υλικά (σκυρόδεμα άοπλο και οπλισμένο, σίδηρος, ατσάλι). **Την εποχή αυτή παύει οριστικά η κατασκευή γεφυριών από φυσικά υλικά και γίνεται πλέον μόνο με σύγχρονα βιομηχανικά υλικά.**

Τα γεφύρια αποτελούσαν εξαιρετικά σημαντικά και δύσκολα έργα υποδομής, την προ του 1900 εποχή, η δε κατασκευή τους ενείχε ιδιαίτερες δυσκολίες υλοποίησης. Οι δυσκολίες κατασκευής τους έδωσαν τροφή στη δημιουργία παραδόσεων, θρύλων και τραγουδιών, με αναφορές σε θυσίες ζώων (παράδοση που υφίσταται και σήμερα) ακόμη και ανθρώπων, για να στεριωθεί το πολυπόθητο γεφύρι. Η κατασκευή γεφυριών, από φυσικά υλικά έχει σταματήσει πρακτικά πριν από το 1940, με αποτέλεσμα η λαϊκή αυτή τεχνική να έχει πρακτικά χαθεί, χωρίς να έχει μεταλαμπαδευθεί στις επόμενες γενεές. Σήμερα δεν υπάρχουν οι λαϊκοί γεφυροποιοί, οι καλούμενοι γεφυράδες ή κιοπρουλίδες. Οι πέτρινες τοξωτές γέφυρες αποτελούν σημαντικά λαϊκά αρχιτεκτονήματα, εξαιρετικής αισθητικής και όπως ο χρόνος απέδειξε εξαιρετικά ανθεκτικών στο χρόνο.

**\*Αν δε στοιχειώσετ' άνθρωπο, γιοφύρι δε στεριώνει, Και μη στοιχειώσετ' ορφανό, μη ξένο, μη διαβάτη, Παρά του Πρωτομάστορα την όμορφη γυναίκα**

Μέχρι το 1940 η κατασκευή των πέτρινων τοξωτών γεφυριών επέτρεπε την σύνδεση των απομονωμένων κλειστών πολυάνθρωπων ορεινών κοινωνιών της εποχής εκείνης, και την άσκηση τοπικών οικονομικών, κοινωνικών, θρησκευτικών και πολιτιστικών δραστηριοτήτων και δρώμενων (μετάβαση σε χωράφια, σχολεία, εκκλησίες και εξωκκλήσια, άσκηση κτηνοτροφίας, κ.λ.π.). Επισημαίνεται ότι την πριν το 1940 εποχή το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού διαβιούσε στην ελληνική ορεινή υπαίθρο, που έσφυζε από ζωή, τα περισσότερα πέτρινα γεφύρια βρίσκονται χτισμένα σε δυσπρόσιτες θέσεις αποτελώντας αναπόσπαστα τμήματα του φυσικού περιβάλλοντος της περιοχής. Είναι φυσικό τα περισσότερα πέτρινα γεφύρια να βρίσκονται σε ορεινές ομβροφόρες περιοχές, με έντονη χειμαρρική επικινδυνότητα και με σημαντική παρουσία ορεινών οικισμών (Πίνδος και παρακλάδια της), και ολιγότερο στην ανομβρότερη νησιώτικη Ελλάδα (Κυκλάδες). Στην ορεινή Ελλάδα έχει κατασκευασθεί πλήθος πέτρινων τοξωτών γεφυριών, μερικά των οποίων χωρίς, με μικρές ή μεγάλες προσαρμογές και προσθήκες χρησιμοποιούνται ακόμη και σήμερα, με τα περισσότερα αυτών να απαντώνται σε οικονομικά ανεπτυγμένες περιοχές.

Δυστυχώς με την έντονη μετεμφυλιακή αστυφιλία και την σταδιακή σχεδόν πλήρη εγκατάλειψη της ορεινής υπαίθρου, όπου βρίσκεται ο μεγαλύτερος αριθμός των πέτρινων τοξωτών γεφυριών, η συντήρησή τους από τους χρήστες τους σταμάτησε και σταδιακά άρχισε να αγνοείται ακόμη και η ύπαρξή τους. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα πολλά από τα λαϊκά αυτά αρχιτεκτονήματα να έχουν πλήρως καταρρεύσει, ή να έχουν υποστεί μεγάλες ή μικρές καταστροφές. Στις μέρες μας η καταστροφή αυτής της εξαιρετικής λαϊκής πολιτιστικής μας κληρονομιάς συντελείται πλέον με γοργούς ρυθμούς, λόγω της πλήρωσης σημαντικού τμήματος του χρόνου ζωής των περισσότερων γεφυριών. Κύριες αιτίες της καταστροφής των πέτρινων τοξωτών γεφυριών, πέραν του πανδαμάτορα χρόνου, ήταν αίτια φυσικά (σεισμοί, διαβρώσεις των βάθρων, πλημμύρες, πρानικές διαβρώσεις και ολισθήσεις) και ανθρωπογενή (πολεμικές ενέργειες και δολιοφθορές, παράνομες εκσκαφές σε βάθρα γεφυριών ή στα κατάντη αυτών, καλύψεις από νερά ταμειυτήρων, αντικατάστασή τους από νέες σύγχρονες γέφυρες που καλύπτουν τις σημερινές απαιτήσεις, κ.λ.π.). Επισημαίνουμε ότι συχνά, η ανάγκη εξεύρεσης και μεταφοράς, στα υδραγωγεία των πόλεων, του αναγκαίου, για την επιβίωση νερού, οδήγησε στην κατασκευή πέτρινων τοξωτών υδατογεφυρών.

Η θέση κατασκευής των γεφυρών αποτελούσε κυρίαρχο κριτήριο. Η γνώση τόσο της μορφολογίας, όσο και της υδατοστερεομεταφορικής λειτουργίας του χειμάρρου και της υδραυλικής γεωμετρίας της διατομής κατασκευής έπαιζε καθοριστικό ρόλο. Η ορθή

επιλογή της θέσης – διατομής κατασκευής των γεφυριών γινόταν μετά από ενδελεχή και συστηματική διαβημάτιση της κοίτης του χειμάρρου, με τον πρωτομάστορα να αναζητά κατάλληλη βραχώδη στενή διατομή με ανθεκτικά βραχώδη πρηνή ικανά να πακτώσουν με ασφάλεια τα άκρα των γεφυριών. Οι έμπειροι λαϊκοί γεφυράδες γνώριζαν ότι στενές βραχώδεις διατομές επέτρεπαν την κατασκευή τόξων με μεγαλύτερη καμπυλότητα και επομένως ανθεκτικότερες και οικονομικότερες κατασκευές. Η επιλογή της κατάλληλης θέσης κατασκευής των γεφυριών ήταν πολύ σημαντικότερη της διάνοιξης δρόμων και μονοπατιών. Συχνά γινόταν αρχικά η επιλογή της θέσης του γεφυριού και ακολουθούσε η διάνοιξη του δρόμου, αν και συνήθως η θέση κατασκευής ήταν θέση παλαιότερου ξύλινου ή πέτρινου γεφυριού, ή διάβασης.

Από αρχιτεκτονική – στατική άποψη οι πέτρινες τοξωτές γέφυρες διακρίνονται, ανάλογα με την υδραυλική γεωμετρία και ιδιαίτερα το πλάτος της διατομής κατασκευής, σε μονότοξες (Σχ. 7α) και πολύτοξες. Έτσι στις ορεινές στενές επικλινείς κοίτες, με σχεδόν κατακόρυφα βραχώδη πρηνή, κυριαρχεί ο τύπος της μονότοξης γέφυρας, ενώ σε ευρείες κοίτες ήπια κεκλιμένες, πεδινές, ή με έντονη παρουσία φερτών, κυριαρχεί ο τύπος των πολύτοξων γεφυρών (Σχ. 7β,γ). Στην Ελλάδα, ως κατεξοχήν ορεινή χώρα, κυριαρχούν τα μονότοξα γεφύρια έναντι των πολύτοξων. **Τονίζεται ότι κάθε γεφύρι είναι μοναδικό και ανεπανάληπτο χωρίς να μοιάζει με άλλο.**

Τα γεφύρια για λόγους υδραυλικοστατικής ισορροπίας, λειτουργικούς, ή παροχής ασφάλειας στους διαβάτες κοσμήθηκαν με συνοδευτικές διαμορφώσεις υψηλής λαϊκής αρχιτεκτονικής, όπως ανακουφιστικούς θόλους, σιδερένιες άρπιζες, μεμονωμένες ή συσσωματωμένες αρκάδες, επίγραφες μαρμάρινες πλάκες, ακόμη και καμπανάκια προειδοποίησης κινδύνου διέλευσης των διερχόμενων.

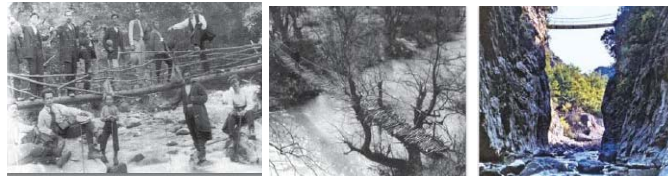
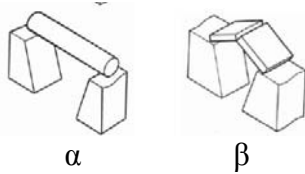
Ανάλογα με το ύψος και το μικρό ή το μεγαλύτερο του τόξου τους διαμορφώνονταν η κλίση του καταστρώματος των γεφυριών, για τον έλεγχο της ολισθηρότητας τους και το πλάτος του οδοστρώματος, το οποίο σε κάποιες περιπτώσεις μόλις έφθανε τα δύο μέτρα (2m). Σε περιπτώσεις ισχυρής κλίσης το κατάστρωμα έφερε πλατύσκαλα (Μαντάς 1985).

Τα γεφύρια στον Ελλαδικό χώρο είναι απλά και απέριττα, δίχως αρχιτεκτονικές διακοσμητικές υπερβολές. Το μόνο, αν ειπωθεί διακοσμητικό στοιχείο αφορά τις κτητορικές πλάκες, οι οποίες εντοιχίζονται στην κορυφή του τόξου, πάνω από τον κορυφαίο θολίτη ή κλειδί ή στο κεντρικό τμήμα των τύμπανων μεταξύ των τόξων (Σχ. 8α,β). Αξιοσημείωτο είναι ότι στην Ήπειρο, παρά το πλήθος των γεφυριών, σπάνια απαντώνται επιγραφές με χρονολογία κτίσης, ανακαίνισης, ή αναφοράς σε ονόματα χορηγών και πολύ σπάνια μαστόρων. Στα γεφύρια της Ηπείρου τονίζεται επισημαίνεται ο υπομνηματικός ρόλος της κτητορικής επιγραφής.

Σχετικά με τα στοιχεία των γεφυριών στις αναφερθείσες περιόδους καταγράφουμε τα ακόλουθα (Γκράσσο 1995, Κόκκας 2003, Κολτσιδόπουλος 1995, Μαμμόπουλος 1973, Μαντάς 2005):

### **Περίοδος 1η: 4000 π.χ. - 200 π.χ.**

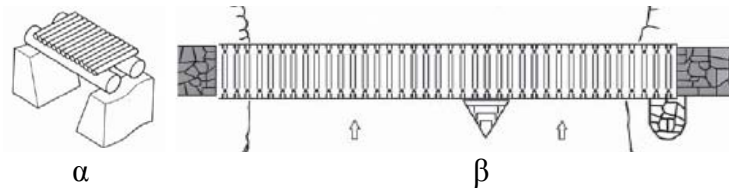
Τα πρώτα γεφύρια κατασκευάστηκαν από τοπικά υλικά που παρείχε άφθονα η περί το έργο περιοχή, χωρίς ή με καθόλου ανθρώπινη επεξεργασία, όπως κορμοί δέντρων ή μεγάλες πέτρινες πλάκες (Σχ. 1α,β). Η αρχική πρωτόγονη γέφυρα, η λεσιά ή λιάσα καλούμενη αποτελεί την πιο χαρακτηριστική περίπτωση πρόχειρης ξύλινης γέφυρας, από πλέγμα κλαδιών και κορμών δέντρων, που στηρίζεται σε παρόχθια γερά δέντρα ή ογκώδη βράχια (Εικ. 1α,β).



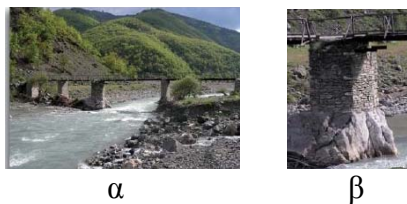
**Σχήμα 1α,β.** Γέφυρα α) με κορμούς και β) με πέτρινες πλάκες.

**Εικόνα 1.** Χαρακτηριστικοί τύποι Λεσιάς.

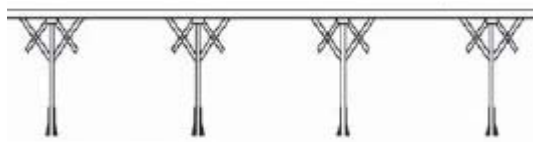
Εξέλιξη της μορφής αυτής είναι ο τύπος της γέφυρας, όπου πάνω σε δύο ή τέσσερις παράλληλους κορμούς δένδρων, που εδράζονται σε λίθινα (κυρίως) ή ξύλινα βάθρα, αγκυρώνεται με διάφορους τρόπους το σταθερό ξύλινο κατάστρωμα της γέφυρας (Σχ. 2α). Σε μεγάλα ποτάμια τα ξύλινα δοκάρια της γέφυρας εδράζονταν σε ξύλινα ή λίθινα μεσόβαθρα ικανού πάχους, για την ασφαλή παραλαβή και εξουδετέρωση των διερχόμενων φορτίων (Σχ. 2α,β, Εικ. 2α,β). Ο Ηρόδοτος αναφέρει ότι η γέφυρα του Ευφράτη στη Βαβυλώνα, εδραζόταν σε λίθινα μεσοβάθρα πάχους 9m, τοποθετούμενα σε αποστάσεις 9m, επί των οποίων τοποθετούσαν τα ξύλινα δοκάρια. Γέφυρα με ξύλινα μεσόβαθρα (Σχ. 3) υπήρχε στον ποταμό Αώο (Εικ. 3). Η κομψή αυτή γέφυρα κήκε στον πόλεμο του 1940.



**Σχήμα 2α,β.** Γέφυρα με λίθινα βάθρα και ξύλινο κατάστρωμα. α) πλάγια όψη γέφυρας και β) κάτοψη με ενδιάμεσο βάθρο.



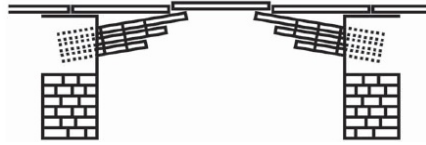
**Εικόνα 2α,β.** α) Άποψη γέφυρας με ξύλινο κατάστρωμα και β) του λίθινου βάθρου έδρασης στον ποταμό Σαραντάπορο Ιωαννίνων.



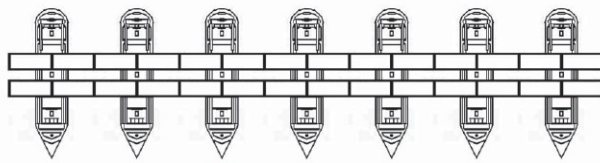
**Σχήμα 3.** Γέφυρα εδραζόμενη σε ξύλινα βάθρα. **Εικόνα 3.** Η ξύλινη γέφυρα στο Αώο.

Ειδικό τύπο ξύλινης γέφυρας εδραζόμενης σε ξυλοπροβόλους από τρία επάλληλα ξύλινα δοκάρια, που στηρίζονταν στο ένα άκρο τους κατασκεύασαν οι Κινέζοι (Σχ. 4).

Επίσης από το 2.000 π.χ. οι Κινέζοι κατασκεύαζαν πλωτές γέφυρες. Το 515 π.χ. ο Σάμιος Μανδροκλής κατασκεύασε πλωτή γέφυρα στο Βόσπορο για τη διέλευση του στρατού του Δαρείου. Ο τύπος της λεμβόζευκτης γέφυρας (Σχ. 5) βρήκε ευρεία εφαρμογή κατά τον Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο.

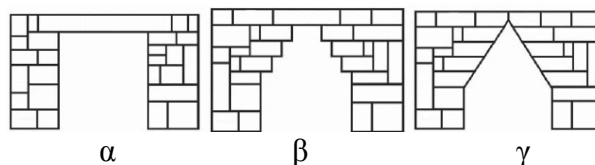


**Σχήμα 4.** Τύπος ξύλινης γέφυρας τοποθετημένης σε ξύλινους προβόλους εδραζόμενους στο ένα άκρο τους, που αναπτύχθηκε στην Κίνα.



**Σχήμα 5.** Λεμβόζευκτη γέφυρα. Διακρίνονται οι λέμβοι στήριξης της γέφυρας.

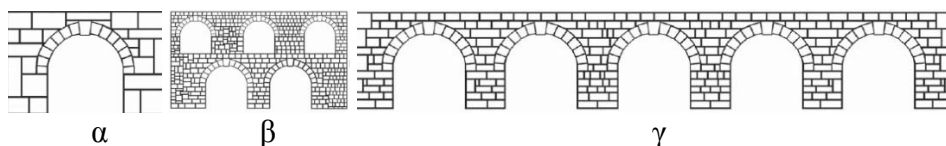
Οι Μυκηναίοι το 1500 π.χ. κατασκευάστηκαν γέφυρες με βάθρα από ογκόλιθους και με γέφυρα μια οριζόντια λίθινη δοκό (Σχ. 6α). Χαρακτηριστική περίπτωση του τύπου αυτού γέφυρας είναι η γέφυρα στη Δρακονέρα στα ΒΔ της Ακρόπολης των Μυκηνών. Οι Μυκηναίοι αξιοποίησαν το εκφορικό σύστημα κατασκευής λίθινων προβόλων, όπου κάθε ανώτερη στρώση προεξέχει της υποκείμενης, σχηματίζοντας συγκλίνοντα ακρόβαθρα και δημιουργώντας θόλους με ακανόνιστα και κανονικά τριγωνικά ανοίγματα (Σχ. 6β,γ), τεχνική με την οποία κατασκευάζονται σήμερα οι ορεινές κατοικίες των βοσκών της Κρήτης τα γνωστά Μιτάτα.



**Σχήμα 6α,β,γ.** Τύποι Μυκηναϊκών γεφυρών με βάθρα από μεγάλους λίθους α) κάθετα βάθρα με εσοχή υποδοχής της οριζόντιας λίθινης ή ξύλινης δοκού, β,γ) Βάθρα του εκφορικού συστήματος κατασκευής με τεθλασμένη και με ευθύγραμμη τριγωνική σύγκλιση.

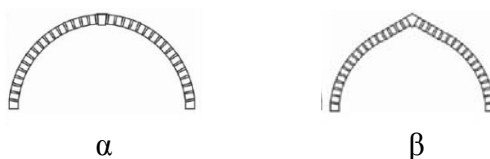
### **Περίοδος 2η: 200 π.Χ. - 1500 μ.Χ.**

Οι Ρωμαίοι πρώτοι και αργότερα οι βυζαντινοί αξιοποίησαν τις δυνατότητες των ημικυκλικών τόξων, κατασκευάζοντας γέφυρες με λεπτά τόξα, σε ένα ή περισσότερα διαζώματα, εδραζόμενες σε ογκώδη βάθρα (Σχ. 7). Με την ίδια τεχνική κατασκεύασαν πλήθος τοξωτών υδατογεφυρών για την υδροδότηση πόλεων. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν οι υδατογέφυρες του Gard κοντά στο Nim της Γαλλίας (το 14 μ.χ.), η εξάτοξη γέφυρα στον ποταμό Alcantara της Ισπανίας (το 100 μ.χ.). Το υδραγωγείο της Κωνσταντινούπολης που κατασκευάστηκε επί Ιουστινιανού ήταν υδατογέφυρα με μήκος 240m. και ύψος 33m.



**Σχήμα 7α,β,γ.** Το ημικυκλικό τόξο που αξιοποίησαν πρώτοι οι Ρωμαίοι : α) μονότοξη ημικυκλική γέφυρα, β) Γέφυρα με πέντε ημικυκλικά τόξα σε δύο διαζώματα (τρία στο επάνω διάζωμα και δύο στο κάτω) και γ) Πεντάτοξη γέφυρα.

Οι Άραβες αργότερα έδωσαν στην κορυφή του ημικυκλικού τόξου των Ρωμαϊκών γεφυριών οξύληκτη μορφή, το γνωστό οξυκόρυφο τόξο (Σχ. 8α,β).

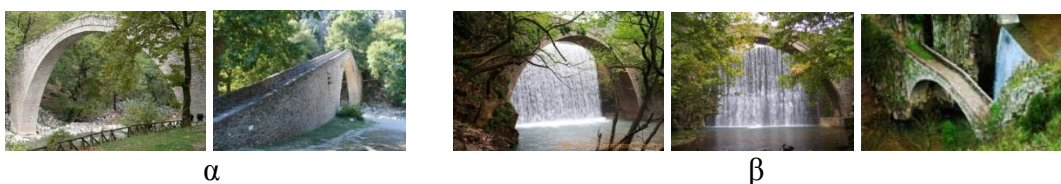


**Σχήμα 8α,β.** α) Κλασσικό ημικυκλικό Ρωμαϊκό τόξο και β) Οξυκόρυφο τόξο αραβικής προέλευσης. Στην κορυφή διακρίνεται ο θαλίτης ή κλειδί, ο τελευταίος και σημαντικότερος τοποθετούμενος λίθος που κλείνει τη γέφυρα.

Το τέλος της περιόδου αυτής βρίσκει τον ελληνικό χώρο υπό οθωμανική κατοχή.

### Περίοδος 3η: 1500 π.Χ. - 1940 μ.Χ.

Η έναρξη της περιόδου αυτής βρίσκει τους Έλληνες, προκειμένου να αποφύγουν τον άμεσο Τουρκικό ζυγό, να καταφεύγουν σε ορεινούς οικισμούς ή να κτίζουν νέους σε ορεινά δυσπρόσιτα μέρη. Όπως ήταν φυσικό η επικοινωνία, οι ενασχολήσεις επιβίωσης, οι θρησκευτικές, κοινωνικές και πολιτιστικές ανάγκες των κατοίκων των ορεινών αυτών οικισμών επέβαλλαν, ως τέκνα ανάγκης την κατασκευή πλήθους γεφυριών. Έτσι από το 1500 αρχίζει να αναπτύσσεται κυρίως στην κεντρική ορεινή Ελλάδα (Ηπειρος, Δυτική Μακεδονία, Ορεινή Αρκαδία) η τέχνη της γεφυροποιίας, όπως τα πανέμορφα γεφύρια, της Πόρτας (Εικ. 4α, έτος κτήσης 1514) και Παλαιοκαρυάς (Εικ. 4β, έτος κτήσης 1500-1550).



**Εικόνα 4α,β.** Άποψη α) της μονότοξης γέφυρας της Πόρτας ή γέφυρας του Βησαρίωνα (1514 π.Χ.) και β) η γέφυρα της Παλαιοκαρυάς (1500-1550).

Η περίοδος αυτή χαρακτηρίζεται από την κορύφωση της κατασκευής πέτρινων τοξωτών γεφυριών στον ελλαδικό χώρο και όχι μόνο. Ιδιαίτερα τον 18ο και 19ο αιώνα η λαϊκή τέχνη της κατασκευής πέτρινων τοξωτών γεφυριών φτάνει στο απόγειο της με λεπτά τόξα, ανθεκτικά βάθρα, οικονομία υλικών, αζεπέραστη αντοχή και υψηλή αισθητική η κατασκευή γεφυριών στον ελλαδικό χώρο φθάνει στο απόγειό της

αποτελώντας τον χρυσό αιώνα των ανώνυμων ελλήνων γεφυροποιών μαστόρων των συναφειών ή ισναφιών. Δείγματα της τέχνης των λαϊκών αυτών γεφυροποιών απαντώνται από την Ιταλία μέχρι την Ινδοκίνα, από τη Ρωσία μέχρι την Αραβική χερσόνησο και από την Ινδία μέχρι το Μαρόκο. Την περίοδο αυτή κατασκευάστηκε πλήθος πέτρινων τοξωτών γεφυριών κοσμώντας το φυσικό περιβάλλον της χώρας μας. Τα πέτρινα τοξωτά γεφύρια στέκουν εκεί υφιστάμενα την φθορά του πανδαμάτορα χρόνου ζητώντας από εμάς λίγη φροντίδα, αγάπη και σεβασμό σε αυτά και τον ανώνυμο κατασκευαστή τους και κατεπέκταση στην δημιουργικότητα του ανθρώπου. Άποψή μας είναι ότι δυστυχώς η παγκόσμια και η ελληνική ιστορία διδάσκει και ηρωοποιεί ιστορικά πολεμικά πρόσωπα και όχι εκείνους, που στα έργα και τις πράξεις τους αποτυπώνουν και εκφράζουν την ελεύθερη και ενταγμένη στη συμπαντική αρμονία ανθρώπινη δημιουργικότητα.

Στο τέλος της περιόδου (1920-1940) με την εισαγωγή των βιομηχανικών υλικών, ιδίως του σκυροδέματος η κατασκευή πέτρινων τοξωτών γεφυριών αρχίζει να φθίνει.

#### **Περίοδος 4η: 1940 π.Χ. - Σήμερα.**

Η περίοδος αυτή χαρακτηρίζεται από την φθίνουσα πορεία κατασκευής γεφυριών, η οποία πρακτικά τη δεκαετία 1950-1960 έπαυσε οριστικά, χάνοντας τη συνέχεια της λαϊκής αυτής τέχνης και τεχνικής.

#### **Μέθοδος αξιολόγησης της ενσωμάτωσης των γεφυριών στο φυσικό περιβάλλον, περιοχή έρευνας**

Η αξιολόγηση της ενσωμάτωσης-ένταξης των πέτρινων τοξωτών γεφυριών στο φυσικό περιβάλλον σε σχέση και με τις δυσκολίες κατασκευής βασίστηκε σε κάθε θέση στα υφιστάμενα κατασκευαστικά, δομικά, γεωμετρικά και αισθητικά κ.λ.π. στοιχεία και χαρακτηριστικά των γεφυριών και των θέσεων κατασκευής.

Ακολούθως έγινε αξιολόγηση της ενσωμάτωσης - ένταξης των γεφυριών στο φυσικό περιβάλλον με βάση τα παραπάνω στοιχεία και έχοντας πάντοτε υπόψη τις κατασκευαστικές δυσκολίες, τις τοπικές συνθήκες της διατομής ζεύξης (ύψος, πλάτος, σταθερότητα κοίτης), την καταλληλότητα, την εγγύτητα και την επάρκεια των δομικών υλικών κατασκευής, τη χρησιμότητα, την επικινδυνότητα και την προσβασιμότητα της κατασκευής. Η έρευνα του βαθμού ενσωμάτωσης-ένταξης στο φυσικό περιβάλλον χαρακτηριστικών- αντιπροσωπευτικών τύπων και μορφών τοξωτών γεφυριών του ελλαδικού χώρου, έγινε με την ακόλουθη περιγραφόμενη προτεινόμενη εμπειρική βαθμονόμηση των συνιστωσών στοιχείων των γεφυριών και της στενής και ευρύτερης περιοχής (δυσκολίες κατασκευής, γεωμετρικά και υδατοστερεομεταφορικά στοιχεία διατομών, κατασκευαστικά, λειτουργικά, υδραυλικοστατικά, δομικά και αρχιτεκτονικά στοιχεία γεφυριών).

#### **Στοιχείο ή χαρακτηριστικό**

#### **Βαθμονόμηση Χείριστη - Άριστη**

I: Τα ακόλουθα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της ευρύτερης περιοχής κατασκευής των γεφυριών:

Ia: Γενική μορφολογία ορογραφία, έκθεση της ευρύτερης περιοχής ένταξης του έργου.

0

70



Ιβ: Αναγλυφικό γεωϋπόθεμα (εδαφικό, ή βραχώδες ανάγλυφο, βαθμός τραχύτητας αναγλύφου (Παυλίδης 2005, 1998).	0	60
Ιι: Τα γεωμετρικά–υδρογραφικά χαρακτηριστικά των κοιτών κατασκευής των γεφυριών, με έμφαση στη διαμόρφωση των κοιτών, ως αποτελέσματα της διαβρωτικής δράσης του νερού.		
Ια: Τα υδραυλικά–υδραυλικοστερεομεταφορικά στοιχεία του χειμάρρου στην περιοχή ανάπτυξης των γεφυριών.	0	40
Ιβ: Τα χαρακτηριστικά της διακινούμενης υδατοπαροχής (μορφή κίνησης του νερού εντός των κοιτών με ή χωρίς την παρουσία υδατοπτώσεων (καταρρακτών πάσης φύσεως, συνεχών μικρές επάλληλες υδατοπτώσεις σε μορφή φυσικής κασκάδας).	0	90
Ιιι: Ο βαθμός δυσκολίας της κατασκευής της γέφυρας, στη διατομή ζεύξης–έδρασης και ο βαθμός κινδύνου κατάρρευσης, λόγω παράσυρσης της από πλημμυρικά νερά ή λόγω διάβρωσης-υποσκαφής των βάθρων της.	0	80
Ιιιι: Η μορφή, η δομή και η σύνθεση της παρόχθιας και της παραχειμάρριας περιμετρικής βλάστησης, σε συνδυασμό με τη μορφή και το χαραδρωτικό βάθος της κοίτης, στη θέση κατασκευής της γέφυρας.	0	80
Ιιιιι: Τα γεωμετρικά, λειτουργικά, τεχνικά, υδραυλικοστατικά, αρχιτεκτονικά και περιβαλλοντικά στοιχεία των γεφυρών.		
Ιιιιια: Τα γεωμετρικά και υδραυλικοστατικά στοιχεία της κατασκευής.	0	100
Ιιιιιβ: Τα αρχιτεκτονικά στοιχεία της γέφυρας.	0	100
Ιιιιιγ: Ο βαθμός εναρμόνισης και σεβασμού της γέφυρας στο χειμαρρικό χώρο, στη χειμαρρική λειτουργία και στον περιβάλλοντα χώρο.	0	180

Ακολούθως τα συμμετέχοντα στην έρευνα γεφύρια, ανάλογα με τη συνολική τους βαθμονόμηση εντάχθηκαν στις ακόλουθες βαθμίδες ενσωμάτωσης – ένταξης τους στο φυσικό περιβάλλον.

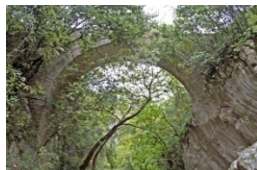
<u>Συνολική βαθμονόμηση γέφυρας</u>	<u>Χαρακτηρισμός ενσωμάτωσης- της γέφυρας στο φυσικό περιβάλλον</u>
0 – 160	Χωρίς προσαρμογή – ενσωμάτωση στο φυσικό περιβάλλον
160 – 320	Μικρή προσαρμογή – ενσωμάτωση στο φυσικό περιβάλλον
320 – 480	Μέτρια προσαρμογή – ενσωμάτωση στο φυσικό περιβάλλον
480 – 640	Ισχυρή προσαρμογή – ενσωμάτωση στο φυσικό περιβάλλον
640 – 800	Σχεδόν απόλυτη προσαρμογή – ενσωμάτωση στο φυσικό περιβάλλον

Στην παρούσα έρευνα συμμετείχαν τα ακόλουθα πέτρινα τοξωτά γεφύρια (Εικ. 5)

### **I: Μονότοξα**



1. Κλειδωνιάς



2. Γκρίμπας Θεσπρωτία



3α,β. Μανώλη, λίμνη Κρεμαστών



4. Κόνιτσας



5. Πλάκας



6. Συρράκο



7. Ζέρμας



8. Πόρτας (Βησσαρίωνα)



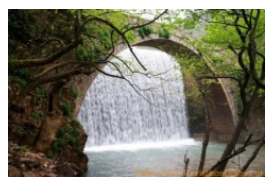
9. Ζαγόρι



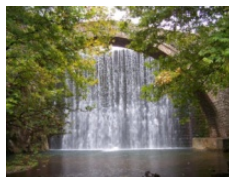
10. Τσαγκαράδας



11. Καρυάς Μακρινίτσας



12α,β. Παλιοκαρυάς



13. Πολίτσας Αραχθός



14. Χλόης Ξάνθης



15. Μέδουσας Ξάνθης



16α,β. Ανθούσας



17. Παππά Ξάνθης



18. Σταμάτη Ξάνθης



19. Λουζίνικο



20. Νεραϊδοχωρίου



21. Κοντοδήμου



22α,β. Θεογέφυρο



23. Κοράκου (καταστράφηκε στον εμφύλιο το 1949)



24α,β. Πορτίτσες



25. Βίνιανης



26. Βωβούσας



27. Αώου



28. Τσίπιανης Ζαγόρια



29. Γκούρας Τρίστενας



30. Ζαγόρι, Αγίου Μηνά



31. Καμπέρ-Αγά



32. Αζίζ Αγά



33. Βαθύλακκου Αχέροντα



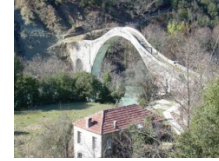
34. Καλαρρύτεκο



35. Μασσαγγάνη



36α,β Σταμπέκη



37. Πέτρας



38α,β,γ, Κοκκόρου

## II: Δίτοξα



1α,β. Κήπων Ιωαννίνων



2. Μίσιου



3. Κάτω Κερασιάς



4. Κατωγέφυρο Καλαμά



6. Τύρια Ιωαννίνων



7. Σάτρης



8. Γεφύρι Ανθούσας



9. Αγγίτης (Μααρά)



10. Δίτοξο γεφύρι 90<sup>0</sup> Ιωάννινα

### III: Πολύτοξα



1 α,β,γ. Το Γεφύρι της Άρτας



2α,β,γ,δ,ε,στ. Πλακίδα ή Καλογερικό

3. Γέφυρα Κυράς Λάδωνας

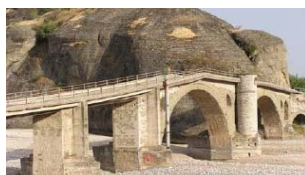


4. Πραμόρτσας

5. Καρύταινας Αλφειός

6. Μεγαλόπολης

7. Παπαστάθη



8α,β. Σαρακίνας Πηνειός

9. Η 10-τοξη γέφυρα Τυρνάβου

**Εικόνα 5.** Εικόνες – Απόψεις των γεφυριών που συμμετέχουν στην παρούσα έρευνα.

### **Αποτελέσματα**

Τα αποτελέσματα της διεξαχθείσας έρευνας, σύμφωνα με την βαθμονόμηση – κατάταξη τους, παρέχονται στον Πίνακα 1 που ακολουθεί.

**Πίνακας 1.** Τα πέτρινα τοξωτά γεφύρια που συμμετείχαν στην παρούσα έρευνα.

Κοδ. Γέφυρας	Βαθμολόγηση εξεταζόμενου χαρακτηριστικού									Βαθμολόγηση – Προσαρμογή στο περιβάλλον
	Iα	Iβ	IIα	IIβ	III	IV	Vα	Vβ	Vγ	
<b>I: ΜΟΝΟΤΟΞΑ</b>										
1	52	37	31	71	48	67	65	62	125	Σύνολο 559: Ισχυρή προσαρμογή
2	37	52	10	33	32	39	58	64	158	Σύνολο 477: Μέτρια προσαρμογή
3	39	34	28	65	59	36	69	73	109	Σύνολο 512: Ισχυρή προσαρμογή
4	55	36	52	68	63	62	74	72	118	Σύνολο 581: Ισχυρή προσαρμογή
5	56	38	33	69	65	65	75	71	123	Σύνολο 596: Ισχυρή προσαρμογή
6	48	48	14	41	27	49	61	68	159	Σύνολο 515: Ισχυρή προσαρμογή
7	35	32	29	57	59	35	68	69	96	Σύνολο 480: Ισχυρή προσαρμογή
8	50	39	29	55	47	58	65	61	115	Σύνολο 529: Ισχυρή προσαρμογή
9	27	17	12	38	14	18	44	52	162	Σύνολο 384: Μέτρια προσαρμογή
10	57	31	18	36	35	53	62	60	165	Σύνολο 517: Ισχυρή προσαρμογή
11	34	26	17	34	29	45	49	46	112	Σύνολο 392: Μέτρια προσαρμογή
12	48	39	30	57	56	55	58	69	142	Σύνολο 554: Ισχυρή προσαρμογή
13	50	26	32	53	52	47	60	64	126	Σύνολο 510: Ισχυρή προσαρμογή
14	52	28	20	32	38	49	54	52	129	Σύνολο 455: Μέτρια προσαρμογή
15	47	29	25	36	40	38	57	62	112	Σύνολο 476: Μέτρια προσαρμογή
16	58	30	22	37	29	44	64	62	168	Σύνολο 519: Ισχυρή προσαρμογή
17	50	32	28	39	47	40	63	60	117	Σύνολο 476: Μέτρια προσαρμογή
18	53	28	21	35	45	51	67	65	162	Σύνολο 517: Ισχυρή προσαρμογή
19	22	24	13	18	20	18	36	30	69	Σύνολο 247: Μικρή προσαρμογή
20	42	32	25	24	29	32	49	47	113	Σύνολο 373: Μέτρια προσαρμογή
21	58	50	28	29	45	39	59	63	163	Σύνολο 534: Ισχυρή προσαρμογή
22	Θεογέφυρο : Φυσικό γεφύρι χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση στον ποταμό Καλαμά (Θύαμη). Αποτελεί γεφύρι-μάρτυρα σύγκρισης με τις πέτρινες τοξωτές γέφυρες.									
23	65	52	35	68	69	40	78	75	170	Σύνολο 644: Απόλυτη προσαρμογή
24	65	40	26	39	48	34	58	62	174	Σύνολο 540: Ισχυρή προσαρμογή
25	45	42	28	43	50	49	53	55	116	Σύνολο 481: Ισχυρή προσαρμογή
26	49	46	28	48	52	51	55	62	109	Σύνολο 500: Ισχυρή προσαρμογή
27	52	47	32	58	53	48	57	60	132	Σύνολο 539: Ισχυρή προσαρμογή
28	57	45	28	47	50	59	62	82	169	Σύνολο 599: Ισχυρή προσαρμογή
29	51	46	30	52	54	48	65	70	143	Σύνολο 559: Ισχυρή προσαρμογή
30	47	22	22	36	29	74	43	48	171	Σύνολο 492: Ισχυρή προσαρμογή
31	38	25	28	49	56	43	62	65	105	Σύνολο 471: Μέτρια προσαρμογή
32	42	27	29	51	62	39	65	69	111	Σύνολο 495: Ισχυρή προσαρμογή
33	45	33	26	37	43	41	63	66	137	Σύνολο 491: Ισχυρή προσαρμογή
34	49	37	18	23	31	44	43	698	168	Σύνολο 481: Ισχυρή προσαρμογή
35	43	28	14	31	23	44	69	75	162	Σύνολο 489: Ισχυρή προσαρμογή
36	47	25	18	35	26	58	59	58	169	Σύνολο 495: Ισχυρή προσαρμογή
37	56	49	23	48	47	39	71	69	138	Σύνολο 573: Ισχυρή προσαρμογή
38	65	51	30	58	57	43	65	78	172	Σύνολο 540: Ισχυρή προσαρμογή
<b>II: ΔΙΤΟΞΑ</b>										
1	49	31	31	55	59	48	64	66	110	Σύνολο 513: Ισχυρή προσαρμογή
2	47	33	30	56	61	45	66	69	115	Σύνολο 522: Ισχυρή προσαρμογή
3	36	24	21	30	28	49	48	40	89	Σύνολο 285: Μικρή προσαρμογή
4	33	29	25	29	45	36	57	85	149	Σύνολο 488: Ισχυρή προσαρμογή
5	27	27	25	30	49	33	58	83	145	Σύνολο 477: Μέτρια προσαρμογή

6	33	32	27	35	52	38	51	60	127	Σύνολο 455: Μέτρια προσαρμογή
7	32	31	26	34	50	30	52	63	103	Σύνολο 421: Μέτρια προσαρμογή
8	50	30	29	42	48	59	54	69	146	Σύνολο 517: Ισχυρή προσαρμογή
9	21	32	33	58	36	40	47	40	78	Σύνολο 385: Μέτρια προσαρμογή
10	33	50	28	31	48	37	75	85	159	Σύνολο 546: Ισχυρή προσαρμογή
<b>III: ΠΟΛΥΤΟΞΑ</b>										
1	32	39	33	78	80	28	93	95	88	Σύνολο 565: Ισχυρή προσαρμογή
2	51	52	33	65	62	60	72	89	165	Σύνολο 649: Απόλυτη προσαρμογή
3	29	35	30	52	59	30	55	50	84	Σύνολο 424: Μέτρια προσαρμογή
4	30	32	30	53	60	38	58	68	118	Σύνολο 487: Ισχυρή προσαρμογή
5	36	35	28	54	57	22	53	66	103	Σύνολο 464: Μέτρια προσαρμογή
6	33	32	26	52	31	30	47	42	83	Σύνολο 366: Μέτρια προσαρμογή
7	34	36	31	53	58	40	61	69	135	Σύνολο 517: Ισχυρή προσαρμογή
8	31	37	32	49	65	28	78	75	113	Σύνολο 508: Ισχυρή προσαρμογή
9	22	42	28	43	60	26	64	59	92	Σύνολο 436: Μέτρια προσαρμογή

### Σύνοψη, κρίσεις, συμπεράσματα

Τα πέτρινα τοξωτά γεφύρια της Ελλάδας συνθέτουν την αρμονική συνύπαρξη και το ανέγγιχτο, για το φυσικό περιβάλλον, αποτύπωμα της δημιουργικής έμπνευσης του ανθρώπου, που όχι μόνο σέβεται αλλά και αναδεικνύει την αρχέγονη ομορφιά της μητέρας φύσης. Η απόλυτη ένταξη των γεφυριών στο φυσικό περιβάλλον, προήλθε από την ανάγκη των ανθρώπων, για βελτίωση των συνθηκών διαβίωσης και επικοινωνίας, η οποία τους οδήγησε στο χτίσιμο αυτών των αρχιτεκτονικών αριστουργημάτων. Τα πέτρινα γεφύρια, που αποτελούν την προέκταση της ανθρώπινης δημιουργίας στην συμπαντική αρμονία, εντάσσονται στο τοπικό φυσικό περιβάλλον, στο οποίο προσδίδουν μια προσάγουσα προς αυτό αισθητική. Η αρμονική σύνδεση-σύζευξη των γεφυριών, με το φυσικό περιβάλλον, οφείλεται αποκλειστικά στο ότι οι μαϊστορες κτίτορες των γεφυριών, διαπνεόμενοι από την αρχή ότι ο πρώτος γεφυροποιός είναι η μητέρα φύση, αφουγκράσθηκαν και υπάκουσαν στους φυσικούς νόμους και κανόνες, χωρίς να την προσβάλλουν λειτουργικά, δομικά, αισθητικά και κατασκευαστικά. Στα πλαίσια αυτά με απλά φυσικά υλικά (πέτρα, χώμα, ξύλο, άχυρο, αυγά, κ.λ.π.) δημιούργησαν έργα προεκτάσεις ανάδειξης του φυσικού χώρου. Τα πέτρινα γεφύρια, για πάνω από 300 χρόνια (1500-1912) και κυρίως την περίοδο 1600-1900, αποτέλεσαν τις βάσεις ανάπτυξης της οικονομικής, κοινωνικής, πολιτιστικής και εν πολλοίς ελεύθερης ζωής των υπόδουλων ελλήνων του ορεινού χώρου. Η σημαντική ελευθερία κινήσεων και η δυνατότητα επικοινωνίας που παρείχαν τα πέτρινα γεφύρια αποτέλεσε το υπόστρωμα διατήρησης της εθνικής συνείδησης και της ανάπτυξης του κινήματος των κλεφτών και αρματολών. Προϊόντος του χρόνου πολλά πέτρινα γεφύρια καταστράφηκαν μερικά ή ολοκληρωτικά, από έλλειψη συντήρησης, πλημμύρες, υποσκαφές πρανών και βάρων, σαμποτάζ, πολεμικές ενέργειες, σεισμούς, αλλά και ανθρώπινες επεμβάσεις. Σημαντικός αριθμός γεφυριών απωλέσθηκαν, γιατί καλύφθηκαν από νερά ταμιευτήρων, ή επιχώθηκαν στα πλαίσια διάνοιξης νέων οδών ή διαπλάτυνσης παλαιών, ή εγκιβωτίστηκαν με σκυρόδεμα, για να αυξηθεί το πλάτος καταστρώματος και να καλυφθούν σύγχρονες κυκλοφοριακές ανάγκες, ή επιβαρύνθηκαν με φορτίσεις πέραν της δυνατότητάς τους. Εκτός από μερικές περιπτώσεις, (συχνά λανθασμένες, όπως η περίπτωση του γεφυριού της Άρτας, που η υποσκαφή των κεντρικών βάρων του αντιμετωπίστηκε ως στατικό και όχι ως διαβρωτικό πρόβλημα με τσιμεντενέσεις των διακένων του σώματός του, με αποτέλεσμα την απώλεια της αυθεντικότητάς του), κανένα ουσιαστικό μέτρο δεν πάρθηκε για τη διάσωση, έστω των πιο αξιόλογων

γεφυριών από επικείμενη κατάρρευση (Γαλερίδης 1995). Τι κι αν σήμερα, τα ταλαιπωρημένα από το χρόνο και την ανθρώπινη αδιαφορία πέτρινα γεφύρια, φιγουράρουν σε τηλεκάρτες και γραμματόσημα. Πιστεύουμε ότι στην ουσία τους οι ανακηρύξεις μνημείων πολιτισμού, όπως εν προκειμένω των γεφυριών, **ως διατηρητέων**, αποτέλεσαν και αποτελούν άλλοθι, για την απραξία μας, με αποτέλεσμα η αξία αυτών των βαρύγδουπων ανακοινώσεων – διακηρύξεων να παύει με το πέρας της λεκτικής εκφοράς της διακήρυξης.

Επειδή πιστεύω ότι δεν μπορεί να περιμένουμε τίποτε και δεν πρέπει να βαυκαλιζόμαστε περιμένοντας να ανατείλει στο υφιστάμενο σκοτεινό πολιτικό στερέωμα η λάμπουσα ανατολή, είναι καιρός, στην καρδιά και στην ψυχή ουσιαστικά μορφωμένος λαός μας, αγνοώντας τις συμβουλές – κατευθύνσεις των χωρίς ηθική ενταγμένων στην υπηρεσία του χρήματος Δουρείων πνευματικών ταγών μας, αποδεχόμενος την σημερινή πραγματικότητα, με τις αναλογούσες δυνάμεις εκάστου εξ ημών, να πάρουμε τις τύχες στα χέρια μας. Μόνο ο απλός, αλλά ο μέσω της παράδοσής έντονα μορφωμένος με τις άχραντες ιδέες της ελληνικής παιδείας και παράδοσης, λαός μας, μπορεί να αναστήσει το δένδρο της ελληνικής παιδείας, της αγνής ορθόδοξης πίστης, της ηθικής, του δικαίου και της αρετής, που αιώνες τώρα κουβαλούσαν στις πλάτες τους, σε δύσκολες εποχές, οι έλληνες της προσφοράς και όχι της διαπλοκής και του χρήματος.

Για τους παραπάνω λόγους η διατήρηση-προστασία των πέτρινων γεφυριών δεν αποτελεί μια τυπική υποχρέωσή μας απέναντι σε κάποια έργα του παρελθόντος, αλλά σηματοδοτούν κάτι πολύ ουσιαστικότερο και σημαντικότερο, που είναι το ξαναβάπτισμα του εαυτού μας και της κοινωνίας μας με τα άχραντα μυστήρια των πανανθρώπινων αξιών της ελληνικής παιδείας, και με στόχευση τις πνευματικές καρπώσεις της εμβλαπτιζόμενης στην κολυμπήθρα της ηθικής και κοινωνικής δικαιοσύνης και αρετής ελεύθερης δημοκρατίας. Θεωρώ ότι το αίμα και ο ιδρώτας του μόχθου και της ελευθερίας, των ανθρώπων, που διέβηκαν, περπάτησαν εμπορεύθηκαν, συναντήθηκαν, συνεόρτασαν ερωτεύθηκαν, φιλιώσαν ή πολέμησαν, κ.λ.π, διαπότισε τις πέτρες αυτών των εκπληκτικών κατασκευών. Οι πέτρες αυτές, που μας αφηγούνται τα βιώματα αιώνων και μέσω αυτών μας κατευθύνουν στον δρόμο τον καλοκάγαθο, αποτελούν ίσως την σημαντικότερη παρακαταθήκη της Ελλάδας των αξιών, που σήμερα κινδυνεύουμε να απολέσουμε. Τα παραπάνω επισημαίνοντας ότι κάθε πέτρα, που αποκολλάται από κάποιο πέτρινο γεφύρι ξεριζώνει κομμάτι της ψυχής μας, ακόμη και ανθρώπων που αγνοούν ή αδιαφορούν, για την ύπαρξή τους.

Επισημαίνουμε ότι ο άνθρωπος δεν πρέπει να ξεχνά ότι αποτελεί μέρος της φύσης στην οποίαν σύντομα θα επιστρέψει. Για το λόγο αυτό ας διάγει τη ζωή του πορευόμενος έχοντας ως οδηγό τις ακόλουθες ρήσεις των αρχαίων προγόνων μας:

***Η εναρμόνιση του ανθρώπου προς τον άνθρωπο***

***Η εναρμόνιση του ανθρώπου προς τη φύση***

***Η εναρμόνιση των αγαθών απόληψης προς τις πραγματικές ανάγκες.***

## **Βιβλιογραφία**

- Αράπογλου, Μ. (1981). Γεφύρια του Ζαγορίσιου χώρου. Δελτ. Κέντ. Ερευνών Ζαγορίου.
- Γαλερίδης, Α. (1995). Τα πέτρινα γεφύρια της Θεσσαλίας. Έκδοση Τμήματος Τ.Ε.Ε Ελλάδας. Παράρτημα Κεντρικής και Δυτικής Θεσσαλίας.

- Γκράσσο, Γ. (1995). Τα Πέτρινα Γεφύρια της Ελλάδας. Εθνικό Θεματικό Δίκτυο Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης Μακρινίτσας.
- Γοργογέτας, Σ. (2003). Τα πέτρινα γεφύρια των Τρικάλων (εκδ. Δήμου Αιθίων).
- Δημητράκης, Α. (2002). Τα πέτρινα γεφύρια της Ελλάδας. έκδ. ΑΔΑΜ.
- Έξαρχος, Γ. (2002). Το γεφύρι της Άρτας. Άρτα. Έκδ. Σκάλα.
- Ζαχαρόπουλος, Δ. (2002). Το μήνυμα που κουβαλάνε τα Πέτρινα Γεφύρια στο διάβα των αιώνων.
- Καμηλάκης, Π.Ι. (2003). Οι χορηγοί κατασκευής των πέτρινων γεφυριών στη μεταβυζαντινή και νεοελληνική περίοδο. «Περί Πετρογέφυρων». Α' Επιστημονική Συνάντηση Κέντρου Μελέτης Πέτρινων Γεφυριών. 23 Νοεμβρίου 2003, σελ. 49.
- Κόκκας, Ν. (2002). Πέτρινα Γεφύρια της Ροδόπης. Περιοδικό Κορφές. Τεύχος 154.
- Μαντάς, Σ. (2005). Περί πετρογέφυρων. Γεφυριών ιστορίες. Πρακτικά Β Επιστημονικής συνάντησης ΚΕ.ΜΕ.ΠΕ.Γ. Αθήνα. Νοέμβριος 2004.
- Κόκκας, Ν. (2003). Η «γέφυρα του παπά» στα Πομακοχώρια της Ξάνθης. «Περί Πετρογέφυρων». Α' Επιστημονική συνάντηση ΚΕ. ΜΕ. ΠΕ. Γ. Αθήνα.
- Κολτσιδόπουλος, Ε. (1995). Τα Πέτρινα Γεφύρια της Ελλάδας. Εθνικό Θεματικό Δίκτυο Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης Μακρινίτσας Υπεύθυνος του Κ.Π.Ε Μακρινίτσας.
- Λομέφ-Ζαχαροπούλου, Ε. (2002). Πέτρινα γεφύρια της Θράκης. 1<sup>ο</sup> Λύκειο Ξάνθης 1996.
- Πρακτικά Α' Επιστ. Συνάντησης του Κέντρου Μελέτης Πέτρινων Γεφυριών: «Περί Πετρογέφυρων». Καλλιθέα 23 Νοεμβρίου 2002, σελ. 19-28.
- Μαμμόπουλος, Α. (1973). Λαϊκή αρχιτεκτονική. Ηπειρώτες μάστοροι και γεφύρια. Άρτα.
- Μαντάς, Σ. (1985). Τα Ηπειρώτικα γεφύρια. Αθήνα.
- Μαντάς, Σ. (1997). Το γεφύρι και ο Ηπειρώτης. Εκδ. Τεχνικές Εκδόσεις. Αθήνα.
- Μαντάς, Σ. (2008). Πέτρινα Γεφύρια στη Βόρεια Ήπειρο. Α.Γ.Η.
- Μαντάς, Σ. (2010). Γέφυρα Κοράκου. Πέρασμα μνήμης. Άρτα.
- Μαντάς, Σ. (1987). Οδοιπορικό στα Ηπειρώτικα Γεφύρια. Ντοκυμαντέρ της ΕΤ1, σκηνοθεσία Μ. Ταταλίδη.
- Μαντάς, Σ. (1987). Τα Γεφύρια της Ηπείρου. Ντοκυμαντέρ της ΕΤ1, σκηνοθεσία Ν. Παπαθανασίου.
- Μαντάς, Σ. (2007). Οι θησαυροί της Ελλάδας. Πέτρινα γεφύρια. Εκδ. Τα Νέα.
- Μουτσόπουλος, Ν. (1976). Κουδαραιίοι, Μακεδόνες και Ηπειρώτες Μαΐστορες.
- Μπεληγιάννη, Εύη. (2007). Αναζητώντας τα πέτρινα γεφύρια της Ελλάδας. Εκδ. Λιβάνη.
- Παπαδημητρίου, Μ., Γραμμένος, Κ. (2010). Γέφυρα Κοράκου. Ιστορική αναδρομή στο χώρο και το χρόνο. Άρτα.
- Παπακώστα-Συνίκη, Ν. (2002). Πέτρινα Γεφύρια. Αθήνα.
- Πασσαλής, Μ (2003). Τα πέτρινα γεφύρια της Ξάνθης και της υπόλοιπης Θράκης. (Ν.Α. Ξάνθης).
- Πετρονώτης, Α. (2001). Πέτρινα γεφύρια στην Ελλάδα. στο «Φύση και έργα ανθρώπων», εκδ. Κέντρο Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης Κόνιτσας.
- Σταματοπούλου, Χ. (1995). Ελληνική Παραδοσιακή Αρχιτεκτονική. Τόμος έκτος. Θεσσαλία – Ήπειρος. Ζαγόρι. Εκδ. Μέλισσα.
- Σχισμένος, Α. (2001). Τα πέτρινα γεφύρια του Άραχθου. Άρτα.
- Τσότσος, Γ. (1996). Τα πέτρινα Γεφύρια της Μακεδονίας. Θεσσαλονίκη.
- Χαράτσης, Ν. (1996). Τα πέτρινα γεφύρια του Πηλίου.



## ΥΔΑΤΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΚΑΙ ΤΑΜΙΕΥΤΙΚΕΣ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΤΗΣ ΑΝΩΤΕΡΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΟΥ ΧΕΙΜΑΡΡΟΥ ΜΥΡΙΧΟΥ

### **Αικατερίνη Κάλφα**

Msc Δασολόγος – Περιβαλλοντολόγος, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης  
Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος  
Εργαστήριο Διευθέτησης Ορεινών Υδάτων  
e-mail: [katekalfa@for.auth.gr](mailto:katekalfa@for.auth.gr)

### **Θεοφάνης Παυλίδης**

Επίκουρος Καθηγητής, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης  
Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος  
Εργαστήριο Διευθέτησης Ορεινών Υδάτων  
e-mail: [pavlth@for.auth.gr](mailto:pavlth@for.auth.gr)

### **Χαρίσιος Γκανάτσιος**

Δρ. Δασολόγος – Υδρολόγος Ι.Δ.Α.Χ, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης  
Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος  
Εργαστήριο Διευθέτησης Ορεινών Υδάτων  
e-mail: [cganats@for.auth.gr](mailto:cganats@for.auth.gr)

### **Βασίλειος Παπαθανασίου**

Msc Δασολόγος – Χειμαρρολόγος, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης  
Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος  
Εργαστήριο Διευθέτησης Ορεινών Υδάτων  
e-mail: [bparatha@yahoo.gr](mailto:bparatha@yahoo.gr)

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Είναι γνωστή η ανομοιογένεια, η ανισοκατανομή και οι έντονες χρονικές διαφοροποιήσεις των κατακρημνισμάτων στον ελλαδικό χώρο. Την ψυχρή βροχερή περίοδο η περίσσεια του νερού οδηγεί σε διαβρώσεις, προσχώσεις και έντονες πλημμύρες, ενώ τη θερινή θερμή περίοδο παρατηρούνται έντονα προβλήματα λειψυδρίας.

Στην παρούσα εργασία ερευνήθηκε το υδατικό δυναμικό και το υδατικό ισοζύγιο της ανώτερης λεκάνης του χειμάρρου Μύριχου Κοζάνης

- α) Τα μέσα ετήσια υδατικά διαθέσιμα του χειμάρρου Μύριχου, τα οποία ανέρχονται σε **5.786.489** m<sup>3</sup>/έτος, υπερκαλύπτουν τις υδατικές ανάγκες των περίπου 580.000 m<sup>3</sup> της συνολικής υδατικής ζήτησης (αρδευτική ζήτηση 450.000 m<sup>3</sup>, υδρευτική ζήτηση 130.000 m<sup>3</sup>) της περιοχής.
- β) Στο χειμάρριο χώρο αναζητήθηκαν κατάλληλοι και ικανοί ταμιευτικοί χώροι, που να απαντούν στις υδατικές απαιτήσεις της περιοχής. Από την έρευνα προέκυψε

κατάλληλος και επαρκής ταμειευτικός χώρος χωρητικότητας  $V = 635.000 \text{ m}^3$ , ικανός να καλύψει τη συνολική υδατική ζήτηση της περιοχής.

**Λέξεις κλειδιά:** *torrent, water dynamic, water balance, attributable water-loads, water saving.*

### **Εισαγωγή και θέση του προβλήματος**

Η αντιμετώπιση των σύγχρονων χειμαρρικών προβλημάτων, ιδιαίτερα της λειψυδρίας, αλλά και των λοιπών υδρολογικών, υδραυλικών, στερεοπαροχетеυτικών και πλημμυρικών προβλημάτων, η διευθέτηση της σύγχρονης ορεινής υδρονομικής οφείλει να κινείται στα ακόλουθα βήματα:

α) να εκκινά από τους αρχικούς τροφοδότες-κλάδους (ιδιαίτερα τους απώτερες), επειδή η απόσβεση τους μεγιστοποιεί το αντιπλημμυρικό όφελος.

β) να αξιοποιεί στο μέγιστο βαθμό τα διακινούμενα υδατοφορτία της βροχερής πλεονασματικής περιόδου με ταμίευσή τους σε κατάλληλους εσωχειμάρριους και εξωχειμάρριους χώρους.

Ο χείμαρρος Μύριχος είναι γνωστός για το πλημμυρικό ιστορικό με συχνές επαναλαμβανόμενες πλημμύρες, οφειλόμενο στο έντονο ανάγλυφο, στο γεωλογικό-εδαφικό υπόθεμα, συνιστάμενο μερικώς από ευαποσάθρωτους ασβεστόλιθους και κυρίως από σχετικά έως αρκετά αδιαπέρατους γνεύσιους, σερπαντίνες, χλωριτικούς και μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους και οι μεγάλοι ύψους και ραγδαίες βροχοπτώσεις. Η πλημμυρική δράση του Μύριχου εκφράζεται στις αδύναμες παροχетеυτικά και υδραυλικοστατικά κεντρικές κοίτες του, ιδιαίτερα στο ύψος του Σισανίου. Ενδεικτικά αναφέρουμε τις πλημμύρες των ετών 1935, 1943, 1958, 1963, 1981, 1995 και 2003. Ιδιαίτερα κατά την πλημμύρα του 1935 στην περιοχή Σισανίου παρεσύρθησαν και καταστράφηκαν 6 κατοικίες, ενώ άλλες 32 υπέστησαν μερική ή ολική καταστροφή. Με τα έργα διευθέτησης, που υλοποίησε, κατά την περίοδο 1958-1965, η Δασική Υπηρεσία, η χειμαρρική λειτουργία του χείμαρρου ομαλοποιήθηκε σε μεγάλο βαθμό. Στην ίδια περιοχή καταγράφεται έντονο πρόβλημα θερινής λειψυδρίας (υδρευτικής, αρδευτικής), παρά το γεγονός ότι ο χείμαρρος Μύριχος είναι χείμαρρος μικρής συνεχούς ροής.

Η παρούσα εργασία, μετά από σύντομη καταγραφή των συνθηκών του χειμαρρικού περιβάλλοντος και της πλημμυρικής επικινδυνότητας της ανώτερης κεντρικής λεκάνης του χείμαρρου Μύριχου, ερευνά το υδατικό δυναμικό και το υδατικό ισοζύγιο του χείμαρρου και αναζητά κατάλληλους και επαρκείς, για την κάλυψη της υδατικής ζήτησης, εσωχειμάρριους (φράγματα) ή εξωχειμάρριους (λιμνοδεξαμενές), ταμειευτικούς χώρους. Το αναπτυσσόμενο σύστημα υδρονομικής διευθέτησης επιδιώκει την ταυτόχρονη επίτευξη της υδρολογικής και της αρχής της αξιοποίησης, με συνδρομή, όπου απαιτείται, των αναγκαίων έργων της προστατευτικής αρχής (αντιπλημμυρικός - προστατευτικός σχεδιασμός). Βασικός κορμός του ακολουθούμενου σχεδίου (συστήματος) διευθέτησης αποτελούν τα έργα αξιοποίησης του υδατικού δυναμικού του χείμαρρου, με κατάλληλη κατά χώρο και χρόνο ταμίευση των πλεονασμάτων της βροχερής περιόδου, ιδιαίτερα των πλημμυροφορτίων και την ύστερη απόδοσή τους στους χώρους ζήτησης.

### **Περιοχή έρευνας**

Περιοχή έρευνας είναι η ανώτερη κεντρική λεκάνη του χείμαρρου Μύριχου, που αναπτύσσεται Α, ΝΑ της κοινότητας Βλάστης και καταλαμβάνει το ανώτερο και

ορεινότερο τμήμα του Μύριχου (Εικόνα 1). Η υδρολογική της θέση στο υδρογραφικό δίκτυο του χειμάρρου Μύριχου δίνεται στο Σχήμα 1.



**Σχήμα 1.** Η συνολική και η ανώτερη κεντρική λεκάνη του χειμάρρου Μύριχου.  
**Εικόνα 1.** Άποψη της ανώτερης κεντρικής λεκάνη του χειμάρρου Μύριχου.

## Μέθοδος έρευνας

Η μέθοδος έρευνας που ακολουθήθηκε έχει ως εξής:

1. Οριοθετήθηκε η λεκάνη οι υπολεκάνες και το υδρογραφικό δίκτυο του χειμάρρου Μύριχου, με χρήση χαρτών της Γ.Υ.Σ., κλίμακας 1:50.000 και 1:5.000. Ακολούθησε (Chow 1964, Gregory and Walling 1983, Κωτούλας 2001, Murphy et al. 1977, Tauer and Humborg 1992, Tricart 1965, Τσακίρης 1995, Viessman et al. 1989), ο υπολογισμός των ορεογραφικών, μορφομετρικών και υδρογραφικών χαρακτηριστικών τους.
2. Ακολούθησε υπολογισμός των ανηγμένων, στο μέσο υψόμετρο της λεκάνης ( $H_m$ ) κλιματικών στοιχείων (θερμοκρασία αέρα, βροχόπτωση), με αξιοποίηση των κλιματικών στοιχείων των εντός, ή εγγύς στην περιοχή λειτουργούντων σταθμών (Β.Σ. Κλεισούρας, Εμπορίου, Σισσανίου, Γαλατινής, Σιάτιστας, ΜΣ. Κοζάνης, Καστοριάς και Πτολεμαΐδας) και με τον Μ.Σ. Πτολεμαΐδας να χρησιμοποιείται ως σταθμός αναφοράς. Ο αναλογικός υπολογισμός των ανηγμένων ετήσιων και μηνιαίων θερμοκρασιών αέρα και των αντίστοιχων υψών βροχής της περιόδου 1951-1994 (44 έτη), έγινε με τη χρήση της τοπικής βροχοβαθμίδας  $\Delta P_m$  ( $\Delta P_m = 51,87\text{mm}/100\text{m}$ ) και θερμοβαθμίδας  $\Delta T_m$  ( $\Delta T_m = -0,602^\circ\text{C}/100\text{m}$ ). Στη συνέχεια υπολογίστηκαν το δυναμικό  $V_p$  των βροχοπτώσεων και το υδατικό ισοζύγιο, της περιόδου 1988-1994 (40 έτη) με τη χρήση του μοντέλου του υδατικού ισοζυγίου<sup>1</sup>. (Soil Conservation Service (CSC) 1972, Baungartner and Reiche 1975, Παυλίδης 1998, 2003). Συνήθως βρίσκει ευρεία εφαρμογή το απλό μοντέλο της εδαφικής υγρασίας, **το οποίο όμως αγνοεί το μέγεθος και την πορεία του φαινομένου της υδατοσυγκράτησης  $L_p$** . Το μοντέλο χρησιμοποιεί ως εισόδους τις υδατοπροσαγωγές της βροχόπτωσης  $P$  (σπάνια και της χιονόπτωσης  $P_s$ ) και τη δυναμική εξατμισοδιαπνοή  $ET_p$  και δίνει ως εξόδους την πραγματική εξατμισοδιαπνοή  $ET_r$  και την συνολική πλεονάζουσα ποσότητα των κατακρημνισμάτων της λεκάνης. Το μοντέλο αυτό συνήθως εφαρμόζεται σε μηνιαία βάση και χρησιμοποιεί μόνο μια παράμετρο, τη μέγιστη διαθέσιμη (αποδόσιμη στα φυτά) υδατοχωρητικότητα του εδάφους  $Sto$ . Στην μέθοδο του υδατικού ισοζυγίου το αδύνατο σημείο αποτελεί η μη εισαγωγή του παράγοντα της υδατοσυγκράτησης  $L_p$ . Ο Παυλίδης σε σχετική εργασία (Παυλίδης 1997), παρέχει σχέσεις υπολογισμού της υδατοσυγκράτησης  $L_p$  συναρτήσει της μορφής της βλάστησης και του ύψους της

<sup>1</sup> Στις μελέτες μικρών λεκανών απορροής συχνά ακολουθούνται οι ακόλουθες απλές προσεγγιστικές μέθοδοι υπολογισμού: α) του συντελεστή απορροής β) του Vîparelli (η μέθοδος σύγκρισης με ομοειδείς λεκάνες) (Παπαμιχαήλ και Παυλίδης 1998, Παυλίδης 1998, 2003).

βροχής, ενταγμένου σε βαθμίδες βροχής. Με βάση τις σχέσεις αυτές και τις τοπικές συνθήκες προβήκαμε στη σύνταξη του Πίνακα 1, που δίνει τις τιμές υδατοσυγκράτησης της βλάστησης της περιοχής ανά βαθμίδα μηνιαίου ύψους και στη βροχής και στη συνέχεια εφαρμόσαμε τη μέθοδο του υδατικού ισοζυγίου με την **εισαγωγή της υδατοσυγκράτησης Lp**.

Ο υπολογισμός της δυναμικής εξατμισοδιαπνοής έγινε με τη μέθοδο των Thornthwaite – Mather (Thornthwaite and Mather 1955, Thornthwaite and Hare 1965).

**3.** Αναζητήσαμε κατάλληλες χωροθετικά, υδρογεωλογικά, κατασκευαστικά θέσεις (φράγματα, λιμνοδεξαμενές) ταμίευσης των πλεοναζόντων υδατοφορτίων και ιδιαίτερα των πλημμυροφορτίων. Πολλά από τα παρατιθέμενα στοιχεία προέρχονται από το Ερευνητικό Έργο 81544 της Επιτροπής Ερευνών του Α.Π.Θ.

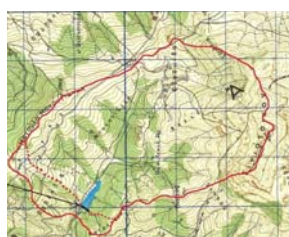
**Πίνακας 1.** Συντελεστές υδατοσυγκράτησης της βλάστησης στην περιοχή έρευνας κατά μήνα και κατά βαθμίδα μηνιαίων υψών βροχής (Παυλίδης 2002).

Βαθμίδα	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΥΔΑΤΟΣΥΓΚΡΑΤΗΣΗΣ ΚΑΤΑ ΜΗΝΑ ΚΑΙ ΒΑΘΜΙΔΑ ΜΗΝΙΑΙΩΝ ΥΨΩΝ ΒΡΟΧΗΣ											
	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
0-3	0-0,398	0,00-0,407	0,0-0,506	0,0-0,574	0,00-0,687	0,0-0,768	0,0-0,823	0,000-0,796	0,00-0,749	0,00-0,616	0,00-0,559	0,0-0,467
3 - 5	0,398-0,332	0,407-0,337	0,506-0,418	0,574-0,486	0,687-0,626	0,768-0,722	0,823-0,789	0,796-0,733	0,749-0,689	0,616-0,519	0,559-0,448	0,467-0,373
5 - 10	0,332-0,262	0,339-0,266	0,418-0,342	0,486-0,407	0,626-0,514	0,722-0,667	0,789-0,705	0,733-0,686	0,689-0,556	0,519-0,438	0,448-0,374	0,373-0,285
10 - 15	0,262-0,194	0,266-0,198	0,342-0,280	0,407-0,318	0,514-0,395	0,667-0,525	0,705-0,632	0,686-0,589	0,556-0,483	0,438-0,342	0,374-0,298	0,285-0,212
15-20	0,194-0,161	0,198-0,164	0,280-0,234	0,318-0,270	0,395-0,318	0,525-0,447	0,632-0,517	0,589-0,473	0,483-0,417	0,342-0,291	0,298-0,250	0,212-0,176
20-25	0,161-0,136	0,164-0,139	0,234-0,198	0,270-0,229	0,318-0,256	0,447-0,382	0,517-0,437	0,473-0,404	0,417-0,367	0,291-0,246	0,250-0,212	0,176-0,149
25-30	0,136-0,112	0,139-0,115	0,198-0,164	0,229-0,191	0,256-0,223	0,382-0,318	0,437-0,348	0,404-0,328	0,367-0,306	0,246-0,204	0,212-0,173	0,149-0,124
30-40	0,112-0,094	0,115-0,097	0,164-0,131	0,191-0,156	0,223-0,192	0,318-0,242	0,348-0,263	0,328-0,232	0,306-0,214	0,204-0,166	0,173-0,139	0,124-0,105
40-50	0,094-0,082	0,097-0,085	0,131-0,104	0,156-0,123	0,192-0,166	0,242-0,211	0,263-0,239	0,232-0,218	0,214-0,186	0,166-0,132	0,139-0,110	0,105-0,091
50-60	0,082-0,074	0,085-0,077	0,104-0,086	0,123-0,101	0,166-0,135	0,211-0,163	0,239-0,181	0,218-0,164	0,186-0,147	0,132-0,110	0,110-0,091	0,091-0,080
60-70	0,074-0,063	0,077-0,066	0,086-0,072	0,101-0,087	0,135-0,106	0,163-0,123	0,181-0,153	0,164-0,136	0,147-0,103	0,110-0,095	0,091-0,076	0,080-0,070
70-80	0,063-0,055	0,066-0,058	0,072-0,064	0,087-0,075	0,106-0,088	0,123-0,098	0,153-0,112	0,136-0,101	0,103-0,089	0,095-0,083	0,076-0,067	0,070-0,061
80-100	0,055-0,047	0,058-0,049	0,064-0,055	0,075-0,065	0,088-0,073	0,098-0,085	0,112-0,096	0,101-0,088	0,089-0,074	0,083-0,071	0,067-0,058	0,061-0,052
100-120	0,047-0,041	0,049-0,043	0,055-0,047	0,065-0,056	0,073-0,062	0,085-0,073	0,096-0,082	0,088-0,076	0,074-0,063	0,071-0,060	0,058-0,050	0,052-0,045
120-140	0,041-0,037	0,043-0,039	0,047-0,042	0,056-0,049	0,062-0,053	0,073-0,062	0,082-0,069	0,076-0,064	0,063-0,054	0,060-0,053	0,050-0,045	0,045-0,041
140-160	0,037-0,034	0,039-0,036	0,042-0,039	0,049-0,044	0,053-0,048	0,062-0,055	0,069-0,060	0,064-0,057	0,054-0,049	0,053-0,047	0,045-0,041	0,041-0,038
160-200	0,034-0,031	0,036-0,033	0,039-0,036	0,044-0,039	0,048-0,043	0,055-0,049	0,060-0,052	0,057-0,051	0,049-0,044	0,047-0,042	0,041-0,038	0,038-0,034
200-250	0,031-0,029	0,033-0,030	0,036-0,033	0,039-0,036	0,043-0,040	0,049-0,044	0,052-0,047	0,051-0,045	0,044-0,041	0,042-0,039	0,038-0,035	0,034-0,031
250-300	0,029-	0,030-	0,033-	0,036-	0,040-	0,044-	0,047-	0,045-	0,041-	0,039-	0,035-	0,031-

	0,027	0,028	0,030	0,033	0,035	0,038	0,040	0,039	0,036	0,035	0,032	0,029
300-400	0,027-0,025	0,028-0,026	0,030-0,028	0,033-0,030	0,035-0,032	0,038-0,034	0,040-0,036	0,039-0,035	0,036-0,033	0,035-0,032	0,032-0,029	0,029-0,026
400-500	0,025-0,023	0,026-0,024	0,028-0,026	0,030-0,028	0,032-0,029	0,034-0,031	0,036-0,033	0,035-0,032	0,033-0,031	0,032-0,030	0,029-0,027	0,026-0,024
>500	<0,023	<0,024	<0,026	<0,028	<0,029	<0,031	<0,033	<0,032	<0,031	<0,030	<0,027	<0,024

### Αποτελέσματα έρευνας Χειμαρρικό περιβάλλον Μορφοτεχνικά, Υψομετρικά, Υδρογραφικά, Ανάγλυφο

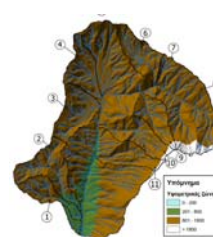
Τα βασικά μορφομετρικά, υψομετρικά, υδρογραφικά και αναγλύφου στοιχεία της ανώτερης κεντρικής λεκάνης του Μύριχου (Σχ. 2α,β,γ) δίνονται στον Πίνακα. 2.



α



β



γ

**Σχήμα 2α,β,γ.** α,β) Λεκάνη απορροής και υδρογραφικό δίκτυο και γ) υψομετρικός χάρτης της ανώτερης λεκάνης του χειμάρρου Μύριχου.

**Πίνακας 2.** Τα μορφομετρικά χαρακτηριστικά της ανώτερης κεντρικής λεκάνης του χειμάρρου Μύριχου.

Όνομασία		Συμβολισμός	Μονάδα μέτρησης	Μύριχος
i.Μορφομετρικά - υδρογραφικά στοιχεία				
1	1. Επιφάνεια λεκάνης	F	Km <sup>2</sup>	11,49
2	2. Περίμετρος υδροκρίτη	Π	Km	13,73
3	i) μέγιστο υψόμετρο	Hmax	m	2111
4	ii) ελάχιστο υψόμετρο	Hmin	m	1077
5	iii) μέσο υψόμετρο	Hm	m	1462
6	ii) μήκος κεντρικής κοίτης	Lκ	Km	4,91
7	iii) μέση κλίση κεντρικής κοίτης	J <sub>LK</sub>	(%)	17,98
8	v) πυκνότητα υδρογραφικού δικτύου	D	(Km/Km <sup>2</sup> )	2,70
9	i) μέση κλίση λεκάνης, $J_F = (H_d * \Sigma S * 100) / F$	J <sub>F</sub>	(%)	42,38
10	α) μέγιστη ( $\Delta H_{max} = H_{max} - H_{min}$ )	$\Delta H_{max}$	m	1034,0
11	β) μέση ( $\Delta H_m = H_m - H_{min}$ )	$\Delta H_m$	m	385,0
12	α) δείκτης Gravelius (δείκτης συγκέντρωσης)	K <sub>F</sub>		1,14
12	β) δείκτης μορφής λεκάνης ( $J_f = F / S^2_F$ )	J <sub>f</sub>		0,45
14	γ) δείκτης επιμήκυνσης λεκάνης	R <sub>L</sub>		0,38
15	δ) δείκτης κυκλικότητας ( $R_F = 4\pi F / \Pi^2$ )	R <sub>F</sub>		0,77

### Κλιματικά στοιχεία

Τα ανηγμένα στο μέσο υψόμετρο της μελετούμενης λεκάνης ( $H_m = 1462m$ ) κλιματικά στοιχεία (βροχόπτωση, θερμοκρασία αέρα) της περιόδου 1951-1994, δίνονται στους Πίνακες 3 (θερμοκρασία αέρα) και 4 (ύψος βροχής): (Βροχοβαθμίδα  $P_m = 51,87 \text{ mm}/100m$ , Θερμοβαθμίδα  $T_m = -0,602^\circ\text{C}/100m$ ).

**Πίνακας 3.** Ανηγμένες στο μέσο υψόμετρο ( $H_m=1462m$ ) της ανώτερης κεντρικής λεκάνης του Μύριχου μηνιαίες, μέσες μηνιαίες και μέσες ετήσιες θερμοκρασίες αέρα  $^\circ\text{C}$ , της περιόδου 1951-1944.

ΕΤΟΣ	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ	Έτος
Μ.Ο.	-3,9	-2,5	0,8	5,4	10,2	14,4	16,8	16,6	13,0	7,2	2,6	-1,7	6,4
MIN	-10,6	-9,9	-5,2	1,6	6,7	9,6	13,3	14,0	9,6	1,6	-2,0	-6,6	3,9
MAX	0,0	3,3	4,8	8,7	14,0	16,2	19,7	21,6	18,1	11,2	6,1	2,3	8,9

**Πίνακας 4.** Ανηγμένες στο μέσο υψόμετρο ( $H_m=1462m$ ) της ανώτερης κεντρικής λεκάνης του χειμάρρου Μύριχου μηνιαία, μέσα μηνιαία, ετήσια και μέσο ετήσιο ύψος βροχής  $P(mm)$ , της περιόδου 1951-1944.

Έτος	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ	Έτος
Μ.Ο.	74,2	72,8	92,3	77,6	98,7	70,1	71,0	48,9	61,6	105,7	120,6	88,8	982,4
MIN	8,3	11,0	9,5	1,3	10,5	2,8	2,2	0,9	2,6	3,7	11,9	1,3	481,1
MAX	225,5	285,5	544,7	226,8	251,4	244,4	249,7	166,3	249,0	306,4	376,6	284,4	1610,8

### Γεωλογικά στοιχεία

Το βόρειο και ανατολικό τμήμα της λεκάνης καταλαμβάνεται από το κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο των έντονα μεταμορφωμένων σχηματισμών (κυρίως γνεύσιων και σχιστόλιθων) του Μουρικίου όρους και των ασβεστολίθων της μέσης και ανώτερης ζώνης του Άσκιου (Σχ. 3α). Το κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο αντιπροσωπεύεται από δύο συστήματα μεταμορφωμένων πετρωμάτων, του κατώτερου και του ανώτερου ορίζοντα, που αποτελούνται από εναλλαγές γνευσίων, διμαρμαρυγιακών σχιστόλιθων και σε περιορισμένη έκταση μεταβασικών πετρωμάτων και σερπεντινών. Στον Πίνακα 5 δίνεται η γεωλογική συγκρότηση του χειμάρρου σε χειμαρρικούς πετρολογικούς σχηματισμούς.

**Πίνακας 5.** Γεωλογική συγκρότηση της ανώτερης λεκάνης του χειμάρρου Μύριχου με ένταξη των πετρωμάτων σε χειμαρρικούς πετρολογικούς σχηματισμούς (Κωτούλας 1969, 1979).

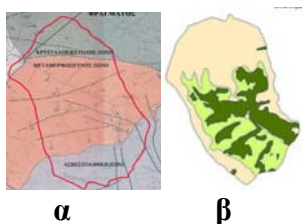
Κρυσταλο- πυριγενής (M)		Ασβεστο- λιθικός (K)		Σχιστο- λιθικός (G)		Φλυσχικός (F)		Νεογενής (S)		Προσχω- σιγενής (P)		Σύνολο	
Επιφά- νεια (km <sup>2</sup> )	(%)	Επιφά- νεια (km <sup>2</sup> )	(%)	Επιφά- νεια (km <sup>2</sup> )	(%)	Επιφά- νεια (km <sup>2</sup> )	(%)	Επιφά- νεια (km <sup>2</sup> )	(%)	Επιφά- νεια (km <sup>2</sup> )	(%)	Επιφά- νεια (km <sup>2</sup> )	(%)
1,53	13,3	2,32	20,2	7,64	66,5	-	-	-	-	-	-	11,49	100,0

## Συνθήκες βλάστησης

Το μέσο και μεσοκατώτερο τμήμα της λεκάνης του χειμάρρου συγκροτείται από σύμπυκνο δάσος οξυάς και το ανώτερο, από καλής ποιότητας και δομής ορεινούς βοσκοτόπους (Σχ. 3β, Εικ. 2). Η βλάστηση αυτή παρέχει εξαιρετική αντιδιαβρωτική και υδρονομική προστασία. Οι λίγες γεωργικές εκτάσεις έχουν σχεδόν εγκαταλειφθεί και μετατραπεί σε εσωτερικούς βοσκοτόπους.

**Πίνακας 6.** Κατανομή των μορφών βλάστησης της ανώτερης λεκάνης του χειμάρρου Μύριχου.

Δάση		Θάμνοι		Λιβάδια		Καλλιέργειες		Γυμνά, άγωνα, βραχώδη		Σύνολο	
Επιφάνεια (km <sup>2</sup> )	(%)	Επιφάνεια (km <sup>2</sup> )	(%)	Επιφάνεια (km <sup>2</sup> )	(%)	Επιφάνεια (km <sup>2</sup> )	(%)	Επιφάνεια (km <sup>2</sup> )	(%)	Επιφάνεια (km <sup>2</sup> )	(%)
5727	49,84	0,00	0,00	5258	45,76	208-	1,81-	279-	2,58-	11,49-	100,0-



α

β



**Σχήμα 3α,β.** α) Γεωλογικός χάρτης και β) Χάρτης βλάστησης της λεκάνης έρευνας.

**Εικόνα 2.** Απόψεις της σύμπυκνης δασικής βλάστησης της ανώτερης κεντρικής λεκάνης του Μύριχου.

## Αρχές και σύστημα διευθέτησης, προτεινόμενα έργα

Με βάση τις συνθήκες του χειμαρρικού περιβάλλοντος της λεκάνης, το πλημμυρικό ιστορικό του Μύριχου, την αρδευτική λειψυδρία της περιοχής Αμπελιών Βλάστης - Σισανίου και το υδρευτικό πρόβλημα της Βλάστης του Σισανίου και των Ναμάτων (Σχ. 4) προκύπτει ότι το βέλτιστο σύστημα διευθέτησης οφείλει στα πλαίσια επίτευξης των παραπάνω στόχων να επιδιώκει την ταυτόχρονη επίτευξη της υδρολογικής αρχής και της αρχής της αξιοποίησης. Βασικό έργο κορμού του προτεινόμενου συστήματος διευθέτησης (Σχ. 4β) είναι η κατασκευή ενός ταμιευτήρα ικανού να καλύψει την αρδευτική και υδρευτική ζήτηση της περιοχής (Σχ. 4α).

## Υδατικό δυναμικό, υδατικό ισοζύγιο

Οι μετρήσεις της βασικής παροχής του χειμάρρου, που έγιναν στο κλείσιμο της λεκάνης (Σχ. 2, Εικ. 3) κατά την περίοδο Νοέμβριος 2004-Οκτώβριος 2006 (2ετής διάρκεια), παρέχονται στον Πίνακα 7.



**Σχήμα 4α,β.** α) οι περιοχές I (αρδευτικής) και II (υδρευτικής) ζήτησης και β) τα προτεινόμενα έργα του συστήματος

**Εικόνα 3.** Αποψη της θέσης μέτρησης της βασικής παροχής

**Πίνακας 7.** Αριθμός μηνιαίων μετρήσεων, στο κλείσιμο της ανώτερης κεντρικής λεκάνης (Σχ. 2, Εικ. 3).

Μήνας	Αριθμός Μετρήσεων (N)	Ημέρες	Μέση βασική παροχή $Q_b$ (l/s)	Απορροϊκός όγκος $VQ_b$ (m <sup>3</sup> )
Νοέμβριος 2004	8	30	28,36	73.509,12
Δεκέμβριος 2004	10	31	89,17	238.832,93
Ιανουάριος 2005	10	31	138,79	371.735,14
Φεβρουάριος 2005	8	28	139,80	338.204,16
Μάρτιος 2005	9	31	106,38	284.928,19
Απρίλιος 2005	9	30	80,75	209.304,00
Μάιος 2005	10	31	57,32	153.525,89
Ιούνιος 2005	8	30	33,22	86.106,24
Ιούλιος 2005	7	31	13,67	36.613,73
Αύγουστος 2005	6	31	6,79	18.186,36
Σεπτέμβριος 2005	6	30	7,24	18.766,08
Οκτώβριος 2005	7	31	8,33	23.650,27
Νοέμβριος 2005	9	30	25,24	65.422,08
Δεκέμβριος 2005	9	31	84,73	226.940,83
Ιανουάριος 2006	11	31	147,60	395.331,84
Φεβρουάριος 2006	7	28	138,80	335.784,96
Μάρτιος 2006	10	31	122,60	328.371,84
Απρίλιος 2006	8	30	85,48	221.564,16
Μάιος 2006	9	31	69,64	186.523,78
Ιούνιος 2006	8	30	38,66	100.206,72
Ιούλιος 2006	7	31	18,64	49.925,38
Αύγουστος 2006	6	31	9,72	26.034,05
Σεπτέμβριος 2006	6	30	8,28	21.461,76
Οκτώβριος 2006	8	31	12,06	32.301,50
Σύνολο διετίας		730		3.843.231,01
Μέσο ετήσιο			$\overline{Q_b} = 3843231,01/730$ $= 5.264,7\text{m}^3/\text{ημέρα}$	1.921.615,51 m <sup>3</sup> /s



Από τον Πίνακα 7 προκύπτουν ότι:

- **Η βασική παροχή** κυμαίνεται μεταξύ 6,79 l/s (μηνιαία ελάχιστη τιμή, Αύγουστος 2005) και 147,60 l/s (μηνιαία μέγιστη τιμή, Ιανουάριος 2006) και δίνει μέση ημερήσια παροχή 60,934 l/s (5.264,7 m<sup>3</sup>/ημέρα) και ετήσιο όγκο βασικής απορροής, που οφείλεται και στις άφθονες χιονοπτώσεις του ορεινού τμήματος της λεκάνης, ίσο με:

$$VQ_b = \overline{Q_b} * (3,6 * 24 * 365) = 60,934 * (3,60 * 24 * 365) = 1.921.615 \text{ m}^3/\text{έτος}$$

- **το υδατοφορτία άφιξης στην έξοδο του χειμάρρου** ανέρχονται σε:  $V = VQ_b - [V_{\Delta} + V_E] = 1.921.615 - (26.503 + 57.627) = 1.837.485 \text{ m}^3/\text{έτος}$ . Ο όγκος αυτός των 1.837.485 m<sup>3</sup>/έτος υπερκαλύπτει την χωρητικότητα ταμιευτήρα χωρητικότητας 1.000.000m<sup>3</sup>, με προς την κατάντη διέλευση 800.000 m<sup>3</sup>.

Τα αποτελέσματα του υπολογισμού του υδατικού δυναμικού (Vp) και του υδατικού ισοζυγίου της ανώτερης κεντρικής λεκάνης του Μύριχου δίνονται στον Πίνακα 8.

**Πίνακας 8.** Υδατικό δυναμικό Vp - υδατικό ισοζύγιο {Κατακρημνίσματα (P), Υδατοσυγκράτηση (Lp), Δυναμική (ETp), πραγματική (ETr) Εξατμισοδιαπνοή, Διήθηση (QΔ) και Απορροή (QA)} της ανώτερης κεντρικής λεκάνης του Μύριχου (F=11,49Km<sup>2</sup>). κατά την περίοδο 1951-1994 (44 έτη).

Έτος	Ύψος βροχής (P)	Υδατο-συγκρά-τηση (Lp)	Δυναμικό-εξατμισο-διαπνοής ETp	Πραγματική-εξατμισοδια-πνοή Etr	Υδατικά διαθέσιμα		
					Διηθούμε-να (VQδ)	Απορρέοντα (VQR)	Σύνολο (VQ)
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
1951	997,1	85,9	456,1	313,4	2.472.868	4.396.209	6.869.077
1952	780,5	75,9	573,5	281,9	1.391.441	2.473.673	3.865.114
1953	770,5	77,6	550,1	302,9	1.612.841	2.867.273	4.480.114
1954	1361,6	88,8	471,8	308,0	3.990.759	7.094.682	11.085.441
1955	1366,4	93,0	562,5	475,4	3.300.581	5.867.700	9.168.281
1956	915,1	71,2	533,8	276,9	2.345.621	4.169.994	6.515.615
1957	1015,8	86,8	523,7	392,7	2.218.332	3.943.702	6.162.034
1958	859,2	84,1	546,4	343,2	1.786.272	3.175.595	4.961.867
1959	1356,3	91,8	519,1	507,3	3.132.192	5.568.341	8.700.533
1960	1076,7	82,6	548,9	388,5	2.504.767	4.452.919	6.957.685
1961	792,8	78,4	552,2	395,8	1.317.676	2.342.536	3.660.212
1962	1610,8	95,2	553,3	489,3	4.244.757	7.546.235	11.790.992
1963	1457,7	94,8	544,6	388,5	4.030.636	7.165.575	11.196.210
1964	981,1	83,2	533,3	437,2	1.905.905	3.388.275	5.294.179
1965	626,0	72,8	523,7	270,8	1.167.724	2.075.954	3.243.678
1966	1005,9	80,4	563,0	375,9	2.273.370	4.041.547	6.314.917
1967	1013,0	85,7	540,0	508,6	1.731.978	3.079.072	4.811.050
1968	1075,6	80,3	554,0	446,3	2.270.805	4.036.987	6.307.793
1969	1135,7	85,8	534,7	390,7	2.726.374	4.846.887	7.573.260
1970	1082,2	87,6	546,4	462,3	2.201.416	3.913.628	6.115.044
1971	1242,2	90,0	525,1	498,1	2.705.613	4.809.978	7.515.590
1972	1494,9	93,2	542,1	503,2	3.716.235	6.606.640	10.322.875

1973	1146,9	87,8	524,9	445,8	2.536.906	4.510.055	7.046.961
1974	1324,7	92,8	555,3	481,3	3.104.585	5.519.262	8.623.847
1975	712,9	81,1	569,3	490,4	584.687	1.039.443	1.624.130
1976	987,2	83,7	550,0	527,4	1.555.585	2.765.485	4.321.070
1977	616,1	78,5	606,0	460,5	318.745	566.658	885.403
1978	732,1	82,4	554,4	413,8	1.056.754	1.878.673	2.935.426
1979	1355,7	90,5	577,8	445,9	3.308.322	5.881.460	9.189.782
1980	946,1	85,7	520,7	343,1	2.139.872	3.804.218	5.944.090
1981	951,1	85,9	540,5	443,4	1.744.489	3.101.313	4.845.802
1982	1202,8	85,2	526,8	388,9	3.014.183	5.358.547	8.372.729
1983	886,3	81,6	540,2	488,6	1.307.541	2.324.517	3.632.058
1984	626,0	75,1	497,1	237,6	1.315.765	2.339.138	3.654.904
1985	790,6	75,6	483,0	321,6	1.607.408	2.857.614	4.465.022
1986	787,0	80,3	506,2	303,3	1.668.146	2.965.592	4.633.738
1987	869,3	85,4	501,1	307,6	1.970.054	3.502.318	5.472.373
1988	481,1	70,6	471,3	170,6	992.221	1.763.949	2.756.170
1989	762,8	74,8	476,1	406,2	1.165.387	2.071.799	3.237.186
1990	807,7	81,7	497,8	413,5	1.292.820	2.298.346	3.591.165
1991	960,8	83,8	476,6	403,9	1.957.024	3.479.154	5.436.178
1992	956,7	85,0	534,8	480,3	1.619.177	2.878.537	4.497.714
1993	614,2	76,8	536,4	321,0	895.464	1.591.937	2.487.401
1994	690,9	71,7	598,8	267,5	1.454.697	2.586.127	4.040.824
M.O	982,4	83,2	532,8	393,6	2.083.136	3.703.353	5.786.489
MIN	481,1	70,6	456,1	170,6	318.745	566.658	885.403
MAX	1610,8	95,2	606,0	527,4	4.244.757	7.546.235	11.790.992

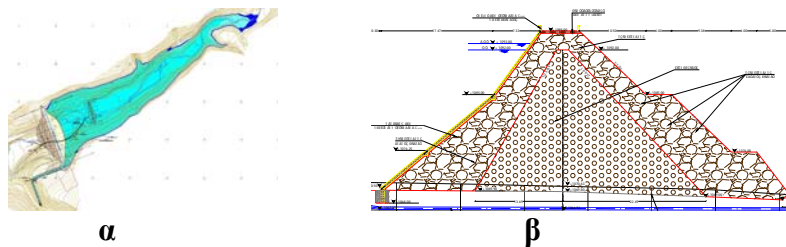
Από τον Πίνακα 8 προκύπτουν τα εξής:

- **Η ετήσια υδατοσυγκράτηση (Lp)** της λεκάνης κυμαίνεται μεταξύ 70,60 mm (1988, ελάχιστη τιμή), 95,20 mm (έτους 1962, μέγιστη τιμή), με μέση ετήσια τιμή ανερχόμενη σε 83,20 mm.
- **Η δυναμική εξατμισιοδιαπνοή (ETp)** της λεκάνης κυμαίνεται μεταξύ 456,10 mm (1951, ελάχιστη τιμή) και 606,00 mm (έτους 1977, μέγιστη τιμή), με τη μέση ετήσια τιμή να φθάνει τα 532,80 mm και **η πραγματική εξατμισιοδιαπνοή (ETr)** της λεκάνης κυμαίνεται μεταξύ 170,60mm (1988, ελάχιστη τιμή) και 527,40 mm (έτους 1976, μέγιστη τιμή), με τη μέση ετήσια τιμή να φθάνει τα 393,60 mm.
- **Το μετά τις απώλειες της υδατοσυγκράτησης (Lp) και της πραγματικής εξατμισιοδιαπνοής (ETr) συνολικό υδατικό πλεόνασμα (VQ)** κυμαίνεται μεταξύ 11.790.992 m<sup>3</sup> (1962, μέγιστη τιμή) και 885.403 m<sup>3</sup> (1977, ελάχιστη τιμή). Η μέση τιμή του πλεονάζοντος συνολικού υδατικού ισοζυγίου της περιόδου 1951-1994 ανέρχεται σε 5.786.489 m<sup>3</sup>
- **Η ετήσια διηθούμενη ποσότητα νερού VQ<sub>δ</sub>** στη λεκάνη χειμάρρου κυμαίνεται μεταξύ 318.745 m<sup>3</sup> (1977, ελάχιστη τιμή) και 4.244.757 m<sup>3</sup> (1962, μέγιστη τιμή), με μέση ετήσια τιμή ανερχόμενη σε 2.083.136 m<sup>3</sup>.

- Τα αφικνούμενα στη βάση της λεκάνης υδατοφορτία ( $V_{QR}$ ) κυμαίνεται μεταξύ  $7.546.235 \text{ m}^3$  (1962, μέγιστη τιμή) και  $566.658 \text{ m}^3$  (1977, ελάχιστη τιμή), με τη μέση τιμή να ανέρχεται σε  $3.703.353 \text{ m}^3$ .

### Χωροθετικές δυνατότητες ταμίευσης της περιοχής έρευνας

Στο Σχήμα 4β. δίνονται τα έργα διευθέτησης της ανώτερης κεντρικής λεκάνης του χειμάρρου Μύριχου με επισήμανση της ανεύρεσης μόνο μιας κατάλληλης θέσης ταμίευσης. Στα πλαίσια αυτά μελετήθηκε ταμιευτήρας χωρητικότητας  $V = 635.000 \text{ m}^3$ , που καλύπτει τις υδρευτικές απαιτήσεις των  $150.000 \text{ m}^3$  των κοινοτήτων Βλάστης, Ναμάτων, Σισανίου και Πελεκάνου και των περίπου  $450.000 \text{ m}^3$  αρδευτικών αναγκών των 2.500 στρεμμάτων της περιοχής Σισανίου και Αμπελιών Βλάστης. Η κάλυψη της αρδευτικής και υδρευτικής (πλην της Βλάστης) ζήτησης γίνεται, χωρίς κόστος, με βαρύτητα. Στο Σχήμα 5α,β. δίνεται η οριζοντιογραφία του φράγματος – ταμιευτήρα και η τυπική τομή του προτεινόμενου λιθόρριπτου τύπου φράγματος.



**Σχήμα 5α,β.** α) Η οριζοντιογραφία του ταμιευτήρα του προτεινόμενου αντιπλημμυρικού – ταμιευτικού φράγματος και β) η τυπική μορφή του.

### Σύνοψη, κρίσεις, συμπεράσματα

Συνοψίζοντας τα αποτελέσματα της έρευνας προκύπτουν τα εξής:

- Αναμένεται να καλυφθούν πλήρως οι ολικές ή οι συμπληρωματικές υδατικές ανάγκες άρδευσης των περίπου 2.500 στρεμμάτων της περιοχής υδατικής ζήτησης.
- Υπάρχει δυνατότητα κάλυψης του συνόλου των υδρευτικών αναγκών της κοινότητας Βλάστης (περιοχή Αμπελιών-Αγίου Δημητρίου Βλάστης), καθώς και του σημαντικού τμήματος της δυνάμενης να αξιοποιηθεί γεωργικά περιοχής του Σισανίου, χωρίς κόστος αποκλειστικά με βαρύτητα. Επισημάνεται ότι η μέγιστη υδατική ζήτηση της παραπάνω περιοχής, για το σύνολο των δυνάμενων να αρδευθούν περιοχών, ανέρχεται περίπου σε  $1.000.000 \text{ m}^3$ . Η υδρευτική κάλυψη της συνολικής καλλιεργήσιμης έκτασης της περιοχής των περίπου 4.000 στρεμμάτων, που μπορούν να καλλιεργηθούν στην περιοχή Βλάστης- Σισανίου εκτιμάται σε  $650.000 \text{ m}^3$  και απευθύνεται στο αντίστοιχο θερινό έλλειμμα της περιοχής αυτής.

### Βιβλιογραφία

American Society of Civil Engineers (1996). Task Committee on Hydrology. Handbook.

- Baumgartner, A. and Reichel, E. (1975). The world Water Balance. Eslevier Sc: Publ. Com. Amsterdam, New York.
- Chow, V.T. (ed.) (1964). Handbook of Hydrology. New York.
- Garg, S.K. (1987). Hydrology and Water Resources Engineering. New Delhi.
- Gregory, K.J. and Walling, O. (1983). Drainage Basin. Form and Process. A. Geomorphological Approach. Fletcher and Son L TD, Norwich. U.K.
- Κωτούλας, Δ. (2001). Διευθετήσεις Χειμαρρικών Ρευμάτων (Ορεινή Υδρονομική I), Θεσσαλονίκη.
- Linsley, R., Kohler, M. and Paulhus, J., (1982). Hydrology for Engineers, 3<sup>rd</sup> ed. McGraw Hill.
- Murphy, J., Wallace, O. and Lane, L. (1977). Geomorphic Parameters: Predict Hydrographic Characteristics in the Southwest. Water res. BuI. Am. Water. Res. Ass. vol. 13(1), pp. 25-38.
- Παπαμιχαήλ, Δ. και Παυλίδης, Θ. (1998). Έρευνα αντιμετώπισης και αξιοποίησης των υδατικών προβλημάτων του ορεινού όγκου του Χορτιάτη. Ερευνητικό Έργο 7025, Επιτροπή Ερευνών Α.Π.Θ.
- Παυλίδης, Θ. (1997). Μέθοδοι χειρισμού λεκανών απορροής και κοιτών για αύξηση των υδατικών διαθεσίμων.
- Παυλίδης, Θ. (1998). Έρευνα αντιμετώπισης των υδατικών προβλημάτων και ορθολογικής αξιοποίησης του υδατικού δυναμικού του νομού Πιερίας. Ερευνητικό Έργο 20259. Επιτροπή Ερευνών Α.Π.Θ.
- Παυλίδης, Θ. (2003). Έρευνα του χειμαρρικού και του υδατικού δυναμικού του χειμάρρου Λιαπατόρεμα (Ρ. Αγίου Χαραλάμπους) του Δήμου Μώλου Φθιώτιδας και οριστική μελέτη ενός πιλοτικού αντιπλημμυρικού φράγματος. Ερευνητικό Έργο 20613. Επιτροπή Ερευνών Α.Π.Θ.
- Shaw, E. (1983). Hydrology in Practice (ed.). Van Norstrand Reihold, υ.κ , Co. Ltd.
- Shouse, P., Jury, W.A. and Stolry, L.H. (1980). Use of deterministic and empirical modes to predict potential evapotranspiration in advective environment. Agron J. 1994-1998
- Slabbers, P.J. (1977). Surface toughnes of crops and potential evapotranspiration. J. Hydr 34, pp. 181-191.
- Soil Conservation Service (CSC), (1972).
- Subramanya, K. (2008). Engineering Hydrology. Mc Graw Hill. New Delhi.
- Tauer, W. and Humborg, G. (1992). Runoff Irrigation in the Sahel Zone. Verlag Joset Margraf.
- Tricart, J. (1965). Principles et methodes de la geomorphologie. Paris.
- Thornthwaite, C.W. and Mather, J.R. (1955). The waterbalance. Climatology 8, pp. 1-104.
- Τσακίρης, Γ. (1995). Τεχνική Υδρολογία. Αθήνα.
- Viessman, Jr.W., Levis, G.L. and Knapp, J.W. (1989). Introduction to Hydrology. Harper and Raw, Publishers, new York, Cambridge, San Francisco, London.

**ΤΑ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ - ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ Η  
ΑΝΤΙΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΩΝ ΑΝΤΙΠΛΗΜΜΥΡΙΚΩΝ  
ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΧΕΙΜΑΡΡΟΥ ΜΑΓΕΙΡΟΥ**

**Βασίλειος Παπαθανασίου**

Msc Δασολόγος – Χειμαρρολόγος, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης  
Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος  
Εργαστήριο Διευθέτησης Ορεινών Υδάτων  
e-mail: [bparatha@yahoo.gr](mailto:bparatha@yahoo.gr)

**Θεοφάνης Παυλίδης**

Επίκουρος Καθηγητής, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης  
Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος  
Εργαστήριο Διευθέτησης Ορεινών Υδάτων  
e-mail: [pavlth@for.auth.gr](mailto:pavlth@for.auth.gr)

**Χαρίσιος Γκανάτσιος**

Δρ. Δασολόγος – Υδρολόγος Ι.Δ.Α.Χ, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης  
Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος  
Εργαστήριο Διευθέτησης Ορεινών Υδάτων  
e-mail: [cganats@for.auth.gr](mailto:cganats@for.auth.gr)

**Αικατερίνη Κάλφα**

Msc Δασολόγος – Περιβαλλοντολόγος, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης  
Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος  
Εργαστήριο Διευθέτησης Ορεινών Υδάτων  
e-mail: [katekalfa@for.auth.gr](mailto:katekalfa@for.auth.gr)

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Το πλημμυρικό πρόβλημα του ελλαδικού χώρου οφείλεται στην απουσία ή την ανεπαρκή διευθέτηση των υπερχιλίων χειμάρρων που τον διασχίζουν. Η έλλειψη διευθέτησης των εστιών πλημμυρογόνου απορροής και των εστιών παραγωγής και διακίνησης φερτών υλών αποτελεί το αίτιο των πλημμυρών του ελλαδικού χώρου. Παράλληλα η μη ρύθμιση – αξιοποίηση των υδατοφορτίων των χειμάρρων και ιδιαίτερα των ζημιογόνων πλημμυροφορτίων, αποτελεί βασικό αίτιο της λειψυδρίας που ταλανίζει τον ελλαδικό χώρο.

Η σύγχρονη ορεινή υδρονομική με βάση την ελληνική χειμαρρική – πλημμυρική πραγματικότητα και τα προβλήματα της λειψυδρίας οφείλει να κινείται κατά κύριο λόγο στην επίτευξη της υδρολογικής και της αρχής της αξιοποίησης με στόχο την χρονική ταμίευση-αναδιανομή των υδατικών πλεονασμάτων της βροχερής περιόδου.

Η παρούσα εργασία, μετά από έρευνα του χειμαρρικού περιβάλλοντος και των πλημμυρικών συνθηκών του χειμάρρου Μάγειρου Τυμπακίου Κρήτης, αλλά και των έντονων προβλημάτων λειψυδρίας της περιοχής που διασχίζει, στα πλαίσια εφαρμογής

της υδρολογικής αρχής και της αρχής της αξιοποίησης αναλύει, ερευνά και αξιολογεί τα γεωμετρικά, κατασκευαστικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά τριών αντιπλημμυρικών – εμπλουτιστικών φραγμάτων τοποθετούμενων στον κώνο πρόσχωσης του χειμάρρου.

**Λέξεις κλειδιά:** Χείμαρρος Μάγειρος, αντιπλημμυρική προστασία, αντιπλημμυρικά φράγματα Μάγειρου.

## Εισαγωγή και θέση του προβλήματος

Είναι γνωστό ότι τα προβλήματα του νερού (λειψυδρία - πλημμύρες) αποτελούν από τα μεγαλύτερα προβλήματα της χώρας μας. Τα προβλήματα αυτά τα τελευταία χρόνια επιδεινώθηκαν από αλόγιστες ανθρώπινες επεμβάσεις (καταστροφή δασών, εκχερσώσεις-καταπατήσεις-μπαζώματα-κακοποιήσεις-στενώσεις κοιτών και πρανών, άστοχα τεχνικά έργα, ανεξέλεγκτες γεωτρήσεις, καταλήστευση των υδατικών αποθεμάτων, κ.λ.π.). Η πεδινή θερμοκηπιακή περιοχή του Τυμπακίου βιώνει τα προβλήματα αυτά ιδιαίτερα έντονα με αποτέλεσμα τη χειμερινή περίοδο να καταγράφονται μικρότερα ή μεγαλύτερα πλημμυρικά συμβάντα και το θέρος η αγωνιώδης προσπάθεια αναζήτησης τρόπων αντιμετώπισης της λειψυδρίας. Για την επίλυση των παραπάνω φαινομένων, μετά από ανάθεση του Δήμου Τυμπακίου, η Επιτροπή Ερευνών του Α.Π.Θ. μελέτησε στα πλαίσια σχετικού ερευνητικού έργου (Επιτροπή Ερευνών Α.Π.Θ.: Ερευνητικό Έργο 80115), τρία αντιπλημμυρικά–εμπλουτιστικά φράγματα τοποθετούμενα στον κώνο πρόσχωσης του χειμάρρου Μάγειρου. Στην παρούσα εργασία μελετώνται τα στερεομεταφορικά, υδρολογικά και κατασκευαστικά – λειτουργικά χαρακτηριστικά των φραγμάτων και η παρεχόμενη αντιπλημμυρική προστασία.

## Περιοχή έρευνας

Η θέση της περιοχής ανάπτυξης των τριών αντιπλημμυρικών εμπλουτιστικών έργων (κώνος πρόσχωσης) του χειμάρρου Μάγειρου, καθώς και της λεκάνης του, στο χώρο του νομού Ηρακλείου και του Δήμου Τυμπακίου δίνεται στο Σχήμα 1α,β.



α



β

**Σχήμα 1α,β.** Ο χείμαρρος Μάγειρος και η περιοχή των αντιπλημμυρικών φραγμάτων (α) στην ΝΔ περιοχή του νομού Ηρακλείου και β) του Δήμου Τυμπακίου.

## Μέθοδος έρευνας

Η μέθοδος έρευνας έχει ως εξής:

- Ερευνήθηκαν, αναλύθηκαν και αξιολογήθηκαν οι τέσσερις παράγοντες του χειμαρρικού δυναμικού και του χειμαρρικού περιβάλλοντος (γεωυπόθεμα, κλίμα, ανάγλυφο, βλάστηση) του χειμάρρου Μάγειρου (Tricart 1965, Μουλόπουλος 1968,

Κωτούλας 1979, 2001α, Παπαμιχαήλ και Παυλίδης 1998, Παυλίδης 2005, Στεφανίδης 2006).

- Αναζητήθηκε στην υπερκείμενη της πλημμυροπαθούς περιοχής Τυμπακίου κατάλληλη περιοχή ανάπτυξης αντιπλημμυρικών φραγμάτων, που να απαντούν στο πλημμυρικό πρόβλημα και ταυτόχρονα να μεγιστοποιούν τον εμπλουτισμό του εξαιρετικά υποβαθμισμένου υδροφορέα Τυμπακίου. Η ανευρεθείσα περιοχή (Σχ. 1) ήταν ο κώνος πρόσχωσης (κοίτη εκκένωσης) του χειμάρρου. Η θέση του χώρου αυτού (υπερκείμενος της πλημμυροπαθούς ζώνης), καθώς και η λειτουργία του ως χώρου απόθεσης των φερτών υλών της παραπυθμείας στερεομεταφοράς του χειμάρρου και ως χώρου έντονης διήθησης βρέθηκε ότι ήταν ο καταλληλότερος, για την ανάπτυξη του βέλτιστου συστήματος εκτόνωσης- επίσχεσης των πλημμυροφορτίων του χειμάρρου.
- Υπολογίσθηκαν ο χρόνος συγκέντρωσης  $T_c$ , με την εξίσωση του **Giandotti**, η μέγιστη υδατοπαροχή  $\max Q_{100}$ , με τους τύπους των **Henry Boot** και της **Ορθολογικής μεθόδου**, της μέγιστης στερεοπαροχής  $\max G_{100}$ , με τον τύπο των **Stiny – Hercheulidze** και του πλημμυρικού όγκου  $V_{\max Q_{100}}$ , με τη μέθοδο των **Reitz – Kreps** (Κωτούλας 2001α,β, Srebrenovic 1986, Στεφανίδης 2006).

I: Εξισώσεις υπολογισμού της μέγιστης υδατοπαροχής: ( $\max Q_{100}$ )

Henry-Boot:  $(\max Q_{100}) = a.F^{0,75}$   
 Ορθολογική μέθοδος:  $(\max Q_{100}) = 0,278.c.i.F$

II: Υπολογισμού του χρόνου συγκέντρωσης  $T_c$  με τον τύπο του Giandotti:

$$T_c = (4.F^{(1/2)} + 1,5.Lk) / 0,8. (H_m - H_{min})$$

III: Εξίσωση της μέγιστης στερεοπαροχής  $\max G_{100}$  με τη μέθοδο των Stiny – Hercheulidze:

$$\max G_{100} = [(P_n + m) / (Y_n - (100 - P_n))] \times \max Q_{100}$$

Ενθα:

$\max Q_{100}$  = η μέγιστη υδατοπαροχή ( $m^3/s$ )

$\max G_{100}$  = η μέγιστη στερεοπαροχή ( $m^3/s$ )

$P_n$  = συντελεστής επικλινότητας (δίνεται σε πίνακες συναρτήσει της μέσης κλίσης της λεκάνης)

$m$  = συντελεστής χειμαρρικότητας (δίνεται σε πίνακες)

$Y_n$  = ειδικό βάρος των διακινούμενων φερτών υλών ( $t/m^3$ )

- Ερευνήθηκε, με τη μέθοδο των **Reitz–Kreps**, η πορεία των κλάδων ανόδου και καθόδου και σχηματίστηκε το πλημμυρογράφημα της πλημμύρας.
- Ακολούθησε ο υπολογισμός του πλημμυρικού όγκου (Κωτούλας 2001β, Srebrenovic 1986).

$$T_c < T_r \quad Q_{a,t} = Q_{\max} \sin^2 \text{ τιμή } 1/tr (\pi T_a / 2t_c) \quad Q_{k,t} = Q_{\max} e^{-at}$$

$$T_c > T_r \quad Q_{a,t} = Q_{\max} \sin^2 (\pi T_a / 2t_c) \quad Q_{k,t} = Q_{\max} e^{-rt}$$

$$\text{πλημμυρικός όγκος: } V_{\max Q_{100}} = 1,5 \cdot \max Q_{100} \cdot T_b$$

όπου:

$T_a$  = ο χρόνος ανόδου, που ταυτίζεται με τον χρόνο συγκέντρωσης  $t_c$

$T_b$  = ο χρόνος καθόδου

$Q_{a,t}, Q_{k}$ , = η παροχή στους κλάδους ανόδου ( $Q_a$ ) και καθόδου ( $Q_b$ )

$\max Q_{100}$  = η μέγιστη υπολογισθείσα υδατοπαροχή

$V_{\max Q_{100}}$  = ο απορροϊκός όγκος του πλημμυρογραφήματος.

$t_r$  = διάρκεια της βροχής (ώρες)

$r = 2/t_r + t_c$ ,  $\pi = 180$ ,  $e = 2,71828$

$t_c$  = ο χρόνος συρροής ή συγκέντρωσης της λεκάνης, ο οποίος στην προκειμένη περίπτωση ισούται με τη διάρκεια της βροχής  $t_r$

$a$  = εκθετικός συντελεστής με τιμή  $1/t_r$

- Ακολούθησε η καταγραφή των γεωμετρικών- υδραυλικοτεχνικών στοιχείων των αντιπλημμυρικών φραγμάτων και ερευνήθηκε και αξιολογήθηκε η παρεχόμενη από τα φράγματα αντιπλημμυρική προστασία. Τα στοιχεία αυτά λήφθηκαν από το Ερευνητικό Έργο 81455 της Επιτροπής Ερευνών του Α.Π.Θ. (Παυλίδης 2008).

### Αποτελέσματα, κρίσεις, συμπεράσματα

#### Αποτελέσματα χειμαρρικού περιβάλλοντος

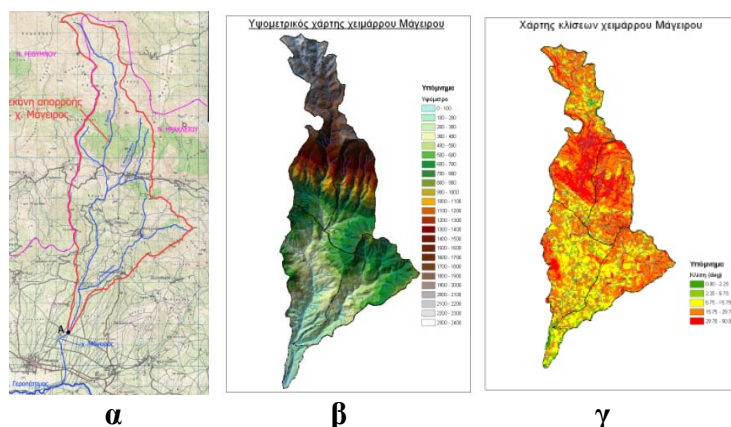
#### Μορφομετρικά, Υδρογραφικά χαρακτηριστικά

Τα μορφομετρικά, υψομετρικά, υδρογραφικά και αναγλύφου στοιχεία της λεκάνης του Μάγειρου (Σχ. 2), παρέχονται στον Πίνακα 1.

**Πίνακας 1.** Μορφομετρικά, και υδρογραφικά χαρακτηριστικά του χειμάρρου Μάγειρου.

Μορφομετρικά - υδρογραφικά στοιχεία	
1.Επιφάνεια λεκάνης	$F = 40,89\text{Km}^2$
2.Περίμετρος υδροκρίτη	$\Pi = 43,92\text{Km}$
3.Μέγιστο υψόμετρο	$H_{\max}=2350\text{m}$
4. Ελάχιστο υψόμετρο	$H_{\min} = 65\text{m}$
5.Μέσο υψόμετρο	$H_m = 876\text{m}$
6.Μήκος κεντρικής κοίτης	$L_k = 17,38\text{Km}$
7. Μέση κλίση κεντρικής κοίτης	$J_{LK} = 12,37\%$
8.Πυκνότητα υδρογραφικού δικτύου ( $D=SL/F$ )	$D = 3,49(\text{Km}/\text{Km}^2)$
9. Μέση κλίση λεκάνης, $J_F=(H_d*\Sigma S*100)/F$	$J_F = 42,77\%$
10. Συνολικό μήκος χωροσταθμικών	$\Sigma S_s = 174,9\text{Km}$
11. Μέγιστη ( $\Delta H_{\max} = H_{\max}-H_{\min}$ )	$\Delta H_{\max} = 2290,0\text{m}$
12. Μέση ( $\Delta H_m = H_m-H_{\min}$ )	$\Delta H_m = 816,0\text{m}$
13. Μέγιστη ( $\Delta H_{\max\pi} = \Delta H_{\max}/\Pi$ )	$\Delta H_{\max\pi} = 52,14$
14. Μέση ( $\Delta H_{m\pi} = \Delta H_m/\Pi$ )	$\Delta H_{m\pi} = 18,58$
15. Δείκτης Gravelius (δείκτης συγκέντρωσης)	$K_F = 1,94$
16. Δείκτης επιμήκυνσης λεκάνης ( $R_L = (2(F/\Pi)^{1/2})/SL_k$ )	$R_L = 0.270$
17. Δείκτης κυκλικότητας ( $R_F = 4\pi F/\Pi^2$ )	$R_F = 0.560$
18. Μέγιστος ( $F_{\max D} = \Delta h_{\max}*D$ )	$F_{\max D} = 295.439$
19. Μέσος ( $F_{m D} = \Delta H_m*D$ )	$F_{m D} = 144.705$
20. Μέγιστος ( $C_{F\max} = H^2_{\max}/1000F$ )	$C_{F\max} = 237.895$





**Σχήμα 2α,β,γ.** α) Η λεκάνη και το υδρογραφικό δίκτυο, β) χάρτης της υψομετρικής συγκρότησης και γ) χάρτης των κλίσεων του χειμάρρου Μάγειρου.

### Κλιματικά στοιχεία

Τα ανηγμένα στο μέσο υψόμετρο της λεκάνης του Μάγειρου ( $H_m = 876m$ ) κλιματικά στοιχεία (κατακρημνίσματα και θερμοκρασία αέρα) δίνονται στον Πίνακα 2.

**Πίνακας 2.** Κλιματικές συνθήκες στο μέσο υψόμετρο ( $H_m=876m$ ) του Μάγειρου.

I: Κατακρημνίσματα P (mm)												
I	Φ	M	A	M	I	I	A	Σ	O	N	Δ	ΕΤΟΣ
256.0	182.6	125.5	51.4	24.4	3.6	0.2	1.8	30.6	123.5	184.3	272.0	1255.9
II: Θερμοκρασία αέρα T (°C)												
8.4	8.4	10.1	13.1	17.3	21.5	24.3	24.1	21.0	16.9	13.0	9.9	15.7

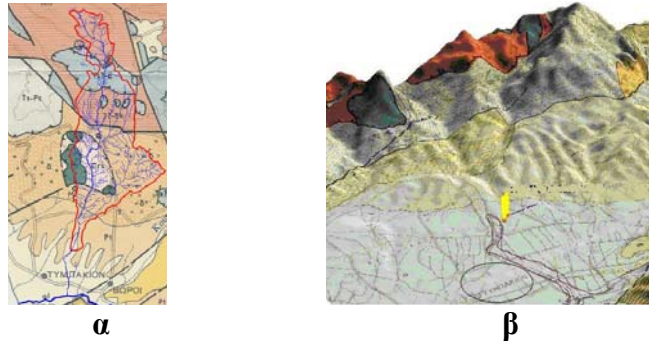
### Γεωλογικές γεωτεχνικές, υδρογεωλογικές συνθήκες

Η λεκάνη του χειμάρρου Μάγειρου συγκροτείται σύμφωνα με το Γεωλογικό χάρτη του ΙΓΜΕ, (Φύλλο Τυμπάκι κλίμακας 1:50.000, Σχ. 3α,β), από πετρώματα του σχιστολιθικού σχηματισμού (44,87%), που κυριαρχεί στο μέσο, μεσοκατώτερο και μεσοανώτερο τμήμα της λεκάνης και από ασβεστολίθους (38,93%) στο ανώτερο ορεινό τμήμα. Η περιοχή των φραγμάτων (κόνος πρόσχωσης) συγκροτείται από σύγχρονες τεταρτογενείς αλλουβιακές αποθέσεις του χειμάρρου, συνιστάμενες από χαλαρά αργιλοαμμώδη υλικά και κροκαλολατύπες του νεογενούς σχηματισμού (Εικ. 1, Σχ 3α,β).

**Πίνακας 3.** Γεωλογική συγκρότηση του χειμάρρου Μάγειρου με ένταξη των πετρωμάτων σε χειμαρρικούς πετρολογικούς σχηματισμούς (Κωτούλας 1969, 1979).

M		K		G		F		S		P		ΕΤΟΣ	
F	%	F	%	F	%	F	%	F	%	F	%	F	%
0,59	1,44	15,92	38,93	18,10	44,27	1,26	3,08	4,14	10,2	0,88	2,15	40,89	100
8.4	8.4	10.1	13.1	17.3	21.5	24.3	24.1	21.0	16.9	13.0	9.9	15.7	

M=Κρυσταλλοπυριγενής, K=Ασβεστολιθικός G=Σχιστολιθικός, F=Φλυσχικός, S=Νεογενής, P= Προσχωσιγενής



**Σχήμα 3α,β.** α) Γεωλογική συγκρότηση του χειμάρρου Μάγειρου και της περιοχής των έργων (Ι.Γ.Μ.Ε, φύλλο Τυμπάκι κλίμακας 1:50.000), β) ανάγλυφος χάρτης της περιοχής.



**Εικόνα 1.** Η περιοχή τοποθέτησης των αντιπλημμυρικών φραγμάτων του χειμάρρου Μάγειρου στον έντονα διηθητό αμμοχαλικώδη κώνο πρόσχωσης του χειμάρρου.

**Χρόνος συγκέντρωσης, μέγιστη υδατοπαροχή, στερεοπαροχή και υδατοστερεοπαροχή και πλημμυροφορτίο του χειμάρρου**

Τα αποτελέσματα του υπολογισμού του χρόνου συγκέντρωσης  $t_c$  της μέγιστης υδατοπαροχής ( $\max Q_{100}$ ), της μέγιστης στερεοπαροχής ( $\max G_{100}$ ), της μέγιστης υδατοστερεοπαροχής ( $\max W_{100}$ ) και του υδατοφορτίου της πλημμύρας ( $V_{\max Q_{100}}$ ), παρέχονται στους Πίνακες 4, 5, 6, 7. Τέλος στο Σχήμα 4 δίνεται το κατά Reitz-Kreps πλημμυρογράφημα της πλημμύρας.

**Πίνακας 4.** Υπολογισμός της  $\max Q_{100}$  του χειμάρρου Μάγειρου με τους τύπους των Henry-Boot, Melli-Müller και την Ορθολογική μέθοδο.

I. Χείμαρρος Μάγειρος: Δεδομένα: $F = 40,89 \text{ km}^2$ , $A = 9,44$ , $a = 4,10$ , $L_K = 17,19 \text{ km}$ , $y = 0,298$ , $\lambda = 22$ , $H_m = 876\text{m}$ , $H_{\min} = 760\text{m}$ , $c = 0,338$ , $i = 22,07 \text{ mm/h}$	
Henry Boot $\max Q_{100} = a \cdot F^{0,75}$	$\max Q_{100} = 3,90 \cdot 40,89^{0,75} = 63,06 \text{ m}^3/\text{s}$
Ορθολογική μέθοδος $\max Q_{100} = 0,278 \cdot c \cdot F \cdot i$	$\max Q_{100} = 0,278 \cdot 0,338 \cdot 40,89 \cdot 22,07 = 84,79 \text{ m}^3/\text{sec}$
$t_c = [(4F^{1/2} F + 1,5L_k) / 0,8(H_m - H_{\min})^{1/2}]$	$t_c = \frac{4\sqrt{40,89} + 1,5 \cdot 17,19}{0,8\sqrt{876 - 65}} = 2,25454306 \text{ ή } 2\text{h}15'16''$
$\max \bar{Q}_{100} = (63,06 + 84,79) / 3 = 73,925 \text{ m}^3/\text{sec}$	

**Πίνακας 5.** Μέγιστη στερεοπαροχή  $\max G_{100}$ , με τον τύπο των Stiny – Hercheulidze.

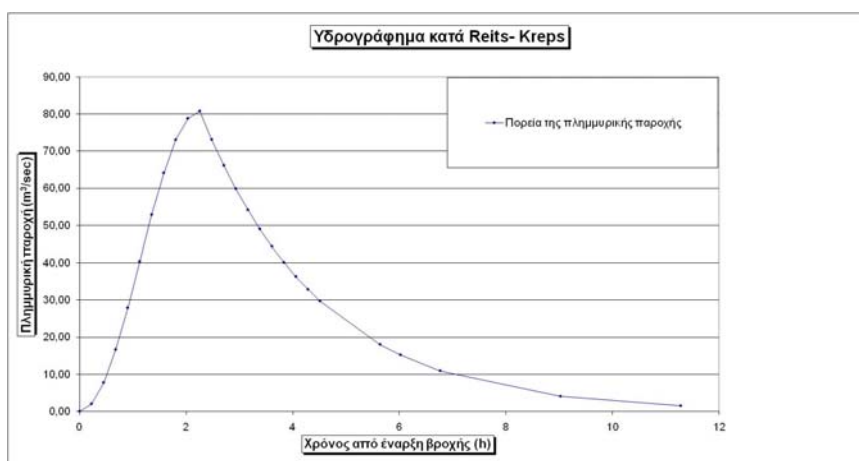
Μέγιστη Υδατοπαροχή ( $\max Q_{100}$ ) ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	Συντελεστής ( $P_n$ )	Συντελεστής χειμαρρικότητας (m)	Ειδικό βάρος μεταφερόμενων φερτών υλικών ( $Y_n$ ) ( $\text{t}/\text{m}^3$ )	Μέγιστη στερεοπαροχή ( $\max G_{100}$ ) ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
73,925	35,10	0,70	2,414	11.59

**Πίνακας 6.** Μέγιστη υδατοστερεοπαροχή ( $\max W_{100}$ ) του χειμάρρου Μάγειρου.

Μέγιστη υδατοπαροχή ( $\max Q_{100}$ ) $\text{m}^3/\text{s}$	Μέγιστη στερεοπαροχή ( $\max G_{100}$ ) $\text{m}^3/\text{s}$	Μέγιστη υδατοστερεοπαροχή $\max W_{100} = \{\max (Q+G)_{100}\}$ $\text{m}^3/\text{s}$
73,925	11,59	85,515

**Πίνακας 7.** Υπολογισμός (Σχ. 4) των όγκων των κλάδων ανόδου, καθόδου και του συνολικού του πλημμυρογραφήματος του Μάγειρου με τη μέθοδο Reitz- Kreps ( $tr=tc$ ).

Κλάδος	Εξίσωση	Μέγιστο υδατοφορτίο $\text{m}^3$
Ανόδου	$V_a = (0,50 \max Q_{100}) \cdot tr$	$(\max Q_{100}) = 0,50 \cdot 73,925 \cdot (2,25454306 \cdot 3600) = 300.001 \text{m}^3$
Καθόδου	$V_b = \max Q_{100} \cdot tr$	$(\max Q_{100}) = 73,925 \cdot (2,25454306 \cdot 3600) = 600.002 \text{m}^3$
Σύνολο	$V_{\max Q_{100}} = 1,5 \max Q_{100} \cdot tr$	$(\max Q_{100}) = 1,5 \cdot 73,925 \cdot (2,25454306 \cdot 3600) = 900.003 \text{m}^3$
Δεδομένα: $\max Q_{100} = 89,76 \text{m}^3/\text{s}$ , $tr=tc=2,25454306$ ώρες		



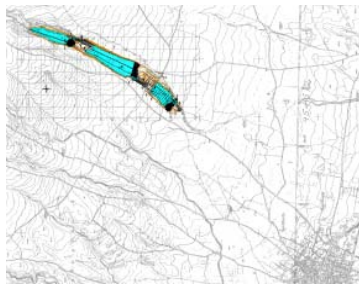
**Σχήμα 4.** Σχηματισμός πλημμυρογραφήματος του χειμάρρου Μάγειρου κατά Reitz-Kreps.

#### Διαστάσεις - λειτουργικά στοιχεία των φραγμάτων εμπλουτισμού Μάγειρου

Τα κατασκευαστικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά των τριών αντιπλημμυρικών εμπλουτιστικών φραγμάτων Μάγειρου (Σχ. 2, 3) των οποίων η κάτοψη η κατά μήκος τομή του άξονα και οι τυπικές διατομές δίνονται στα Σχήματα 5α,β, 6 και 7, παρέχονται στον Πίνακα 8.

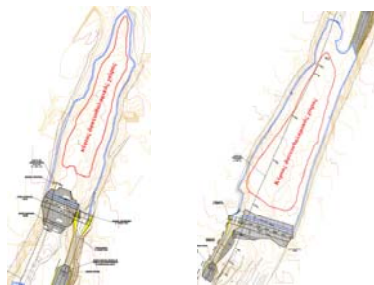
**Πίνακας 8.** Κατασκευαστικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά των τριών αντιπλημμυρικών – εμπλουτιστικών φραγμάτων του χειμάρρου Μάγειρου.

	Φράγμα 1 <sup>0</sup>	Φράγμα 2 <sup>0</sup>	Φράγμα 3 <sup>0</sup>
Τύπος Φράγματος	Γεωφράγματα Βαρύτητας		
Υλικό κατασκευής	Τοπικό αμμοχάλικο		
Μορφή	Σύνθετη τραπεζοειδής με πατάρια ασφαλείας 4,00m		
Κλίσεις πρανών: Άναντες	2,5:1	2,5:1	2,5:1
Κάταντες	2,5:1	2,5:1	2,5:1
Συνολικό υπέργειο ύψος	11.09m	9,52m	10,50m
Υδραυλικό ύψος στη Σ.Υ.	7.50m	5,96m	8,89m
Υδραυλικό ύψος στην Α. Σ.Υ	12,52m	10,58m	6.18m
Πάχος στέψης	16,00m	16,00m	m
Μήκος στέψης ( άξονα)	62,66 m	121,34m	79,60m
Μορφή εκχειλίσις			
Κλίσεις πρανών: άναντες κάταντες	2,5:1	2,5:1	2,5:1
Μορφή υπερχειλιστή	Σύνθετος (τραπεζοειδής, ορθογωνικός)		
Αγωγός υδροληψίας	Χάλυβας Φ300 mm,	Όχι	Όχι
Λιμναία επιφάνεια F <sub>Σ.Υ.</sub>	21,646 στρέμματα	46,821 στρέμματα	22,168 στρέμματα
Λιμναία επιφάνεια F <sub>Α.Σ.Υ</sub>	23,512 στρέμματα	49,820 στρέμματα	24,245 στρέμματα
Σταθερός λιμναίος όγκος	130.653	177.202	58.679
Επισχετικός συνολικός όγκος	173432	268.827	91,616
Μέση περατότητα k	k= 10 <sup>-3</sup> m/s	k=10 <sup>-3</sup> m/s	k=10 <sup>-3</sup> m/s



α

Φράγμα 1<sup>0</sup>



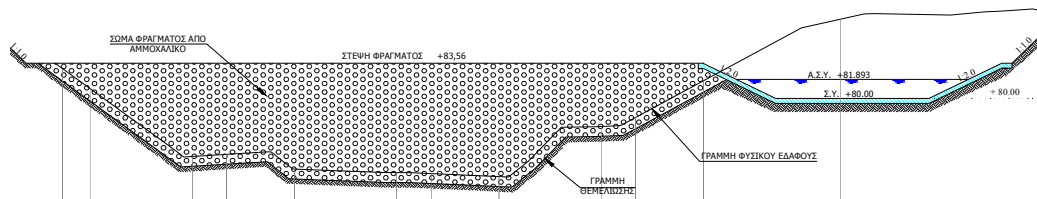
β

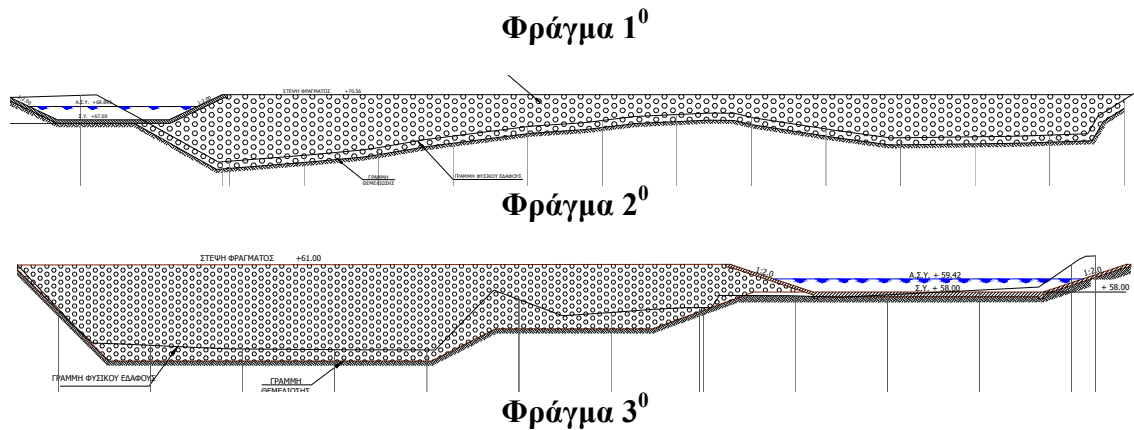
Φράγμα 2<sup>0</sup>



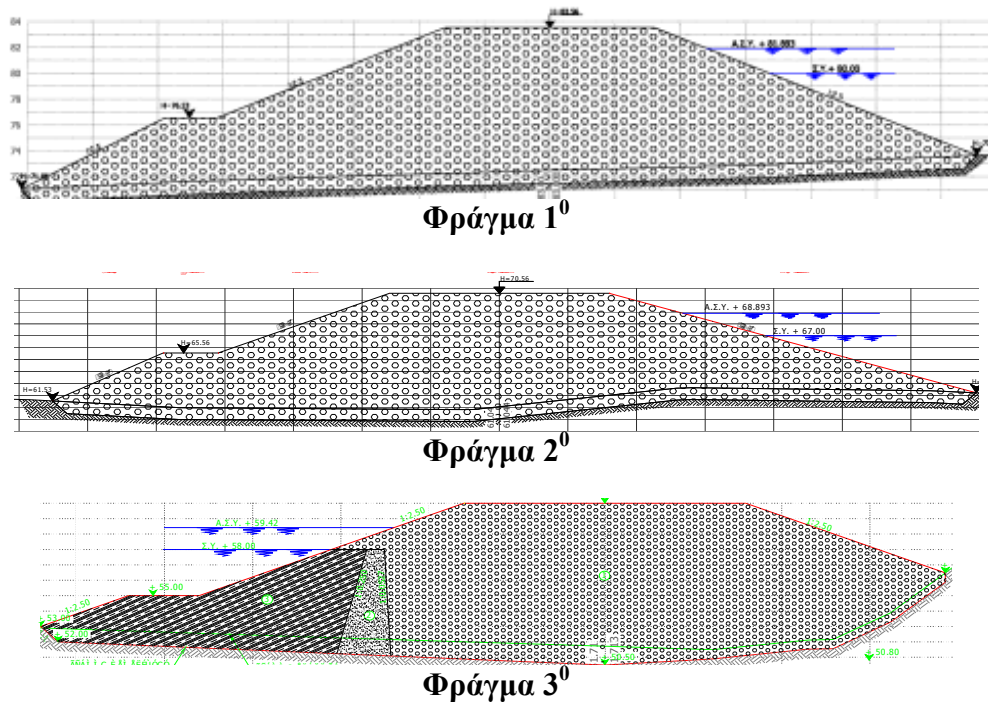
Φράγμα 3<sup>0</sup>

**Σχήμα 5α,β.** α) Η περιοχή των αντιπλημμυρικών έργων στον κόνο πρόσχωσης, κατάντη της οποίας βρίσκεται η πλημμυροπαθής περιοχή του Τυμπακίου και β) η κατόψη των τριών αντιπλημμυρικών-εμπλουτιστικών φραγμάτων του Μάγειρου.





**Σχήμα 6.** Κατά μήκος τομή του άξονα των τριών αντιπλημμυρικών-εμπλουτιστικών φραγμάτων του Μάγειρου.



**Σχήμα 7.** Εγκάρσιες τομές των τριών αντιπλημμυρικών – εμπλουτιστικών φραγμάτων Τυμπακίου. Στο 3<sup>ο</sup> φράγμα διακρίνεται το διαμορφωμένο σε υγρότοπος τμήμα του.

Συνοψίζοντας τα αποτελέσματα της έρευνας προκύπτουν τα εξής:

- Ο χειμάρρος Μάγειρος έχει επιφάνεια  $F = 40,89 \text{ Km}^2$ , μέγιστο  $H_{\max} = 2350 \text{ m}$ , μέσο  $H_m = 876 \text{ m}$  και ελάχιστο υψόμετρο  $H_{\min} = 65 \text{ m}$ , μήκος κεντρικής κοίτης  $L_k = 17,38 \text{ Km}$  και μέση κλίση λεκάνης σε  $J_F = 42,77\%$ . Ο δείκτης κυκλικότητας  $R_F = 0.560$  δείχνει λεκάνη με μικρό βαθμό στρωγυλομορφίας.
- Το ανηγμένο στο μέσο υψόμετρο της λεκάνης ( $H_m=876\text{m}$ ), μέσο ετήσιο ύψος βροχής ανέρχεται σε  $P_m = 1255.9 \text{ mm}$  και η μέση ετήσια θερμοκρασία αέρα σε  $T_m = 15,7^{\circ}\text{C}$ .

- Η περιοχή των αντιπλημμυρικών φραγμάτων δομείται από σύγχρονες ποταμοχειμάρριες τεταρτογενείς αλλουβιακές αποθέσεις υψηλής προς μέτρια προς περατότητας. Η μέση περατότητα κυμαίνεται μεταξύ  $k = 4,42275 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$ .
- Η μέγιστη υδατοπαροχή ανέρχεται σε  $\max Q_{100} = 73,925 \text{ m}^3/\text{s}$  και η μέγιστη στερεοπαροχή σε  $\max G_{100} = 11.59 \text{ m}^3/\text{s}$
- Ο απορροϊκός όγκος της μέγιστης υδατοπαροχής των  $73,925 \text{ m}^3/\text{s}$ , σύμφωνα με την μέθοδο Reitz – Krepis, βρέθηκε ίσος με  $V_{\max Q_{100}} = 900.003 \text{ m}^3$
- Τα τρία αντιπλημμυρικά εμπλουτιστικά φράγματα έχουν τα ακόλουθα γεωμετρικά, υδραυλικά, κατασκευαστικά και λειτουργικά-αντιπλημμυρικά χαρακτηριστικά:
  - ✓ Υπέργειο υδραυλικό ύψος  $Hh_1 = 7,50\text{m}$ ,  $Hh_2 = 5,96\text{m}$ , και  $Hh_3 = 6,18\text{m}$
  - ✓ Συνολικό υπέργειο ύψος  $Hs_1 = 7,50\text{m}$ ,  $Hs_2 = 5,96\text{m}$ , και  $Hs_3 = 6,18\text{m}$ .
  - ✓ Οι επιφάνειες κατάκλισης στις αντίστοιχες σταθερές στάθμες ύδατος ( $H_{\Sigma.Y.1} = \downarrow 80,00 \text{ m}$ ,  $H_{\Sigma.Y.2} = \downarrow 67,00 \text{ m}$ ,  $H_{\Sigma.Y.3} = \downarrow 58,00 \text{ m}$ ) ανέρχονται: σε  $F_{\Sigma.Y.1} = 21,646$  στρέμματα,  $F_{\Sigma.Y.2} = 46,822$  στρέμματα και  $F_{\Sigma.Y.3} = 22,168$  στρέμματα
  - ✓ Οι επιφάνειες κατάκλισης στις αντίστοιχες ανώτερες στάθμες ύδατος ( $H_{\Lambda.\Sigma.Y.1} = \downarrow 81,893 \text{ m}$ ,  $H_{\Lambda.\Sigma.Y.2} = \downarrow 68,893 \text{ m}$ ,  $H_{\Lambda.\Sigma.Y.3} = \downarrow 59,42 \text{ m}$ ) ανέρχονται σε  $F_{\Lambda.\Sigma.Y.1} = 23,512$ ,  $F_{\Lambda.\Sigma.Y.2} = 49,820$ , και  $F_{\Lambda.\Sigma.Y.3} = 24,245$  στρέμματα.
  - ✓ Οι όγκοι που αντιστοιχούν στις παραπάνω επιφάνειες ανέρχονται στη σταθερή στάθμη νερού ( $\Sigma.Y$ ) σε  $V_{\Sigma.Y.1} = 130.653\text{m}^3$ ,  $V_{\Sigma.Y.2} = 177.202 \text{ m}^3$ ,  $V_{\Sigma.Y.3} = 58.679 \text{ m}^3$ , και στην ανώτερη στάθμη ( $\Lambda.\Sigma.Y$ ) σε  $V_{\Lambda.\Sigma.Y.1} = 173.432\text{m}^3$ ,  $V_{\Lambda.\Sigma.Y.2} = 268.827 \text{ m}^3$ ,  $V_{\Lambda.\Sigma.Y.3} = 91.616 \text{ m}^3$
  - ✓ Ο συνολικός ταμιευτικός όγκος ανέρχεται στη σταθερή στάθμη ύδατος ( $\Sigma.Y$ ) σε  $\Sigma V_{\Sigma.Y} = 366.534 \text{ m}^3$  και στην ανώτερη στάθμη ( $\Lambda.\Sigma.Y$ ) σε  $\Sigma V_{\Lambda.\Sigma.Y} = 533.874 \text{ m}^3$ . Επομένως πέραν του σταθερού ταμιευτικού όγκου των  $\Sigma V_{\Sigma.Y} = 366.534 \text{ m}^3$  τα εμπλουτιστικά φράγματα διαθέτουν πρόσθετη αντιπλημμυρική επισχετική ικανότητα ίση με  $(\Sigma V_{\Lambda.\Sigma.Y} - \Sigma V_{\Sigma.Y} = 533.874 \text{ m}^3 - 366.534 \text{ m}^3 = 167.340 \text{ m}^3$ . Από τη συνολική (σταθερή και επισχετική) χωρητικότητα των  $\Sigma V_{\Lambda.\Sigma.Y} = 533.874 \text{ m}^3$  των τριών αντιπλημμυρικών – εμπλουτιστικών φραγμάτων, προκύπτει ότι παρακρατάται ισόποση ποσότητα πλημμυρικού υδατοφορτίου.
- Η μέση διηθητικότητα των φραγμάτων, που βρέθηκε ίση με  $k = 8,42310 \cdot 10^{-4} \text{ cm/s}$  αποδίδει, στο χρόνο ανόδου του πλημμυρογραφήματος, για την υγρή επιφάνεια διήθησης των φραγμάτων, που βρέθηκε ίση με  $\Sigma Fw = \Sigma F_{\Lambda.\Sigma.Y} \cdot 1,48 = 97,577 \cdot 1,48 = 144,414 \text{ στρέμ} = 144.414 \text{ m}^2$ , όγκο διήθησης ανερχόμενο σε  $\Sigma V_{\delta\eta\theta} = 251.568\text{m}^3$ .
- από τον σταθερό ταμιευτήριο χώρο των εμπλουτιστικών φραγμάτων, κατά την διάρκεια του χρόνου ανόδου  $Ta = 2,25454306$  ώρες της πλημμυρικής παροχής των  $\max Q_{100} = 73,925\text{m}^3/\text{s}$  διηθείται ποσότητα ανερχόμενη σε:

$$\Sigma V_{\delta\eta\theta} = k \cdot \Sigma F_{\delta\eta\theta.a} \cdot (Ta+Tb) = (8,42310 \cdot 10^{-4} \text{ cm/s}) \cdot (134.141\text{m}^2) \cdot [(2,25454306 + 1,67) \cdot 3600] = 27.665,55 = 27.656 \text{ m}^3$$

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι στο χώρο των φραγμάτων παρακρατείται και διηθείται, κατά το στάδιο εξέλιξης της πλημμύρας, ποσότητα ανερχόμενη σε  $\Sigma V_{\Lambda.\Sigma.Y} + \Sigma V_{\delta\eta\theta} = 533.874 \text{ m}^3 + 27.656 \text{ m}^3 = 561.530 \text{ m}^3$  νερού. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, από τον συνολικό όγκο των  $900.003 \text{ m}^3$  της πλημμύρας να εξέρχονται μόλις  $338.473 \text{ m}^3$ . Από τη σχέση  $\Sigma V = 1,5 \max Q \cdot tc$  των Reitz – Krepis προκύπτει ότι η ποσότητα αυτή των  $338.473 \text{ m}^3$  δίνει πλημμυρική παροχή εξόδου στο τελευταίο κατάντη φράγμα ίση με  $\max Q = \Sigma V / 1,5 \cdot tc = 338.473 \text{ m}^3 / 1,5 \cdot (2,25454306 \cdot 3600) = 27,80 \text{ m}^3/\text{s}$ . Η υδατοπαροχή των  $27,80 \text{ m}^3/\text{s}$ , που είναι μειωμένη κατά  $62,39\%$  της μέγιστης

υπολογισθείσας, αποτελεί μια πλημμυρική παροχή, τελείως ακίνδυνη, για την πλημμυροπαθή περιοχή του Τυμπακίου. Η παροχή αυτή πρόσθετα δύναται να διηθηθεί κατά το μεγαλύτερο τμήμα της στην μήκους 3,87 Km κατάντη αμμοχαλικώδη διηθητή κοιτή του Μάγειρου, αυξάνοντας έτσι τον εμπλουτισμό του, έντονα υποβαθμισμένου υδροφορέα Τυμπακίου.

- από τον σταθερό ταμιευτήριο χώρο των εμπλουτιστικών φραγμάτων, κατά την διάρκεια του χρόνου ανόδου  $T_a = 2,25454306$  ώρες της πλημμυρικής παροχής των  $\max Q_{100} = 73,925 \text{ m}^3/\text{s}$  διηθείται ποσότητα ανερχόμενη σε:

$$\Sigma V_{\delta\eta\theta} = k \cdot \Sigma F_{\delta\eta\theta,a} \cdot (T_a + T_b) = (8,42310 \cdot 10^{-4} \text{ cm/s}) \cdot (134.141 \text{ m}^2) \cdot [(2,25454306 + 1,67) \cdot 3600] = 27.665,55 = 27.656 \text{ m}^3$$

επομένως στον χώρο των φραγμάτων παρακρατούνται, ή διηθούνται, κατά το στάδιο εξέλιξης της πλημμύρας ποσότητα ανερχόμενη σε:

$$\Sigma V = \Sigma V_{\Lambda,\Sigma,Y} + \Sigma V_{\delta\eta\theta} = 533.874 \text{ m}^3 + 27.656 \text{ m}^3 = 533.874 \text{ m}^3 = 561.530 \text{ m}^3$$

## Βιβλιογραφία

- Chow, V.T. (ed.) (1964). Handbook of Hydrology. New York.
- Garg, S.K. (1987). Hydrology and Water Resources Engineering. New Delhi.
- Κωτούλας, Δ. (1979). Συμβολή στη μελέτη του γενικού μηχανισμού δράσεως ενός χειμαρρικού δυναμικού. Επιστημονική Επετηρίδα για τα 50 χρόνια της Δασολογίας, Θεσσαλονίκη.
- Κωτούλας, Δ. (2001α). Ορεινή Υδρονομική, Τόμος I: Τα ρέοντα ύδατα. Θεσσαλονίκη.
- Κωτούλας, Δ. (2001β). Υδρολογία και Υδραυλική Περιβάλλοντος. Θεσσαλονίκη.
- Μουλόπουλος, Χ. (1968). Ορεινή Υδρονομική. Θεσσαλονίκη.
- Παπαμιχαήλ, Δ., Παυλίδης, Θ. (1998). Έρευνα αντιμετώπισης και αξιοποίησης των υδατικών προβλημάτων του ορεινού όγκου του Χορτιάτη. Ερευνητικό Έργο 7025. Επιτροπή Ερευνών Α.Π.Θ.
- Παυλίδης, Θ. (2000). Έρευνα χειρισμού των υδατορευμάτων του Δ.Δ. Αθύρων του Δήμου Πέλλας, για την αντιμετώπιση των υδατικών τους προβλημάτων. Ερευνητικό Έργο 20753. Επιτροπή Ερευνών Α.Π.Θ.
- Παυλίδης, Θ. (2005). Ορεινή Υδρονομική II. Θεσσαλονίκη.
- Παυλίδης, Θ. (2008). Οριστική μελέτη τριών αντιπλημμυρικών εμπλουτιστικών υδροτοπικών φραγμάτων στο χείμαρρο Μάγειρο. Ερευνητικό Έργο 80115. Επιτροπή Ερευνών Α.Π.Θ.
- Στεφανίδης, Π. (2006). Ορεινή Υδρονομική I. Θεσσαλονίκη.
- Shaw, E. (1983). Hydrology in Practice (ed.). Van Nostrand Reinhold, U.K., Co. Ltd.
- Srebrenovic, D. (1970). Problemi Velikihroda. Zagreb.
- Srebrenovic, D. (1986). Applied Hydrology. Zagreb.
- Subramanya, (2008). Engineering Hydrology.
- Tricart, J. (1965). Principes et methodes de la geomorphologie. Paris.
- Τσακίρης, Γ. (1995) Υδατικοί Πόροι, Τεχνική Υδρολογία. Αθήνα.





**ΤΑ ΑΞΟΝΙΚΑ – ΠΡΑΝΙΚΑ ΔΙΑΒΡΩΤΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΜΙΑΣ ΜΕΤΡΙΑΣ  
ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΚΟΙΤΗ ΤΟΥ  
ΧΕΙΜΑΡΡΟΥ ΦΟΥΡΚΑΣ**

**Χαρίσιος Γκανάτσιος**

Δρ. Δασολόγος – Υδρολόγος Ι.Δ.Α.Χ, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης  
Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος  
Εργαστήριο Διευθέτησης Ορεινών Υδάτων  
e-mail: [cganats@for.auth.gr](mailto:cganats@for.auth.gr)

**Βασίλειος Παπαθανασίου**

Msc Δασολόγος – Χειμαρρολόγος, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης  
Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος  
Εργαστήριο Διευθέτησης Ορεινών Υδάτων  
e-mail: [bparatha@yahoo.gr](mailto:bparatha@yahoo.gr)

**Αικατερίνη Κάλφα**

Msc Δασολόγος – Περιβαλλοντολόγος, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης  
Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος  
Εργαστήριο Διευθέτησης Ορεινών Υδάτων  
e-mail: [katekalfa@for.auth.gr](mailto:katekalfa@for.auth.gr)

**Κυριάκος Τσεμπερίδης**

Δρ. Δασολόγος – Χειμαρρολόγος, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης  
Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος  
Εργαστήριο Διευθέτησης Ορεινών Υδάτων  
e-mail: [kit76@for.auth.gr](mailto:kit76@for.auth.gr)

**Θεοφάνης Παυλίδης**

Επίκουρος Καθηγητής, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης  
Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος  
Εργαστήριο Διευθέτησης Ορεινών Υδάτων  
e-mail: [pavlth@for.auth.gr](mailto:pavlth@for.auth.gr)

**Βασίλειος Παυλίδης**

Φοιτητής, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης  
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών  
e-mail: [vasileiospavlidis@gmail.com](mailto:vasileiospavlidis@gmail.com)

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Σε κάθε ισχυρή ακόμη και μέτρια ισχυρή βροχόπτωση ο χείμαρρος Φούρκας εμφανίζει έντονα αξονικά και κυρίως πρανικά προβλήματα επακόλουθα της ευπαθούς αμμώδους σύστασης τους. Με αποκορύφωμα τα έντονα πλημμυρικά φαινόμενα που έλαβαν χώραν

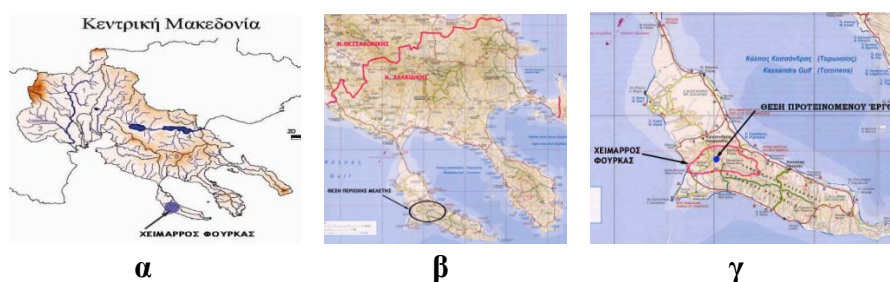
στις 2,3,4 Δεκεμβρίου 1990, στο χειμάρρο Φούρκας καταγράφονται εκτεταμένα πλημμυρικά φαινόμενα, με κύρια έκφραση την παρουσία έντονων πρानικών διαβρώσεων οφειλόμενων στην εξαιρετική ευπάθεια των ευδιάβρωτων αμμώδους σύστασης κοιτών και πρानών. Στα πλαίσια αντιμετώπισης των πρानικών και αξονικών διαβρώσεων τα πρानή και η κεντρική κοίτη του χειμάρρου καλύφθηκαν με διάφορου τύπου προστατευτικές συρματοπλεκτες κατασκευές.

Στην παρούσα εργασία καταγράφονται οι αξονικές και πρानικές διαβρώσεις, που προκάλεσε μια μέτρια πλημμυρική βροχόπτωση, στο μη επενδεδυμένο τμήμα της ανώτερης κεντρικής κοίτης του χειμάρρου (κλάδος Κασσανδρηνού), ερευνώνται τα αίτια ενεργοποίησης και εξέλιξης των φαινομένων και η πλημμυρική επικινδυνότητα του χειμάρρου στο τμήμα αυτό.

**Λέξεις κλειδιά:** Χειμάρρος Φούρκας, Πλημμυρική επικινδυνότητα χειμάρρου Φούρκας, Ευπάθεια αμμώδων πρानών και κοιτών χειμάρρων.

### Εισαγωγή, ιστορικό χειμάρρου, περιοχή έρευνας

Η έρευνα διεξήχθη στο χειμάρρο Φούρκας και επικεντρώθηκε στην ανώτερη κεντρική λεκάνη (κλάδος Κασσανδρηνού), που είναι ο μεγαλύτερος συμβάλλοντας κλάδος του. Στα Σχήματα 1α,β,γ, δίνεται η θέση του χειμάρρου έρευνας στον ελλαδικό χώρο και το χώρο της κεντρικής Μακεδονίας και στη χερσόνησο της Κασσάνδρας.



**Σχήμα 1α,β,γ.** Η θέση του χειμάρρου Κασσανδρηνού α) Το υδατικό διαμέρισμα  $B_2$  της Κεντρικής Μακεδονίας με τις λεκάνες του Λουδία, Αζιού, Γαλλικού, Λιμνών Κορώνειας-Βόλβης και Χαλκιδικής, β) στην Κεντρική Μακεδονία και γ) στη χερσόνησο της Κασσάνδρας.

Ο χειμάρρος Φούρκας έχει βεβαρυμμένο πλημμυρικό ιστορικό με περιοδικά ανά 8-10 χρόνια μικρότερα ή μεγαλύτερα πλημμυρικά συμβάντα, που τον καθιστούν τον πιο επικίνδυνο χειμάρρο της Κασσάνδρας. Χαρακτηριστικό της έντονης πλημμυρικής δράσης του χειμάρρου Φούρκας είναι τα εκτεταμένα πλημμυρικά φαινόμενα, που καταγράφηκαν στις 3-5 Δεκέμβριου του 1990 (Παυλίδης 1994, Εικ. 1α,β,γ). Η πλημμυρική δράση εκφράστηκε με σφοδρότητα στο τμήμα Φούρκας-Παραλίας Φούρκας και στο ύψος του Κασσανδρηνού. Επισημαίνεται το εξαιρετικά ευάλωτο και επιρρεπές, σε αξονικές και πρानικές διαβρώσεις, της κεντρικής κοίτης του χειμάρρου (Εικ. 1α,β,γ, 2).





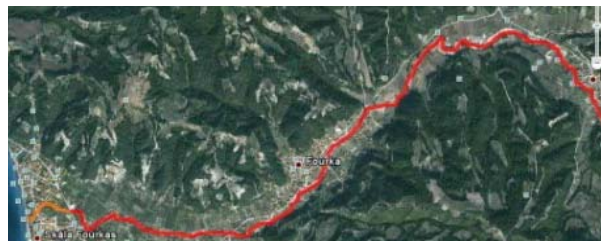
**Εικόνα 1.** Χαρακτηριστικές απόψεις της πλημμύρας του χειμάρρου Φούρκας που συνέβη στις 2,3,4./12/90. Διακρίνεται η αμμώδης ευάλωτη συγκρότηση των κοιτών και των πρανών του χειμάρρου, που καθίστανται εύκολη βορρά των πλημμυρικών παροχών. Πλημμυρικές καταστροφές.



**Εικόνα 2.** Χαρακτηριστικές απόψεις των έντονα ευδιάβρωτων, ευπαθών διηθητών κινητών πυθμένων και πρανών του χειμάρρου Φούρκας.

Το πλημμυρικό πρόβλημα του χειμάρρου Φούρκας σε συνδυασμό με την υδρολογική συμπεριφορά του χειμάρρου και την ένταση των αντλήσεων, καθορίζει την υγεία του υπόγειου υδροφορέα Κασσανδρηνού – Φούρκας, ο οποίος αποτελεί τον υδροφορέα που καλύπτει το μεγαλύτερο μέρος των υδρευτικών αναγκών της Κασσάνδρας.

Στα πλαίσια αντιμετώπισης των παραπάνω προβλημάτων συντάχθηκαν σχετικές μελέτες διευθέτησης οι οποίες κινήθηκαν στην επίτευξη σταθεροποίησης των αμμωδών πρανών και κοιτών, σε ολόκληρο το τμήμα Παραλία Φούρκας – Κασσανδρηνό (Σχ. 2) με κάλυψη τους με διάφορου τύπου συρματοπλεκτες κατασκευές, όπως στρωμένες, κιβώτια, κύλινδροι, κ.λ.π. (Εικ. 3).



**Σχήμα 2.** Η διευθετηθείσα κεντρική κοίτη του χειμάρρου Φούρκας.



**Εικόνα 3.** Απόψεις της διευθετημένης με συρματοπλεκτες κατασκευές (κιβώτια, κύλινδροι, στρωμένες), κεντρικής κοίτης του χειμάρρου Φούρκας.

## Μέθοδοι υλικά

Η ακολουθούμενη μέθοδος έρευνας έχει ως εξής:

1. Μετά τη χάραξη του υδροκρίτη του χειμάρρου σε χάρτη της Γ.Υ.Σ. κλίμακας 1:50.000 (φύλλο Κασσανδρεία), υπολογίσθηκαν τα μορφομετρικά και υδρογραφικά στοιχεία του χειμάρρου (Τσακίρης 1995, Κωτούλας 2001, Παυλίδης 2005).
2. Οι γεωλογικές-πετρογραφικές συνθήκες προήλθαν από τον γεωλογικό χάρτη κλίμακας 1:50.000 του Ι.Γ.Μ.Ε (φύλλο Κασσανδρεία) με ένταξη των πετρωμάτων σε χειμαρρικούς πετρολογικούς σχηματισμούς (Κωτούλας 1969, 1979).
3. Ο υπολογισμός των ανηγμένων, στο μέσο υψόμετρο του χειμάρρου Φούρκας, κλιματικών στοιχείων έγινε με χρήση της τοπικής βροχοβαθμίδας ( $\Delta P_m=13\text{mm}/100\text{m}$ ) και θερμοβαθμίδα ( $\Delta T_m=-0,560^\circ\text{C}/100\text{m}$ ) (Παυλίδης 1994, 2010) και τα κλιματικά στοιχεία του εγγύς στο χειμάρρο Μ.Σ. Κασσανδρείας (Σχ. 2), που αποτελεί το σταθμό αναφοράς. Ο υπολογισμός τους έγινε με επίλυση των ακόλουθων σχέσεων:

$$P_m = P_o + (\Delta P_m \cdot \Delta H)$$

$$T_m = T_o + (\Delta T_m \cdot \Delta H)$$

όπου:

$P_m$  = το ετήσιο ύψος βροχής ανηγμένο στο μέσο υψόμετρο της λεκάνης (mm)

$P_o$  = το μέσο ετήσιο ύψος βροχής του Μ.Σ Κασσανδρείας ( $P_o=13,00\text{mm}/\text{έτος}$ )

$\Delta P_m$  = η μέση ετήσια βροχοβαθμίδα της περιοχής ( $\Delta P_m=13,00\text{mm}/100\text{m}$ )

$T_m$  = η μέση ετήσια θερμοκρασία στο μέσο υψόμετρο της λεκάνης σε mm

$T_o$  = η μέση θερμοκρασία του Μ.Σ. Κασσανδρείας ( $T_o=16,3^\circ\text{C}$ )

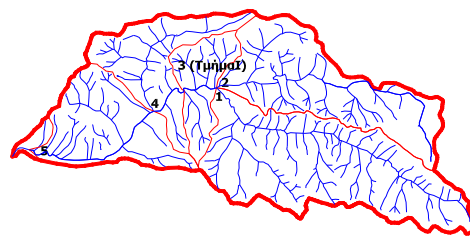
$\Delta T_m$  = η μέση θερμοβαθμίδα της περιοχής ( $\Delta T_m = -0,560^\circ\text{C}/100$ )

$\Delta H$  = η υψομετρική διαφορά του Μ.Σ. Μ.Σ Κασσανδρείας ( $H_o=601\text{m}$ ) και του μέσου υψομέτρου  $H_m$  της λεκάνης ( $H_m=163\text{m}$ ).

4. Από στοιχεία ορθοφωτοχαρτών, δασοπονικών χαρτών, δορυφορικών εικόνων και από επιτόπιες επισκέψεις καθορίσθηκαν οι συνθήκες βλάστησης της λεκάνης.
5. Ο υπολογισμός της μέγιστης υδατοπαροχής ( $\max Q_{100}$ ), της μέγιστης στερεοπαροχής ( $\max G_{100}$ ) και της μέγιστης υδατοστερεοπαροχής ( $\max W_{100} = \max Q_{100} + \max G_{100}$ ) έγινε σε πέντε επιλεγείσες κατάλληλες διακριτές θέσεις συμβολής των κύριων συνιστωσών κλάδων του χειμάρρου Φούρκας (Σχ. 3, Πίν. 1).



**Σχήμα 3.** Η θέση του Μ.Σ. Κασσανδρείας και του χειμάρρου Φούρκας στη χερσόνησο Κασσάνδρας.



**Σχήμα 4.** Οι θέσεις υπολογισμού των υδατοπαροχών και στερεοπαροχών του χειμάρρου Φούρκας.

Η μέγιστη υδατοπαροχή ( $\max Q_{100}$ ), υπολογίσθηκε με τους ακόλουθους δοκιμασμένους στον ελλαδικό χώρο τύπους (Κωτούλας 2001, Παυλίδης 2005, Στεφανίδης 2007):

**Τύπος Kursteirner:**

$$\max Q_{100} = A * F^{1/3}$$

**Τύπος Henry-Boot:**

$$\max Q_{100} = a * F^{0.75}$$

Ορθολογική μέθοδος:

$$\max Q_{100} = 0,278 \cdot c \cdot \max i_{100} \cdot F$$

όπου: (A = 9-15 και a = 3,3÷6,7 ανάλογα με το μέγεθος των λεκανών), c = συντελεστής απορροής,  $\max i_{100}$  = μέγιστη ένταση βροχής,  $t_c = t_c$

**Πίνακας 1.** Θέσεις υπολογισμού υδατοπαροχών του χειμάρρου Φούρκας (Σχ. 3).

Θέση	Εκφορτιζόμενες επιφάνειες	Ένδειξη
1	Κλάδος Κασσανδρινού (ανώτερη κεντρική λεκάνη)	$\max Q_{100}$
2	Κλάδος Ζωγραφίτικος Λάκος	$\max Q_{100}$
3	Κατάντη συμβολή κλάδων Κασσανδρινού και Ζωγραφίτικου Λάκου	$\max Q_{100}$
4	Λεκάνη ανάντη του οικισμού της Φούρκας	$\max Q_{100}$
5	Συνολική λεκάνη	$\max Q_{100}$

Ο χρόνος συγκέντρωσης  $t_c$  υπολογίστηκε με τον τύπο του Giandotti:

$$t_c = [(4 \cdot F^{1/2}) \cdot (1,5 L_k)] / [0,8 \cdot (H_m - H_{min})^{1/2}]$$

όπου:

**$t_c$**  = χρόνος συγκέντρωσης (ώρες), **F** = εμβαδόν λεκάνης ( $\text{km}^2$ ),

**L** = μήκος της κεντρικής κοίτης (km),

**H<sub>m</sub>, H<sub>min</sub>** = μέσο (**H<sub>m</sub>**) και ελάχιστο (**H<sub>min</sub>**) υψόμετρο λεκάνης (m).

6. Η μέγιστη στερεοπαροχή ( **$\max G_{100}$** ) υπολογίστηκε με την εξίσωση των Stiny-Hercheulidze, η οποία βρίσκει ευρεία εφαρμογή στην Υδρονομική θεωρία και πράξη:

$$\max G_{100} = \{P_n \cdot m / Y_n \cdot (100 - P_n)\} \cdot \max Q_{100}$$

όπου:

**$\max G_{100}$**  = η μέγιστη στερεοπαροχή ( $\text{m}^3/\text{s}$ ),

**$\max Q_{100}$**  = η μέγιστη υδατοπαροχή ( $\text{m}^3/\text{s}$ ),

**P<sub>n</sub>** = το επί % βάρος των φερτών υλών (δίνεται σε Πίνακες),

**m** = ο βαθμός χειμαρρικότητας της λεκάνης απορροής (δίνεται σε Πίνακες),

**Y<sub>n</sub>** = το ειδικό βάρος των μεταφερόμενων φερτών υλών  $\text{t}/\text{m}^3$ .

7. Με επιτόπιες επισκέψεις καταγράφηκαν οι αξονικές και πρηνικές διαβρώσεις που προκάλεσε μια μέτρια βροχόπτωση και προκάλεσε έντονες αξονικές και κυρίως πρηνικές υποσκαφές στον κλάδο Κασσανδρινού. Τα φαινόμενα αυτά αποτυπώθηκαν σε ολόκληρο το τμήμα του κλάδου Κασσανδρινού στο ύψος του οικισμού, στο οποίο δεν είχε περατωθεί η πλήρης εγκοίτωση της κοίτης και των πρηνών με συρματοπλεκτες κατασκευές. Στη συνέχεια αξιολογήθηκαν τα αίτια πρόκλησης των χειμαρρικών φαινομένων και αναπτύχθηκαν οι αρχές και το βέλτιστο σύστημα διεύθεσης του χειμάρρου, που να απαντά τόσο στα διαβρωτικά φαινόμενα, όσο και στη μεγιστοποίηση του ρυθμού εμπλουτισμού του υπόγειου υδροφορέα Φούρκας Κασσανδρινού πάνω στον οποίον στηρίζεται η υδρευτική ζήτηση μεγάλου τμήματος της χερσονήσου της Κασσάνδρας.

## Αποτελέσματα

### Μορφομετρικά ανάγλυφου και υδρογραφικά χαρακτηριστικά

Τα μορφομετρικά, αναγλύφου και υδρογραφικά στοιχεία του χειμάρρου Φούρκας (Σχ. 4) δίνονται στον Πίνακα 2.

**Πίνακας 2.** Μορφομετρικά, κλίσεων και υδρογραφικά στοιχεία του χειμάρρου Φούρκας και του κλάδου Κασσανδρηνού (Σχ. 4).

Μέγεθος	Σύμβολο	Μονάδα	Κασσανδρηνό P	Χ. Φούρκας
1. Επιφάνεια λεκάνης	F	Km <sup>2</sup>	25,30	36,94
2. Περίμετρος υδροκρίτη	Π	Km	24,01	31,61
3. Μήκος διαδρομής παράλληλο προς τη μέγιστη διάταξη της λεκάνης	S <sub>F</sub>	Km	8,70	11,57
4. Μήκος διαδρομής παράλληλο προς τη γενική κατεύθυνση της κεντρικής κοίτης	SL <sub>κ</sub>	Km	8,27	13,19
5. Υψομετρία λεκάνης				
i) μέγιστο υψόμετρο	H <sub>max</sub>	m	350	350
ii) ελάχιστο υψόμετρο	H <sub>min</sub>	m	65	0
iii) μέσο υψόμετρο	H <sub>m</sub>	m	183	163
6. Υδρογραφία λεκάνης				
i) συνολικό μήκος υδρογραφικού δικτύου	SL	Km	83,08	119,03
ii) μήκος κεντρικής κοίτης	L <sub>κ</sub>	Km	8,96	14,45
iii) μέση κλίση κεντρικής κοίτης	JLK	(%)	2,51	2,01
iv) πυκνότητα υδρογραφικού δικτύου (D = SL/F)	D	(Km/Km <sup>2</sup> )	3,28	3,22
7. Ανάγλυφο λεκάνης				
i) μέση κλίση λεκάνης, $JF = (Hd * \Sigma S * 100) / F$	JF	(%)	26,34	26,64
ii) συνολικό μήκος χωροσταθμικών	$\Sigma S_s$	Km	333,1	491,9
iii) ισοδιάσταση χωροσταθμικών	H <sub>d</sub>	Km	0,02	0,02
iv) υψομετρικό ανάπτυγμα $\Delta H_i = H_i - H_{min}$	$\Delta H$			
α) μέγιστο ( $\Delta H_{max} = H_{max} - H_{min}$ )	$\Delta H_{max}$	m	285,0	350,0
β) μέσο ( $\Delta H_m = H_m - H_{min}$ )	$\Delta H_m$	m	117,6	163,4
v) σχετική υψομετρική διαφορά ( $\Delta H_{\pi} = \Delta H / \Pi$ )	$\Delta H_{\pi}$			
α) μέγιστη ( $\Delta H_{max\pi} = \Delta H_{max} / \Pi$ )	$\Delta H_{max\pi}$		11,87	11,07
β) μέση ( $\Delta H_{m\pi} = \Delta H_m / \Pi$ )	$\Delta H_{m\pi}$		4,90	5,17
vi) βαθμός αναγλύφου ( $A_h = \Delta H / SL_{\kappa}$ )	A <sub>h</sub>			
α) μέγιστος ( $A_{hmax} = \Delta H_{max} / SL_{\kappa}$ )	A <sub>hmax</sub>		34,46	26,53
β) μέσος ( $A_{hm} = \Delta H_m / SL_{\kappa}$ )	A <sub>hm</sub>		14,22	12,39

vii) βαθμός στρογγυλομορφίας				
α) δείκτης Gravelius (δείκτη στρογγυλομορφίας), ( $K_F = \Pi/\Pi F = 0,282\Pi/F1/2$ )	$K_F$		1,35	1,47
β) δείκτης μορφής λεκάνης ( $J_f = F/S2F$ )	$J_f$		0,33	0,28
γ) δείκτης επιμήκυνσης λεκάνης ( $RL = (2(F/\Pi)1/2)/SL\kappa$ )	$RL$		0,25	0,16
δ) δείκτης κυκλικότητας ( $RF = 4\pi F/\Pi^2$ )	$RF$		0,55	0,46
viii) δείκτης τραχύτητας λεκάνης ( $FD = \Delta H * D$ )	$FD$			
α) μέγιστος ( $F_{max}D = \Delta h_{max} * D$ )	$F_{max}D$		936,06	1127,86
β) μέσος ( $F_m D = \Delta H_m * D$ )	$F_m D$		35,81	50,71
ix) ορογραφικός συντελεστής ( $CF = H^2/1000F$ )	$CF$			
α) μέγιστος ( $CF_{max} = H_{2max}/1000F$ )	$CF_{max}$		4,84	3,32
β) μέσος ( $CF_m = H_{2m}/1000F$ )	$CF_m$		1,32	0,72

### Γεωλογικές και πετρογραφικές συνθήκες

Από τα στοιχεία του γεωλογικού χάρτη Κασσανδρεία του Ι.Γ.Μ.Ε. κλίμακας 1: 50.000. προέκυψε ότι η λεκάνη του χειμάρρου Φούρκας δομείται από τα ακόλουθα πετρώματα του νεογενούς και προσχωσιγενούς σχηματισμού (Σχ. 5, Πίν. 3).

**Πίνακας 3.** Κατάταξη των γεωλογικών σχηματισμών του χειμάρρου Φούρκας και του κλάδου του Κασσανδρηνού σε χειμαρρικούς πετρολογικούς σχηματισμούς (Κωτούλας 1969, 1979).

Λεκάνη	Συμμετοχή των χειμαρρικών πετρολογικών σχηματισμών													
	Κρυσταλοπυριγενής (M)		Ασβεστολιθικός (K)		Σχιστολιθικός (G)		Φλυσχικός (F)		Νεογενής (S)		Προσχωσιγενής (P)		Σύνολο	
	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%
Χ. Φούρκα Κασσανδρηνό	0	0	0,53	1,43	0	0	0	0	32,14	87	4,27	11,56	36,94	100
<p><u>Νεογενής σχηματισμός (S)</u>: Ο Νεογενής χειμαρρικός σχηματισμός (S) συγκροτείται από τις σειρές ερυθρών και λευκών μαργών, ενίοτε ψαμμούχων, με παρεμβολές ψαμμιτικών, μαργαϊκών ασβεστολίθων και κροκαλοπαγών. Σημειώνεται η μεγάλη περιεκτικότητα των πετρωμάτων σε άμμο, η οποία και χαρακτηρίζει τα εδαφολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής, αλλά και τη στερεομεταφορά των τοπικών χειμάρρων.</p> <p><u>Προσχωσιγενής σχηματισμός (P)</u>: περιλαμβάνει σύγχρονες αμμώδους σύστασης προσχώσεις στον πεδινό κοιλαδικό χώρο (κεντρική κοίτη χειμάρρου Φούρκας και κλάδων Κασσανδρηνού και Ζωγραφίτικου Λάκκου).</p>														

## Μετεωρολογικές συνθήκες – κλίμα

Οι μέσες μηνιαίες και ετήσιες βροχοπτώσεις και θερμοκρασίες αέρα του Μ.Σ. Κασσάνδρας και οι αντίστοιχες ανηγμένες, με την τοπική βροχοβαθμίδα και θερμοβαθμίδα (Παυλίδης 2010,  $\Delta P_m = 13,00 \text{ mm}/100\text{m}$ ,  $\Delta T_m = -0,56^\circ\text{C}/100\text{m}$ ) του χειμάρρου Φούρκας (Σχ. 2, 3) ανηγμένα στο μέσο υψόμετρο του ( $H_m = 163\text{m}$ ) δίνονται στον Πίνακα 4.

**Πίνακας 4.** Μέσο ύψη βροχής και θερμοκρασίες αέρα στο Μ.Σ. Κασσανδρείας (Σχ. 3) και στο μέσο υψόμετρο του χειμάρρου Φούρκας την περίοδο 1978-1990.

	Ιαν.	Φεβ.	Μαρ.	Απρ.	Μάϊος	Ιουν.	Ιουλ.	Αυγ.	Σεπ.	Οκτ.	Νοε.	Δεκ.	Έτος
Μ.Σ, Κασσανδρείας (Υψ: 50 m)													
Ύψος βροχής	60,5	60,4	54,6	40,1	32,3	20,5	20,5	22,1	24,6	77,4	92,3	96,5	601,7
Θερμοκρασία	7,38	7,92	10,31	14,16	18,85	24,04	26,11	25,59	22,37	17,57	11,82	9,02	16,3
Χειμάρρος Φούρκας (Υψ: 163m)													
Ύψος βροχής	62,0	61,9	55,9	41,0	33,1	21,0	21,0	22,6	25,2	79,3	94,5	98,9	616,4
Θερμοκρασία	6,8	7,3	9,7	13,5	18,2	23,4	25,5	25,0	21,7	16,9	11,2	8,4	15,6

## Συνθήκες βλάστησης

Η έρευνα των συνθηκών βλάστησης έδωσε τα αποτελέσματα τα οποία δίνονται στον Πίνακα 5 και παρουσιάζονται στο Σχήμα 6.

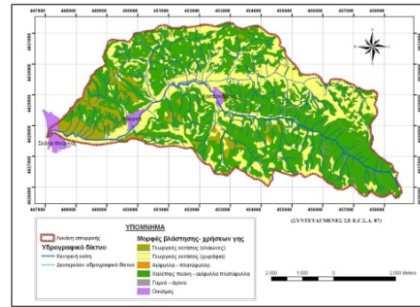
**Πίνακας 5.** Απαντώμενες μορφές βλάστησης – χρήσεων γης στη λεκάνη απορροής του χειμάρρου Φούρκας.

Μορφές βλάστησης - χρήσης γης	Χειμάρρος Φούρκας	
	Επιφάνεια (Κm <sup>2</sup> )	Ποσοστό %
Ελαιώνες	2,36	%
Λοιπές καλλιεργούμενες εκτάσεις	11,67	6,40
Αείφυλλα - πλατύφυλλα	0,10	31,59
Χαλέπιος - αείφυλλα πλατύφυλλα	21,94	0,27
Γυμνά - άγονα	0,49	59,40
Οικισμοί	0,37	1,33
Σύνολο	36,94	1,01





Σχήμα 5. Γεωλογικός χάρτης του χειμάρρου Φούρκας.



Σχήμα 6. Χάρτης βλάστησης του χειμάρρου Φούρκας.

### Υπολογισμός μέγιστης υδατοπαροχής

Η μέγιστη υδατοπαροχή του χειμάρρου Φούρκας, ως ο Μ.Ο των τύπων Kursteirner, Henry Boot και Ορθολογικής στις θέσεις μέτρησης (Σχ. 3), δίνεται στον Πίνακα 8, ενώ στους Πίνακες 6 και 7 δίνονται οι υπολογισθέντες χρόνοι συγκέντρωσης  $t_c$  (Πίν. 6) και τα δεδομένα εφαρμογής της ορθολογικής μεθόδου.

Πίνακας 6. Υπολογισθέντες στις θέσεις μέτρησης του χειμάρρου Φούρκας (Σχ. 3), χρόνοι συγκέντρωσης  $t_c$ .

Θέση	Επιφάνεια (F) (km <sup>2</sup> )	Μέσο υψόμετρο (H <sub>m</sub> ) (m)	Ελάχιστο υψόμετρο H <sub>(min)</sub> (m)	Μήκος κεντρικής κοίτης (L <sub>k</sub> ) (km)	Χρόνος συγκέντρωσης $t_c = (4\sqrt{F} + 1,5 L_k) / (0,8 \cdot \sqrt{H_m - H_{min}})$ (ώρες)
Θέση 1	13,28	203	65	7,94	2,8183714 ώρες ή 2h49'05''
Θέση 2	9,11	156	65	7,64	3,0832238 ώρες ή 3h04'59''
Θέση 3	25,30	183	65	8,96	3,861769343 ώρες ή 3h51'42''
Θέση 4	30,46	174	44	10,06	4,0747766 ώρες ή 4h04'29''
Θέση 5	36,50	161	0	13,90	4,502407648 ώρες ή 4h30'09''

Πίνακας 7. Δεδομένα υπολογισμού των μέγιστων υδατοπαροχών ( $max Q_T$ ) του χειμάρρου Φούρκας στις θέσεις μέτρησης (Σχ. 3), με εφαρμογή της ορθολογικής μεθόδου, με περίοδο επαναφοράς  $T = 20, 50, 100, \text{ και } 200$  έτη.

Λεκάνη	Δεδομένα			
1	F=13,28 km <sup>2</sup>	Hm=203m, Hmin=65m	Lk=7,94km	$t_c = t = 2,8183714$
	$i_{20} = 18,86 \text{ mm/h}$	$i_{50} = 22,10 \text{ mm/h}$	$i_{100} = 24,92 \text{ mm/h}$	$i_{200} = 28,10 \text{ mm/h}$
	$c_{20} = 0,332$	$c_{50} = 0,432$	$c_{100} = 0,469$	$c_{200} = 0,509$
2	F=9,10 km <sup>2</sup>	Hm=156m, Hmin=65m	Lk=7,64km	$t_c = t =$
	$i_{20} = 17,93 \text{ mm/h}$	$i_{50} = 21,02 \text{ mm/h}$	$i_{100} = 23,70 \text{ mm/h}$	$i_{200} = 26,72 \text{ mm/h}$
	$c_{20} = 0,349$	$c_{50} = 0,450$	$c_{100} = 0,487$	$c_{200} = 0,522$
3	F=25,30 km <sup>2</sup>	Hm=183m, Hmin=65m	Lk=8,96km	$t_c = t = 3,861769343$

	$i_{20}=15,81\text{mm/h}$	$i_{50}=18,53\text{ mm/h}$	$i_{100}=20,89\text{mm/h}$	$i_{200}=23,55\text{mm/h}$
	$c_{20}=0,337$	$c_{50}=0,428$	$c_{100}=0,453$	$c_{200}=0,493$
4	$F=30,46\text{ km}^2$	$Hm=174\text{m},$ $Hmin=44\text{m}$	$Lk=10,06\text{ km}$	$tc=t=4,0747766$
	$i_{20}=15,34\text{mm/h}$	$i_{50}=17,98\text{mm/h}$	$i_{100}=20,27\text{mm/h}$	$i_{200}=22,85\text{mm/h}$
	$c_{20}=0,316$	$c_{50}=0,408$	$c_{100}=0,441$	$c_{200}=0,472$
5	$F=36,50\text{ km}^2$	$Hm=163\text{m},$ $Hmin=0\text{m}$	$Lk=13,90\text{km}$	$tc=t=4,4074156$
	$i_{20}=14,68\text{mm/h}$	$i_{50}=17,21\text{mm/h}$	$i_{100}=19,40\text{mm/h}$	$i_{200}=21,87\text{mm/h}$
	$c_{20}=0,293$	$c_{50}=0,394$	$c_{100}=0,428$	$c_{200}=0,454$

**Πίνακας 8.** Μέγιστες υδατοπαροχές ( $\max Q_T$ ) των διακριτών μελετούμενων τμημάτων της λεκάνης απορροής του χειμάρρου Φούρκας με περιόδους επαναφοράς  $T = 20, 50, 100,$  και  $200$  έτη.

Λεκάνη	Μέγιστη υδατοπαροχή ( $\max q_t$ ) ( $\text{m}^3/\text{s}$ )			
	$Q_{20}$	$Q_{50}$	$Q_{100}$	$Q_{200}$
Λεκάνη 1	23,12	35,25	43,15	52,80
Λεκάνη 2	15,84	23,94	29,21	35,30
Λεκάνη 3	37,47	55,77	66,56	81,67
Λεκάνη 4	41,06	62,12	75,71	91,36
Λεκάνη 5	43,65	68,79	84,25	100,76

#### Υπολογισμός μέγιστης στερεοπαροχής, υδατοστερεοπαροχής

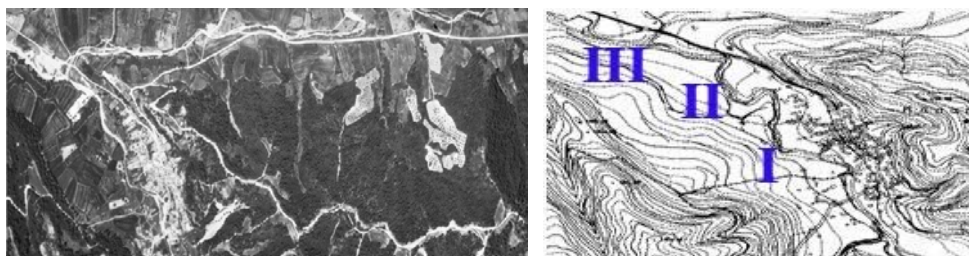
Τα αποτελέσματα υπολογισμού, στις θέσεις μέτρησης του χειμάρρου Φούρκας (Σχ. 3), των μέγιστων στερεοπαροχών, με τη μέθοδο των Stiny-Hercheulidze με περίοδο επαναφοράς  $T_a = 100$  έτη, και των μέγιστων υδατοστερεοπαροχών δίνονται στον Πίνακα 9.

**Πίνακας 9.** Υπολογισμός των μέγιστων στερεοπαροχών στις θέσεις μέτρησης του χειμάρρου Φούρκας (Σχ. 3) με τη μέθοδο των Stiny-Hercheulidze και των αντίστοιχων υδατοστερεοπαροχών  $\max(Q+G)_{100}$ .

Επιφάνεια ( $\text{Km}^2$ )	Μέγιστη υδατοπα- ροχή, ( $\max Q_{100}$ )  ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	Συντε- λεστής ( $P_n$ )	Συντελε- στής Χειμαρρικό- τητας  ( $m$ )	Ειδικό βάρος φερτών ( $Y_n$ )  ( $\text{t}/\text{m}^3$ )	Μέγιστη στερεοπα- ροχή ( $\max G_{100}$ )  ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	Μέγιστη υδατοστερε- οπαροχή $\max(Q+G)_{100}$  ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
Λεκάνη 1	43,15	30	1,15	2,13	9,98	53,13
Λεκάνη 2	29,21	30	1,03	2,11	6,11	35,32
Λεκάνη 3	62,30	30	1,10	2,12	13,85	76,15
Λεκάνη 4	75,71	30	1,09	2,11	16,76	92,47
Λεκάνη 5	84,25	30	1,07	2,10	18,40	102,65

## Αξονικές, πρανικές διαβρώσεις κατά την βροχόπτωση στις 28/7/2009

Παρά το σχετικά μικρό ύψος των 58,2 mm της βροχόπτωσης που έπεσε στις 28/7/2009 στο χειμάρρο Φούρκας σε ολόκληρο το αδιευθέτητο τμήμα της κεντρικής κοίτης του κλάδου Κασσανδρηνού και την παλαιότερη στερέωση μεγάλου τμήματος των πρανών, με παράλληλες συρματόπλεκτες κατασκευές (Εικ. 4) καταγράφηκαν έντονα για το μέγεθος της βροχόπτωσης πλημμυρικά συμβάντα με κύρια έκφραση τις πρανικές διαβρώσεις (Εικ 5, 6, 7) και ολισθήσεις (Εικ. 9) λόγω υποσκαπτικής διάβρωσης του πόδα των πρανών. Οι Εικόνες 5, 6 και 7 παρέχουν τα καταγραφέντα διαβρωτικά φαινόμενα στα τμήματα I, II και III του κλάδου Κασσανδρηνού. Παράλληλα η έντονα αμμώδης στερεοπαροχή του κλάδου Κασσανδρηνού πρόσχωσε το καταληκτικό τμήμα της κοίτης του (Εικ. 7), αλλά και την απαρχή της κεντρικής κοίτης του χειμάρρου Φούρκας (Εικ. 8) κατάντη της συμβολής του με τον Ζωγραφίτικο Λάκκο (Σχ. 3).



**Σχήμα 7.** Τα διακριτά τμήματα της διαβρωσιγενούς κεντρικής κοίτης του κλάδου Κασσανδρηνού. Τμήμα I: ανώτερο κατάντη της γέφυρας Κασσανδρηνού - Νεκροταφείου Κασσανδρηνού τμήμα. Τμήμα II: κεντρικό τμήμα και Τμήμα III: Πέρασ κεντρικής κοίτης του κλάδου Κασσανδρηνού.



**Εικόνα 4.** Απόψεις των παλαιότερων συρματόπλεκτων κατασκευών πρανικής προστασίας της κεντρικής κοίτης του κλάδου Κασσανδρηνού.

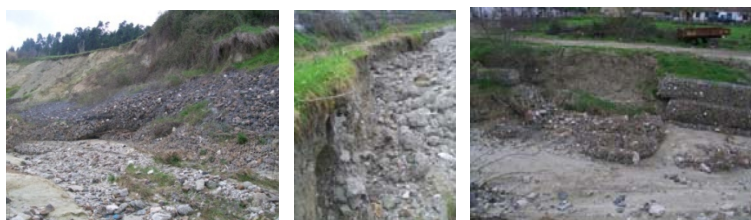




**Εικόνα 5.** Απόψεις των αξονικών και πρανικών διαβρώσεων στο κεντρικό τμήμα του κλάδου Κασσανδρηνού στο ύψος του οικισμού (Σχ. 7, Τμήμα II).



**Εικόνα 6.** Απόψεις των αξονικών και πρανικών διαβρώσεων στο ύψος της γέφυρας προς το νεκροταφείο Κασσανδρηνού (Σχ.7. Τμήμα I).



**Εικόνα 7.** Απόψεις των αξονικών και πρανικών διαβρώσεων στο πέρας της κεντρικής κοίτης του κλάδου Κασσανδρηνού (Σχ. 7, Τμήμα III).



**Εικόνα 8.** Απόψεις της προσχωτικής δράσης στο πέρας της κεντρικής κοίτης του κλάδου Κασσανδρηνού, πριν τη συνένωσή του με τον κλάδο Ζωγραφίτικο Λάκκο και κατόπιν αυτής (απαρχή της κεντρικής κοίτης του χειμάρρου Φούρκας).



**Εικόνα 9.** Απόψεις ενεργοποιηθείσας πρανικής ολίσθησης στα όρια των τμημάτων II και III (Σχ. 7).

### Σύνοψη, κρίσεις, συμπεράσματα, αρχές και σύστημα διεύθετης

Από τη μελέτη - ανάλυση των μορφολογικών, και υδρογραφικών χαρακτηριστικών του χειμάρρου Φούρκας και των επιμέρους υπολεκανών (Σχ. 3, Πίν. 2) προκύπτει ότι η υψομετρία και η μέση κλίση της λεκάνης του δεν συμβάλλουν σε αυξημένη χειμαρρικήτητα. Μόνο το μέγεθος της λεκάνης του ( $F = 36,94 \text{ km}^2$ ), που τον κατατάσσει το χειμάρρο αυτό στη κατηγορία των μεσαίου μεγέθους χειμάρρων και το αρκετά στρογγυλόμορφο της λεκάνης (δείκτης Gravelius  $K_F = 1,47$ , για το χειμάρρο Φούρκας και  $K_F = 1,35$  για τον κλάδο Κασσανδρηνού), συμβάλλουν στην αύξηση της χειμαρρικήτητας και της πλημμυρικής επικινδυνότητας του χειμάρρου.

Παρά τις ήπιες μέσες κλιματικές συνθήκες (μέσο ετήσιο ύψος βροχής  $P_m = 601,7 \text{ mm}$ ,  $T_m = 16,3^{\circ}\text{C}$ ), οι οποίες δεν συμβάλλουν σε αυξημένη χειμαρρικήτητα, το σημαντικό ύψος βροχής της λεκάνης, που στις 2,3 και 4 Δεκεμβρίου έφθασε τα 228,5 mm με αποτέλεσμα να αποτελεί καθοριστικό παράγοντα της έντονης πλημμυρογένεσης του χειμάρρου Φούρκας. Από τα 228,5 mm τα 225 mm πέσανε σε 2 μέρες τα 201 mm σε 1,5 μέρα (36 ώρες) και τα 112 mm σε 18 ώρες. (Παυλίδης 1991, 2010).

Ο καθοριστικότερος παράγοντας της έντονης πλημμυρογένεσης του χειμάρρου Φούρκας (Εικ. 1) είναι το εξαιρετικά ευδιάβρωτον του νεογενούς και προσχωσιγενούς γεωυπόθεματος της λεκάνης του χειμάρρου (Σχ. 4, Πίν. 3), που αποτελεί εύκολη βορρά των πλημμυρικών υδάτων, με αποτέλεσμα έντονα αξονικά και κυρίως πρανικά φαινόμενα, ιδιαίτερα στις στενώσεις και στα καμπύλα τμήματα του χειμάρρου (Σχ. 1, 3, Εικ. 1, 2). Το γεωυπόθεμα έδρασης της λεκάνης του χειμάρρου

Φούρκας δομείται κατά βάση από λίαν ευπαθή σε διαβρώσεις νεογενή και προσχωσιγενή πετρώματα (μάργες, κροκαλοπαγή, λατυποπαγή λεπτών διαστάσεων), ιδιαίτερα ψαθυρά και εύθρυπτα που παράγουν κατά κύριο λόγο λεπτόκοκκα αποσαθρώματα αμμώδους διαβάθμισης. Το υλικό αυτό διακινείται πολύ εύκολα, από τα χειμαρρικά νερά και φθάνει και αποτίθεται σε διευρυμένους χώρους της κεντρικής κοίτης, καθώς και στην πεδινή ζώνη μέχρι και τη θάλασσα. Οι αποθέσεις αυτές αποτελούν εύκολη βορά ακόμη και μικρού βάθους παροχών με αποτέλεσμα την έντονη αποσταθεροποίηση των κοιτών. Χαρακτηριστικά αναφέρουμε την τεράστια διακινηθείσα ποσότητα φερτών υλών, κατά την πλημμύρα στις 2, 3, 4 Δεκεμβρίου 1990, η οποία πέραν των εκτεταμένων πρηνικών διαβρώσεων, δημιούργησαν έναν τεράστιο προσχωτικό χώρο που οδήγησε στην επέκταση του δέλτα του χειμάρρου σε βάθος 170 m μέσα στην θάλασσα (Παυλίδης 1991).

Αντίθετα η πολύ καλής δομής και πυκνότητας δασική βλάστηση χαλεπίου πεύκης, που καλύπτει το μεγαλύτερο τμήμα της λεκάνης (Σχ. 5), παρέχει εξαιρετική αντιδιαβρωτική - αντιπλημμυρική προστασία, προστατεύοντας τα ορεινά εδάφη και αποτρέποντας τη διάβρωση των ευάλωτων νεογενούς σύστασης εδαφών. Για το λόγο αυτό επιβάλλεται η δασική βλάστηση τη περιοχής να διαφυλαχθεί ως κόρη οφθαλμού, προστατευόμενη από πυρκαγιές που αποτελούν τη μεγαλύτερη απειλή της περιοχής.

Εξαιρετικό ενδιαφέρον παρουσιάζει η έντονη διηθητική λειτουργία των λεκανών και των κοιτών του χειμάρρου λόγω της ισχυρής διηθητικής ικανότητας των χαλαρών και έντονα διηθητών αμμωδών εδαφών του προσχωσιγενούς και νεογενούς σχηματισμού. Ιδιαίτερα ισχυρή είναι η διηθητικότητα των κεντρικών κοιτών του χειμάρρου Φούρκας, η οποία υπολογίστηκε σε  $k = 2,8 \cdot 10^{-2} \div 7,9 \cdot 10^{-3}$  m/h. (Παυλίδης 2010).

Σχετικά με την κατά μήκος των κεντρικών κοιτών εξέλιξη των χειμαρρικών φαινομένων, κατά τη διάρκεια πλημμυρικών συμβάντων, καταγράφονται τα εξής:

- Στην κεντρική κοίτη του κλάδου Κασσανδρηνού, λόγω της υφιστάμενης στένωσης καταγράφονται έντονες αξονικές και πρηνικές διαβρώσεις και πρηνικές ολισθήσεις (Σχ. 1, 4, 5, Εικ. 5, 6, 7, 9).
- Στην κεντρική κοίτη του κλάδου Ζωγραφίτικο Ρ. το σημαντικό εύρος της κοίτης του, λειτουργεί ως χώρος απόθεσης, με αποτέλεσμα την απουσία αξονικών και την παρουσία περιορισμένων πρηνικών διαβρώσεων.
- Κατάντη της συμβολής των κλάδων Κασσανδρηνού και Ζωγραφίτικο Ρ (αρχή κεντρικής κοίτης χειμάρρου Φούρκας), η μείωση των πυθμενικών κλίσεων οδήγησε και οδηγεί σε έντονη προσχωτική διεργασία. Δευτερογενώς στο τμήμα αυτό λόγω αδυναμίας αξονικών διαβρώσεων, αναπτύσσονται μαιανδρικές τάσεις με μικρές έκτασης πρηνικές υποσκαφές. Στην περιοχή αυτή, που λόγω του αναγλύφου της περιμετρικής περιοχής δεν καταγράφεται έντονος πλημμυρισμός της παρόχθιας ζώνης, καταγράφεται η εντονότερη εμπλουτιστική δραστηριότητα του υδροφορέα **Φούρκας – Κασσανδρηνού, που είναι ο μεγαλύτερος και πολυτιμότερος της Κασσάνδρας.**
- Στη συνέχεια, ο χειμάρρος πριν την είσοδο του στον οικισμό Φούρκας και μέχρι το ύψος του Νεκροταφείου της Φούρκας (Σχ. 1), εισέρχεται στον οικισμό μέσω μιας φυσικής στένωσης. Ακολούθως από το ύψος του οικισμού της Φούρκας, μέχρι την έξοδο του χειμάρρου στη θάλασσα, ενώ έχει επιτευχθεί η κλίση αντιστάθμισης και η κοίτη του χειμάρρου έπρεπε να βρίσκεται σε ευσταθή ισορροπία, εντούτοις λόγω του λίαν ευδιάβρωτου της λεπτής άμμου των διαχρονικών αποθέσεων του, είναι εξαιρετικά ευάλωτη σε πρηνικές υποσκαφές (Εικ. 1, 2). Αυτό οδηγεί σε συχνή κατάρρευση των εξαιρετικά ευδιάβρωτων λεπτόκοκκων αμμωδών πρηνών, του τμήματος αυτού (Εικ. 1). Η παραπάνω λειτουργία αποτελεί το καθοριστικό πλημμυρικό αίτιο του χειμάρρου

Φούρκας, με αποτέλεσμα ο χειμάρρος αυτός να αποτελεί μια ιδιαίζουσα περίπτωση χειμάρρου των λοφωδών περιοχών με έντονη χειμαρρικότητα.

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι η αντιμετώπιση του πλημμυρικού προβλήματος του χειμάρρου Φούρκας επικεντρώνεται στην κεντρική κοίτη του κλάδου Κασσανδρηνού, και την κεντρική κοίτη του χειμάρρου Φούρκας από το ύψος του οικισμού μέχρι και την παραλία Φούρκας μέχρι και τη θάλασσα. Επισημαίνουμε ότι η παρούσα εργασία αναφέρεται στα χειμαρρικά - πλημμυρικά (αξονικές και κυρίως πραινικές διαβρώσεις και ολισθήσεις) φαινόμενα του κλάδου Κασσανδρηνού (Εικ. 4, 5, 7, 9). Η αντιμετώπιση των χειμαρρικών φαινομένων του χειμάρρου Φούρκας σχετίζεται με έργα και επεμβάσεις που στοχεύουν:

- **στην ανάσχεση των ζημιογόνων πλημμυρικών υδάτων**, που αδυνατούν να παροχετευθούν με ασφάλεια από την πεδινή κοίτη του χειμάρρου, από το ύψος του Κασσανδρηνού μέχρι την εκβολή του στο Θερμαϊκό κόλπο.

- **στη συγκράτηση ή τον έλεγχο διακινούμενων φερτών υλών του χειμάρρου Φούρκας**, επειδή τα παραγόμενα και κινούμενα σε μεγάλες ποσότητες εντός της κεντρικής κοίτης, φερτά υλικά προκαλούν κατά τη φάση των πλημμυρικών αιχμών και της υδραυλικοστατικής αδυναμίας των κοιτών δραματική μείωση της παροχετευτικότητάς της και οδηγούν στην εκδήλωση της μέγιστης έντασης των πλημμυρικών φαινομένων.

- **στην αντιδιαβρωτική προστασία των πρानών από την υποσκαπτική δράση των πλημμυρικών υδάτων:** Κατά τη διάρκεια πλημμυρικών αιχμών, η συνεχής κατάρρευση των πρानών, συνοδεύεται από εισαγωγή μεγάλων ποσοτήτων φερτών υλών και αλλοίωση της πορείας του νερού με αποτέλεσμα να αποτελεί εξαιρετική απειλή, για τις περιμετρικές κατοικημένες και όχι μόνο περιοχές.

- **στη σταδιακή ενίσχυση των υπογείων υδροφορέων της ευρύτερης περιοχής:** Επισημαίνεται ότι μετά την αστικοποίηση – τουριστικοποίηση της Παραλίας Φούρκας αλλά και μεγάλου τμήματος της πεδινής παρόχθιας ζώνης του χειμάρρου, τα πλημμυρικά φαινόμενα του χειμάρρου, χωρίς την ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου σχεδίου διευθέτησης, αναμένεται να είναι περισσότερο καταστροφικά. Για το λόγο αυτό επιβάλλεται η ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου συστήματος διευθέτησης, το οποίο οφείλει να κινείται στη μεν λεκάνη απορροής στα πλαίσια της προστατευτικής αρχής, στις δε κοίτες ταυτόχρονα στα πλαίσια της προστατευτικής, της υδρολογικής και της αρχής της αξιοποίησης (Παυλίδης 2006). Αυτό επειδή η εφαρμογή στις πεδινές ευάλωτες κοίτες έργων αμιγώς της προστατευτικής διευθέτησης, αν δεν συνδυασθεί ταυτόχρονα και παράλληλα με έργα απομείωσης – ελέγχου της πλημμυρικής παροχής και βελτίωσης του εμπλουτισμού, δεν θωρακίζει απόλυτα τις πεδινές κοίτες. Επισημαίνεται ότι οι οικισμοί Κασσανδρηνού, Φούρκας και Παραλίας Φούρκας, έχουν επανειλημμένα υποστεί έντονες πλημμυρικές καταστροφές, από τη δράση του χειμάρρου Φούρκας. Για τους λόγους αυτούς επενέβησαν στο παρελθόν η Δασική Υπηρεσία και πρόσφατα η Δ/ση Τεχνικών Υπηρεσιών της Ν.Α Χαλκιδικής, με σειρά έργων όπως χαμηλά φράγματα, πρόβολοι, ουδοί και κυρίως με έργα εγκοίτωσης της κοίτης και των πρानών με συρματόπλεκτες κατασκευές (Εικ. 4). Τονίζεται ότι στη χαμηλή οικιστική ζώνη του οικισμού της Παραλίας Φούρκας καταγράφονται έντονα προβλήματα στράγγισης των εδαφών, οφειλόμενα τόσο στην καταπάτηση των κοιτών των φυσικών ρεμάτων, όσο και στο τοπογραφικό ανάγλυφο του χώρου, γεγονός που έχει επιπτώσεις στην ζωή των κατοίκων και την ανάπτυξη της περιοχής. Τα προβλήματα αυτά μπορούν να αντιμετωπιστούν στο βαθμό, που αυτό είναι σήμερα

εφικτό, με τη διάνοιξη διόδων διαφυγής του νερού προς τη θάλασσα, καθώς και με την κατασκευή μικρών ή μεγαλύτερων στραγγιστηρίων τάφρων και διωρύγων.

Επισημαίνεται ότι η αρχικά πλούσια υδροφορία της περιοχής Φούρκας – Κασσανδρηνού, έχει υποστεί τα τελευταία χρόνια έντονη υποβάθμιση ποσοτική (πτώση της στάθμης) και ποιοτική (υφαλμύρυνση), λόγω της υπεράντλησης του υπόγειου υδροφορέα της περιοχής, για την κάλυψη των υδατικών αναγκών και άλλων περιοχών (Πολύχρονο, Χανιώτη, Πευκοχώρι).

Τα παραπάνω, σε συνδυασμό με την κλιματική αλλαγή, οδηγούν αναπόφευκτα στην ανάγκη αναζήτησης περισσότερου νερού με κίνδυνο πλήρους αχρήστευσης του υδροφορέα της περιοχής. **Επομένως το όποιο επιλεγεί σχέδιο (σύστημα) διευθέτησης πρέπει να συνδυάζει την επίλυση του χειμαρρικού - πλημμυρικού προβλήματος με την αύξηση της εμπλουτιστικής διαδικασίας επωφελεία της υπόγειας υδροφορίας.** Για το λόγο αυτό η μέχρι σήμερα εκτελούμενη προστατευτική διευθέτηση με πλήρη επένδυση της πεδινής κοίτης με συρματοπλεκτες κατασκευές (λιθοστρωμένες, λιθοκιβώτια, λιθοκύλινδροι) δεν αρκεί, ενώ σε μερικά σημεία η οριακή ανεπάρκεια της κοίτης θα επιδεινωθεί. Αυτό θα συμβεί σε ύστερο χρόνο, όταν επέλθει η πρόσχωση των διάκενων των λιθοστρωμένων της κοίτης και η προσχωτική υπερύψωση του πυθμένα, από την έντονη στερεομεταφορά του χειμάρρου. Η κατάσταση αυτή δεν αφορά το σύνολο, αλλά τμήματα της κεντρικής κοίτης του με μικρή παροχετευτική ικανότητα. Ήδη η προσχωτική πλήρωση των διακένων των σερασανέτ της κοίτης του χειμάρρου έχει αρχίσει κατόντη της συμβολής των κλάδων Ζωγραφίτικο Ρ. και Κασσανδρηνό Ρ.

## Βιβλιογραφία

- American Society of Civil Engineers. Task Committee on Hydrology. Handbook H. Cadenas, Lopez. (1993). Torrent control and streambed stabilization. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Italy.
- Chow, V.T. (ed.). (1964). Handbook of Hydrology. New York.
- Horton, R.E. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins: Hydrological Approach to quantitative morphology. Bull of the Geol. Soc. Am. 56.
- Garg, S.K. (1987). Hydrology and Water Resources Engineering. New Delhi.
- Kirkby, M.J. and Morgan, R.P.C. (1980). Soil erosion (ed.). John Willey and Sons.
- Gregory, K.J. and Walling, O. (1983). Drainage Basin. Form and Process. A. Geomorphological Approach. Fletcher and Son L TD, Norwich. U.K.
- Κωτούλας, Δ. (1969). Οι χείμαρροι της Β. Ελλάδος. Επιστημονική Επετηρίδα Γ.Δ. Σχολής (Παράρτημα).
- Κωτούλας, Δ. (1979). Συμβολή στη μελέτη του γενικού μηχανισμού δράσεως ενός χειμαρρικού δυναμικού. Επετ. Για τα 50 χρόνια της Δασολογίας. Α.Π.Θ. Θεσσαλονίκη.
- Κωτούλας, Δ. (2001)α: Ορεινή Υδρονομική, Τόμος Πα: Τα ρέοντα ύδατα. Θεσσαλονίκη.
- Κωτούλας, Δ. (2001)β. Ορεινή Υδρονομική, Τόμος Πβ: Υδρονομικά Έργα. Θεσσαλονίκη.
- Linsley, R., Kohler, M. and Paulhus, J. (1982). Hydrology for Engineers. 3<sup>rd</sup> ed. McGraw Hill.
- Μαργαρόπουλος, Π. (1963). Η υδατική διάβρωση και το χειμαρρικό φαινόμενο. Αθήνα.
- Μουλόπουλος, Χ. (1968). Ορεινή Υδρονομική. Θεσσαλονίκη.



- Margaropoulos, P. (1964). Rapport sur la classification des bassins torrentiels. FAO/EFC/TORR/64/2.
- Murphy, J., Wallace, O. and Lane, L. (1977). Geomorphic Parameters: Predict Hydrographic Characteristics in the Southwest. Water Res. BuI. Am. Water. Res. Ass. vol. 13(1), pp. 25-38.
- Παυλίδης, Θ. (1991). Ανάλυση του μηχανισμού πλημμυρικής δράσης του χειμάρρου Φούρκας και του συστήματος διευθέτησής του, υπό το πρίσμα της πρόσφατης πλημμύρας του Δεκεμβρίου του 1990. Επιστημονική Επετηρίδα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος, Τόμ. ΛΛ/1, Αρ. 24, σελ. 664-720.
- Παυλίδης, Θ. (1998). Έρευνα αντιμετώπισης και αξιοποίησης των υδατικών προβλημάτων του ορεινού όγκου του Χορτιάτη. Ερευνητικό Έργο 7025, Επιτροπή Ερευνών Α.Π.Θ.
- Παυλίδης, Θ., Καραχάλιος, Π., Μαρίνος, Δ., Παπαθανασίου, Β., Σούτσας, Κ. και Τσεμπερίδης, Κ. (2000). Το χειμαρρικό περιβάλλον των χειμάρρων του Αγίου Όρους. Επιστημονική Επετηρίδα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος, Θεσ/νίκη, τόμος ΜΓ, σελ 201- 222.
- Shaw, E. (1983). Hydrology in Practice (ed.). Van Norstrand Reihold, υ.κ , Co. Ltd.
- Στεφανίδης, Π. (1990). Μορφομετρική και υδρογραφική συγκρότηση των χειμαρρικών τύπων στο χώρο της Β. Ελλάδας. Διδακτορική Διατριβή. Θεσσαλονίκη.
- Subramanya, K. (2008). Engineering Hydrology. Mc Graw Hill. New Delhi.
- Tricart, J. (1965). Principles et methodes de la geomorphologie. Paris.
- Τσακίρης, Γ. (1995). Υδατικοί Πόροι, Τεχνική Υδρολογία. Αθήνα.
- Young, A. (1972). Slopes Geomorphology texts. London. New York.



## ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΝΑΚΑΜΨΗΣ ΤΟΥ ΥΠΟΒΑΘΜΙΣΜΕΝΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΤΥΜΠΙΑΚΙΟΥ ΜΕ ΦΡΑΓΜΑΤΑ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΥ ΣΤΟ ΧΕΙΜΑΡΡΟ ΜΑΓΕΙΡΟ

### **Θεοφάνης Παυλίδης**

Επίκουρος Καθηγητής, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης  
Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος  
Εργαστήριο Διευθέτησης Ορεινών Υδάτων  
e-mail: [pavlth@for.auth.gr](mailto:pavlth@for.auth.gr)

### **Χαρίσιος Γκανάτσιος**

Δρ. Δασολόγος – Υδρολόγος Ι.Δ.Α.Χ, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης  
Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος  
Εργαστήριο Διευθέτησης Ορεινών Υδάτων  
e-mail: [cganats@for.auth.gr](mailto:cganats@for.auth.gr)

### **Αικατερίνη Κάλφα**

Msc Δασολόγος – Περιβαλλοντολόγος, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης  
Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος  
Εργαστήριο Διευθέτησης Ορεινών Υδάτων  
e-mail: [katekalfa@for.auth.gr](mailto:katekalfa@for.auth.gr)

### **Βασίλειος Παπαθανασίου**

Msc Δασολόγος – Χειμαρρολόγος, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης  
Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος  
Εργαστήριο Διευθέτησης Ορεινών Υδάτων  
e-mail: [bparatha@yahoo.gr](mailto:bparatha@yahoo.gr)

## **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Το πρόβλημα της λειψυδρίας είναι από τα μεγαλύτερα και συνεχώς επιδεινούμενα προβλήματα του πλανήτη μας. Η έλλειψη επαρκούς και κατάλληλου ποιοτικά νερού (υδρευτικού, αρδευτικού, βιομηχανικού, οικολογικού, κ.λ.π.) αποτελεί για πολλές χώρες και εκατομμύρια κατοίκους αγαθό εν ανεπαρκεία. Δυστυχώς η αντιμετώπιση του παραπάνω ζωτικής σημασίας προβλήματος σε πολλές χώρες και ιδιαίτερα στη χώρα μας αντιμετωπίστηκε με άναρχη ανεξέλεγκτη και χωρίς μέτρο ανόρρυξη γεωτρήσεων. Η ανόρρυξη γεωτρήσεων, μετά από μια αρχική επίλυση των υδατικών προβλημάτων μιας περιοχής, στη συνέχεια τα επέτεινε με συνέπεια τη συνεχή πτώση, υποβάθμιση (ποιοτική – ποσοτική) μέχρι οριστικής εξάντλησης των υπόγειων υδροφορέων. Η παραπάνω κατάσταση, που κατά την άποψή μας αποτελεί το μείζον περιβαλλοντικό ελλαδικό πρόβλημα, οφείλεται στην κρατούσα άποψη της αναζήτησης-ανεύρεσης-εξάντλησης ενός υδροφορέα, αναζήτησης-ανεύρεσης- εξάντλησης νέου, κ.ο.κ. Η

αδιέξοδη αυτή κατάσταση πέραν των άλλων είναι και αντιοικονομική, καθώς μειώνει ποσοτικά και ποιοτικά τα υδατικά διαθέσιμα και αυξάνει το κόστος άντλησης. **Η μόνη αποδεκτή ορθολογική αειφορικά και περιβαλλοντικά λύση είναι η αναζήτηση και ο σχεδιασμός τρόπων μεθόδων, έργων και χειρισμών αύξησης των υδατοπροσαγωγών προς τους υπόγειους χρησιμοποιούμενους υδροφορείς σε επίπεδο μεγαλύτερο ή τουλάχιστον ίσο με τις απολήψεις.**

Στα παραπάνω πλαίσια η παρούσα εργασία περιγράφει και αναλύει τρία φράγματα εμπλουτισμού, με παράλληλη ισχυρή αντιπλημμυρική δράση, στην κοίτη εκκένωσης του χειμάρρου Μάγειρου. Τα προτεινόμενα φράγματα αφορούν τον εμπλουτισμό του υδροφορέα Τυμπακίου Μεσσαράς Κρήτης, ενός υδροφορέα με μία από τις μεγαλύτερες υποβαθμίσεις του ελλαδικού χώρου. Επισημαίνουμε ότι τα προτεινόμενα αντιπλημμυρικά-εμπλουτιστικά φράγματα του Μάγειρου κινούνται στα πλαίσια της σύγχρονης ορεινής υδρονομικής με κύριο άξονα τη μετατροπή της πλημμυρικής κατάρας σε ευλογημένη ταμίευση, ιδιαίτερα με υπεδάφεια ενίσχυση εξαντλημένων υδροφορέων.

**Λέξεις κλειδιά:** *Υδροφορέας Τυμπακίου, Φράγματα εμπλουτισμού Μάγειρου.*

## **Εισαγωγή και θέση του προβλήματος**

Τα προβλήματα του νερού (λειψυδρία - πλημμύρες), που αποτελούν από τα μεγαλύτερα προβλήματα της χώρας μας, τα τελευταία χρόνια επιδεινώθηκαν από αλόγιστες ανθρώπινες επεμβάσεις (κακοποίηση υδατορευμάτων, ανεξέλεγκτες γεωτρήσεις, καταλήστευση των υδατικών αποθεμάτων, κ.λ.π.). Η πεδινή θερμοκηπιακή περιοχή του Τυμπακίου βιώνει τα προβλήματα αυτά, ιδιαίτερα το πρόβλημα της λειψυδρίας εξαιρετικά έντονα. Δυστυχώς για την κάλυψη των συνεχώς αυξανόμενων ποσοτήτων νερού ακολουθήθηκε η λύση των γεωτρήσεων. Η πτώση και κυρίως η ρύπανση και η υφαλμύρυνση του υδροφορέα της περιοχής λόγω της έκτασης και η έντασης των γεωτρήσεων έφθασε σε επίπεδο που ο υδροφορέας αυτός αναφέρεται ως κακό προηγούμενο, και ως παράδειγμα προς αποφυγή. Επισημαίνεται ότι λόγω της επικέντρωσης των βροχοπτώσεων της περιοχής σε μικρό χρονικό διάστημα οι χειμάρροι της περιοχής και ιδιαίτερα ο χειμάρρος Μάγειρος, προκαλούν συχνά μικρότερα ή μεγαλύτερα πλημμυρικά φαινόμενα. Για το λόγο αυτό και στα πλαίσια αντιστροφής της πτωτικής πορείας του υδροφορέα Τυμπακίου, ο εμπλουτισμός του από τα νερά των χειμάρρων που τον τροφοδοτούν και ιδιαίτερα από τον χειμάρρο Μάγειρο αποτελεί μονόδρομο. Το όλο σύστημα εντάσσεται στα πλαίσια της σύγχρονης υδρονομικής αντίληψης της αξιοποίησης των χειμαρρικών νερών με μετατροπή της πλημμυρικής κατάρας σε ευλογημένη ταμίευση και με μεγιστοποίηση του διηθούμενου νερού σε έντονα διηθητά τμήματα κοιτών που τροφοδοτούν-εμπλουτίζουν υποβαθμισμένους υδροφορείς.

## **Περιοχή έρευνας**

Η περιοχή ανάπτυξης των έργων εμπλουτισμού του υδροφορέα Τυμπακίου, είναι η κοίτης εκκένωσης του χειμάρρου Μάγειρου. Στο Σχήμα 1α,β δίνεται η λεκάνη του χειμάρρου Μάγειρου, που αποτελεί την τροφοδοτίδα λεκάνη του υδροφορέα Τυμπακίου.



**Σχήμα 1α,β.** α) Η θέση της λεκάνης του χειμάρρου Μάγειρου τροφοδότη του υδροφορέα Τυμπακίου β) η θέση της περιοχής ανάπτυξης των έργων εμπλουτισμού (κώνος εκκένωσης του Μάγειρου), με την περιοχή του υδροφορέα Τυμπακίου.

### Μέθοδος έρευνας

Η ακολουθούμενη μέθοδος έρευνας έχει ως εξής:

- Ερευνήθηκαν οι συνθήκες του χειμαρρικού περιβάλλοντος (ανάγλυφο, γεωϋπόθεμα κλίμα, βλάστηση) του χειμάρρου Μάγειρου (Μουλόπουλος 1968, Κωτούλας 1979, 2001β, Παπαμιχαήλ και Παυλίδης 1998α, 2006). Τα περισσότερα εκ των στοιχείων αυτών προέρχονται από Ερευνητικό Έργο 80115 της Επιτροπής Ερευνών του Α.Π.Θ. (Παυλίδης 2008).
- Αναζητήθηκε κατάλληλη περιοχή ανάπτυξης των έργων εμπλουτισμού, που ταυτόχρονα να παρείχαν επαρκή αντιπλημμυρική προστασία. Η περιοχή αυτή βρέθηκε στον κώνο πρόσχωσης του χειμάρρου Μάγειρου, ο οποίος χρησιμοποιήθηκε στο παρελθόν ως δανειοθάλαμος λήψης των χαλικοαμμωδών υλικών του φράγματος Φανερωμένης (Εικ.1β). Στην περιοχή ανορθώθηκαν 4 ερευνητικές γεωτρήσεις ( $\Gamma_1, \Gamma_2, \Gamma_3, \Gamma_4$ ) σε βάθη 11,50, 14,00, 17,50 και 13,50 m για έλεγχο της περατότητας με δοκιμές εισπίεσης τύπου Maag (Σχ. 2α).
- Υπολογίστηκε ο χρόνος συγκέντρωσης  $T_c$ , με την εξίσωση του Giandotti, η μέγιστη υδατοπαροχή  $\max Q_{100}$ , με τους τύπους των Henry Boot ( $\max Q_{100} = a \cdot F^{0,75}$ ) και της Ορθολογικής μεθόδου ( $\max Q_{100} = 0,278 \cdot c \cdot i \cdot F$ ), και της μέγιστης στερεοπαροχής  $\max G_{100}$ , με τον τύπο των Stiny – Hercheulidze ( $\max G_{100} = [(P_n + m) / (Y_n - (100 - P_n))] \times \max Q_{100}$ ) και η μέγιστη υδατοστερεοπαροχή (Τσακίρης 1995, Κωτούλας 2001α,β, Srebrenovic 1986).

Ένθα:

$\max Q_{100}$  = η μέγιστη υδατοπαροχή ( $m^3/s$ )

$\max G_{100}$  = η μέγιστη στερεοπαροχή ( $m^3/s$ )

$P_n$  = Συντελεστής επικλινότητας της λεκάνης (δίνεται σε πίνακες)

$m$  = Συντελεστής χειμαρρικότητας (δίνεται σε πίνακες)

$Y_n$  = Ειδικό βάρος των διακινούμενων φερτών υλών ( $t/m^3$ )

- Ερευνήθηκε η πορεία των κλάδων ανόδου και καθόδου με τη μέθοδο των Reitz – Krepes, σχηματίστηκε το πλημμυρογράφημα της πλημμύρας και υπολογίστηκε ο πλημμυρικός όγκος (σχέσεις. 3.1, 3.2, 3.3, Κωτούλας 2001α, Srebrenovic 1986).

$T_c < T_r$

$Q_{a,t} = Q_{\max} \sin^2$  τιμή  $1/tr$  ( $\pi Ta/2tc$ )

$Q_{k,t} = Q_{\max} e^{-at}$

$T_c > T_r$

$Q_{a,t} = Q_{\max} \sin^2$  ( $\pi Ta/2tc$ )

$Q_{k,t} = Q_{\max} e^{-rt}$

πλημμυρικός όγκος:  $V_{\max} Q_{100} = 1,5 \cdot \max Q_{100} \cdot T_b$

όπου:

$T_a$  = ο χρόνος ανόδου, (ταυτίζεται με τον χρόνο συγκέντρωσης  $t_c$ )

$T_b$  = ο χρόνος καθόδου

$Q_a, Q_b$  = η παροχή στους κλάδους ανόδου ( $Q_a$ ) και καθόδου ( $Q_b$ )

$\max Q_{100}$  = η μέγιστη υπολογισθείσα υδατοπαροχή

$V_{\max Q_{100}}$  = ο απορροϊκός όγκος του πλημμυρογραφήματος.

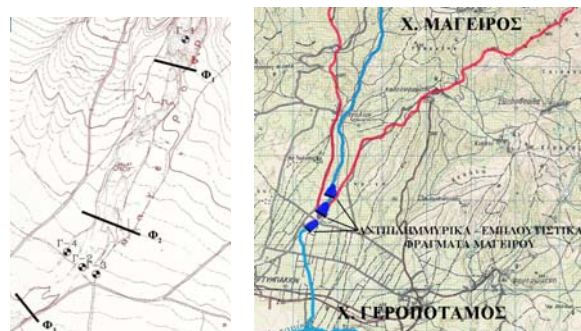
$t_r$  = διάρκεια της βροχής (ώρες)

$r = 2/t_r + t_c$ ,  $\pi = 180$ ,  $e = 2,71828$

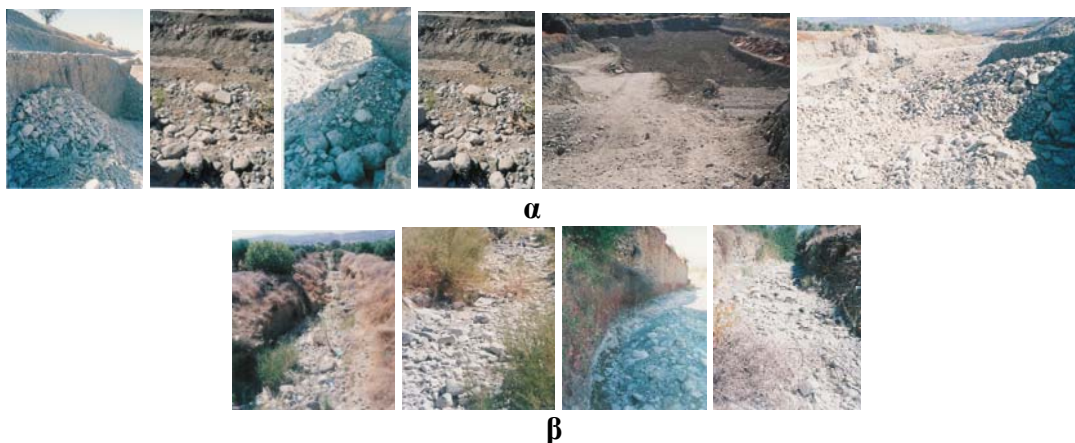
$t_c$  = ο χρόνος συρροής ή συγκέντρωσης της λεκάνης, ο οποίος στην προκειμένη περίπτωση ισούται με τη διάρκεια της βροχής  $t_r$ ,

$a$  = εκθετικός συντελεστής με τιμή  $1/t_r$

- Στη συνέχεια υπολογίστηκε το δυναμικό  $V_p$  των βροχοπτώσεων της περιόδου 1951-1994 (44 έτη) και τα μεγέθη του υδατικού ισοζυγίου, με την εισαγωγή στο μοντέλο του υδατικού ισοζυγίου (Soil Conservation Service (CSC), 1972, Baumgartner and Reiche 1975) της υδατοσυγκράτησης της βλάστησης  $L_p$  (Παυλίδης 1997, 1998a.). Επισημαίνουμε ότι το μοντέλο του υδατικού ισοζυγίου, που συνήθως εφαρμόζεται σε μηνιαία βάση, **αγνοεί το μέγεθος και την πορεία του φαινομένου της υδατοσυγκράτησης  $L_p$** . Ο Παυλίδης (1997), παρέχει σχέσεις υπολογισμού της υδατοσυγκράτησης  $L_p$  συναρτήσει της μορφής της βλάστησης και του ύψους της βροχής, ενταγμένου σε βαθμίδες βροχής. Η δυναμική εξατμισοδιαπονή  $ET_p$  υπολογίστηκε με τη μέθοδο των Thornthwaite – Mather (Thornthwaite and Mather 1955, Thornthwaite and Hare 1965).
- Ακολούθησε ο καθορισμός, η κατά χώρο διάταξη και η διαστασιολόγηση των φραγμάτων εμπλουτισμού (Σχ. 2β). Τα προτεινόμενα φράγματα όφειλαν εκτός του εμπλουτισμού, να έχουν ισχυρό αντιπλημμυρικό χαρακτήρα. Ο σχεδιασμός στόχευε στη μεγιστοποίηση της διήθησης στο χώρο των ταμιευτήρων των εμπλουτιστικών φραγμάτων με παρακράτηση του συνόλου των συνήθων υδαταπορροών και μεγάλου μέρους των πλημμυροφορτίων των πλημμυρών του Μάγειρου. Παράλληλα η αντιπλημμυρική λειτουργία των φραγμάτων σχεδιάστηκε με τρόπο ώστε το προς τα κατάντη αφιέμενο τμήμα των πλημμυροφορτίων να είναι πλημμυρικά ακίνδυνο και να μεγιστοποιεί την ισχυρή διηθητική ικανότητα των κατάντη κοιτών (Εικ. 1β).
- Τέλος παρατίθενται τα κατασκευαστικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά των προτεινόμενων φραγμάτων εμπλουτισμού με την επισήμανση ότι το 3<sup>ο</sup> (τελευταίο προς τα κατάντη) αντιπλημμυρικό-εμπλουτιστικό φράγμα, σχεδιάστηκε με τρόπο που το κεντρικό τμήμα του να λειτουργεί ως μόνιμος υγρότοπος.



**Σχήμα 2.** Οι θέσεις των 4 ερευνητικών γεωτρήσεων και οι άξονες των τριών εμπλουτιστικών – αντιπλημμυρικών φραγμάτων του Μάγειρου.



**Εικόνα 1α,β.** α) Απόψεις της χαλικοαμμώδους διηθητής σύστασης του κώνου πρόσχωσης του Μάγειρου όπου τοποθετούνται τα εμπλουτιστικά φράγματα και β) της κατάντη ισχυρά διηθητής κοίτης.

### Αποτελέσματα έρευνας

#### Αποτελέσματα χειμαρρικού περιβάλλοντος Μορφομετρικά, Υδρογραφικά χαρακτηριστικά

Τα μορφομετρικά, υψομετρικά, υδρογραφικά και αναγλύφου στοιχεία της λεκάνης του Μάγειρου (Σχ. 1α), παρέχονται στον Πίνακα 1.

**Πίνακας 1.** Μορφομετρικά και υδρογραφικά στοιχεία της τροφοδότιδας λεκάνης των αντιπλημμυρικών – εμπλουτιστικών φραγμάτων του χειμάρρου Μάγειρου.

Μορφομετρικά - υδρογραφικά στοιχεία	Μέγεθος
1. Επιφάνεια λεκάνης	$F = 40,89\text{Km}^2$
2. Περίμετρος υδροκρίτη	$\Pi = 43,92\text{Km}$
3. Μέγιστο υψόμετρο	$H_{\max}=2350\text{m}$
4. Ελάχιστο υψόμετρο	$H_{\min} = 65\text{m}$
5. Μέσο υψόμετρο	$H_m = 876\text{m}$
6. Μήκος κεντρικής κοίτης	$L_K = 17,38\text{Km}$
7. Μέση κλίση κεντρικής κοίτης	$J_{LK} = 12,37\%$
8. Πυκνότητα υδρογραφικού δικτύου ( $D=SL/F$ )	$D = 3,49(\text{Km}/\text{Km}^2)$
9. Μέση κλίση λεκάνης, $J_F=(H_d*\Sigma S*100)/F$	$J_F = 42,77\%$
10. Μέγιστη υψομετρική διαφορά ( $\Delta H_{\max}=H_{\max}-H_{\min}$ )	$\Delta H_{\max} = 2290,0\text{m}$
11. Μέση υψομετρική διαφορά ( $\Delta H_m=H_m-H_{\min}$ )	$\Delta H_m = 816,0\text{m}$
12. Δείκτης στρογγυλομορφίας Gravelius	$K_F = 1,94$
13. Δείκτης επιμήκυνσης λεκάνης ( $R_L=(2(F/\Pi)^{1/2})/SL_K$ )	$R_L = 0,270$
14. Δείκτης κυκλικότητας ( $R_F=4\pi F/\Pi^2$ )	$R_F = 0,560$
15. Μέγιστος ορογραφικός συντελεστής	$C_{F\max} = 237.895$

### Κλιματικά στοιχεία

Τα ανηγμένα στο μέσο υψόμετρο της λεκάνης του Μάγειρου ( $H_m = 876\text{m}$ ) κλιματικά στοιχεία (κατακρημνίσματα και θερμοκρασία αέρα) δίνονται στον Πίνακα 2.

**Πίνακας 2.** Κλιματικές συνθήκες ανηγμένες στο μέσο υψόμετρο ( $H_m=876m$ ) του Μάγειρου.

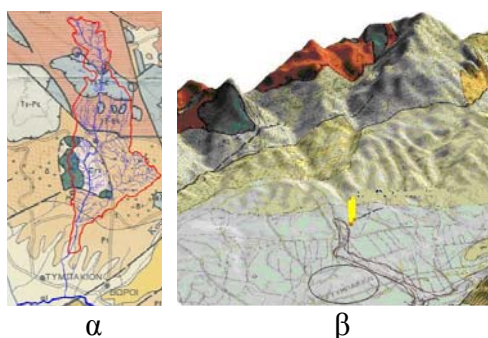
I: Κατακρημνίσματα P (mm)												
I	Φ	M	A	M	Ι	Ι	A	Σ	O	N	Δ	ΕΤΟΣ
256.0	182.6	125.5	51.4	24.4	3.6	0.2	1.8	30.6	123.5	184.3	272.0	1255.9
II: Θερμοκρασία αέρα T (°C)												
8.4	8.4	10.1	13.1	17.3	21.5	24.3	24.1	21.0	16.9	13.0	9.9	15.7

### Γεωλογικές γεωτεχνικές, υδρογεωλογικές συνθήκες

Στην περιοχή έρευνας, σύμφωνα με το Γεωλογικό χάρτη του ΙΓΜΕ, (Σχ. 3, Φύλλο Τυμπακί, κλίμακας 1:50.000), συναντώνται τεταρτογενείς αλλουβιακές αποθέσεις, από χαλαρά αργίλοαμμώδη υλικά και κροκαλολατύπες. Το υπόβαθρο της συνίσταται από κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους και κατά θέσεις από μάρμαρα, μεσοκρυσταλλικά, τεφρού έως τεφρόμαυρου χρώματος. Η περιοχή τοποθέτησης των φραγμάτων εμπλουτισμού (κόνος πρόσχωσης) του χειμάρρου Μάγειρου, δομείται από αμμοχαλικώδεις προσχώσεις με παρεμβολές άμμων και αργίλων (Εικ. 1), με γεωλογικό υπόβαθρο πετρώματα του νεογενούς σχηματισμού (Σχ. 3α,β). Οι εργαστηριακές δοκιμές των αποθέσεων του χειμάρρου έδωσαν κοκκομετρική διαβάθμιση από ιλύδεις - ιλυοαργιλώδεις χάλικες με άμμο (GM) (GC-GM) και τοπικά από ιλυοαργιλώδη άμμο με χάλικα (SC-SM). Η μέση περιεκτικότητα σε χάλικες ανέρχεται σε 45,6%, σε άμμο 38,1% και σε ιλύ και άργιλο σε 16,3%. Ο Πίνακας 3 παρέχει τις τιμές περατότητας των 4 ερευνητικών γεωτρήσεων της ζώνης έδρασης και κατάκλισης των ταμιευτήρων των εμπλουτιστικών φραγμάτων με δοκιμές εισπίεσης τύπου Maag.

**Πίνακας 3.** Αποτελέσματα περατότητας των 4 ερευνητικών γεωτρήσεων.

Γεώτρηση	Μέσος συντελεστής περατότητας k (m/sec)	Γεώτρηση	Μέσος συντελεστής περατότητας k (m/sec)
Γ1	2,4650 E-04	Γ3	2,5134 E-04
Γ2	1,0921 E-04	Γ4	Ολικές απώλειες
$M.O = k=8,42310^{-4} \text{ m/s}$			



**Σχήμα 3α,β.** Γεωλογική σύσταση της ευρύτερης περιοχής (λεκάνη, περιοχή έργων, υδροφορέας Τυμπακίου), α) σε χάρτη του Ι.Γ.Μ.Ε 1:50.000 και β) από ανάγλυφο χάρτη του χώρου.



### Μέγιστη υδατοπαροχή – στερεοπαροχή, πλημμυροφορτίο

Τα αποτελέσματα του υπολογισμού του χρόνου συγκέντρωσης  $T_c$  της μέγιστης υδατοπαροχής ( $\max Q_{100}$ ), της μέγιστης στερεοπαροχής ( $\max G_{100}$ ), της μέγιστης υδατοστερεοπαροχής ( $\max W_{100}$ ) και του υδατοφορτίου της πλημμύρας ( $V \max Q_{100}$ ), παρέχονται στους Πίνακες 4, 5, 6, 7.

**Πίνακας 4.** Υπολογισμός της  $\max Q_{100}$  της τροφοδότιδας λεκάνης των φραγμάτων εμπλουτισμού του Μάγειρου με τους τύπους των Henry-Boot, Melli-Müller και την Ορθολογική μέθοδο.

I. Χειμάρρος Μάγειρος: Δεδομένα: $F = 40,89 \text{ km}^2$ , $A = 9,44$ , $a = 4,10$ , $L_K = 17,19 \text{ km}$ , $y = 0,298$ , $\lambda = 22$ , $H_m = 876 \text{ m}$ , $H_{min} = 760 \text{ m}$ , $c = 0,338$ , $i = 22,07 \text{ mm/h}$	
Henry Boot $\max Q_{100} = a \cdot F^{0,75}$	$\max Q_{100} = 3,90 \cdot 40,89^{0,75} = 63,06 \text{ m}^3/\text{s}$
Ορθολογική μέθοδος $\max Q_{100} = 0,278 \cdot c \cdot F \cdot i$	$\max Q_{100} = 0,278 \cdot 0,338 \cdot 40,89 \cdot 22,07 = 84,79 \text{ m}^3/\text{sec}$
$t_c = [(4F^{1/2} F + 1,5L_k) / 0,8(H_m - H_{min})]^{1/2}$	$t_c = \frac{4\sqrt{40,89} + 1,5 \cdot 17,19}{0,8\sqrt{876 - 65}} = 2,25454306 \text{ ή } 2\text{h}15'16''$
$\max Q_{100} = (63,06 + 84,79) / 3 = 73,925 \text{ m}^3/\text{sec}$	

**Πίνακας 5.** Υπολογισμός μέγιστης στερεοπαροχής ( $\max G_{100}$ ), με τη μέθοδο των Stiny – Hercheulidze.

Μέγιστη υδατοπαροχή ( $\max Q_{100}$ ) ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	Συντελεστής ( $P_n$ )	Συντελεστής χειμαρρικότητας (m)	Ειδικό βάρος μεταφερόμενων φερτών ( $Y_n$ ) ( $\text{t}/\text{m}^3$ )	Μέγιστη στερεοπαροχή ( $\max G_{100}$ ) ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
73,925	35,10	0,70	2,414	11,59

**Πίνακας 6.** Μέγιστη υδατοστερεοπαροχή ( $\max W_{100}$ ) της λεκάνης του χειμάρρου Μάγειρου.

Μέγιστη υδατοπαροχή ( $\max Q_{100}$ ) ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	Μέγιστη στερεοπαροχή ( $\max G_{100}$ ) ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	Μέγιστη υδατοστερεοπαροχή $\max W_{100} = \{\max (Q+G)_{100}\}$ ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
73,925	11,59	85,515

**Πίνακας 7.** Υπολογισμός του πλημμυρικού όγκου με τη μέθοδο Reits Kreps ( $t_r = t_c$ ).

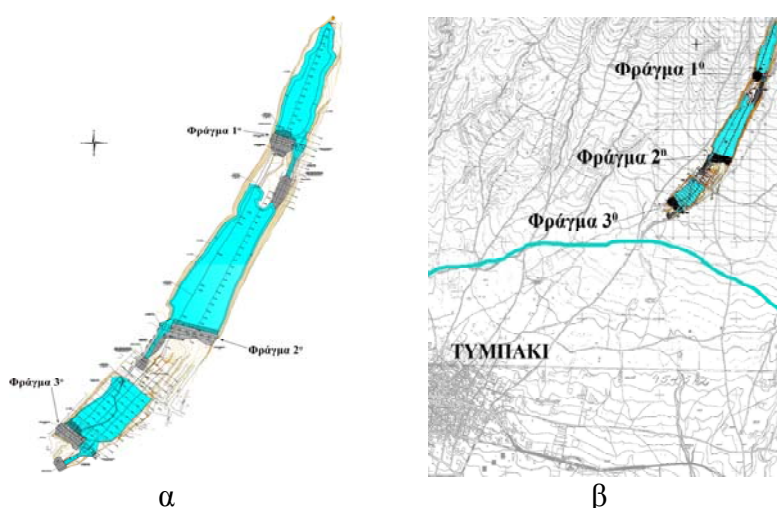
Κλάδος	Εξίσωση	Μέγιστο υδατοφορτίο $\text{m}^3$
Ανόδου	$V_a = (0,50 \max Q_{100}) \cdot t_r$	$(\max Q_{100}) = 0,50 \cdot 73,925 \cdot (2,25454306 \cdot 3600) = 300.001 \text{ m}^3$
Καθόδου	$V_b = \max Q_{100} \cdot t_r$	$(\max Q_{100}) = 73,925 \cdot (2,25454306 \cdot 3600) = 600.002 \text{ m}^3$
Σύνολο	$V = 1,5 \max Q_{100} \cdot t_r$	$(\max Q_{100}) = 1,5 \cdot 73,925 \cdot (2,25454306 \cdot 3600) = 900.003 \text{ m}^3$
Δεδομένα: $\max Q_{100} = 89,76 \text{ m}^3/\text{s}$ , $t_r = t_c = 2,25454306$ ώρες		

## Διαστάσεις - λειτουργικά στοιχεία των φραγμάτων εμπλουτισμού Μάγειρου

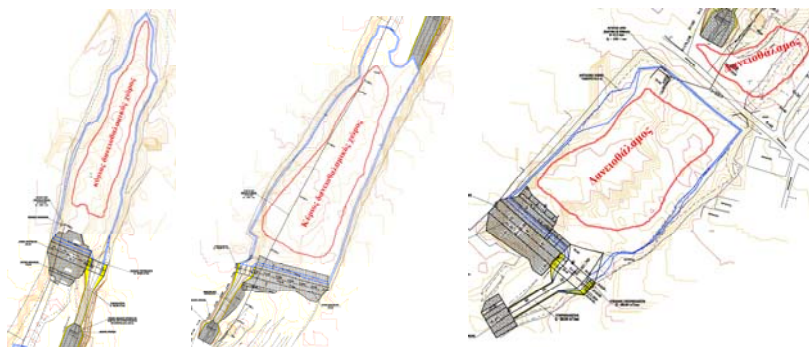
Τα κατασκευαστικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά των τριών αντιπλημμυρικών εμπλουτιστικών φραγμάτων Μάγειρου (Σχ. 3, 4) των οποίων η κάτοψη η κατά μήκος τομή του άξονα και οι τυπικές διατομές δίνονται στα Σχήματα 5, 6, και 7, παρέχονται στον Πίνακα 8.

**Πίνακας 8.** Κατασκευαστικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά των τριών αντιπλημμυρικών – εμπλουτιστικών φραγμάτων του χειμάρρου Μάγειρου.

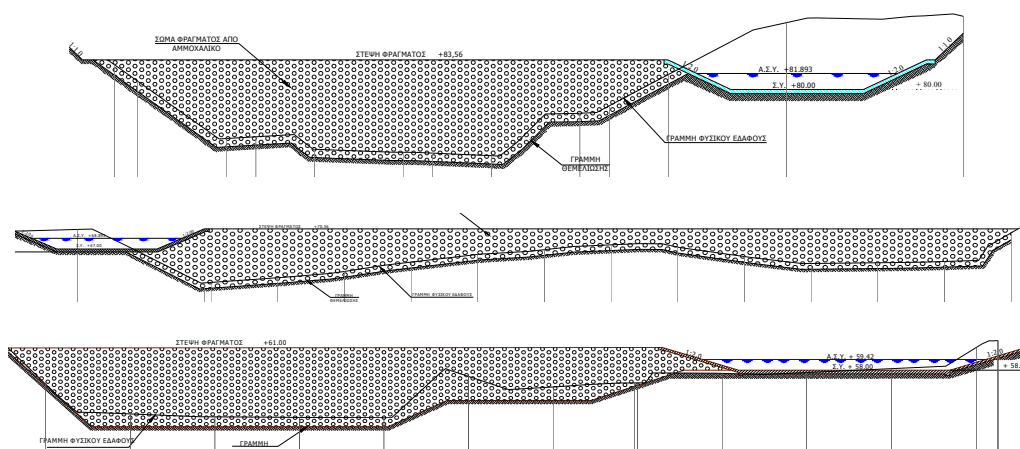
	Φράγμα 1 <sup>0</sup>	Φράγμα 2 <sup>0</sup>	Φράγμα 3 <sup>0</sup>
Τύπος Φραγμάτων	Γεωφράγματα Βαρύτητας		
Υλικό κατασκευής	Τοπικό αμμοχάλικο		
Μορφή	Σύνθετη τραπεζοειδής με πατάρια ασφαλείας 4,00m		
Κλίσεις πρανών: Άναντες	2,5:1	2,5:1	2,5:1
Κάταντες	2,5:1	2,5:1	2,5:1
Συνολικό υπέργειο ύψος	11.09m	9,52m	10,50m
Υδραυλικό ύψος στη Σ.Υ.	7.50m	5,96m	8,89m
Υδραυλικό ύψος στην Α. Σ.Υ	12,52m	10,58m	6.18m
Πάχος στέγης	16,00m	16,00m	15.00m
Μήκος στέγης ( άξονα)	62,66 m	121,34m	79,60m
Μορφή εκχείλισης			
Κλίσεις πρανών: άναντες κάταντες	2,5:1	2,5:1	2,5:1
Μορφή υπερχειλιστή	Σύνθετος (τραπεζοειδής, ορθογωνικός)		
Αγωγός υδροληψίας	Χάλυβας Φ300mm,	Όχι	Όχι
Λιμναία επιφάνεια F <sub>Σ.Υ.</sub>	21,646 στρέμματα	46,821 στρέμματα	22,168 στρέμματα
Λιμναία επιφάνεια F <sub>Α.Σ.Υ</sub>	23,512 στρέμματα	49,820 στρέμματα	24,245 στρέμματα
Σταθερός λιμναίος όγκος	130.653	177.202	58.679
Επισχετικός συνολικός όγκος	173432	268.827	91,616



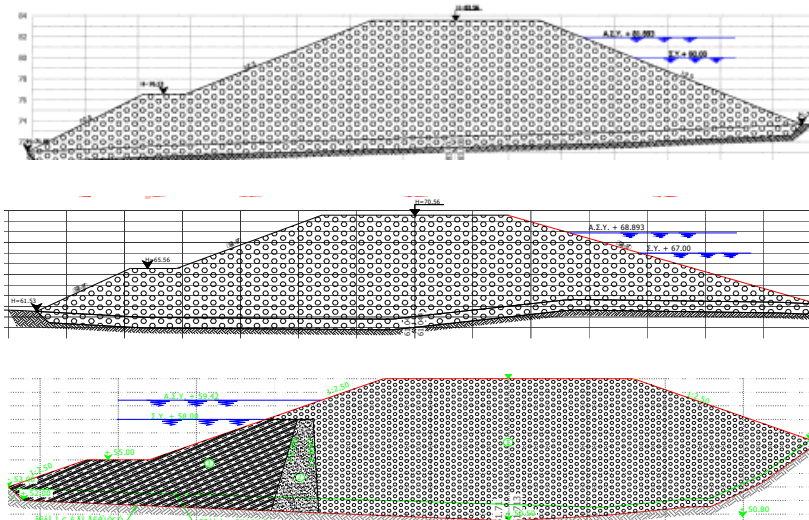
**Σχήμα 4α,β.** Γενική οριζοντιογραφία α) των τριών αντιπλημμυρικών-εμπλουτιστικών φραγμάτων και β) του κατάντη τροφοδοτούμενου υδροφορέα Τυμπακίου.



**Σχήμα 5.** Κατόψεις των τριών αντιπλημμυρικών-εμπλουτιστικών φραγμάτων του Μάγειρου.



**Σχήμα 6.** Κατά μήκος τομή του άξονα των τριών αντιπλημμυρικών-εμπλουτιστικών φραγμάτων Μάγειρου.



**Σχήμα 7.** Αντιπροσωπευτικές τομές των αντιπλημμυρικών – εμπλουτιστικών φραγμάτων Τυμπακίου. Στο 3<sup>ο</sup> φράγμα διακρίνεται το διαμορφωμένο να λειτουργεί ως υγρότοπος τμήμα του.

## Σύνοψη, κρίσεις

Συνοψίζοντας τα αποτελέσματα της έρευνας προκύπτουν τα εξής:

➤ Ο χειμάρρος Μάγειρος με επιφάνεια  $F = 40,89\text{Km}^2$ , έχει μέγιστο υψόμετρο  $H_{\max} = 2350\text{m}$ , μέσο  $H_m = 876\text{m}$  και ελάχιστο  $H_{\min} = 65\text{m}$ . Το μήκος της κεντρικής του κοιτής  $L_k$  ανέρχεται σε  $L_k = 17,38\text{Km}$  και η μέση κλίση της λεκάνης του σε  $J_F = 42,77\%$ . Ο δείκτης κυκλικότητας  $R_F = 0.560$  δείχνει λεκάνη με μικρό βαθμό στρογγυλομορφίας.

➤ Το ανηγμένο στο μέσο υψόμετρο της λεκάνης  $H_m = 876\text{m}$ , μέσο ετήσιο ύψος βροχής ανέρχεται σε  $P_m = 1255.9\text{mm}$  και η μέση ετήσια θερμοκρασία αέρα σε  $T_m = 15,7^\circ\text{C}$ .

➤ Η περιοχή των έργων εμπλουτισμού δομείται από επιφανειακές τεταρτογενείς αλλουβιακές αποθέσεις (σύγχρονες χειμάρρειες αποθέσεις) συνιστάμενες από χαλαρές κροκαλολατύπες, χαλικοαμμώδη και αργιλοαμμώδη υλικά υψηλής προς μέτρια υψηλής περατότητας. Η μέση περατότητα, που κυμαίνεται μεταξύ  $k = 2,7110^{-5}$  και ολικών απωλειών ανέρχεται σε  $k = 8,42310^{-4} \text{ m/s}$ .

➤ Η μέγιστη υδατοπαροχή ανέρχεται σε  $\max Q_{100} = 73,925 \text{ m}^3/\text{s}$  και η μέγιστη στερεοπαροχή σε  $\max G_{100} = 11.59 \text{ m}^3/\text{s}$ .

➤ Ο απορροϊκός όγκος της μέγιστης υδατοπαροχής των  $\max Q_{100} = 73,925 \text{ m}^3/\text{s}$ , σύμφωνα με την μέθοδο Reitz – Kreps, βρέθηκε ίσος με  $V_{\max Q_{100}} = 900.003 \text{ m}^3$ .

➤ Τα τρία αντιπλημμυρικά εμπλουτιστικά φράγματα έχουν υπέργειο υδραυλικό ύψος  $H_{h1} = 7,50 \text{ m}$ ,  $H_{h2} = 5,96 \text{ m}$ , και  $H_{h3} = 6,18 \text{ m}$  και συνολικό υπέργειο ύψος  $H_{s1} = 7,50 \text{ m}$ ,  $H_{s2} = 5,96 \text{ m}$ , και  $H_{s3} = 6,18 \text{ m}$ . Οι επιφάνειες στη σταθερή στάθμη νερού (Σ.Υ.) ανέρχονται σε  $F_{\Sigma.Y.1} = 21,646 \text{ στρέμ.}$ ,  $F_{\Sigma.Y.2} = 46,822 \text{ στρέμ.}$  και  $F_{\Sigma.Y.3} = 22,168 \text{ στρέμ.}$  και στην ανώτερη στάθμη (Α.Σ.Υ., στάθμη επίσχεσης) σε  $F_{\Lambda.\Sigma.Y.1} = 23,512 \text{ στρ.}$ ,  $F_{\Lambda.\Sigma.Y.2} = 49,820 \text{ στρέμ.}$ ,  $F_{\Lambda.\Sigma.Y.3} = 24,245 \text{ στρ.}$  Οι χωρητικότητες των ταμιευτήρων, που αντιστοιχούν στις παραπάνω επιφάνειες ανέρχονται στη σταθερή στάθμη νερού (Σ.Υ) σε  $V_{\Sigma.Y.1} = 130.653 \text{ m}^3$ ,  $V_{\Sigma.Y.2} = 177.202 \text{ m}^3$  και  $V_{\Sigma.Y.3} = 58.679 \text{ m}^3$  και στην ανώτερη στάθμη (Α.Σ.Υ) σε  $V_{\Lambda.\Sigma.Y.1} = 173.432 \text{ m}^3$ ,  $V_{\Lambda.\Sigma.Y.2} = 268.827 \text{ m}^3$  και  $V_{\Lambda.\Sigma.Y.3} = 91.616 \text{ m}^3$ . Από τα παραπάνω προκύπτει ότι ο συνολικός ταμιευτικός όγκος στη σταθερή στάθμη νερού, που αποτελεί τον μόνιμο εμπλουτιστικό χώρο, ανέρχεται σε  $\Sigma V_{\Sigma.Y} = 366.534 \text{ m}^3$  και στην ανώτερη στάθμη (Α.Σ.Υ.) σε  $\Sigma V_{\Lambda.\Sigma.Y} = 533.874 \text{ m}^3$ .

➤ Η συνολική υγρή επιφάνεια (επιφάνεια ενεργούς διήθησης) των φραγμάτων, μετά από εμβαδομέτρηση βρέθηκε στη μεν σταθερή στάθμη ύδατος ίση με  $\Sigma F_{\Sigma.Y.} = 90,636 \cdot 1,48 = 134,141 \text{ στρ} = 134.141 \text{ m}^2$ , στη δε ανώτερη στάθμη ύδατος  $96.636 \text{ m}^2$  σε  $\Sigma F_{\Lambda.\Sigma.Y.1,48} = 97,577 \cdot 1,48 = 144,414 \text{ στρέμ} = 144.414 \text{ m}^2$ .

➤ Από τη μέση διηθητικότητα της ζώνης κατάκλυσης των εμπλουτιστικών φραγμάτων, που βρέθηκε ίση με  $k = 8,42310 \cdot 10^{-4} \text{ cm/s}$ , τη συνολική σταθερή μέση υγρή επιφάνεια διήθησης των φραγμάτων-ταμιευτήρων των  $\Sigma F_{\delta\eta\theta} = 134,141/2 \text{ στρέμ} = 67,071 \text{ m}^2$  και από τη μέση ετήσια κάλυψη της επιφάνειας αυτής σε νερό, που εκτιμήθηκε ότι αντιστοιχεί σε 50 ημέρες, προκύπτει ότι η μέση ετήσια δυνατή διηθούμενη ποσότητα νερού στο χώρο των φραγμάτων εμπλουτισμού ανέρχεται σε:

$$\Sigma V_{\delta\eta\theta} = k \cdot (\Sigma F_{\delta\eta\theta} / 2) \cdot T = \{(8,42310 \cdot 10^{-4} \text{ cm/s}) \cdot (10^{-2} \cdot 3600 \cdot 24)\} \cdot (134.141 \text{ m}^2 / 2) \cdot (50 \text{ ημέρες}) = 2.440.547 \text{ m}^3$$

➤ από τον σταθερό ταμιευτήριο χώρο των εμπλουτιστικών φραγμάτων δύναται, κατά την διάρκεια του χρόνου ανόδου της πλημμυρικής παροχής  $T_a =$  της πλημμυρικής αιχμής των  $\max Q_{100} = 73,925 \text{ m}^3/\text{s}$  να διηθηθεί όγκος ανερχόμενος σε:

$$\Sigma V_{\delta\eta\theta} = k \cdot \Sigma F_{\delta\eta\theta, a} \cdot (T_a + T_b) = (8,42310 \cdot 10^{-4} \text{ cm/s}) \cdot (134.141 \text{ m}^2) \cdot [(2,25454306 + 1,67) \cdot 3600] = 27.665,55 = 27.656 \text{ m}^3$$

➤ Επομένως στον χώρο των φραγμάτων παρακρατούνται, ή διηθούνται, κατά το στάδιο εξέλιξης της πλημμύρας ποσότητα ανερχόμενη σε:

$$\Sigma V = \Sigma V_{A, \Sigma, Y} + \Sigma V_{\delta\eta\theta} = 533.874 \text{ m}^3 + 27.656 \text{ m}^3 = 533.874 \text{ m}^3 = 561.530 \text{ m}^3$$

Από το αποτέλεσμα αυτό προκύπτει ότι από τον εισρρέντα πλημμυρικό όγκο των  $900.003 \text{ m}^3$  εξέρχονται μόλις τα  $338.473 \text{ m}^3$ . Από τη σχέση  $\Sigma V = 1,5 \max Q \cdot t_c$  των Reitz – Kiers προκύπτει ότι η ποσότητα αυτή των  $338.473 \text{ m}^3$  αποδίδει πλημμυρική παροχή εξόδου από το τελευταίο κατάντη φράγμα ίση με

$$\max Q = \Sigma V / 1,5 t_c = 338.473 \text{ m}^3 / 1,5 \cdot (2,25454306 \cdot 3600) = 27,80 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Η υδατοπαροχή αυτή των  $27,80 \text{ m}^3/\text{s}$ , που είναι μειωμένη κατά 62,39 % της μέγιστης υπολογισθείσας και αποτελεί πλημμυρικά ακίνδυνη, για την πλημμυροπαθή ζώνη του Τυμπακίου παροχή, κρίνεται ότι είναι ικανή να διηθηθεί, κατά το μεγαλύτερο τμήμα της, από την μήκους 3,87 Km κατάντη διηθητή αμμοχαλικώδη κοίτη του Μάγειρου.

➤ Με βάση ότι η χωρητικότητα πλήρωσης των ταμιευτήρων των φραγμάτων των  $366.534 \text{ m}^3$ , προέρχεται από υδατοπαροχή ύψους  $Q = 27,80 \text{ m}^3/\text{s}$ , προκύπτει ότι υδατοπαροχές ίσες ή μικρότερες των  $Q = 27,80 \text{ m}^3/\text{s}$  παρακρατούνται και διηθούνται στον ταμιευτικό εμπλουτιστικό χώρο των τριών φραγμάτων. Θέτοντας στην εξίσωση της ορθολογικής μεθόδου την υδατοπαροχή των  $27,80 \text{ m}^3/\text{s}$  και διατηρώντας την αυτή τιμή του συντελεστή απορροής  $c = 0,338$ , προκύπτει ότι η μέση ένταση της βροχόπτωσης που παρακρατάται στο χώρο των εμπλουτιστικών φραγμάτων ανέρχεται σε:

$$Q_{\tau_{\alpha\mu}} = 0,278 \cdot c \cdot F \cdot i_{\tau_{\alpha\mu}} \Rightarrow i_{\tau_{\alpha\mu}} = Q_{\tau_{\alpha\mu}} / (0,278 \cdot c \cdot F) = 27,80 / (0,278 \cdot 0,338 \cdot 40,89) = 7,24 \text{ mm/h}$$

## Βιβλιογραφία

- Baumgartner, A. and Reichel, E. (1975). The world Water Balance. Eslevier Sc:Publ. Com. Amsterdam, New York.
- Charbeneau, R.J. (2006). Groundwater Hydraulics and pollutant transport. Texas.
- Chow, V.T. (ed.) (1964). Handbook of Hydrology. New York.
- Garg, S.K. (1987). Hydrology and Water Resources Engineering. New Delhi.
- Hiscock, K. (2005). Hydrology: Principles and Practice. John Willey- Blackwell.
- Κωτούλας, Δ. (1979). Συμβολή στη μελέτη του γενικού μηχανισμού δράσεως ενός χειμαρρικού δυναμικού. Επιστημονική Επετηρίδα για τα 50 χρόνια της Δασολογίας. Α.Π.Θ. Θεσσαλονίκη.
- Κωτούλας, Δ. (2001α). Υδρολογία και Υδραυλική Περιβάλλοντος. Θεσσαλονίκη.
- Κωτούλας, Δ. (2001β). Ορεινή Υδρονομική, Τόμος I: Τα ρέοντα ύδατα. Θεσσαλονίκη.

- Μουλόπουλος, Χ. (1968). Ορεινή Υδρονομική. Θεσσαλονίκη.
- Παπαμιχαήλ, Δ. και Παυλίδης, Θ. (1998). Έρευνα αντιμετώπισης και αξιοποίησης των υδατικών προβλημάτων του ορεινού όγκου του Χορτιάτη. Ερευνητικό Έργο 7025. Επιτροπή Ερευνών Α.Π.Θ.
- Παυλίδης, Θ. (1997). Μέθοδοι χειρισμού λεκανών απορροής και κοιτών για αύξηση των υδατικών διαθεσίμων. Το παράδειγμα του χείμαρρου Μορνιώτικο Ρ.
- Παυλίδης, Θ. (1998). Έρευνα αντιμετώπισης των υδατικών προβλημάτων και ορθολογικής αξιοποίησης του υδατικού δυναμικού του νομού Πιερίας. Επιτροπή Ερευνών Α.Π.Θ. Ερευνητικό Έργο 20259.
- Παυλίδης, Θ. (2006). Ορεινή Υδρονομική ΙΙ. Θεσσαλονίκη.
- Παυλίδης, Θ. (2008). Έρευνα του υδατοστερεομεταφορικού προβλήματος και των χωροθετικών δυνατοτήτων των χειμάρρων του Δήμου Τυμπακίου στα πλαίσια επίλυσης των υδατικών του προβλημάτων. Πιλοτικές εφαρμογές στους χειμάρρους Μάγειρο και Μαγαρικάρι. «Οριστική μελέτη υλοποίησης τριών πιλοτικών (αντιπλημμυρικών – εμπλουτιστικών – υγροτοπικών) φραγμάτων στο χείμαρρο Μάγειρο». Επιτροπή Ερευνών Α.Π.Θ. Ερευνητικό Έργο 81455. Θεσσαλονίκη.
- Στεφανίδης, Π. (2006). Ορεινή Υδρονομική Ι. Θεσσαλονίκη.
- Sato, K. and Iwasa, Y. (2003). Groundwater Hydraulics. Kyoto Univ.
- Shaw, E. (1983). Hydrology in Practice (ed.). Van Nostrand Reinhold, U.K., Co. Ltd.
- Singhal, B.B. and Gupta, R.P. (2010). Applied Hydrogeology. London. New York.
- Subramanya, K. (2008). Engineering Hydrology. Mc Graw Hill. New Delhi.
- Tauer, W. and Humborg (1992). Runoff Irrigation in the Sahel Zone. Verlag Jos Margraf.
- Thornthwaite, C.W. and Mather, J.R. (1955). The waterbalance. Climatology 8, 1-104.
- Τολίκας, Δ. (2005). Υπόγεια Υδραυλική. Θεσσαλονίκη.
- Τσακίρης, Γ. (1995). Υδατικοί Πόροι, Τεχνική Υδρολογία. Αθήνα.

**ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ (ΚΑΤΑΚΡ.) ΣΤΙΣ ΥΔΑΤΙΚΕΣ  
ΑΠΟΡΡΟΕΣ ΤΩΝ ΧΕΙΜΑΡΡΩΝ: Χ. ΕΖΟΒΙΤΗΣ ΚΕΡΔΥΛΙΟΥ ΟΡ. ΣΕΡΡΩΝ  
(ΣΥΜΒΑΛ. ΟΡΕΣΚΕΙΑΣ & ΔΑΦΝΗΣ)**

**Διονύσιος Μαρίνος**

Δρ Χειμαρρολόγος – Υδρολόγος Α.Π.Θ.  
Αποκεντρωμένη Διοίκηση Μακεδονίας - Θράκης  
Δασαρχείο Σιδηροκάστρου  
e-mail: [dionisiosm@yahoo.com](mailto:dionisiosm@yahoo.com)

**Κυριάκος Τσεμπερίδης**

Δρ. Δασολόγος – Χειμαρρολόγος, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης  
Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος  
Εργαστήριο Διευθέτησης Ορεινών Υδάτων  
e-mail: [kit76@for.auth.gr](mailto:kit76@for.auth.gr)

**Βασίλειος Παπαθανασίου**

Msc Δασολόγος – Χειμαρρολόγος, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης  
Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος  
Εργαστήριο Διευθέτησης Ορεινών Υδάτων  
e-mail: [brapatha@yahoo.gr](mailto:brapatha@yahoo.gr)

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Η μείωση του ύψους των κατακρημνισμάτων λόγω των κλιματικών αλλαγών έχει άμεση επίδραση στις υδατικές απορροές των χειμάρρων και μεγάλη σημασία για τις αγροτικές περιοχές της Περιφ. Ενότητας Σερρών για την εξεύρεση των απαραίτητων ποσοτήτων ύδατος για άρδευση-ύδρευση με την ορθολογική διαχείρισή τους. Σύμφωνα με την οδηγία 2000/60/Ε.Κ. της Ευρωπαϊκής Ένωσης για το νερό, αυτή θα γίνεται σε επίπεδο λεκάνης απορροής, θέτοντας φραγμούς στην υπερεκμετάλλευση των υπόγειων υδάτινων πόρων που ασκείται σήμερα. Έχοντας υπόψη τα παραπάνω εξετάστηκαν στο χ. Εζοβίτη του Κερδύλιου όρους οι μεταβολές των επιφανειακών απορροών του για τα τελευταία 40 έτη του 20<sup>ου</sup> αιώνα σε σχετικό Ερευνητικό Πρόγραμμα του Α.Π.Θ.

**Λέξεις κλειδιά:** χειμάρρος, υδατικό δυναμικό, κλιματικές αλλαγές.

**Εισαγωγή, περιοχή έρευνας**

Περιοχή έρευνας της παρούσας εργασίας είναι το Κερδύλιο όρος στην Περιφ. Ενότητα Σερρών στα νοτιοδυτικά σύνορά της και ειδικότερα ο μεγαλύτερος χείμαρρος του Εζοβίτη του Δήμου Νιγρίτας (σχ. 1α). Το Κερδύλιο έχει μέγιστο υψόμετρο 1.051m και η αξιοποίηση των υδάτων θα συμβάλλει στην κάλυψη των υδατικών αναγκών της περιοχής. Ερευνήθηκαν οι δύο κλάδοι του Εζοβίτη, αυτοί της Ορέσκειας και Δάφνης, που καταλαμβάνουν έκταση από την κορυφογραμμή του Κερδύλιου όρους προς βορειοανατολικά και εκβάλλουν στην πεδινή περιοχή μεταξύ Ορέσκειας και

Δάφνης. Οι δύο κλάδοι παρουσιάζουν σημαντικό υδατικό δυναμικό η αξιοποίηση του οποίου επιβάλλεται προς όφελος των κατοίκων της περιοχής. Σήμερα βρίσκονται στη φυσική τους μορφή χωρίς μεγάλες ανθρωπογενείς αλλοιώσεις και καλύπτονται από δάσος Οξυάς στις κορυφές του όρους, το οποίο όσο ελαττώνονται τα υψόμετρα αναμειγνύεται με τη Δρυ που επικρατεί χαμηλότερα. Στις χαμηλές περιοχές της λεκάνης απορροής κυριαρχούν οι θαμνώνες και πριν την έξοδο στον πεδινό χώρο οι αγροτικές εκτάσεις που είναι οι περιοχές υδατικής ζήτησης.



**Σχήμα 1α,β.** α) Η περιοχή έρευνας στην Περ. Ενότητα Σερρών και β) οι λεκάνες απορροής.

### Μεθοδολογία-μέθοδος έρευνας

1. Οριοθετήθηκαν σε χάρτες κλίμακας 1:50.000 της Γ.Υ.Σ. (φύλλα Σιτοχώριο και Νιγρίτα) οι υπολεκάνες του χειμάρρου Εξοβίτη: Ορέσκιας (σχ. 1β) και  
 2. Ακολούθησε η έρευνα των τεσσάρων παραγόντων (ανάγλυφο, κλίμα, γεωϋπόθεμα, βλάστηση) του χειμαρρικού περιβάλλοντος (Κωτούλας 2001). Ειδικότερα ερευνήθηκαν:

- Από τα μορφομετρικά, ορεογραφικά, υδρογραφικά και ανάγλυφου στοιχεία των λεκανών μελετήθηκαν η επιφάνεια των λεκανών  $F$ , η περίμετρος του υδροκρίτη, το ελάχιστο  $H_{min}$ , μέσο  $H_m$  και μέγιστο υψόμετρο  $H_{max}$ , το μήκος ( $L_k$ ) και η μέση κλίση της κεντρικής κοίτης  $J_{lk}$ , η μέση κλίση της λεκάνης  $J_F$  (Κωτούλας 2001).
- Τα ανηγμένα στα μέσα υψόμετρα των χειμάρρων Δάφνης και Ορέσκιας κλιματικά στοιχεία (κατακρημνίσματα, θερμοκρασίες αέρα) προήλθαν από τα επεξεργασμένα κλιματικά στοιχεία της περιόδου 1958-1997 των εγγύς στην περιοχή λειτουργούντων μ.σ. Νιγρίτας (υψ. 110m) και Αηδονοχωρίου (212m), που απέχουν αντίστοιχα 11,5Km βόρεια και 14,5Km νότια της περιοχής έρευνας. Για τον καθορισμό του κλιματικού περιβάλλοντος χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία των μ.σ. Σερρών (1972-2007) και του ημιορεινού μ.σ. Χρυσοπηγής (1978-2007). Ως σταθμός βάσης υπολογισμού των μετεωρολογικών στοιχείων των χειμάρρων χρησιμοποιήθηκε ο μέσος όρος των μ.σ. Νιγρίτας και Αηδονοχωρίου. Ο υπολογισμός έγινε με τη χρήση της εξίσωσης 1 του Mathias (Κωτούλας 2001). Τα βροχομετρικά στοιχεία των σταθμών βάσης αναγόμενα στα μέσα υψόμετρα των λεκανών προήλθαν με εφαρμογή του τύπου του Mathias. Ο υπολογισμός των κλιματικών μεγεθών-στοιχείων κάθε χειμάρρου, αφορούσε το σύνολο της περιόδου 1958-1997 για τα οποία υπήρχαν διαθέσιμες παρατηρήσεις.

$$N_{\Delta H} = N_o + \kappa * \Delta H - (1/2) * (\Delta H / 100)^2 \quad (1)$$



όπου:

$N_{\Delta H}$ : ετήσιο ύψος βροχής (mm), θέσης με υψομετρική διαφορά  $\Delta H$  (m) από το σταθμό βάσης.

$N_0$ : ετήσιο ύψος βροχής (mm) του σταθμού βάσης.

$\Delta H$ : υψομετρική διαφορά (m) μεταξύ του υψομέτρου στη θέση αναφοράς και εκείνου στο σταθμό βάσης.

$\kappa$ : συντελεστής ορεογραφίας με τιμή 0,7 για τα δεδομένα των λεκανών.

- Η γεωλογική συγκρότηση των λεκανών Δάφνης και Ορέσκειας, ταξινομημένη σε χειμαρρικούς πετρολογικούς σχηματισμούς (Κωτούλας 2001, Παπαμιχαήλ και Παυλίδης 1998), προήλθε από τα φύλλα των γεωλογικών χαρτών του Ι.Γ.Μ.Ε Σιτοχώριο και Νιγρίτα κλίμακας 1: 50.000 και από επιτόπια έρευνα. Από αυτά προέκυψε πως στην περιοχή έρευνας απαντώνται σε μεγάλο βαθμό οι σχιστολιθικοί χειμ. πετρολογικοί σχηματισμοί καθώς η πλειοψηφία των πετρωμάτων της περιοχής ανήκει στην κατηγορία των μεταμορφωμένων (κυρίως Γνεύσιοι).

- Η βλάστηση της περιοχής έρευνας προήλθε από επιτόπια έρευνα, δορυφορικές εικόνες και το δασικό χάρτη της περιοχής (Δασική Υπηρεσία 1997, Γιαννάκης 2008).

3. Υπολογίστηκε το υδατικό δυναμικό των ετών στα οποία υπήρχαν διαθέσιμες καταγραφές (1958-1997) στους μ.σ. αναφοράς, βάση των οποίων υπολογίστηκε στη συνέχεια το υδατικό δυναμικό των χειμάρρων. Τα κατακρημνίσματα της περιόδου των παρατηρήσεων - όπως αυτά καταμετρήθηκαν στους μ.σ. Νιγρίτας και Αηδονοχωρίου-κατηγοριοποιήθηκαν στις ακόλουθες τρεις γενικές κατηγορίες: Στην πρώτη κατηγορία εντάχθηκαν τα κατακρημνίσματα με ύψος βροχής κοντά στον μέσο όρο, στη δεύτερη με υψηλές τιμές (υγρά έτη) και στην τρίτη με χαμηλό ύψος (ξηρά έτη).

4. Έγινε ο προσεγγιστικός υπολογισμός του υδατικού ισοζυγίου με τη μέθοδο των ομοειδών λεκανών ή μέθοδο του Viparelli η οποία (Παυλίδης 2005) αναπτύχθηκε στη Νότια Ιταλία, σε περιοχές με πολλές κλιματικές και εδαφικές ομοιότητες με τον ελλαδικό χώρο και την περιοχή ανάπτυξης των λεκανών των χ. Ορέσκειας και Δάφνης. Στη μέθοδο αυτή μετατρέπονται τα μηνιαία ύψη βροχής σε εποχιακά (Χειμώνας, Άνοιξη, Θέρος, Φθινόπωρο) και ταξινομούνται σε βαθμίδες βροχής. Σε κάθε εποχιακή βαθμίδα βροχής αντιστοιχούν εποχιακοί συντελεστές (Πίνακας 1). Η μέθοδος Viparelli λόγω της απλότητάς της βρίσκει εφαρμογή στον προσδιορισμό των χειμαρρικών υδατικών ισοζυγίων.

**Πίνακας 1.** Εποχιακοί συντελεστές απορροής (κατά Viparelli).

ΕΠΟΧΙΑΚΗ ΒΑΘΜΙΔΑ ΒΡΟΧΗΣ (mm)	ΕΠΟΧΙΑΚΟΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ (ΚΑΤΑ VIPARELLI)			
	ΦΘΙΝΟΠ.	ΧΕΙΜΩΝ.	ΑΝΟΙΞΗ	ΘΕΡΟΣ
1	2	3	4	5
0,00-25,00	0,00	0,00	0,00	0,00
50,01-75,00	0,00	0,03	0,02	0,00
125,01-150,00	0,14	0,23	0,27	0,07
200,01-225,00	0,23	0,35	0,5	0,11
275,01-300,00	0,33	0,44	0,61	0,14
350,01-375,00	0,39	0,51	0,68	0,16
425,01-450,00	0,46	0,55	0,74	0,18
500,01-525,00	0,49	0,575	0,775	0,19
575,01-600,00	0,52	0,590	0,79	0,20

## Αποτελέσματα

### Μορφομετρικά και υδρογραφικά χαρακτηριστικά

Τα μορφομετρικά και υδρογραφικά χαρακτηριστικά που ενδιαφέρουν την παρούσα έρευνα είναι: μέγιστο και ελάχιστο υψόμετρο  $H_{max}$  και  $H_{min}$ , μέσο υψόμετρο  $H_m$ , εμβαδόν της λεκάνης  $F$ , μήκος της κεντρικής κοίτης  $L_K$  και μέση κλίση της  $J_{LK}$ , μέση κλίση της λεκάνης απορροής  $J_F$  και το συνολικό μήκος του υδρογραφικού δικτύου  $SL$  (Πίνακας 2).

**Πίνακας 2.** Μορφομετρικά, ανάγλυφου και υδρογραφικά στοιχεία-χαρακτηριστικά των χειμάρρων έρευνας Ορέσκειας και Δάφνης.

ΜΟΡΦΟΜΕΤΡΙΚΑ-ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	Συμβ.	Μονάδα μέτρησης	Χειμαρ. Ορέσκειας	Χειμαρ. Δάφνης
Επιφάνεια λεκάνης	F	Km <sup>2</sup>	45,045	15,925
Περίμετρος υδροκρίτη	Π	Km	32,71	19,75
Μέγιστο υψόμετρο	$H_{max}$	M	918,0	1.092,0
Ελάχιστο υψόμετρο	$H_{min}$	M	125,0	121,0
Μέσο υψόμετρο	$H_m$	M	492,9	540,3
Μεγ. υψομετρική διαφορά ( $\Delta H_{max} = H_{max} - H_{min}$ )	$\Delta H_{max}$	M	793,0	971,0
Μέση υψομετρική διαφορά ( $\Delta H_m = H_m - H_{min}$ )	$\Delta H_m$	M	367,9	419,3
Μήκος υδρογραφικού δικτύου	SL	Km	177,5	61,35
Μήκος κεντρικής κοίτης	$L_K$	Km	12,5	8,7
Μέση κλίση κεντρικής κοίτης	$J_{LK}$	(%)	<b>3,292</b>	<b>8,879</b>
Πυκνότητα υδρογραφικού δικτύου ( $D = SL/F$ )	D	Km/Km <sup>2</sup>	3,94	3,85
Μήκος χωροσταθμικών	ΣΣ	Km	121,3	50,61
Ισοδιάσταση χωροσταθμ.	$H_d$	Km	0,1	0,1
Μέση κλίση λεκάνης ( $J_F = (H_d * \Sigma S * 100)/F$ )	$J_F$	(%)	26,9	31,8

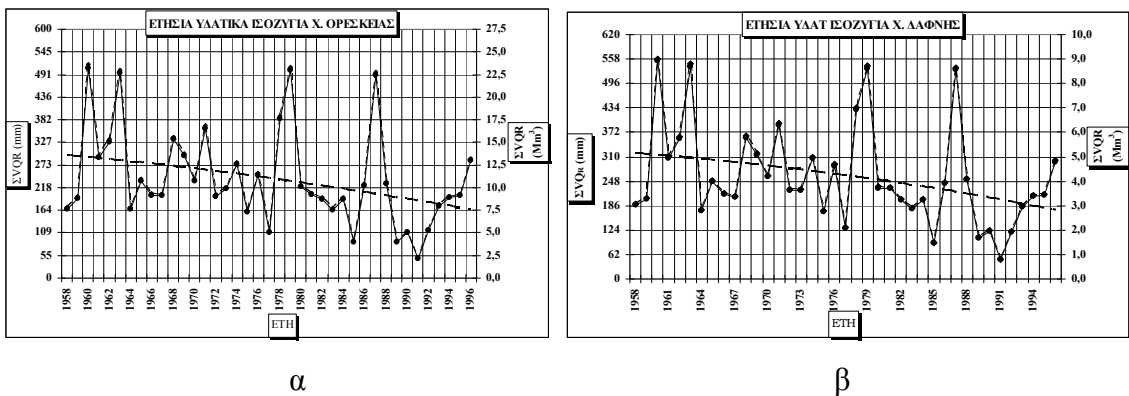
### Κλιματικό περιβάλλον

Επειδή σε κοντινή απόσταση λειτουργούν δύο μετεωρολογικοί σταθμοί (μ.σ.) Νιγρίτας και Αηδονοχωρίου, για τον υπολογισμό των κλιματικών στοιχείων της περιοχής έρευνας συνδυάστηκαν τα στοιχεία και των δύο. Χρησιμοποιήθηκε ο μέσος όρος των αριθμητικών παρατηρήσεων τους γιατί ο μεν μ.σ. Νιγρίτας λειτουργεί σε απόσταση 14,5 km βόρεια από την περιοχή έρευνας σε υψόμετρο 110 m., ενώ ο μ.σ. Αηδονοχωρίου λειτουργεί σε απόσταση 11,9 km νότια από αυτή σε υψόμετρο 212 m. Τα βροχομετρικά στοιχεία των σταθμών βάσης ανάχθηκαν στο μέσο υψόμετρο κάθε χειμάρρου με τη χρήση του τύπου του Mathias. Υπολογίστηκαν τα κλιματικά στοιχεία κάθε χειμάρρου για όλα τα έτη της περιόδου 1958-1997. Δημιουργήθηκε για κάθε χειμάρρο μια βάση κλιματικών δεδομένων με την οποία τροφοδοτήθηκε το μοντέλο Vīparelli για τον υπολογισμό των εποχιακών και ετήσιων υδατικών ισοζυγίων. Στον πίνακα 3 παρουσιάζονται τα μέσα μηνιαία και ετήσια κατακρημνίσματα των μ.σ.

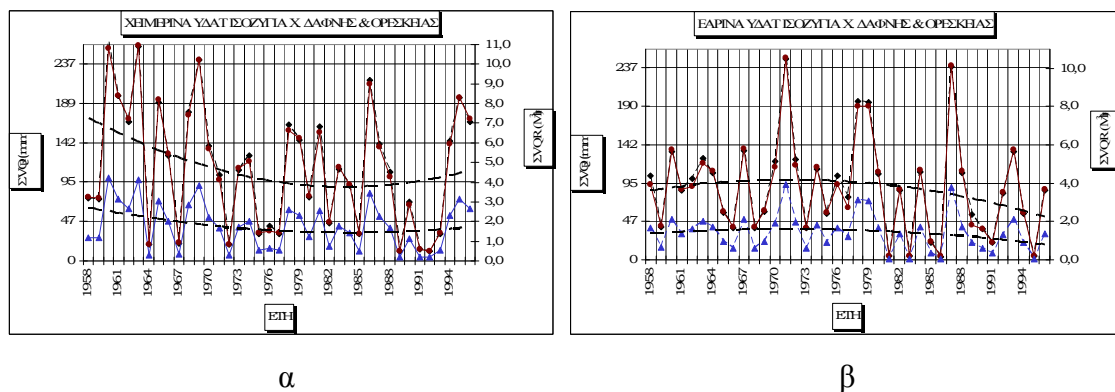
Νιγρίτας και Αηδονοχωρίου της περιόδου 1958-1997 που χρησιμοποιήθηκαν μαζί με τα αντίστοιχα των μ.σ. Σερρών και Χρυσοπηγής. Οι τιμές των κατακρημισμάτων του σταθμού βάσης (συνδυασμός μ.σ. Νιγρίτας και Αηδονοχωρίου) ανάχθηκαν στο μέσο υψόμετρο  $H_{med}$  των υπολεκανών των χειμάρρων (πίνακας 4). Ακολούθως τα εποχιακά ύψη κατακρημισμάτων των υπολεκανών Ορέσκειας και Δάφνης ταξινομήθηκαν για να προσδιοριστούν οι συντελεστές απορροής (πίνακας 5).

### Υδατικά ισοζύγια χειμάρρων

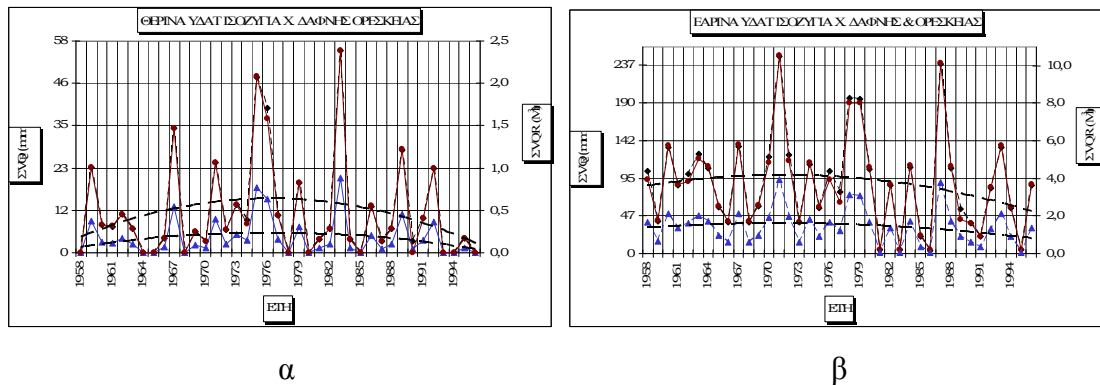
Τελικά για την κάθε υπολεκάνη από τα εποχιακά ύψη κατακρημισμάτων, ακολούθως προσδιορίστηκαν οι εποχιακοί συντελεστές απορροής οι οποίοι αναφέρονται μαζί με τις υδατικές απορροές επίσης στον πίνακα 5. Οι υπολογισμοί τους αναφέρονται σε mm και σε  $Mm^3$ . Για την περίοδο των σαράντα ετών που ερευνήθηκε προσδιορίστηκε η διακύμανση των υδατικών ισοζυγίων για κάθε εποχή του έτους και η συνολική διακύμανση για ολόκληρη τη χρονιά. Προσδιορίστηκαν έτσι για το σύνολο των ετών η διακύμανση των χειμερινών, εαρινών και θερινών υδατικών ισοζυγίων και οι γραμμικές τους τάσεις. Το ίδιο έγινε και για τη συνολική υδατική απορροή κάθε έτους και για το σύνολο των ετών.



Σχήμα 2α,β. Ετήσια υδατικά ισοζύγια των χειμάρρων α) Ορέσκειας και β) Δάφνης της περιόδου 1958-1996.



Σχήμα 3α,β. α) Χειμερινά και β) εαρινά υδατικά ισοζύγια των χειμάρρων Ορέσκειας και Δάφνης Κερδυλίου όρους την περίοδο 1958-1996.



**Σχήμα 4α,β.** α) Θερινά και β) φθινοπωρινά υδατικά ισοζύγια των χειμάρρων Ορέσκειας και Δάφνης Κερδυλίου όρους την περίοδο 1958-1996.

### Σύνοψη, κρίσεις, συμπεράσματα

Στην περίοδο των σχεδόν σαράντα ετών που ερευνήθηκε συμπεριλαμβάνονται τουλάχιστον τρία μέγιστα ηλιακών κηλίδων οι οποίες παρατηρούνται τουλάχιστον μια φορά κάθε έντεκα χρόνια. Στην περίοδο αυτή επίσης παρατηρήθηκαν στον πλανήτη αρκετά φαινόμενα El Nino στα οποία τα αντίστοιχα έτη στην Ελλάδα είναι θερμά και ξηρά. Αυτές οι χρονιές ακολουθούνται από τα φαινόμενα La Ninia που έχουν την τάση να αντιστρέφουν τις συνθήκες που παρατηρήθηκαν την προηγούμενη χρονιά.

Γενικά κατά την περίοδο που ερευνήθηκε παρατηρείται μείωση των χειμερινών υδατικών ισοζυγίων με τάσεις ελαφριάς ανάκαμψης μετά τα μέσα της δεκαετίας του '90. Τα εαρινά υδατικά ισοζύγια παρουσιάζουν ελαφρές αυξητικές τάσεις που όμως αντιστρέφονται και ακολουθούν μειωτικές τάσεις και μέχρι το τέλος της περιόδου. Αντίθετα τα θερινά υδατικά ισοζύγια παρουσιάζουν αυξητικές τάσεις οι οποίες αντιστρέφονται και στο τέλος της περιόδου οι τιμές παρουσιάζουν ομοιότητα με αυτές στην αρχή της περιόδου.

Την πλέον εντυπωσιακή μείωση εμφανίζουν τα φθινοπωρινά υδατικά ισοζύγια με ιδιαίτερα χαμηλές τιμές προς το τέλος της ερευνώμενης περιόδου. Τα συνολικά ετήσια υδατικά ισοζύγια των υπολεκανών Δάφνης και Ορέσκειας παρουσίασαν σημαντική κάμψη που ισχύει για τα χειμαρρικά ρεύματα του Κερδυλίου όρους σύμφωνα με τα στοιχεία των μετεωρολογικών σταθμών της περιοχής και την επεξεργασία τους κατά Virapelli. Τα παραπάνω μεταξύ των άλλων έχουν σκοπό την παροχή ενός κατάλληλου εργαλείου για τον προσδιορισμό των τάσεων των απορροών σε χειμάρρους από την επίδραση των κλιματικών αλλαγών, την ιεράρχηση των υδατικών αναγκών των περιοχών και την αιτιολόγηση της επιλογής των κατάλληλων έργων αξιοποίησης των χειμαρρικών υδάτων.

Στην εποχή των κλιματικών αλλαγών, ερευνήθηκε πως αυτές επηρεάζουν τις υδατικές απορροές των χειμάρρων και καταδείχθηκε η ανάγκη της αειφορικής διαχείρισής τους προς όφελος των τοπικών κοινωνιών και του φυσικού περιβάλλοντος της περιοχής. Στο χ. Εζοβίτη προσδιορίστηκαν οι μεταβολές των υδατικών απορροών και αποδείχθηκε η αναγκαιότητα των κατάλληλων έργων αξιοποίησής τους. Υποδείχθηκε στον τέως Καποδιστριακό Δήμο Αχινού και στην τέως Νομαρχία Σερρών κατάλληλη θέση για την κατασκευή λιμνοδεξαμενής πολλαπλών χρήσεων και σκοπών.

## Βιβλιογραφία

- Γ. Υ. Σ. Τοπογραφικοί Χάρτες κλίμακας 1:50.000 (φύλλα Σιτοχώριο, Νιγρίτα).
- Chow, V.T. (ed.). (1964). Handbook of Hydrology. New York.
- Garg, S.K. (1987). Hydrology and Water Resources Engineering. New Delhi.
- Γιαννάκης, Β. (2008). Χλωριδική και φυτοκοινωνιολογική έρευνα στα pseudomaquis του όρους Κερδύλιο. Θεσσαλονίκη.
- Δασική Υπηρεσία. Δασικός Χάρτης κλίμακας 1:200.000 (φύλλο Νομός Σερρών).
- Murphy, J., Wallace, O. and Lane, L. (1977). Geomorphic Parameters: Predict Hydrographic Characteristics in the Southwest. Water res. BuI. Am. Water. Res. Ass. vol.13(1), pp. 25-38.
- Παπαμιχαήλ, Δ. και Παυλίδης, Θ. (1998). Έρευνα αντιμετώπισης και αξιοποίησης των υδατικών προβλημάτων του ορεινού όγκου του Χορτιάτη. Ερευνητικό Έργο, Επιτροπή Ερευνών Α.Π.Θ.
- Παυλίδης, Θ. (2002). Διερεύνηση των χειμαρρικών συνθηκών και σχεδιασμός μιας ολοκληρωμένης υδρονομικής διεύθετης χειμάρρων στο Δήμο Ν. Καζαντζάκης. Ερευνητικό Έργο. Επιτροπή Ερευνών Α.Π.Θ.
- Shaw, E. (1983). Hydrology in Practice (ed.). Van Norstrand Reihold, υ.κ, Co. Ltd.
- Shouse P., Jury W. A. Stolry L. H. 1980: Use of deterministic and empirical modes to predict potential evapotranspiration in adjective environment. Agron J. 1994-1998.
- Slabbers, P.J. (1977). Surface toughness of crops and potential evapotranspiration. J. Hydr 34, pp. 181-191.
- Viessman, Jr.W. Levis, G.L. and Knappt, J.W. (1989). Introduction to Hydrology. Harper and Raw, Publishers, new York, Cambridge, an Francisco, London.
- Κωτούλας, Δ. (1997). Διευθετήσεις Χειμαρρικών Ρευμάτων Ι. Θεσσαλονίκη.
- Κωτούλας, Δ. (2001). Ορεινή Υδρονομική. Τόμος Ια: Τα ρέοντα ύδατα. Θεσσαλονίκη.
- Παυλίδης, Θ. (2005). Δασική Υδρολογία – Υδάτινοι Πόροι. Θεσσαλονίκη.

**Πίνακας 3.** Μέσα μηνιαία και μέσο ετήσιο ύψη κατακρημνισμάτων (mm) των μ.σ. Αηδονοχωρίου, Νιγρίτας, Σερρών και Χρυσοπηγής της περιόδου που μελετήθηκε.

Μ.Σ. / ΜΗΝΕΣ	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ	ΕΤΗΣΙΑ
ΑΗΔΟΝΟΧΩΡΙΟΥ	54,1	49,5	52,8	38,4	39,1	42,2	25,7	18,5	26,7	58,3	67,9	74,7	546,0
ΝΙΓΡΙΤΑΣ	51,6	48,3	44,1	36,2	45,0	39,2	27,4	21,7	25,3	36,0	51,0	63,1	494,3
ΣΕΡΡΕΣ	33,3	36,1	33,5	36,7	45,9	41,5	27,6	26,0	25,9	37,2	49,4	59,8	460,7
ΧΡΥΣΟΠΗΓΗΣ	37,2	41,7	38,5	48,6	62,1	48,9	38,4	37,3	39,1	46,0	61,8	64,8	564,5

**Πίνακας 4.** Παραδείγματα μηνιαίων και ετήσιων υψών κατακρημνισμάτων μετά την αναγωγή τους στα μέσα υψόμετρα (χ. Ορέσκειας και χ. Δάφνης) ετών της περιόδου που ερευνήθηκε με τον τύπο του Mathias.

χ. Ορέσκειας													
ΕΤΟΣ	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ	ΣΥΝ.
1958	81,9	106,7	108,4	55,7	33,6	40,7	0,0	0,1	61,0	23,7	26,9	17,3	556,1
1959	62,7	26,1	42,8	56,3	44,3	131,2	48,6	23,8	46,4	154,2	37,9	113,7	787,9
1965	135,5	102,7	51,7	56,5	48,2	34,4	9,4	18,3	0,0	13,1	36,5	119,8	626,1
1966	140,7	11,0	59,9	41,1	39,3	56,3	5,1	33,5	36,8	68,5	94,1	124,4	710,8
1974	48,1	71,8	58,1	70,5	87,1	113,7	2,9	7,3	47,2	84,1	89,9	154,7	835,2
1975	33,9	53,9	46,2	24,0	83,5	83,2	77,2	147,1	0,0	79,6	88,5	47,9	764,9
1985	17,6	62,6	61,7	14,5	40,1	8,0	0,1	27,4	9,5	16,4	158,4	53,7	470,1
1986	52,0	254,8	19,2	14,5	46,2	118,9	27,1	6,2	18,7	36,0	48,6	77,4	719,8
1992	1,9	3,0	34,6	95,1	49,1	65,5	134,9	0,2	4,4	47,2	29,0	76,1	540,9
1996	113,5	80,6	64,2	67,8	54,4	0,0	3,3	3,5	121,4	14,6	66,1	132,8	722,1
1997	50,0	62,4	54,9	59,7	46,3	29,2	15,8						
Μ.Ο.	75,8	70,4	70,2	54,7	59,1	54,7	39,7	29,4	36,7	64,1	83,1	98,9	739,4
ΜΙΝ	0,0	2,2	10,7	1,3	2,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,0	0,0	429,9
ΜΑΧ	214,2	254,8	192,9	166,4	145,3	177,1	134,9	159,7	121,4	219,4	267,2	304,9	1183,7

χ.Δάφνης

1958	85,4	111,3	113,1	58,2	35,1	42,5	0,0	0,2	63,6	24,7	28,1	18,0	580,1
1961	86,0	17,6	55,7	61,6	77,3	93,8	26,4	0,0	0,3	16,3	124,3	278,5	837,8
1967	35,4	21,3	62,5	60,9	125,8	96,6	93,4	72,9	40,8	68,1	39,8	62,5	780,0
1973	95,2	88,0	74,3	67,1	2,3	65,5	67,8	31,5	93,2	105,4	48,2	83,7	822,1
1979	107,0	73,5	53,1	99,0	151,6	39,1	92,3	60,6	41,0	228,9	154,8	133,8	1234,8
1980	132,1	6,1	103,9	71,6	36,7	11,6	41,6	3,8	27,4	134,3	61,4	79,3	709,6
1984	62,6	124,0	144,3	55,7	17,3	42,5	23,8	25,7	8,4	0,0	13,6	50,5	568,3
1988	7,6	63,7	157,3	40,3	16,6	96,8	10,7	0,2	2,3	18,1	155,2	187,7	756,4
1991	12,3	72,2	21,4	76,3	21,5	20,6	21,8	91,7	10,6	14,5	71,6	13,9	448,5
1996	118,4	84,1	67,0	70,7	56,8	0,0	3,4	3,6	126,7	15,2	68,9	138,5	753,3
1997	52,2	65,1	57,3	62,3	48,3	30,4	16,4						
M.O.	79,1	73,4	73,2	57,0	61,6	57,0	41,5	30,6	38,3	66,8	86,7	103,2	771,4
MIN	0,0	2,3	11,1	1,4	2,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,5	0,0	448,5
MAX	223,5	265,8	201,2	173,6	151,6	184,8	140,7	166,6	126,7	228,9	278,7	318,0	1234,8

Πίνακας 5. Παραδείγματα προσδιορισμού εποχιακών υψών, συντ. απορροής και όγκων των υδατικών απορροών για τα χειμαρρικά ρεύματα.

Ορεσ. ΕΤΟΣ	ΕΠΟΧΙΑΚΑ ΥΨΗ (mm)				ΣΥΝΤΕΛ. ΑΠΟΡΡΟΗΣ				ΑΠΟΡΡΟΗ (mm)				ΑΠΟΡΡΟΗ (Mm <sup>3</sup> )				ΣΥΝΟΛΟ	
	Φ	Χ	Α	Θ	Φ	Χ	Α	Θ	Φ	Χ	Α	Θ	Φ	Χ	Α	Θ	(mm)	(Mm <sup>3</sup> )
1958	111,6	205,9	197,8	40,9	0,10	0,35	0,44	0,00	11,16	72,05	87,03	0,00	0,18	1,15	1,39	0,00	170,24	7,668
1959	238,5	202,5	143,4	203,5	0,27	0,35	0,27	0,11	64,40	70,88	38,71	22,39	1,03	1,13	0,62	0,36	196,37	8,846
1965	49,6	358,0	156,3	62,1	0,00	0,51	0,36	0,00	0,00	182,58	56,29	0,00	0,00	2,91	0,90	0,00	238,86	10,760
1966	199,5	276,2	140,3	94,9	0,20	0,44	0,27	0,04	39,89	121,53	37,88	3,79	0,64	1,94	0,60	0,06	203,10	9,148
1974	221,2	274,6	215,7	123,8	0,23	0,41	0,50	0,06	50,87	112,58	107,83	7,43	0,81	1,79	1,72	0,12	278,71	12,554
1975	168,0	135,7	153,6	307,5	0,17	0,23	0,36	0,15	28,57	31,22	55,29	46,13	0,45	0,50	0,88	0,73	161,21	7,262
1985	184,3	133,9	116,4	35,6	0,20	0,23	0,18	0,00	36,86	30,80	20,94	0,00	0,59	0,49	0,33	0,00	88,60	3,991
1986	103,3	384,3	79,9	152,3	0,10	0,52	0,05	0,08	10,33	199,82	4,00	12,18	0,16	3,18	0,06	0,19	226,33	10,195
1992	80,6	80,9	178,8	200,6	0,05	0,14	0,44	0,11	4,03	11,33	78,66	22,06	0,06	0,18	1,25	0,35	116,09	5,229
1996	202,08	326,8	186,5	6,8	0,23	0,49	0,44	0,00	46,48	160,12	4,00	0,0	0,74	2,55	0,06	0,00	210,60	9,486
M.O.	183,84	246,01	184,50	125,07	0,19	0,37	0,39	0,06	45,78	104,11	80,11	10,44	0,73	1,66	1,28	0,17	240,43	10,830
MIN	21,12	76,94	79,92	6,75	0,00	0,14	0,05	0,00	0,00	10,77	4,00	0,00	0,00	0,17	0,06	0,00	47,42	2,136
MAX	407,13	442,05	349,14	331,43	0,43	0,55	0,67	0,16	175,07	243,13	233,92	53,03	2,79	3,87	3,73	0,84	515,80	23,234

χ. Δύφνης

1958	116,4	214,8	206,3	42,6	0,10	0,35	0,50	0,00	11,64	75,16	103,17	0,00	0,19	1,20	1,64	0,00	189,98	3,025
1961	140,8	382,1	194,6	120,2	0,14	0,52	0,44	0,06	19,72	198,69	85,63	7,21	0,31	3,16	1,36	0,11	311,25	4,957
1967	148,7	119,2	249,1	263,0	0,14	0,18	0,54	0,13	20,82	21,45	134,53	34,19	0,33	0,34	2,14	0,54	210,99	3,360
1973	246,8	266,9	143,6	164,8	0,27	0,41	0,27	0,08	66,63	109,44	38,78	13,18	1,06	1,74	0,62	0,21	228,04	3,631
1979	424,7	314,3	303,7	192,0	0,43	0,46	0,64	0,10	182,63	144,59	194,38	19,20	2,91	2,30	3,10	0,31	540,81	8,612
1984	22,0	237,1	217,3	91,9	0,00	0,38	0,50	0,04	0,00	90,09	108,63	3,68	0,00	1,43	1,73	0,06	202,40	3,223
1988	175,6	259,0	214,1	107,6	0,20	0,41	0,50	0,06	35,12	106,21	107,07	6,46	0,56	1,69	1,71	0,10	254,86	4,059
1991	96,8	98,4	119,3	134,1	0,05	0,14	0,18	0,07	4,84	13,77	21,47	9,39	0,08	0,22	0,34	0,15	49,46	0,788
1996	210,8	340,9	194,5	7,0	0,23	0,49	0,44	0,00	48,49	167,04	85,59	0,00	0,77	2,66	1,36	0,00	301,13	4,795
M.O.	191,79	256,64	192,48	130,48	0,20	0,38	0,40	0,06	49,91	111,63	88,68	11,07	0,79	1,78	1,41	0,18	261,29	4,161
MIN	22,04	80,27	83,37	7,04	0,00	0,14	0,05	0,00	0,00	11,24	4,17	0,00	0,00	0,18	0,07	0,00	49,46	0,788
MAX	424,73	461,15	364,23	345,75	0,43	0,58	0,68	0,16	182,63	264,44	247,68	55,32	2,91	4,21	3,94	0,88	559,27	8,906



## ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΣΤΟ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΤΗΣ ΓΕΡΜΑΣΟΓΙΑΣ ΚΥΠΡΟΥ

### **Φώτιος Μάρης**

Εργαστήριο Διευθέτησης Ορεινών Υδάτων και Διαχείρισης Κινδύνου  
Τμήμα Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων  
Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης  
e-mail: [fmarris@fmenr.duth.gr](mailto:fmarris@fmenr.duth.gr)

### **Απόστολος Βασιλείου**

Εργαστήριο Διευθέτησης Ορεινών Υδάτων και Διαχείρισης Κινδύνου  
Τμήμα Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων  
Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης  
e-mail: [apovassi@gmail.com](mailto:apovassi@gmail.com)

### **Γεωργία Βαρσάμη**

Εργαστήριο Διευθέτησης Ορεινών Υδάτων και Διαχείρισης Κινδύνου  
Τμήμα Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων  
Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης  
e-mail: [georginavarsami@gmail.com](mailto:georginavarsami@gmail.com)

### **Αντώνιος Παύλου**

Σχολή Περιβάλλοντος και Ανάπτυξης, Τμήμα Γεωγραφίας  
Πανεπιστήμιο του Manchester  
e-mail: [pavlou.antonios@gmail.com](mailto:pavlou.antonios@gmail.com)

## **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Ο υδρολογικός κύκλος προβλέπεται να επηρεαστεί σημαντικά από την αύξηση της μέσης θερμοκρασίας της γης, λόγω της μεταβολής των κλιματικών συνθηκών. Στην παρούσα εργασία έγινε ποσοτικοποίηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στο υδατικό ισοζύγιο της λεκάνης απορροής της Γερμασόγειας στη νήσο Κύπρο. Για την προσομοίωση του υδρολογικού κύκλου της λεκάνης σε μηνιαίο χρονικό βήμα επιλέχθηκε η περίοδος 1986-2086 και χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο του υδατικού ισοζυγίου του προγράμματος της υδρολογίας της συλλογής TechnoLogismiki Works 2012. Αφού υπολογίστηκε το σενάριο αναφοράς έγινε επέκταση των χρονοσειρών των δεδομένων και εφαρμόστηκαν διάφορα μοντέλα κλιματικής αλλαγής. Η σύγκριση των αποτελεσμάτων φανερώνει ότι στο δυσμενέστερο σενάριο (HadCM2) κλιματικής αλλαγής η πτώση για την υπερετήσια παροχή θα είναι -10,67% ενώ στο πιο ήπιο σενάριο (GFDL-R15) η πτώση θα είναι -3,68%.

**Λέξεις κλειδιά:** *Κλιματική αλλαγή, χρονοσειρές, υδατικό ισοζύγιο.*

## Εισαγωγή

Ο υδρολογικός κύκλος περιλαμβάνει μια σειρά διαδικασιών με τις οποίες το νερό κυκλοφορεί μεταξύ υδρόσφαιρας, ατμόσφαιρας, ξηράς και θάλασσας. Σε αυτή την αλυσίδα το νερό εμφανίζεται με όλες τις μορφές: υγρό, αέριο (υδρατμοί), στερεό (χιόνι, χαλάζι) (Sharma 1989). Το σύνολο της ενέργειας που κατευθύνει τον κύκλο του νερού προέρχεται σχεδόν αποκλειστικά από τον ήλιο.



Σχήμα 1. Γραφική απεικόνιση του υδρολογικού κύκλου.

Το συνολικό φαινόμενο της κυκλοφορίας και κατανομής του νερού στην ατμόσφαιρα και τη γη εκφράζεται από τη σχέση:

$$P=R+E+I \quad (1)$$

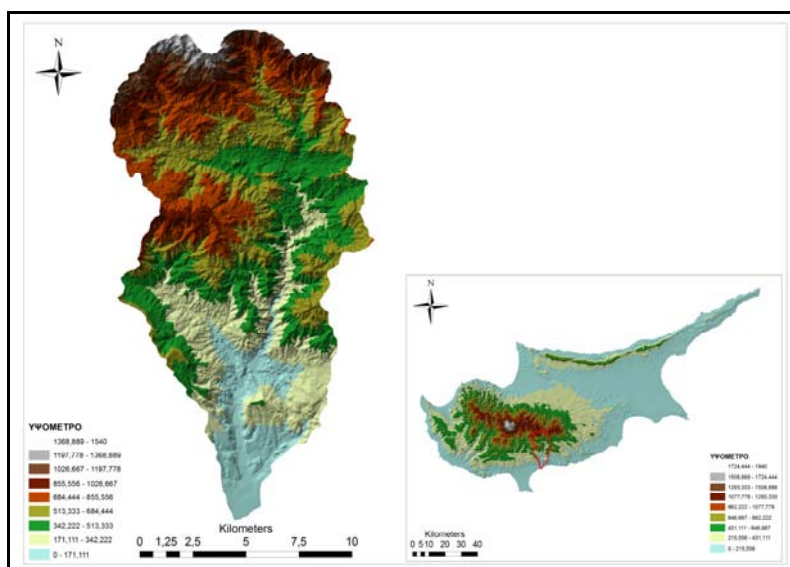
Όπου:

- P : τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα
- E : η πραγματική εξατμισοδιαπνοή
- R : η επιφανειακή απορροή
- I : η κατείσδυση

Η κλιματική αλλαγή επηρεάζει σημαντικά τον κύκλο του νερού και η εξέλιξη της οδηγεί στη συχνότερη εμφάνιση ακραίων καιρικών φαινομένων (Baltas 2012). Καθώς μεταβάλλεται η περιοδικότητα και η ένταση των βροχοπτώσεων και καθώς αυξάνεται η μέση θερμοκρασία, μεγαλώνει ο κίνδυνος να σημειωθούν πλημμύρες αλλά και περίοδοι ξηρασίας, μεταβολές που θα εκφράζονται με διαφορετικό τρόπο σε διαφορετικές περιοχές του κόσμου. Κρίνεται επιβεβλημένο, λοιπόν, να υπάρξουν έτοιμα σενάρια κλιματικής αλλαγής για τις επιπτώσεις της στο υδατικό ισοζύγιο και την αποφυγή δυσάρεστων κοινωνικοπολιτικών και οικονομικών συνθηκών. Για τη δημιουργία των σεναρίων αυτών έχουν αναπτυχθεί διάφορες μεθοδολογίες. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο του υδατικού ισοζυγίου του προγράμματος της υδρολογίας της συλλογής TechnoLogismiki Works 2012.

## Περιοχή μελέτης

Η λεκάνη απορροής της Γερμασόγειας βρίσκεται στην Κύπρο, βορειανατολικά της Λεμεσού. Η περιοχή αυτή επιλέχθηκε γιατί αντιμετωπίζει σημαντικά προβλήματα ξηρασίας και ήδη υφιστάμενοι ταμειυτήρες δεν λειτουργούν κανονικά. Η περιοχή μελέτης καταλαμβάνει έκταση 178 km<sup>2</sup> και το μήκος του κύριου υδατορέματος είναι περίπου 25 km. Το μέσο υψόμετρο της λεκάνης απορροής είναι 575,18 m, ενώ το μέγιστο υψόμετρο αγγίζει τα 1400 m. Ο ετήσιος μέσος όρος κατακρήμνισης είναι 638 mm, ενώ ο μέσος ετήσιος απορροϊκός όγκος είναι  $22,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ . Η μέση ετήσια παροχή συναντάται στα  $0,42 \text{ m}^3/\text{sec}$ .



Σχήμα 2. Περιοχή μελέτης.

## Μεθοδολογία

Το λογισμικό Works 2012 προσομοιώνει τον υδρολογικό κύκλο μιας λεκάνης απορροής σε μηνιαίο χρονικό βήμα. Οι βασικές παράμετροι εισόδου είναι η βροχόπτωση, η θερμοκρασία και οι μετρημένες τιμές παροχής, στοιχεία τα οποία μας είναι διαθέσιμα για τα υδρολογικά έτη 1986-1997. Το 80% από αυτά χρησιμοποιήθηκε για την εκπαίδευση του μοντέλου, ενώ το 20% για τον έλεγχο αυτού. Οι ημερήσιου βήματος χρονοσειρές κατακρημνίσεων, θερμοκρασιών και μετρημένων παροχών, μετατράπηκαν σε μηνιαίες και εισήχθησαν στο λογισμικό. Επόμενο βήμα ήταν ο καθορισμός της μεθόδου υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής. Οι διαθέσιμες μέθοδοι είναι των Penman-Montieth, των Blaney-Criddle και του Thornthwaite (Nielsen 1973). Στις δύο πρώτες μεθόδους χρειάζονται στοιχεία σχετικής υγρασίας, ταχύτητας ανέμου και η διάρκεια ηλιοφάνειας ημέρας. Για το λόγο αυτό, επιλέχθηκε η μέθοδος Thornthwaite, η οποία απαιτεί τα λιγότερα δεδομένα (Belmans 1983) από όλες τις μεθόδους, τη θερμοκρασία και το μέσο γεωγραφικό πλάτος σε μοίρες, το οποίο και υπολογίστηκε με το ArcGIS. Για την καλύτερη προσαρμογή του μοντέλου θα πρέπει να οριστούν οι συντελεστές ρύθμισης οι οποίοι είναι ο συντελεστής απορροής για κάθε μήνα, η μέγιστη εδαφική υγρασία (σε mm), το ποσοστό περισσεύματος νερού που απορρέει άμεσα  $K_1$ , το ποσοστό υπόγειων υδάτων που απορρέει από προηγούμενο

μήνα  $K_2$ , η θερμοκρασία με ελάχιστο ποσοστό βροχής  $T_0$  (σε °C), η θερμοκρασία που η κατακρήμνιση έχει μορφή βροχής  $T_1$  (σε °C), το ελάχιστο ποσοστό βροχής προς την συνολική κατακρήμνιση  $A$  και τέλος, ο ημερήσιος συντελεστής λιώσιματος χιονιού  $DF$  (Fotopoulos 2000). Επειδή τα παραπάνω δεδομένα δεν είναι στη διάθεση μας επιλέχθηκε η αυτορρύθμιση του μοντέλου σε όρια τα οποία ορίστηκαν από εμάς. Αυτή η δυνατότητα του μοντέλου είναι πολύ σημαντική εφόσον εξασφαλίζεται τόσο η ευχρηστία όσο και η αξιοπιστία του (Mimikou 2000). Ακολούθησε η εκτέλεση του μοντέλου και ο προσδιορισμός του δείκτη αυτοσυσχέτισης Nash. Εφόσον τα αποτελέσματα που προέκυψαν κρίθηκαν ιδιαίτερα ικανοποιητικά, επόμενο βήμα ήταν η επέκταση των χρονοσειρών κατά 100 έτη. Χρησιμοποιήθηκαν τα απλά στοχαστικά μοντέλα  $AR(1)$ ,  $AR(2)$ ,  $MA(1)$  και  $ARMA(1,1)$ . Τα  $AR(1)$  και  $AR(2)$  είναι αυτοπαλινδρομούμενα μοντέλα (AutoRegressive models, AR) γραμμικής παλινδρόμησης, όπου θεωρούμε ως εξαρτημένη μεταβλητή  $x_t$  την τυχαία μεταβλητή της χρονοσειράς σε μια χρονική στιγμή  $t$  και ως ανεξάρτητες μεταβλητές την τυχαία μεταβλητή της χρονοσειράς σε προηγούμενους χρόνους, δηλαδή τις  $x_{t-1}$ ,  $x_{t-p}$  (Cressie 1993). Ο αριθμός των υστερήσεων που συμπεριλαμβάνουμε λέγεται τάξη του αυτοπαλινδρομούμενου μοντέλου.

Ένα αυτοπαλινδρομούμενο μοντέλο τάξης  $p$  συμβολίζεται  $AR(p)$  και ορίζεται ως:

$$x_t = \varphi_0 + \varphi_1 x_{t-1} + \dots + \varphi_p x_{t-p} + z_t \quad (2)$$

όπου:

$\varphi_0, \varphi_1, \dots, \varphi_p$  είναι οι συντελεστές του μοντέλου και  $Z_t \sim iid$  με μέση τιμή 0 και διασπορά  $\sigma_z^2$ . Άρα το AR μοντέλο είναι γνωστό αν γνωρίζουμε τους συντελεστές και τη διασπορά του λευκού θορύβου. Στην πράξη οι συντελεστές του  $AR(p)$  μοντέλου, καθώς και η διασπορά του λευκού θορύβου, εκτιμώνται από τη χρονοσειρά και οι εκτιμήσεις τους χρησιμοποιούνται για την πρόβλεψη αυτής τις επόμενες χρονικές στιγμές (De Jong 1990).

Το  $MA(1)$  είναι μοντέλο κινούμενου μέσου όρου (moving-average MA) και ορίζεται από το τύπο:

$$X_t = \mu + z_t + \theta_1 z_{t-1} + \dots + \theta_q z_{t-q} \quad (3)$$

όπου:

$\mu$  ο μέσος όρος της χρονοσειράς,  $\theta_1, \theta_q$  οι συντελεστές του μοντέλου και  $z$ : ο λευκός θόρυβος του μοντέλου.

Το ARMA είναι το αυτοπαλινδρομούμενο μοντέλο κινούμενου μέσου (AutoRegressive Moving Average, ARMA) που δίνεται ως:

$$X_t = \varphi_0 + \varphi_1 x_{t-1} + \dots + \varphi_p x_{t-p} + z_t - \theta_1 z_{t-1} - \dots - \theta_q z_{t-q} \quad (4)$$

Το αυτοπαλινδρομούμενο μέρος (AR) είναι τάξης  $p$ , το μέρος του κινούμενου μέσου (MA) είναι τάξης  $q$  και το μοντέλο συμβολίζεται  $ARMA(p,q)$ .

Χρησιμοποιώντας το Portmanteau test (Haan 1997) επιλέχθηκαν οι χρονοσειρές (θερμοκρασίας, βροχόπτωσης) με τη καλύτερη προσαρμοστικότητα. Στη συνέχεια έγινε

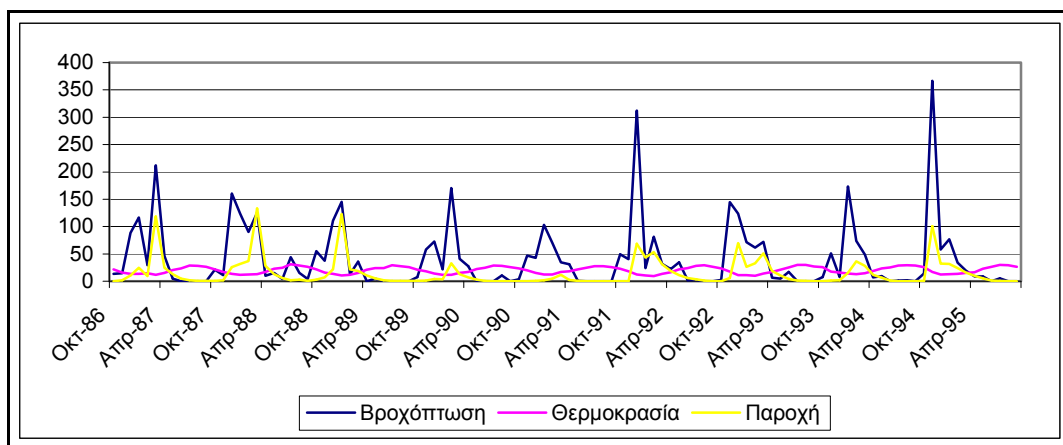
εκλογή των σεναρίων κλιματικής αλλαγής που χρησιμοποιήθηκαν στο μοντέλο του υδατικού ισοζυγίου. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να αναφερθεί ότι ένα σενάριο αλλαγής κλίματος δεν είναι μια πρόγνωση ή μια πρόβλεψη υπό την έννοια των καιρικών προγνώσεων των επόμενων ημερών, αλλά μάλλον μπορεί να θεωρηθεί ως μια συνεκτική, συνεπής και εύλογη περιγραφή μιας πιθανής μελλοντικής κατάστασης του κόσμου (Hewitson 1996). Τέτοια σεσάρια κατασκευάζονται με τη χρήση των παγκόσμιων μοντέλων κλίματος (GCMs). Αυτά είναι μαθηματικές απεικονίσεις του κλιματικού συστήματος, βασισμένες στους φυσικούς νόμους όπως η διατήρηση της μάζας, της ενέργειας και της ορμής. Τα σεσάρια κλιματικής αλλαγής που εφαρμόσαμε είναι το HadCM2, ECHAM4, GFDL R-15, CSIRO-MK2, CGCM1, NCAR και το CCSR-98. Στο παρακάτω πίνακα εμφανίζονται περισσότερες πληροφορίες (Hulme 1994, Mimikou 1999, Mimikou 2005).

**Πίνακας 1.** Τα σεσάρια κλιματικής αλλαγής που χρησιμοποιήθηκαν.

Μοντέλο	Προέλευση	Πληροφορίες
HadCM2	Hadley Centre for Climate Prediction and Research (Αγγλία)	Το HadCM2 έχει δημιουργηθεί από τη διεξαγωγή μιας σειράς πειραμάτων κλιματικών αλλαγών, λαμβάνοντας υπόψη διαταραχές τόσο από τις διαφοροποιήσεις των συγκεντρώσεων των αερίων που προκαλούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου όσο και από το συνδυασμό τους με ενώσεις που περιέχουν θείο.
ECHAM4	Max Planck Institute for Meteorology (Γερμανία)	Δημιουργήθηκε από την τροποποίηση παγκόσμιων μοντέλων πρόβλεψης του European Centre for Medium-Range Weather Forecasts ώστε να χρησιμοποιηθεί για την έρευνα του κλίματος.
GFDL R-15	Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (Αμερική)	Το GFDL R-15 δημιουργήθηκε από πειράματα κλιματικής αλλαγής που χρησιμοποιούν το σενάριο IS92a των παρελθοντικών και των μελλοντικών εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου σε συνδυασμό με τα αερολύματα θεικών ενώσεων (Gsa1) για την περίοδο 1765-2065.
CSIRO-MK2	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (Αυστραλία),	Το CSIRO είναι ένα συζευγμένο μοντέλο που περιλαμβάνει την παγκόσμια ατμόσφαιρα, την ατμόσφαιρα των ωκεανών, τον θαλάσσιο πάγο, καθώς και διάφορα βιοσφαιρικά υπομοντέλα. Η ροή του μοντέλου προσαρμόζεται πλήρως σύμφωνα με τα επίπεδα του CO <sub>2</sub> .
CGCM1	Canadian Centre for Climate Modeling and Analysis	Το μοντέλο χρησιμοποιεί ως μεταβλητή την υγρασία, και ένα διαδραστικό σύστημα μετατροπή αυτής σε θερμοκρασία σε σχέση με την ακτινοβολία θέρμανσης.
NCAR	National Center for Atmospheric Research (Αμερική)	Το μοντέλο δημιουργήθηκε από ένωση 4 ανεξάρτητων μοντέλων ατμόσφαιρας, ωκεανών, θαλάσσιου πάγου και αναγλύφου της γης.
CCSR-98	Japanese Center for Climate Research Studies	Το μοντέλο δημιουργήθηκε από την αλληλεπίδραση υπομοντέλων ατμόσφαιρας, ωκεανών και αναγλύφου της γης.

## Αποτελέσματα

Το πρώτο βήμα στην εκπαίδευση του μοντέλου ήταν η εισαγωγή των χρονοσειρών με μηνιαίο χρονικό βήμα και η εκλογή της μεθόδου εξατμισοδιαπνοής. Τα δεδομένα εισόδου εμφανίζονται στο παρακάτω γράφημα.



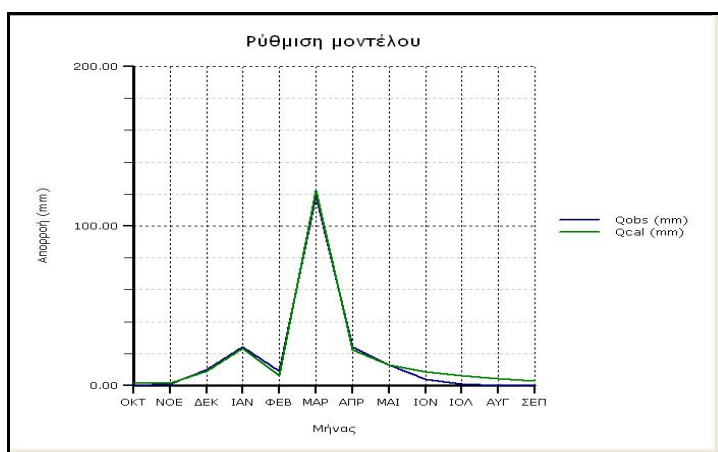
**Σχήμα 3.** Γραφική απεικόνιση των δεδομένων εισόδου.

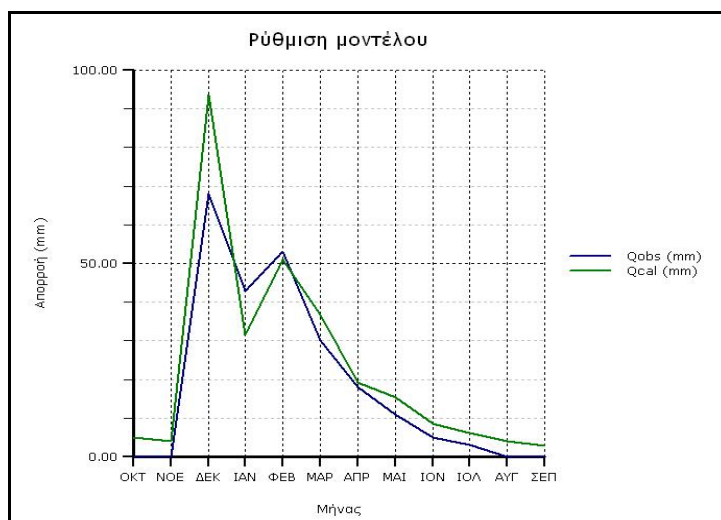
Λόγω των περιορισμών στην ύπαρξη των δεδομένων καταλήξαμε στη μέθοδο Thornthwaite που απαιτεί, εκτός της θερμοκρασίας, το μέσο γεωγραφικό πλάτος της λεκάνης το οποίο υπολογίστηκε σε  $34,4^\circ$ . Για την καλύτερη βαθμονόμηση του μοντέλου επιλέχθηκε η αυτορρύθμισή του, όπως έχει ήδη προαναφερθεί, μέσα σε όρια που ορίστηκαν από εμάς και τα οποία εμφανίζονται στον πίνακα 2.

**Πίνακας 2.** Όρια αυτορρύθμισης μοντέλου.

Επιλέξτε τα όρια των παρακάτω αυτορυθμιζόμενων μεταβλητών.		
	Από	Έως
Μέγιστη εδαφική υγρασία (mm)	100.0000	200.0000
Ποσοστό περισεύματος νερού που απορρέει άμεσα K1	0.1000	0.4000
Ποσοστό υπόγειων υδάτων που απορρέει από προηγούμενο μήνα K2	0.1000	0.3500
Θερμοκρασία με ελάχιστο ποσοστό βροχής T0 (°C)	-2.0000	0.0000
Θερμοκρασία που η κατακρήμνιση έχει μορφή βροχής T1 (°C)	2.0000	5.0000
Ελάχιστο ποσοστό βροχής προς τη συνολική κατακρήμνιση A	0.2000	0.7000
Ημερήσιος συντελεστής λιωσίματος χιονιού, DF (mm deg/day)	0.4000	0.8000
Μηνιαίοι συντελεστές απορροής (καινό όριο)	0.1000	0.4000

Ακολούθησε η εφαρμογή του μοντέλου. Ο μέσος συντελεστής Nash υπολογίστηκε σε 0,85 με μέγιστη τιμή 0,99 και ελάχιστη 0,81, όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 4.





**Σχήμα 4.** Γραφική αναπαράσταση ρύθμισης μοντέλου.

Στη συνέχεια, έγινε επέκταση των χρονοσειρών για τα επόμενα 100 χρόνια με χρήση των απλών στοχαστικών μοντέλων AR(1), AR(2), MA(1) και ARMA (1,1). Με χρήση του test Portmanteau και σύγκριση των μοντέλων ανά ένα τελικά επιλέχθηκε το AR(2). Τα κύρια αποτελέσματα που μας ενδιαφέρουν είναι η παροχή και η εξατμισοδιαπνοή. Στον πίνακα 3 που ακολουθεί εμφανίζεται η μέση υπερετήσια παροχή για κάθε μήνα τόσο για το σενάριο αναφοράς, χωρίς επίδραση της κλιματικής αλλαγής, όσο και για τα διάφορα μοντέλα κλιματικής αλλαγής.

**Πίνακας 3.** Μέση μηνιαία υπερετήσια παροχή.

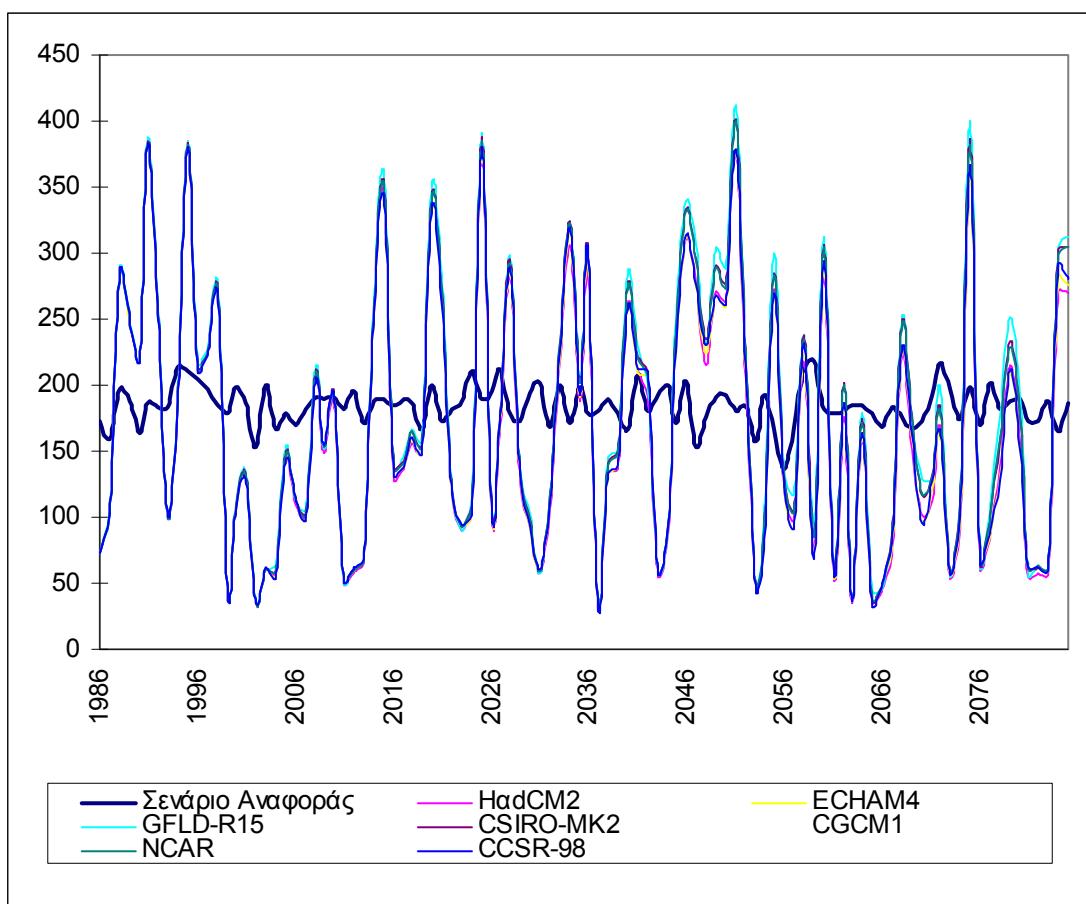
	Ο	Ν	Δ	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Σύνολο	Σενάρια
<b>Μέσος Όρος</b>	2.90	5.64	21.70	35.59	32.59	49.42	14.18	8.87	5.47	3.96	2.53	1.48	184.33	Σενάριο Αναφοράς
<b>Μέσος Όρος</b>	2.89	5.42	18.74	31.57	29.55	45.18	12.07	7.52	4.67	3.54	2.25	1.27	164.67	HadCM2
<b>Μέσος Όρος</b>	2.89	5.36	17.98	30.58	29.62	47.37	12.44	7.76	4.79	3.64	2.31	1.30	166.04	ECHAM4
<b>Μέσος Όρος</b>	<b>3.03</b>	<b>5.77</b>	21.30	34.73	31.96	46.72	13.09	8.20	5.09	3.83	2.44	1.39	177.55	GFDL-R15
<b>Μέσος Όρος</b>	<b>3.00</b>	5.64	19.61	32.75	31.27	48.13	13.08	8.18	5.07	3.83	2.43	1.37	174.36	CSIRO-MK2
<b>Μέσος Όρος</b>	<b>2.99</b>	5.60	19.57	32.76	31.56	48.50	13.16	8.24	5.11	3.86	2.45	1.39	175.19	CGCM1
<b>Μέσος Όρος</b>	<b>3.02</b>	<b>5.65</b>	19.71	32.42	30.84	47.95	12.90	8.06	5.00	3.81	2.41	1.36	173.13	NCAR
<b>Μέσος Όρος</b>	2.84	5.31	17.75	30.65	29.89	48.24	12.65	7.90	4.88	3.69	2.33	1.32	167.45	CCSR-98

Για να εξαχθούν λεπτομερέστερα συμπεράσματα για τις μελλοντικές τιμές της απορροής δημιουργήθηκε το παρακάτω γράφημα για τα έτη 1986-2086 (σχήμα 5) ενώ τα ποσοστά διαφοροποίησης των μέσων υπερετήσιων παροχών εμφανίζονται στον πίνακα 4.

Τέλος, εκτιμήθηκε η ετήσια εξατμισοδιαπνοή με τη μέθοδο Thornthwaite που αποτυπώνεται στο σχήμα 6.

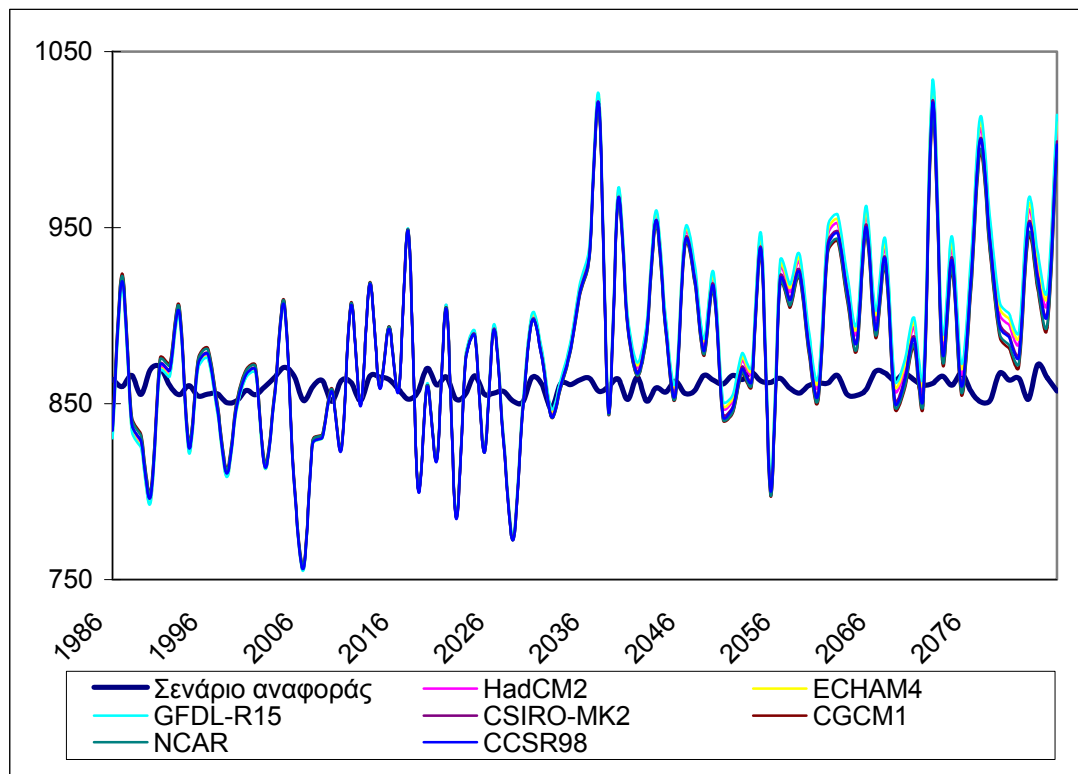
**Πίνακας 4.** Ποσοστιαία διαφοροποίηση μέσης μηνιαίας υπερετήσιας παροχής.

	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΣΥΝ	Σενάριο
Μέσος Όρος	2.90	5.64	21.70	35.59	32.59	49.42	14.18	8.87	5.47	3.96	2.53	1.48	184.33	Σενάριο Αναφοράς
Μέσος Όρος	-0.34%	-3.90%	-13.64%	-11.30%	-9.33%	-8.58%	-14.88%	-15.22%	-14.63%	-10.61%	-11.07%	-14.19%	-10.67%	HadCM2
Μέσος Όρος	-0.34%	-4.96%	-17.14%	-14.08%	-9.11%	-4.15%	-12.27%	-12.51%	-12.43%	-8.08%	-8.70%	-12.16%	-9.92%	ECHAM4
Μέσος Όρος	4.48%	2.30%	-1.84%	-2.42%	-1.93%	-5.46%	-7.69%	-7.55%	-6.95%	-3.28%	-3.56%	-6.08%	-3.68%	GFDL-R15
Μέσος Όρος	3.45%	0.00%	-9.63%	-7.98%	-4.05%	-2.61%	-7.76%	-7.78%	-7.31%	-3.28%	-3.95%	-7.43%	-5.41%	CSIRO-MK2
Μέσος Όρος	3.10%	-0.71%	-9.82%	-7.95%	-3.16%	-1.86%	-7.19%	-7.10%	-6.58%	-2.53%	-3.16%	-6.08%	-4.96%	CGCM1
Μέσος Όρος	4.14%	0.18%	-9.17%	-8.91%	-5.37%	-2.97%	-9.03%	-9.13%	-8.59%	-3.79%	-4.74%	-8.11%	-6.08%	NCAR
Μέσος Όρος	-2.07%	-5.85%	-18.20%	-13.88%	-8.28%	-2.39%	-10.79%	-10.94%	-10.79%	-6.82%	-7.91%	-10.81%	-9.16%	CCSR-98



**Σχήμα 5.** Ετήσια απορροή 1986-2086.





**Σχήμα 6.** Ετήσια εξατμισοδιαπνοή 1986-2086.

### Συμπεράσματα

Από τα αποτελέσματα προκύπτει ότι γενικά η παροχή θα μειωθεί σημαντικά για τα επόμενα χρόνια. Παρατηρείται από τα αποτελέσματα ότι στο δυσμενέστερο σενάριο (HadCM2) κλιματικής αλλαγής η πτώση για την υπερετήσια παροχή θα είναι -10,67% ενώ στο πιο ήπιο σενάριο (GFDL-R15) η πτώση θα είναι -3,68%. Επίσης θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη έμφαση στην κατανομή της υδατοπαροχής στη διάρκεια αυτών των ετών διότι η μείωση των παροχών κατά την πολύμοβρη περίοδο θα είναι ακόμη δυσμενέστερη. Επίσης κατά την πρώτη περίοδο παρατηρείται μια σημαντική αύξηση της υπερετήσιας παροχής και εν συνεχεία ακολουθούν έτη με πολύ χαμηλότερη παροχή. Οι προοπτικές λοιπόν δεν είναι ευοίונες, αφού εκτιμάται ότι θα ενσχύσουν ακραία καιρικά φαινόμενα τα οποία θα οδηγήσουν σε πλημμυρικά γεγονότα, με αυξανόμενη συχνότητα στο μέλλον. Η σημαντική μείωση της παροχής σε επερχόμενα έτη ενδέχεται να προκαλέσει την εμφάνιση έντονων και παρατεταμένων φαινομένων ξηρασίας. Γενικότερα οι επικείμενες κλιματικές μεταβολές (άνοδος της θερμοκρασίας και μείωση των κατακρημνισμάτων) θα επηρεάσουν αρνητικά το δυναμικό εξατμισοδιαπνοής και κατ' επέκταση το διαθέσιμο εδαφικό νερό, ουσιαστικοί παράγοντες στον καθορισμό του επιπέδου παραγωγής, της σταθερότητας και της επιβίωσης των φυσικών οικοσυστημάτων. Επιπλέον, οι αναμενόμενες μεταβολές θα σημάνουν αύξηση του κινδύνου πυρκαγιών, μείωση της πυκνότητας της βλάστησης, έκθεση του εδάφους σε επιφανειακή και χαραδρωτική διάβρωση, μειωμένη ρυθμιστική ικανότητα απορροής των κατακρημνισμάτων και συνεπώς ελάττωση της ποσότητας του διαθέσιμου χρησιμοποιήσιμου νερού. Για την αποφυγή όλων των αρνητικών συνεπειών της κλιματικής αλλαγής επιβάλλεται η λήψη στρατηγικών μέτρων πρόληψης.

Επιγραμματικά, ορισμένα από αυτά είναι επέκταση του δικτύου συλλογής βροχής, κατασκευή διάφορων τεχνικών έργων για προστασία από πλημμύρες σε συνδυασμό με την εφαρμογή τεχνικών αποθήκευσης και διατήρησης του πλημμυρικού υδάτινου φορτίου (Russo 1992). Επίσης, η υπάρχουσα βλάστηση λόγω του ρυθμιστικού και προστατευτικού της ρόλου στα διάφορα φαινόμενα (πλημμύρες, ξηρασία) πρέπει να διατηρηθεί και να ενισχυθεί, όπου αυτό κρίνεται αναγκαίο, με μέτρα όπως δασώσεων και αναδασώσεων, με αειφορική διαχείριση των δασών, καθώς και επιβολή νομοθεσιών για τις χρήσεις γης. Σε πολιτικό επίπεδο, είναι αναγκαία η ύπαρξη ολοκληρωμένου σχεδίου διαχείρισης των υδατικών πόρων καθώς και η εφαρμογή ενιαίας εθνικής πολιτικής για τη διαχείριση του νερού.

## **Βιβλιογραφία**

- Baltas, E., Mimikou, M. and Fragkiskou, Aik. (2012). Hydrological balance and application of the MedWater Model on Naxos Island, *Water International* 37:1, pp. 32-42.
- Belmans, C., Wesseling J.G. and Feddes, R.A. (1983). Simulation model of the water balance of a cropped soil. *SWATRE., J. of Hydrology* 63, pp. 271-286
- Cressie, N.A.C. (1993). *Statistics for spatial data (Revised Edition)*. Wiley Series in Probability and Mathematical Statistics.
- De Jong, R. and Kabat, P. (1990). Modeling water balance and grass production. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54, pp. 1725-1732.
- Fotopoulos, F (2000). Impacts of climate change in the hydrological cycle and Polyfytto reservoir at Aliakmon River, MSc Thesis, NTUA, Greece (*in Greek*).
- Haan, C.T. (1977). *Statistical methods in Hydrology*. The Iowa State University Press, Ames, Iowa 50010.
- Hewitson, B.C. and Crane, R.G. (1996) Climate downscaling: techniques and application. *Climate Res.* 7, pp. 85-95.
- Hulme, M., Conway, D., Brown, O. and Barrow, E. (1994). A 1961–90 baseline climatology and future change scenarios for Great Britain and Europe Part III. *Climatic Research Unit of East England, Norwich, UK*.
- Mimikou, M., Kanellopoulou, S. and Baltas, E. (1999). Human implication of changes in the hydrological regime due to climate change in northern Greece. *Global Environ. Change JGEC* 9, pp. 139-156.
- Mimikou, M. and Fotopoulos, F. (2005). Regional Effects of Climate change on Hydrology and Water Resources. Proc. International conference VII IAHS Assembly, 3-9 April 2005 Brazil.
- Mimikou, M., Fotopoulos, F., Baltas, E. and Varanou, E. (2000). Regional Effects of Climate Change on Hydrology and Water Resources. Proc. International Conference on Protection and Restoration of the Environment. July 2000. Thassos. Greece.
- Nielsen, D.R., Biggar, J.W. and Erh, K.T. (1973). Spatial variability of field-measured soil-water properties. *Hilgardia* 42(7), pp. 215-259.
- Sharma, M.L., Gander G.A. and Hunt, C.G. (1989). Spatial variability of infiltration in a watershed. *J. of Hydrology* (45), pp. 101-122.
- Russo, D. and Bouton, M. (1992). Statistical analysis of spatial variability in unsaturated flow parameters. *Water Resour. Res.* 28(7), pp. 1911-1925.

## **ΟΙ ΥΔΑΤΟΣΤΕΡΕΟΜΕΤΑΦΟΡΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΙ Η ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΧΕΙΜΑΡΡΟΥ ΜΥΡΙΧΟΥ**

### **Αικατερίνη Κάλφα**

Msc Δασολόγος – Περιβαλλοντολόγος, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης  
Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος  
Εργαστήριο Διευθέτησης Ορεινών Υδάτων  
e-mail: [katekalfa@for.auth.gr](mailto:katekalfa@for.auth.gr)

### **Χαρίσιος Γκανάτσιος**

Δρ. Δασολόγος – Υδρολόγος Ι.Δ.Α.Χ, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης  
Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος  
Εργαστήριο Διευθέτησης Ορεινών Υδάτων  
e-mail: [cganats@for.auth.gr](mailto:cganats@for.auth.gr)

### **Βασίλειος Παπαθανασίου**

Msc Δασολόγος – Χειμαρρολόγος, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης  
Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος  
Εργαστήριο Διευθέτησης Ορεινών Υδάτων  
e-mail: [bparatha@yahoo.gr](mailto:bparatha@yahoo.gr)

### **Θεοφάνης Παυλίδης**

Επίκουρος Καθηγητής, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης  
Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος  
Εργαστήριο Διευθέτησης Ορεινών Υδάτων  
e-mail: [pavlth@for.auth.gr](mailto:pavlth@for.auth.gr)

### **Κυριάκος Τσεμπερίδης**

Δρ. Δασολόγος – Χειμαρρολόγος, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης  
Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος  
Εργαστήριο Διευθέτησης Ορεινών Υδάτων  
e-mail: [kit76@for.auth.gr](mailto:kit76@for.auth.gr)

## **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Ο χείμαρρος Μύριχος εδράζεται στις ΝΔ κλιτύες του Μουρικίου όρους και στις Β, ΑΔ και Δ κλιτύες του Άσκιου όρους, σε υψομετρικό χώρο μεταξύ 1000-2111μ. Η χειμαρρική δράση του Μύριχου είναι γνωστή από την αρχαιότητα (αναφέρεται στην Ιλιάδα του Ομήρου), με την πλημμυρογόνα δράση του να μεγιστοποιείται την περίοδο 1930-1960, γεγονός που οδήγησε στην επέμβαση της Δασικής Υπηρεσίας. Ο χείμαρρος Μύριχος σταδιακά, στα πλαίσια της εφαρμογής της προστατευτικής αρχής και την υλοποίηση των προστατευτικών τεχνικών και αναδασωτικών έργων και τη ρύθμιση της ανεξέλεγκτης βόσκησης, που υλοποίησε η Δασική Υπηρεσία, απόσβεσε σε μεγάλο βαθμό την πλημμυρική υδατοστερεομεταφορική του δραστηριότητα.

Στην παρούσα εργασία, ερευνώνται οι υδατοστερομεταφορικές συνθήκες (μέγιστες υδατοστεροεπαροχές) και ελέγχεται η παροχευτική ικανότητα και η πλημμυρική επικινδυνότητα του χειμάρρου κατά μήκος της κεντρικής του κοίτης, περί τις θέσεις συμβολής των κύριων συμβαλλόντων κλάδων του.

**Λέξεις κλειδιά:** Χείμαρρος Μύριχος, Χειμαρρικό Δυναμικό, Σύστημα διευθέτησης.

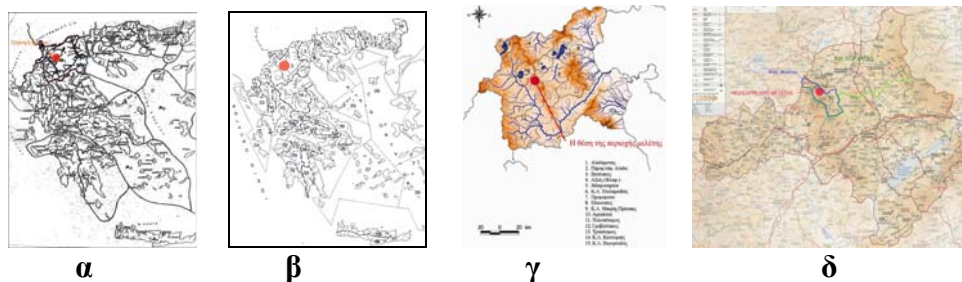
### Εισαγωγή, ιστορικό, περιοχή έρευνας

Ο χείμαρρος Μύριχος αποτελεί έναν από τους κύριους συμβάλλοντες του μέσου ρου του Αλιάκμονα. Ο Μύριχος έχει πλούσιο πλημμυρικό παρελθόν με συχνά και έντονα πλημμυρικά φαινόμενα, όπως η πλημμύρα του 1935, κατά την οποία καταστράφηκαν 6 παρόχθιες οικίες και υπέστησαν ζημιές άλλες 32 και η οποία οδήγησε στη διευθέτησή του από τη Δασική Υπηρεσία (1958-1965). Επισημαίνεται ότι πριν τα έργα τεχνικής και φυτοτεχνικής διευθέτησης του χειμάρρου (Εικ. 1α,β) της Δασικής Υπηρεσίας (1958-1965, συντάκτης ο Δασολόγος Α. Πήττας), μετά από μεγάλη ή μικρή πλημμύρα το πεδινό τμήμα του χειμάρρου, στο ύψος του Σισανίου, πλάτους 80-200m καταλαμβάνονταν από πλημμυρικά νερά, ενώ και ο οικισμός της Βλάστης υπέφερε από συνεχείς πλημμύρες. Στη μελέτη διευθέτησης αναφέρεται ότι κάθε χρόνο κατακλύζονταν προσωρινά 2.000 περίπου στρέμματα στην περιοχή Σισανίου και Λαχανόκηπων Εράτυρας. Σήμερα με τη σταδιακή, λόγω της απαγόρευσης και της ρύθμισης της βοσκής, αύξηση της φυσικής βλάστησης και τις υδρονομικές αναδασώσεις του 1958-1965 τα πλημμυρικά φαινόμενα βαίνουν συνεχώς μειούμενα, με την επισήμανση ότι το πλημμυρικό πρόβλημα του Μύριχου στην κοινότητα της Βλάστης έχει τελείως εξαλειφθεί και στο Σισάνιο και τους λαχανόκηπους Εράτυρας έχει αντιμετωπισθεί σε πολύ μεγάλο βαθμό.



**Εικόνα 1.** Απόψεις των έργων διευθέτησης στο χείμαρρο Μύριχο.

Στο Σχήμα 1α,β,γ δίνεται η θέση του Μύριχου στο ελλαδικό χειμαρρικό σύστημα και στο υδατικό διαμέρισμα του Αλιάκμονα (Υδατική Περιφέρεια της Δυτικής Μακεδονίας, Κωδ. Β<sub>1</sub>). Η μελετούμενη λεκάνη του Μύριχου αναπτύσσεται ανάντη της γέφυρας της Παλαιάς Εθνικής Οδού Θεσσαλονίκης – Καστοριάς (Σχ. 1δ).



**Σχήμα 1α,β,γ,δ.** Η θέση του Μύριχου α) στο χειμαρρικό ελλαδικό σύστημα, β,γ) στο υδατικό διαμέρισμα Αλιάκμονα κωδ. Β<sub>1</sub>) και δ) η λεκάνη του χειμάρρου με τη θέση συμβολής της στον Αλιάκμονα και με τη θέση του κλεισίματος του χειμάρρου στην Παλαιά Εθνική Οδό Θεσ/νίκης - Καστοριάς.

### Μέθοδος έρευνας

Η ακολουθούμενη μέθοδος έρευνας έχει ως εξής:

1. Μετά τη χάραξη του υδροκρίτη του χειμάρρου Μύριχου σε χάρτη της Γ.Υ.Σ. κλίμακας 1:50.000 (φύλλο Σιάτιστα), διακριτοποιήθηκαν οι επιμέρους συμβάλλοντες κλάδοι του και υπολογίστηκαν τα μορφομετρικά και υδρογραφικά στοιχεία του χειμάρρου και των κύριων συμβαλλόντων του (Τσακίρης 1995, Κωτούλας, 2001, Παυλίδης 2005).
2. Οι γεωλογικές-πετρογραφικές συνθήκες προήλθαν από τον γεωλογικό χάρτη κλίμακας 1:50.000 του Ι.Γ.Μ.Ε (φύλλο Σιάτιστα). Στη συνέχεια τα απαντώμενα πετρώματα εντάχθηκαν σε χειμαρρικούς πετρολογικούς σχηματισμούς (Κωτούλας 1969, 1979).
3. Από τους εγγύς στη μελετούμενη λεκάνη Μ.Σ. και Β.Σ., (Σχ. 2, Πίν. 1), επιλέχθηκε, για τον υπολογισμό των ανηγμένων στο μέσο υψόμετρο της λεκάνης κλιματικών στοιχείων (Βροχοπτώσεις  $P_m$ , Θερμοκρασία αέρα  $T_m$ ), ως σταθμός βάσης, ο πληρέστερος και με μεγαλύτερη διάρκεια λειτουργίας Μ.Σ. Πτολεμαΐδας. Για τον υπολογισμό των ανηγμένων, στα μέσα υψόμετρα της λεκάνης και των συμβαλλόντων του χειμάρρου Μύριχου, κλιματικών στοιχείων χρησιμοποιήθηκε η τοπική βροχοβαθμίδα ( $\Delta P_m = 51,87\text{mm}/100\text{m}$ ) και θερμοβαθμίδα ( $\Delta T_m = -0,602^\circ\text{C}/100\text{m}$ ). Η βροχοβαθμίδα και θερμοβαθμίδα της περιοχής προήλθαν, από τις προσαρμοσμένες ευθείες συσχέτισης (Σχ. 3α,β) των στοιχείων των Μ.Σ και Β.Σ. έρευνας (Σχ. 2, Πίν. 1) και τα κλιματικά στοιχεία του Μ.Σ. Πτολεμαΐδας. Ο υπολογισμός τους έγινε με επίλυση των ακόλουθων σχέσεων:

$$P_m = P_o + (\Delta P_m \cdot \Delta H)$$

$$T_m = T_o + (\Delta T_m \cdot \Delta H)$$

όπου:

$P_m$  = το μέσο ετήσιο ανηγμένο ύψος βροχής στο μέσο υψόμετρο της λεκάνης (mm).

$P_o$  = το μέσο ετήσιο ύψος βροχής του Μ.Σ. Πτολεμαΐδας ( $P_o = 535,8\text{mm}/\text{έτος}$ ).

$\Delta P_m$  = η μέση ετήσια βροχοβαθμίδα της περιοχής ( $P_H = 51,87\text{mm}/100\text{m}$ ).

$T_m$  = η μέση ετήσια θερμοκρασία στο μέσο υψόμετρο της λεκάνης σε mm.

$T_o$  = η μέση θερμοκρασία του σταθμού αναφοράς ( $T_o = 11,6^\circ\text{C}$ ).

$\Delta T_m$  = η μέση θερμοβαθμίδα της περιοχής ( $T_H = -0,60^\circ\text{C}/100$ ).

$\Delta H$  = η υψομετρική διαφορά του Μ.Σ. Πτολεμαΐδας ( $H_o = 601\text{m}$ ) και του μέσου υψόμετρου  $H_m$  κάθε λεκάνης (m).

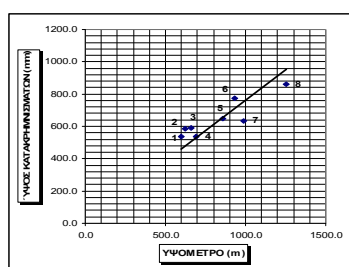
**Πίνακας 1.** Στοιχεία των εγγύς της λεκάνης Μ.Σ και Β.Σ.

Σταθμός	Συντεταγμένες		Υψόμετρο	Φορέας	Περίοδος	Περίοδος	Διάρκεια
	Γ.Π.	Γ.Μ.	(m)			(έτος)	(έτη)
Ι. Σε λειτουργία ευρισκόμενοι σταθμοί							
Πτολεμαΐδα	40°30'	21°40'	601	E.M.Y.	1951-	1951-1994	44
Κοζάνη	40°18'	21°47'	625	E.M.Y.	1936-	1932-	31

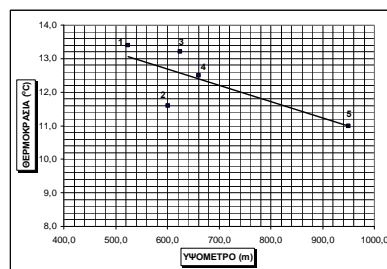
					1949-	1936, 1949-1975	
Καστοριά	40°27'	21°17'	669	Ε.Μ.Υ.	1965-	1935-1940 1980-1999	26
Σιάτιστα	40°16'	21°33'	930	ΥΠ.ΔΕ	1965-	1969-1988	19
Γαλατινή	40°19'	21°33'	990	ΥΠ.ΔΕ	1965-	1969-1988	19
Κλεισούρα	40°32'	21°28'	1250	Δ.Ε.Η.	1965-	1969-1988	19
Σισάνιο	40°26'	21°30'	860	Δ.Ε.Η.	1965-	1969-1988	19
Π. Σταθμοί που διέκριναν τη λειτουργία τους							
Εμπορίου	40°30'	21°32'	690	ΥΠΓΕ	1978-	1978-1983	5



Σχήμα 2. Οι θέσεις των εγγύς της λεκάνης του Μύριχου Β.Σ και Μ.Σ.



α



β

Σχήμα 3α,β. Ευθύγραμμη συσχέτιση υψομέτρου και ύψους βροχής (Σχ. 3α) και υψομέτρου και θερμοκρασίας αέρα (Σχ. 3β). (1 = Μ.Σ. Πτολεμαΐδας, 2 = Μ.Σ. Κοζάνης, 3 = Μ.Σ. Καστοριάς, 4 = Β.Σ. Εμπορίου, 5 = Β.Σ. Σισανίου, 6 = Β.Σ. Σιάτιστας, 7 = Β.Σ. Γαλατινής, 8 = Β.Σ. Κλεισούρας και 9 = Μ.Σ. Γρεβενών.

4. Από στοιχεία ορθοφωτοχαρτών, δασοπονικών χαρτών, δορυφορικών εικόνων και από επιτόπιες επισκέψεις καθορίστηκαν οι συνθήκες βλάστησης της λεκάνης.

5. Ο υπολογισμός της μέγιστης υδατοπαροχής ( $\max Q_{100}$ ), της μέγιστης στερεοπαροχής ( $\max G_{100}$ ) και της μέγιστης υδατοστερεοπαροχής ( $\max W_{100} = \max Q_{100} + \max G_{100}$ ) έγινε στις θέσεις συμβολής των συνιστωσών κλάδων του χειμάρρου Μύριχου (Σχ. 4, Πίν. 2). Η μέγιστη υδατοπαροχή ( $\max Q_{100}$ ), υπολογίστηκε με τους ακόλουθους δοκιμασμένους στον ελλαδικό χώρο τύπους (Κωτούλας 2001, Παυλίδης 2005, Στεφανίδης 2007):

Τύπος Kursteirner:  
Τύπος Henry-Boot

$$\max Q_{100} = A * F^{1/3}$$

$$\max Q_{100} = a * F^{0.75}$$

**Ορθολογική μέθοδος**

$$\max Q_{100} = 0,278 \cdot c \cdot \max i_{100} \cdot F$$

όπου: (A = 9-15 και a = 3,3÷6,7 ανάλογα με το μέγεθος των λεκανών), c = συντελεστής απορροής,  $\max i_{100}$  = μέγιστη ένταση βροχής,  $t_c = t_c$

**Πίνακας 2.** Θέσεις υπολογισμού υδατοπαροχών στο χειμάρρο Μύριχο και τις υπολεκάνες (Σχ. 4).

Θέσεις	Εκφορτιζόμενες λεκάνες απορροής	Ένδειξη
Θέση 1:	Πέρασ κεντρικής κοίτης P. Ανώτερης Κεντρικής Λεκάνης (Κωδ. 8)	$\max Q_{100}$ , $\min Q_{100}$
Θέση 2:	Πέρασ κεντρικής κοίτης P. Αωνόμου (Κωδ. 7)	$\max Q_{100}$
Θέση 3:	Κατάντη της συμβολής των κλάδων με κωδικό 7 και 8	$\max Q_{100}$
Θέση 4:	Πέρασ κεντρικής κοίτης P. Καραδόλακα (Κωδ. 6)	$\max Q_{100}$
Θέση 5:	Κατάντη της συμβολής του κλάδου 6 στην κεντρική κοίτη του Μύριχου	$\max Q_{100}$
Θέση 6:	Πέρασ κεντρικής κοίτης P. Νάματα (Κωδ. 9)	$\max Q_{100}$
Θέση 7:	Κεντρική κοίτη Μύριχου κατάντη της συμβολής του P. Νάματα	$\max Q_{100}$
Θέση 8:	Πέρασ κεντρικής κοίτης P. Αγ. Παντελεήμονα (Κωδ. 5)	$\max Q_{100}$
Θέση 9:	Κατάντη συμβολής P. Αγ. Παντελεήμονα στην κοίτη του Μύριχου (Υπολεκάνες 5 έως,9)	$\max Q_{100}$
Θέση 10:	Πέρασ κεντρικής κοίτης P. Αγ. Δημητρίου (Κωδ. 4)	$\max Q_{100}$
Θέση 11:	Κατάντη συμβολής Αωνόμου P. στην κοίτη του Μύριχου (Υπολεκάνες 4, 5, 6, 7, 8, 9)	$\max Q_{100}$
Θέση 12:	Πέρασ κεντρικής κοίτης P. Παναγιάς (Κωδ. 3)	$\max Q_{100}$
Θέση 13:	Κατάντη της συμβολής του P. Παναγιάς στην κοίτη του Μύριχου (Υπολεκάνες 3 έως 9)	$\max Q_{100}$
Θέση 14:	Πέρασ κεντρικής κοίτης P. Πιπιλιστινός Λάκκος (Κωδ. 10)	$\max Q_{100}$
Θέση 15:	Κατάντη συμβολής του Πιπιλιστινού P. στην κοίτη του Μύριχου (Υπολεκάνες 3-10)	$\max Q_{100}$
Θέση 16:	Πέρασ κεντρικής κοίτης P. Σουρκάλα (Κωδ. 11)	$\max Q_{100}$
Θέση 17:	Κατάντη της συμβολής του P. Σουρκάλα στην κοίτη Μύριχου (Υπολεκάνες 3-11)	$\max Q_{100}$
Θέση 18:	Πέρασ κεντρικής κοίτης P. Μπιστριώτικος Λάκκος (Κωδ. 2)	$\max Q_{100}$
Θέση 19:	Κατάντη συμβολής P. Μπιστριώτικος στην κοίτη του Μύριχου (Υπολεκάνες 2-11)	$\max Q_{100}$
Θέση 20:	Πέρασ κεντρικής κοίτης P. Σκουληκάρι (Κωδ.9)	$\max Q_{100}$
Θέση 21:	Συνολική λεκάνη	$\max Q_{100}$

- Ο χρόνος συγκέντρωσης  $t_c$  υπολογίστηκε με τον τύπο του Giandotti:

$$t_c = [(4 \cdot F^{1/2}) \cdot (1,5 L_k)] / [0,8 \cdot (H_m - H_{min})^{1/2}]$$

όπου:

$t_c$  = χρόνος συγκέντρωσης (ώρες)

$F$  = εμβαδόν λεκάνης ( $km^2$ )

$L$  = μήκος της κεντρικής κοίτης (km)

$H_m, H_{min}$  = μέσο ( $H_m$ ) και ελάχιστο ( $H_{min}$ ) υψόμετρο της λεκάνης (m).

6. Η μέγιστη στερεοπαροχή ( $\max G_{100}$ ) υπολογίσθηκε με την εξίσωση των Stiny-Hercheulidze, η οποία βρίσκει ευρεία εφαρμογή στην Υδρονομική θεωρία και πράξη:

$$\max G_{100} = \{P_n \cdot m / Y_n \cdot (100 - P_n)\} \cdot \max Q_{100}$$

όπου:

$\max G_{100}$  = η μέγιστη στερεοπαροχή ( $m^3/s$ ),

$\max Q_{100}$  = η μέγιστη υδατοπαροχή ( $m^3/s$ ),

$P_n$  = το επί % βάρος των φερτών υλών (δίνεται σε Πίνακες),

$m$  = ο βαθμός χειμαρρικότητας της λεκάνης απορροής (δίνεται σε Πίνακες),

$Y_n$  = το ειδικό βάρος των μεταφερόμενων φερτών υλών  $t/m^3$ .

7. Ο έλεγχος της παροχεταιυτικής επάρκειας και της πλημμυρικής επικινδυνότητας του χειμάρρου έγινε, με αποτύπωση των **ασθενικών διατομών του χειμάρρου**, στις θέσεις μέτρησης των μέγιστων υδατοστεροπαροχών και **έλεγχου της παροχεταιυτικής τους επάρκειας**, με εφαρμογή της εξίσωσης της συνέχειας (Σχ. 5).

$$Q = E \cdot u$$

Ένθα:

$Q$  = Παροχή εγκοίτωσης (μη υπερχειλίζουσα παροχή) σε  $m^3$

$E$  = Υγρή επιφάνεια ( $m^2$ )

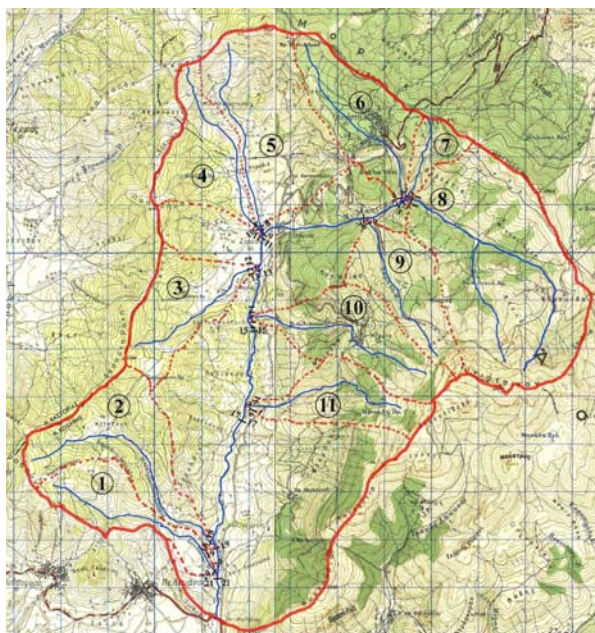
$u$  = μέση ταχύτητα του νερού στην υγρή διατομή:  $u = k \cdot R^{2/3} \cdot J^{1/2}$

Όπου:

$k$  = συντελεστής τραχύτητας

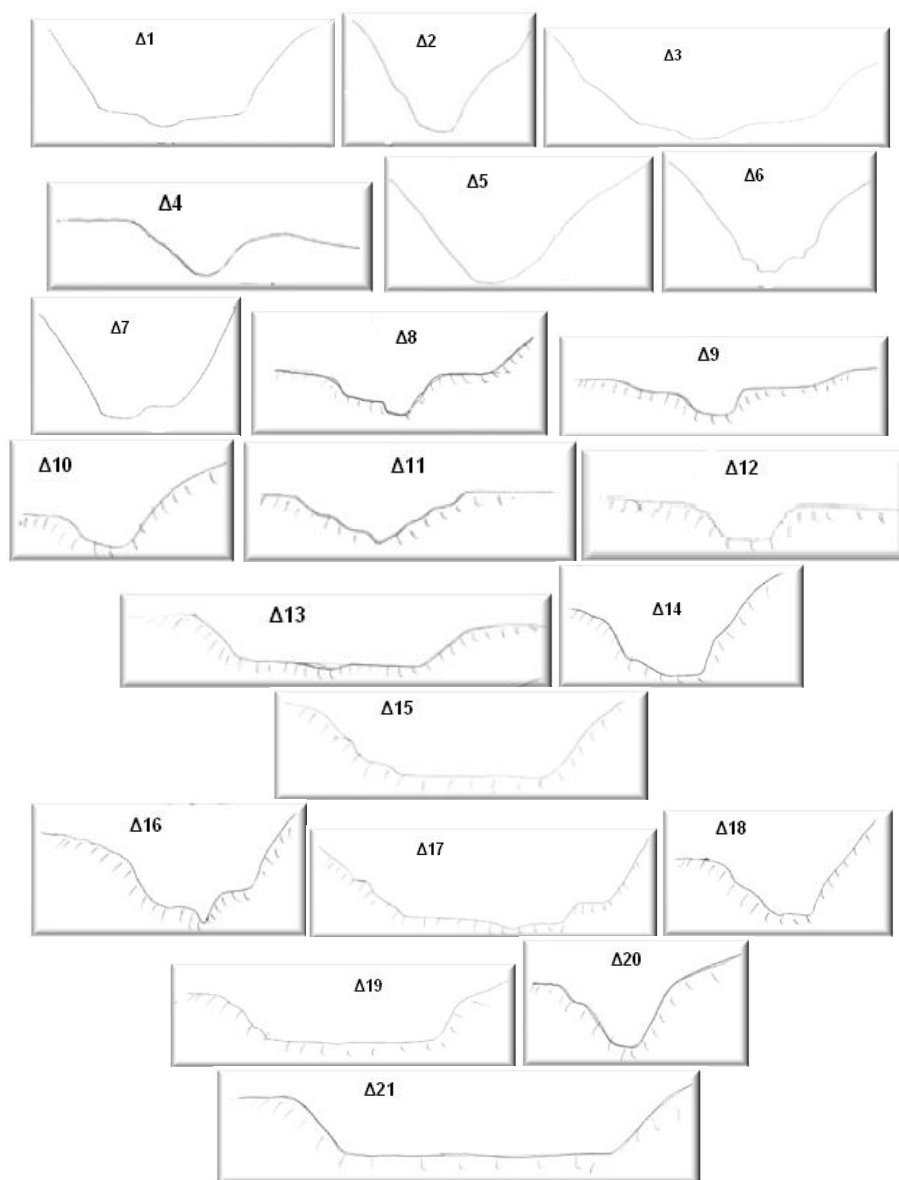
$R = E/U$  ( $U$  = Υγρή-βρεχόμενη περίμετρος)

$J$  = μέση πυθμενική κλίση ανάντη της διατομής ελέγχου.



**Σχήμα 4.** Η θέση υπολογισμού των υδατοπαροχών και της στερεοπαροχής του Μύριχου και των κλάδων του.





**Σχήμα 5.** Αποτυπωθείσες ασθενικές διατομές της παροχευτικής ικανότητας των κοιτών στις θέσεις ελέγχου.

### Αποτελέσματα έρευνας

#### Μορφομετρικά, ανάγλυφο και υδρογραφικά χαρακτηριστικά

Τα μορφομετρικά, αναγλύφου και υδρογραφικά στοιχεία των υπολεκανών και της λεκάνης του Μύριχου (Σχ. 4) δίνονται στον Πίνακα 3 και στο Σχήμα 6α,β,γ

**Πίνακας 3.** Επιφάνεια λεκάνης, Μορφομετρικά και Υδρογραφικά χαρακτηριστικά του Μύριχου.

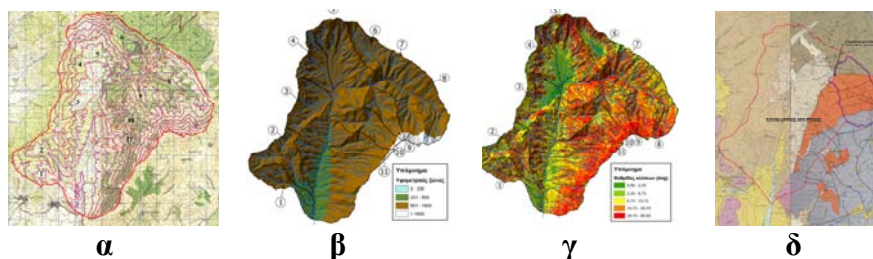
Μορφομετρικά-υδρογραφικά στοιχεία	Σύμβολο Μονάδα	Κωδικός – Ονομασία χειμάρρου				
		1	2	3	4	5

1. Επιφάνεια λεκάνης	$F, \text{Km}^2$	3,11	5,85	4,72	4,77	7,85
2. Περίμετρος υδροκρίτη	$\Pi, \text{Km}$	10,30	14,55	9,58	10,44	12,54
3. Διαδρομή παράλληλη στη μέγιστη διάταξη της λεκάνης	$S_F, \text{Km}$	4,30	4,61	3,36	4,08	4,44
4. Διαδρομή παράλληλη στην κεντρική κοίτη	$SL_{\kappa}, \text{Km}$	3,97	5,11	3,15	4,00	4,07
5. Υψομετρία της λεκάνης	$H, \text{m}$					
i) μέγιστο υψόμετρο	$H_{\max}, \text{m}$	1198	1226	1240	1468	1703
ii) ελάχιστο υψόμετρο	$H_{\min}, \text{m}$	665	676	825	833	835
iii) μέσο υψόμετρο	$H_m, \text{m}$	921	979	991	1060	1147
6. Υδρογραφία λεκάνης						
7. Ανάγλυφο λεκάνης						
Μέση κλίση λεκάνης, $J_F = (H_d * \Sigma S * 100) / F$	$J_F, (\%)$	30,83	32,90	23,54	38,31	37,41
8. Υψομετρική διαφορά ( $\Delta H_i = H_i - H_{\min}$ )						
i) μέγιστη ( $\Delta H_{\max} = H_{\max} - H_{\min}$ )	$\Delta H_{\max}, \text{m}$	533,0	550,0	415,0	635,0	868,0
ii) μέση ( $\Delta H_m = H_m - H_{\min}$ )	$\Delta H_m, \text{m}$	256,0	303,0	166,0	227,0	312,0
9. Σχετική υψομετρική διαφορά ( $\Delta H_{\pi} = \Delta H / \Pi$ )	$\Delta H_{\pi}$					
i) μέγιστη ( $\Delta H_{\max\pi} = \Delta H_{\max} / \Pi$ )	$\Delta H_{\max}$	51,74	37,80	43,31	60,84	69,23
ii) μέση ( $\Delta H_{m\pi} = \Delta H_m / \Pi$ )	$\Delta H_{m\pi}$	24,85	20,82	17,32	21,75	24,88
10. Βαθμός αναγλύφου ( $Ah = \Delta H / SL_{\kappa}$ )	$Ah$					
i) μέγιστος ( $Ah_{\max} = \Delta H_{\max} / SL_{\kappa}$ )	$Ah_{\max}$	134,1	107,7	131,7	158,7	213,2
ii) μέσος ( $Ah_m = \Delta H_m / SL_{\kappa}$ )	$Ah_m$	64,42	59,33	52,68	56,72	76,62
11. Βαθμός στρωγυλομορφίας						
i) δείκτης Gravelius ( $K_F = \Pi / \Pi_F = 0,282 \Pi / \sqrt{F}$ )	$K_F$	1,65	1,70	1,24	1,35	1,26
ii) δείκτης μορφής λεκάνης ( $J_f = F / S_F^2$ )	$J_F$	0,17	0,28	0,42	0,29	0,40
iii) δείκτης επιμήκυνσης ( $R_L = (2\sqrt{(F/\pi)}) / SL_{\kappa}$ )	$R_L$	0,28	0,25	0,45	0,34	0,39
iv) δείκτης κυκλικότητας ( $R_F = 4\pi F / \Pi^2$ )	$R_F$	0,37	0,35	0,65	0,55	0,63
12. Δείκτης τραχύτητας λεκάνης ( $F_D = \Delta H * D$ )	$F_D$					
i) μέγιστος ( $F_{\max D} = \Delta H_{\max} / D$ )	$F_{\max D}$	1980	1929	1289	2121	2686
ii) μέσος ( $F_{mD} = \Delta H_m / D$ )	$F_{mD}$	68,9	86,4	53,4	68,0	100,8
13. Ορογραφικός συντελεστής ( $C_F = H^2 / 1000F$ )	$C_F$					
i) μέγιστος ( $C_{\max F} = H_{\max}^2 / 1000F$ )	$C_{\max F}$	461,2	256,8	325,9	451,8	369,3
ii) μέσος ( $C_{mF} = H_m^2 / 1000F$ )	$C_{mF}$	272,6	163,7	208,1	235,6	167,5

**Πίνακας 3. Συνέχεια**

Μορφομετρικά-υδρογραφικά στοιχεία	Σύμβολο Μονάδα	Κωδικός – Ονομασία χειμάρρου						
		6	7	8	9	10	11	Μύριχος
1. Επιφάνεια λεκάνης	$F, \text{Km}^2$	4,44	1,13	11,49	3,77	4,86	3,33	82,87
2. Περίμετρος υδροκρίτη	$\Pi, \text{Km}$	10,16	5,12	13,73	9,40	11,36	10,03	39,80
3. Διαδρομή παράλληλη στη μέγιστη διάταξη της λεκάνης	$S_F, \text{Km}$	4,27	1,90	5,06	3,94	4,72	4,22	11,91

4. Διαδρομή παράλληλη στην κεντρική κοίτη	$SL_{\kappa}$ , Km	3,89	1,78	4,78	3,22	4,14	3,41	15,97
5. Ύψομετρία της λεκάνης	H, m							
i) μέγιστο υψόμετρο	$H_{\max}$ , m	1610	1482	2111	2090	2090	1920	2111
ii) ελάχιστο υψόμετρο	$H_{\min}$ , m	1046	1058	1077	1000	805	760	648
iii) μέσο υψόμετρο	$H_m$ , m	1276	1285	1462	1335	1272	1195	1146
6. Υδρογραφία λεκάνης								
i) συνολικό μήκος υδρογραφικού δικτύου	SL, Km	11,14	4,87	31,00	8,30	13,31	8,28	244,50
ii) μήκος κεντρικής κοίτης	$L_{\kappa}$ , Km	4,22	1,88	4,91	3,36	4,31	3,76	17,74
iii) μέση κλίση κεντρικής κοίτης	$J_{LK}$ , (%)	10,76	20,88	17,98	18,47	20,28	21,26	7,68
iv) πυκνότητα υδρογραφικού δικτύου ( $D = SL/F$ )	(Km/Km <sup>2</sup> )	2,51	4,32	2,70	2,20	2,74	2,48	2,95
7. Ανάγλυφο λεκάνης								
Μέση κλίση λεκάνης $J_F = (H_d * \Sigma S * 100) / F$	$J_F$ , (%)	32,73	39,11	42,38	42,78	45,53	59,99	40,23
8. Ύψομετρική διαφορά ( $\Delta H_i = H_i - H_{\min}$ )								
i) μέγιστη ( $\Delta H_{\max} = H_{\max} - H_{\min}$ )	$\Delta H_{\max}$ , m	564,0	424,0	1034	1090	1285	1160	1463,0
ii) μέση ( $\Delta H_m = H_m - H_{\min}$ )	$\Delta H_m$ , m	230,0	227,0	385	335	467,0	435,0	498,0
9. Σχετική υψομετρική διαφορά ( $\Delta H_{\pi} = \Delta H / \Pi$ )	$\Delta H_{\pi}$							
i) μέγιστη ( $\Delta H_{\max\pi} = \Delta H_{\max} / \Pi$ )	$\Delta H_{\max}$	55,51	82,80	75,30	115,8	113,1	115,6	36,76
ii) μέση ( $\Delta H_{m\pi} = \Delta H_m / \Pi$ )	$\Delta H_{m\pi}$	22,64	44,33	28,04	35,64	41,11	43,36	12,51
10. Βαθμός αναγλύφου ( $A_h = \Delta H / SL_{\kappa}$ )	$A_h$							
i) μέγιστος ( $A_{h\max} = \Delta H_{\max} / SL_{\kappa}$ )	$A_{h\max}$	145,2	238,6	216,1	338,7	310,7	339,8	91,60
ii) μέσος ( $A_{hm} = \Delta H_m / SL_{\kappa}$ )	$A_{hm}$	59,20	127,7	80,5	104,1	112,9	127,4	31,19
11. Βαθμός στρογγυλομορφίας								
i) δείκτης Gravelius ( $K_F = \Pi / \Pi_F = 0,282 \Pi / \sqrt{F}$ )	$K_F$	1,36	1,36	1,14	1,36	1,45	1,55	1,23
ii) δείκτης μορφής λεκάνης ( $J_f = F / S^2_F$ )	$J_F$	0,24	0,31	0,45	0,24	0,22	0,19	0,58
iii) δείκτης επιμήκυνσης ( $R_L = (2\sqrt{(F/\pi)}) / SL_{\kappa}$ )	$R_L$	0,34	0,53	0,38	0,39	0,32	0,34	0,18
iv) δείκτης κυκλικότητας ( $R_F = 4\pi F / \Pi^2$ )	$R_F$	0,54	0,54	0,77	0,54	0,47	0,42	0,66
12. Δείκτης τραχύτητας λεκάνης ( $F_D = \Delta H * D$ )	$F_D$							
i) μέγιστος ( $F_{\max D} = \Delta H_{\max} / D$ )	$F_{\max D}$	1416	1832	2790	2399	3518	2882	4316,44
ii) μέσος ( $F_{mD} = \Delta H_m / D$ )	$F_{mD}$	91,6	52,6	142,7	152,2	170,6	175,1	168,8
13. Ορογραφικός συντελεστής ( $C_F = H^2 / 1000F$ )	$C_F$							
i) μέγιστος ( $C_{\max F} = H_{\max}^2 / 1000F$ )	$C_{\max F}$	583,9	1950	387,8	1158	898,1	1106	53,78
ii) μέσος ( $C_{mF} = H_m^2 / 1000F$ )	$C_{mF}$	366,8	1466	186,0	472,4	332,7	428,4	15,85



**Σχήμα 6α,β,γ,δ.** Υψομετρική συγκρότηση α) ισοϋψείς ανά 100 m, β) υψομετρικές ζώνες (801-1800m, >1801), γ) χάρτης κλίσεων του χειμάρρου Μύριχου. δ) Γεωλογικός χάρτης του Μύριχου.

### Γεωλογικές και πετρογραφικές συνθήκες

Από το γεωλογικό χάρτη της περιοχής κλίμακας 1:50.000 του Ι.Γ.Μ.Ε. (Φύλλο Σιάτιστα, Σχ. 6δ) προκύπτει ότι στους συμβάλλοντες και στη συνολική λεκάνη καταγράφονται τα ακόλουθα πετρώματα ενταγμένα σε χειμαρρικούς πετρολογικούς σχηματισμούς (Πίν. 4).

**Πίνακας 4.** Κατάταξη των γεωλογικών σχηματισμών του χειμάρρου Μύριχου και των υπολεκανών του σε χειμαρρικούς πετρολογικούς σχηματισμούς Κωτούλας 1969, 1979).

Λεκάνη	Συμμετοχή των χειμαρρικών πετρολογικών σχηματισμών													
	Κρυσταλο- πυριγενής (M)		Ασβεστο- λιθικός (K)		Σχιστολι- θικός (G)		Φλυσι- κόκ (F)		Νεογενής (S)		Προσχωσι- γενής (P)		Σύνολο	
	km <sup>2</sup>	(%)	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	(%)	km <sup>2</sup>	%
Μύριχος	46,55	56,1	8,51	10,3	17,47	21,1	-	-	1,0	1,2	9,34	11,3	82,87	100,0
Κωδ 1:	2,45	78,8	0,01	0,4	-	-	-	-	0,03	0,9	0,62	19,9	3,11	100,0
Κωδ 2:	5,62	96,1	0,04	0,7	-	-	-	-	0,01	0,1	0,18	3,1	5,85	100,0
Κωδ 3	3,65	77,3	-	-	-	-	-	-	-	-	1,07	22,7	4,72	100,0
Κωδ 4:	4,22	88,4	-	-	-	-	-	-	-	-	0,55	11,6	4,77	100,0
Κωδ 5:	3,36	42,8	-	-	2,12	27,0	-	-	-	-	2,37	30,2	7,85	100,0
Κωδ 6:	3,44	77,5	-	-	-	-	-	-	1,00	22,5	-	-	4,44	100,0
Κωδ 7:	1,13	100,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,13	100,0
Κωδ 8:	1,53	13,3	2,32	20,2	7,64	66,5	-	-	-	-	-	-	11,49	100,0
Κωδ 9:	0,95	25,2	0,24	6,4	2,58	68,4	-	-	-	-	-	-	3,77	100,0
Κωδ10	2,31	47,5	0,43	8,8	2,02	41,6	-	-	-	-	0,10	2,1	4,86	100,0
Κωδ11	1,30	38,4	0,58	17,3	1,31	39,3	-	-	-	-	0,14	4,4	3,33	100,0

### Μετεωρολογικές συνθήκες – κλίμα

Οι μέσες μηνιαίες και ετήσιες βροχοπτώσεις και θερμοκρασίες αέρα του Μ.Σ. Πτολεμαΐδας παρέχονται στον Πίνακα 5, ενώ τα ανηγμένα με την τοπική βροχοβαθμίδα ( $\Delta P_m = 51,87 \text{ mm}/100\text{m}$ ) και θερμοβαθμίδα ( $\Delta T_m = -0,602^\circ\text{C}/100\text{m}$ ) στα μέσα υψόμετρα των υπολεκανών και της συνολικής λεκάνης του χειμάρρου Μύριχου ( $H_m = 1442\text{m}$ ), μέσα ετήσια ύψη βροχής και θερμοκρασίας αέρα, δίνονται στους Πίνακες 6 και 7.

**Πίνακας 5.** Μέσες μηνιαίες και μέσες ετήσιες βροχοπτώσεις Pm και θερμοκρασίες αέρα Tm στον Μ.Σ. Πτολεμαΐδας της περιόδου 1951-1994 (διάρκεια 44 έτη).

	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ	ΕΤΗΣΙΑ
Pm	40,5	39,7	50,3	42,3	53,8	38,2	38,7	26,7	33,6	57,6	65,8	48,4	535,8
Tm	1,3	2,7	6,0	10,4	14,9	19,2	21,8	21,6	18,1	12,3	7,2	3,0	11,6

**Πίνακας 6.** Ανηγγμένα, με την τοπική βροχοβαθμίδα (51,87mm/100m), στο μέσο υψόμετρο των λεκανών του Χ. Μύριχου, μέσα μηνιαία και μέσα ετήσια ύψη βροχής. Σταθμός αναφοράς ο Μ.Σ. Πτολεμαΐδας.

ΛΕΚΑΝΗ	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ	ΕΤΟΣ
1. Χ. Μύριχος	61,5	60,4	76,6	64,3	81,9	58,2	58,9	40,6	51,1	87,7	100,1	73,7	814,9
2. Ρ. Σκουληκάρι	53,0	52,0	65,9	55,4	70,5	50,1	50,7	35,0	44,0	75,5	86,2	63,4	701,8
3. Ρ. Μπιστριώτικος	55,3	54,3	68,8	57,8	73,5	52,2	52,9	36,5	45,9	78,7	89,9	66,2	731,9
4. Ρ. Μάννας Βρ.	55,8	54,7	69,3	58,3	74,2	52,7	53,3	36,8	46,3	79,4	90,6	66,7	738,1
5. Ρ. Αγ. Δημητρίου	58,5	57,4	72,7	61,1	77,8	55,2	55,9	38,5	48,6	83,3	95,0	70,0	773,9
6. Ρ. Αγ. Παντελεήμονα	61,9	60,7	76,9	64,7	82,3	58,5	59,2	40,8	51,4	88,1	100,6	74,0	819,0
7. Ρ. Καραδόλακας	66,9	65,7	83,2	69,9	89,0	63,2	64,0	44,1	55,6	95,3	108,8	80,1	885,9
8. Ρ. Ανώνυμο	67,3	66,0	83,7	70,3	89,5	63,6	64,3	44,4	55,9	95,8	109,4	80,5	890,6
9. Ρ. Ανώτερης λεκάνης	74,2	72,8	92,3	77,6	98,7	70,1	71,0	48,9	61,6	105,7	120,6	88,8	982,4
10. Ρ. Νάματα	69,2	68,0	86,1	72,4	92,1	65,4	66,2	45,6	57,5	98,6	112,6	82,9	916,5
11. Ρ. Πιπλιστινός	66,8	65,5	83,0	69,8	88,8	63,1	63,9	44,0	55,5	95,1	108,5	79,9	883,8
12. Ρ. Σουρκάλα	63,7	62,6	79,3	66,6	84,8	60,2	61,0	42,0	52,9	90,8	103,6	76,3	843,9

**Πίνακας 7.** Ανηγγμένες, με την τοπική θερμοβαθμίδα (-0,602 °C/100m), στο μέσο υψόμετρο των κλάδων του Μύριχου, μέση μηνιαία και μέση ετήσια θερμοκρασία. Σταθμός αναφοράς ο Μ.Σ. Πτολεμαΐδας.

ΛΕΚΑΝΗ	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ	Έτος
1. Χ. Μύριχος	-1,9	-0,5	2,8	7,4	12,2	16,3	18,7	18,5	14,9	9,1	4,5	0,3	8,3
2. Ρ. Σκουληκάρι	-0,6	0,8	4,1	8,7	13,5	17,6	20,0	19,8	16,2	10,4	5,9	1,6	9,6
3. Ρ. Μπιστριώτικο	-1,0	0,4	3,7	8,3	13,1	17,2	19,7	19,4	15,9	10,1	5,5	1,2	9,3
4. Ρ. Μάννας Βρ.	-1,1	0,3	3,7	8,3	13,1	17,2	19,6	19,4	15,8	10,0	5,4	1,2	9,2
5. Ρ. Αγ. Δημητρίου	-1,5	-0,1	3,2	7,9	12,6	16,8	19,2	19,0	15,4	9,6	5,0	0,7	8,8
6. Ρ. Αγ. Παντελεήμονα	-2,0	-0,6	2,7	7,3	12,1	16,2	18,7	18,4	14,9	9,1	4,5	0,2	8,3
7. Ρ. Καραδόλακας	-2,8	-1,4	1,9	6,6	11,3	15,5	17,9	17,7	14,1	8,3	3,7	-0,6	7,5
8. Ρ. Ανώνυμο	-2,8	-1,4	1,9	6,5	11,3	15,4	17,9	17,6	14,0	8,2	3,7	-0,6	7,4
9. Ρ. Ανώτερης λεκάνης	-3,9	-2,5	0,8	5,4	10,2	14,3	16,8	16,5	13,0	7,2	2,6	-1,7	6,4
10. Ρ. Νάματα	-3,1	-1,7	1,6	6,2	11,0	15,1	17,6	17,3	13,7	7,9	3,4	-0,9	7,1
11. Ρ. Πιπλιστινός	-2,7	-1,3	2,0	6,6	11,4	15,5	17,9	17,7	14,1	8,3	3,7	-0,5	7,5
12. Ρ. Σουρκάλα	-2,3	-0,9	2,4	7,0	11,8	15,9	18,4	18,1	14,6	8,8	4,2	-0,1	8,0

### Συνθήκες βλάστησης

Στη λεκάνη του Μύριχου κυριαρχούν δάση δρυός (Εικ. 2α) με παρουσία στο ανώτερο Β, ΒΑ τμήμα του Μουρικίου και τη μεσοανώτερη ζώνη του Άσκιου πυκνών συστάδων οξυάς (Εικ. 2β). Περιμετρικά της Βλάστης υπάρχουν αναδασώσεις μαύρης

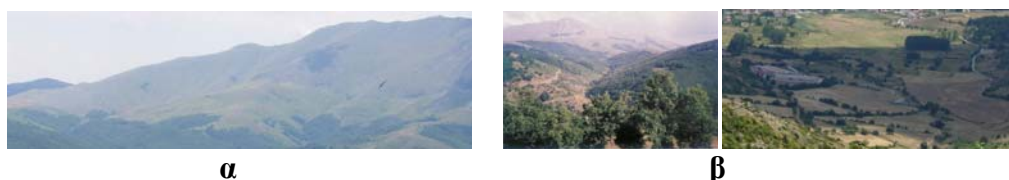
πεύκης (Εικ. 2γ). Στην ανώτερη βόρεια πολύ ορεινή ζώνη, στο ανώτερο δυτικό τμήμα του Άσκιου (Εικ. 3α) και στο βύθισμα της Βλάστης (Εικ. 3β), κυριαρχούν οι λιβαδικές εκτάσεις. Καλλιέργειες μαζί με λιβάδια απαντώνται στην πεδινή περιοχή του Σισανίου και στο βύθισμα της Βλάστης (Εικ. 3β). Καλλιέργειες απαντώνται στην παρόχθια ζώνη, ενώ διάσπαρτα καλλιεργούμενα τμήματα υπάρχουν στις περιοχές Αμπέλια Βλάστης, και στα Νάματα. Στον Πίνακα 8 δίνονται οι χρήσεις γης του Μύριχου.

**Πίνακας 8.** Οι απαντώμενες στην ανώτερη κεντρική λεκάνη του Μύριχου μορφές βλάστησης.

Κατηγορία χρήσης / κάλυψης γης	Έκταση (στρ.)	Ποσοστό (%)
Δάση συμπαγή:	5678	49,42
Δάση αραιά:	257	2,24
Θάμνοι πυκνοί:	0	0,00
Θάμνοι αραιοί:	0	0,00
Βοσκότοποι ορεινοί:	4870	42,38
Καλλιεργούμενες:	120	1,04
Εγκαταλειμμένες:	177	1,54
Κοίτες, βραχώδεις εκτάσεις κ.λ.π.:	388	3,38
ΓΕΝΙΚΟ ΣΥΝΟΛΟ:	11490	100,00



**Εικόνα 2α,β,γ.** Απόψεις της δασικής βλάστησης της λεκάνης του χειμάρρου Μύριχου: α) Δάσος Δρυός, β) Δάση Οξυάς, γ) Αναδασώσεις Μαύρης Πεύκης περιμετρικά της Βλάστης.



**Εικόνα 3α,β.** Απόψεις της λιβαδικής βλάστησης α) στις Β κλιτές της υψηλότερης ζώνης του Άσκιου και β) στα λιβάδια της Βλάστης.

### Υπολογισμός μέγιστης υδατοπαροχής

Η μέγιστη υδατοπαροχή του Μύριχου και των υπολεκανών του (Μ.Ο τύπων Kursteirner, Henry Boot, Ορθολογικής) στις θέσεις μέτρησης (Σχ. 4), δίνεται στον Πίνακα 9, ενώ στον Πίνακα 10 δίνονται οι υπολογισθέντες χρόνοι συγκέντρωσης.

**Πίνακας 9.** Μέγιστες υδατοπαροχές ( $maxQ_{100}$ ) στις θέσεις μέτρησης του χειμάρρου Μύριχου, και των κυριότερων συμβαλλόντων του με τις μεθόδους των Kursteirner, Henry Boot και την Ορθολογική.

Θέση	Επιφάνεια (F)	Εξίσωση υπολογισμού	Δεδομένα	Μέγιστη υδατοπαροχή κατά μέθοδο	Μέση μέγιστη υδατοπαροχή
------	---------------	---------------------	----------	---------------------------------	--------------------------

	(km <sup>2</sup> )			maxQ <sub>100</sub> (m <sup>3</sup> /s)	maxQ <sub>100</sub> (m <sup>3</sup> /s)
1	11,49	Kursteiner	A= 10,02	maxQ <sub>100</sub> =22,61m <sup>3</sup> /w	maxQ <sub>100</sub> =(22,61 +21,22+21,84)/3 =21,89m <sup>3</sup> /s
		Henry-Boot	a =3,4	maxQ <sub>100</sub> =21,22m <sup>3</sup> /s	
		Ορθολογική	c=0,363 maxi <sub>100</sub> =33,72mm/h	maxQ <sub>100</sub> =21,84m <sup>3</sup> /s	
2	1,13	Kursteiner	A=10,36	maxQ <sub>100</sub> =10,79m <sup>3</sup> /s	maxQ <sub>100</sub> =(10,79 +6,25+3,85)/3 =6,96m <sup>3</sup> /s
		Henry-Boot	a=5,7	maxQ <sub>100</sub> =6,25m <sup>3</sup> /s	
		Ορθολογική	c=0,363 maxi <sub>100</sub> =33,72mm/h	maxQ <sub>100</sub> =3,85m <sup>3</sup> /s	
3	12,62	Kursteiner	A=9,86	maxQ <sub>100</sub> =25,95m <sup>3</sup> /s	maxQ <sub>100</sub> =(25,95 +22,50+23,31 )/3 =23,92m <sup>3</sup> /s
		Henry-Boot	a=3,36	maxQ <sub>100</sub> =22,50m <sup>3</sup> /s	
		Ορθολογική	c=0,288 maxi <sub>100</sub> =23,07mm/h	maxQ <sub>100</sub> =23,31m <sup>3</sup> /s	
4	4,44	Kursteiner	A=9,86	maxQ <sub>100</sub> =16,21m <sup>3</sup> /s	maxQ <sub>100</sub> =(16,21 +11,62+9,64) /3 =12,49 m <sup>3</sup> /s
		Henry-Boot	a=3,8	maxQ <sub>100</sub> =11,62m <sup>3</sup>	
		Ορθολογική	c=0,288 maxi <sub>100</sub> =27,13mm/h	maxQ <sub>100</sub> =9,64m <sup>3</sup> /s	
5	18,46	Kursteiner	A=9,82	maxQ <sub>100</sub> =25,29m <sup>3</sup> /s	maxQ <sub>100</sub> =(25,29 +30,10+28,53 )/3 =27,97m <sup>3</sup> /s
		Henry-Boot	a=0,38	maxQ <sub>100</sub> =30,10 m <sup>3</sup> /s	
		Ορθολογική	c=0,252 maxi <sub>100</sub> =22,06mm/h	maxQ <sub>100</sub> =28,53 m <sup>3</sup> /s	
6	3,77	Kursteiner	A=10,26	maxQ <sub>100</sub> =16,90m <sup>3</sup> /s	maxQ <sub>100</sub> =(16,90 +11,36+9,32)/3 =12,53m <sup>3</sup> /s
		Henry-Boot	a=4,2	maxQ <sub>100</sub> =11,36m <sup>3</sup> /s	
		Ορθολογική	c=0,288 maxi <sub>100</sub> =23,07mm/h	maxQ <sub>100</sub> =9,32m <sup>3</sup> /s	
7	22,95	Kursteiner	A=9,64	maxQ <sub>100</sub> =27,39 m <sup>3</sup> /s	maxQ <sub>100</sub> =(27,39 +35,65+34,82)/3 =32,62m <sup>3</sup> /s
		Henry-Boot	a=3,4	maxQ <sub>100</sub> =35,65m <sup>3</sup> /s	
		Ορθολογική	c=0,250 maxi <sub>100</sub> =21,83mm/h	maxQ <sub>100</sub> =27,39 m <sup>3</sup> /s	
8	7,85	Kursteiner	A=9,99	maxQ <sub>100</sub> =16,72m <sup>3</sup> /s	maxQ <sub>100</sub> =(16,72 +16,88+15,58)/3 =16,39m <sup>3</sup> /s
		Henry-Boot	a=3,6	maxQ <sub>100</sub> =16,88 m <sup>3</sup> /s	
		Ορθολογική	c=0,250 maxi <sub>100</sub> =21,83mm/h	max Q <sub>100</sub> =15.58m <sup>3</sup> /s	
9	33,63	Kursteiner	A=9,58	maxQ <sub>100</sub> =30,92m <sup>3</sup> /s	maxQ <sub>100</sub> =(30,92 +47,76+45,84)/3 =41,51m <sup>3</sup> /s
		Henry-Boot	a=3,42	maxQ <sub>100</sub> =47,76 m <sup>3</sup> /s	
		Ορθολογική	c=0,250 maxi <sub>100</sub> =21,83mm/h	maxQ <sub>100</sub> =45,84 m <sup>3</sup> /s	
10	4,77	Kursteiner	A=9,89	maxQ <sub>100</sub> =16,65m <sup>3</sup> /s	maxQ <sub>100</sub> =(16,65 +11,94+10,05)/3 =12,88m <sup>3</sup> /s
		Henry-Boot	a=3,7	maxQ <sub>100</sub> =11,94m <sup>3</sup> /s	
		Ορθολογική	c=0,250 maxi <sub>100</sub> =21,83mm/h	maxQ <sub>100</sub> =35,65m <sup>3</sup> /s	
11	37,96	Kursteiner	A=9,51	maxQ <sub>100</sub> =31,96m <sup>3</sup> /s	maxQ <sub>100</sub> =(31,96 +52,00+49,88)/3 =44,61m <sup>3</sup> /s
		Henry-Boot	a=3,4	maxQ <sub>100</sub> =52,00m <sup>3</sup> /s	
		Ορθολογική	c=0,236 maxi <sub>100</sub> =20,03mm/	maxQ <sub>100</sub> = 49,88m <sup>3</sup> /s	
12	4,72	Kursteiner	A=9,77	maxQ <sub>100</sub> =16.39m <sup>3</sup> /s	maxQ <sub>100</sub> =(16,39 +11,53+9,40)/3 =12,44m <sup>3</sup> /s
		Henry-Boot	a=3,6	maxQ <sub>100</sub> =11,53 m <sup>3</sup> /s	
		Ορθολογική	c=0,250 maxi <sub>100</sub> =21,83mm/h	maxQ <sub>100</sub> =9,40 m <sup>3</sup> /s	
13	43,59	Kursteiner	A=9,48	maxQ <sub>100</sub> =33,36m <sup>3</sup> /s	maxQ <sub>100</sub> =(33,36 +57,68+54,84)/3
		Henry-Boot	a=3,4	maxQ <sub>100</sub> =57,68m <sup>3</sup> /s	

		Ορθολογική	c=0,250 maxi <sub>100</sub> =21,83mm/h	maxQ <sub>100</sub> =54,84m <sup>3</sup> /s	=48,63m <sup>3</sup> /s
14	4,86	Kursteiner	A=10,68	maxQ <sub>100</sub> =18,09m <sup>3</sup> /s	maxQ <sub>100</sub> =(18,09 +13,42+12,31)/3 =14,61m <sup>3</sup> /s
		Henry-Boot	a=0,41	maxQ <sub>100</sub> =13,42 m <sup>3</sup> /s	
		Ορθολογική	c=0,326 maxi <sub>100</sub> =27,95mm/h	maxQ <sub>100</sub> =12,31 m <sup>3</sup> /s	
15	50,07	Kursteiner	A=9,44	maxQ <sub>100</sub> =63,24m <sup>3</sup> /s	maxQ <sub>100</sub> =(34,79 +63,24+65,71)/3 =54,58m <sup>3</sup> /s
		Henry-Boot	a=0,36	maxQ <sub>100</sub> =63,24m <sup>3</sup> /s	
		Ορθολογική	c=0,237 maxi <sub>100</sub> =19,92mm/h	maxQ <sub>100</sub> =65,71 m <sup>3</sup> /s	
16	3,33	Kursteiner	A=10,07	maxQ <sub>100</sub> =15,04m <sup>3</sup> /s	maxQ <sub>100</sub> =(15,04 +10,35+8,49)/3 =11,29m <sup>3</sup> /s
		Henry-Boot	a=4,2	maxQ <sub>100</sub> =10,35m <sup>3</sup> /s	
		Ορθολογική	c=0,309 maxi <sub>100</sub> =29,67mm/h	maxQ <sub>100</sub> =8,49 m <sup>3</sup> /s	
17	56,82	Kursteiner	A=9,39	maxQ <sub>100</sub> =36,10m <sup>3</sup> /s	maxQ <sub>100</sub> =(36,10 +68,92+68,28)/3 =57,76m <sup>3</sup> /s
		Henry-Boot	a=3,33	maxQ <sub>100</sub> =68,92m <sup>3</sup> /s	
		Ορθολογική	c=0,250 maxi <sub>100</sub> =21,83mm/h	maxQ <sub>100</sub> =68,28m <sup>3</sup> /s	
18	5,85	Kursteiner	A=9,63	maxQ <sub>100</sub> =17,35 m <sup>3</sup> /s	maxQ <sub>100</sub> =(17,35 +13,54+12,71)/3 =14,53m <sup>3</sup> /s
		Henry-Boot	a=3,6	maxQ <sub>100</sub> =13,54 m <sup>3</sup> /s	
		Ορθολογική	c=0,250 maxi <sub>100</sub> =21,83mm/h	maxQ <sub>100</sub> =12,71 m <sup>3</sup> /s	
19	75,13	Kursteiner	A=9,35	maxQ <sub>100</sub> =39,45m <sup>3</sup> /s	maxQ <sub>100</sub> =(39,45 +84,47+92,47)/3 =72,13 m <sup>3</sup> /s
		Henry-Boot	a=3,31	maxQ <sub>100</sub> =16,39 m <sup>3</sup> /s	
		Ορθολογική	c=0,250 maxi <sub>100</sub> =21,83mm/h	maxQ <sub>100</sub> =16,39 m <sup>3</sup> /s	
20	3,11	Kursteiner	A=9,86	maxQ <sub>100</sub> =14,38m <sup>3</sup> /s	maxQ <sub>100</sub> =(14,38 +10,07+8,72)/3 =11,06m <sup>3</sup> /s
		Henry-Boot	a=4,3	maxQ <sub>100</sub> =10,07m <sup>3</sup> /s	
		Ορθολογική	c=0,250 maxi <sub>100</sub> =21,83mm/h	maxQ <sub>100</sub> =8,72m <sup>3</sup> /s	
21	82,87	Kursteiner	A=9,28	maxQ <sub>100</sub> =40,46m <sup>3</sup> /s	maxQ <sub>100</sub> =(40,46 +90,64+101,02)/ 3 = 77,37m <sup>3</sup> /s
		Henry-Boot	a=3,3	maxQ <sub>100</sub> =90,64 m <sup>3</sup> /s	
		Ορθολογική	c=0,250 maxi <sub>100</sub> =21,83mm/h	maxQ <sub>100</sub> =101,02 m <sup>3</sup> /s	

**Πίνακας 10.** Υπολογισμός των χρόνων συγκέντρωσης *t<sub>c</sub>* του Χ. Μύριχου και των υπολεκανών στις θέσεις μέτρησης.

Λεκάνη χειμάρρου ή συμβάλλοντα στη διατομή ελέγχου	Επιφάνεια (F) (km <sup>2</sup> )	Μέσο υψόμετρο (H <sub>m</sub> ) (m)	Ελάχιστο υψόμετρο H <sub>(min)</sub> (m)	Μήκος κεντρικής κοίτης (L <sub>k</sub> ) (km)	Χρόνος συγκέντρωσης $t_c=(4\sqrt{F+1,5 L_k})/(0,8 \cdot \sqrt{H_m - H_{min}})$ (ώρες)
Θέση 1	11,49	1462	1070	4,91	1,3210119h ή 1h 19'16''
Θέση 2	1,33	1285	1058	1,88	0,6166840h ή 0h 37'01''
Θέση 3	12,62	1414	1058	4,91	1,4293313 h ή 1h 25'46''
Θέση 4	4,44	1276	1046	4,22	1,2164352 h ή 1h 12'59''
Θέση 5	18,46	1378	1046	5,16	1,7099928 h ή 1h 42'36''
Θέση 6	3,77	1335	1000	3,36	0,8746238h ή 0h 52'29''
Θέση 7	22,95	1361	1000	5,98	1,8512147 h ή 1h 51'04''
Θέση 8	7,85	1147	835	4,40	1,2601635h ή 1h 5'37''
Θέση 9	33,63	1281	834	8,31	2,1081508 h ή 2h 06'29''



Θέση 10	4,77	1060	833	4,20	1,2474789h ή 1h 14'51''
Θέση 11	37,96	1255	830	8,50	2,2672033 h ή 2h 16'02''
Θέση 12	4,72	991	825	3,42	1,0726574h ή 04'22''
Θέση 13	43,59	1219	823	8,84	2,4920911 h ή 2h 29'32''
Θέση 14	4,86	1272	805	4,31	0,8840256h ή 0h 53'02''
Θέση 15	50,07	1215	804	10,09	2,6786412 h ή 2h 40'43''
Θέση 16	3,33	1195	760	3,76	0,7754908h ή 0h 46'32''
Θέση 17	56,82	1196	759	12,13	2,8910051 h ή 2h 53'28''
Θέση 18	5,85	979	676	5,65	1,303342h ή 1h 18'12''
Θέση 19	75,13	1146	676	15,48	3,3379788 h ή 3h 20'17''
Θέση 20	3,11	921	665	4,30	1,0550060h ή 1h 03'18''
Θέση 21	82,87	1146	648	17,74	3,5301705h ή 3h31'49''

### Υπολογισμός μέγιστης στερεοπαροχής, υδατοστερεοπαροχής

Τα αποτελέσματα του υπολογισμού της μέγιστης στερεοπαροχής ( $\max G_{100}$ ) της μελετούμενης λεκάνης, με τη μέθοδο των Stiny-Hercheulidze και της μέγιστης υδατοστερεοπαροχής του χειμάρρου Μύριχου στις θέσεις μέτρησης (Σχ. 4) δίνονται στον Πίνακα 11.

**Πίνακας 11.** Υπολογισμός των μέγιστων στερεοπαροχών  $\max G_{100} = (P_n * m * \max Q_{100} / Y_n (100 - P_n)$ , μέθοδος Stiny-Hercheulidze) και υδατοστερεοπαροχών  $\max(Q+G)_{100}$  του Μύριχου στις θέσεις μέτρησης (Σχ. 4).

Επιφάνεια (Km <sup>2</sup> )	Μέγιστη υδατοπαροχή, ( $\max Q_{100}$ ) (m <sup>3</sup> /s)	Συντελεστής ( $P_n$ )	Συντελεστής χειμαρρικότητας (m)	Ειδικό βάρος φερτών ( $Y_n$ ) (t/m <sup>3</sup> )	Μέγιστη στερεοπαροχή (m <sup>3</sup> /s)	Μέγιστη υδατοστερεοπαροχή ( $\max G_{100}$ ) (m <sup>3</sup> /s)
11,49	21,89	36,19	0,66	2,41	3,40	25,29
1,13	6,96	34,555	0,68	2,39	1,05	8,01
12,62	23,92	36,04	0,65	2,40	3,65	27,57
4,44	12,49	31,39	0,62	2,34	1,51	14,00
18,46	27,97	34,83	0,65	2,43	4,00	31,97
3,77	12,53	36,39	0,82	2,42	2,43	14,96
22,95	32,62	35,11	0,70	2,42	5,11	37,73
7,85	16,39	33,705	0,73	2,38	2,56	18,95
33,63	41,51	34,725	0,71	2,40	6,53	48,04
4,77	12,88	34,155	0,76	2,38	2,13	15,01
37,96	44,61	34,64	0,72	2,39	7,12	51,73
4,72	12,44	26,77	0,65	2,32	1,27	13,71
43,59	48,63	33,67	0,71	2,38	7,36	55,99
4,86	14,61	37,765	0,98	2,44	3,56	18,17
50,07	54,58	34,13	0,74	2,38	8,79	63,37
3,33	11,29	44,995	1,07	2,42	4,08	15,37
56,82	57,76	34,825	0,76	2,37	9,90	67,66
5,85	14,53	31,45	0,62	2,30	1,80	16,33
75,13	72,13	34,525	0,67	2,37	10,75	82,88
3,11	11,06	30,19	0,61	2,29	1,27	12,33
82,87	77,37	32,88	0,67	2,36	10,92	88,29

## Υπολογισμός της παροχетеυτικής επάρκειας του χειμάρρου μύριχου στις διατομές ελέγχου

Ο υπολογισμός της παροχетеυτικής επάρκειας του χειμάρρου Μύριχου στις διατομές ελέγχου (Σχ. 4) με τη μέθοδο των ιχνών δίνεται στον Πίνακα 12. Στον ίδιο Πίνακα παρέχεται το πλεονασματικό ή ελλειμματικό ισοζύγιο της παροχетеυτικής ικανότητας των κοιτών σε σχέση με τη μέγιστη αφικνούμενη υδατοστεροπαροχή, από το οποίο προκύπτει η πλημμυρική επικινδυνότητα των ελεγχόμενων διατομών (θέσεων).

**Πίνακας 12.** Υπολογισμός της παροχетеυτικής ικανότητας και της παροχетеυτικής επάρκειας των διατομών ελέγχου (με την μέθοδο των ιχνών) (Σχ. 4).

Θέση	Επιφάνεια λεκάνης Km <sup>2</sup>	Υπολογισμός της παροχетеυτικής ικανότητας των κοιτών στις θέσεις ελέγχου							Μέγιστη υδατοστεροπαροχή Max(Q+G) <sub>100</sub> m <sup>3</sup> /s	Έλεγχος επάρκειας Έλλειμμα(-) Πλεόνασμα(+) ΔQ=Q-max(Q+G) <sub>100</sub> m <sup>3</sup> /s
		Υγρή επιφάνεια E (m <sup>2</sup> )	Υπολογισμός ταχύτητας				Παροχή Q= u.E m <sup>3</sup> /s			
			Υγρή περίμετρος U (m)	Υδραυλική ακτίνα R=E/U (m <sup>3</sup> /m)	Κλίση J %	Τραχύτητα k		Ταχύτητα u=k R <sup>2/3</sup> J <sup>1/2</sup> m/s		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	11,49	27,18	16,52	1,645	1,92	24	4,6346	125,97	25,29	+100,68
2	1,33	10,91	9,89	1,103	4,68	18	4.1157	45,35	8,01	+ 37,34
3	12,62	32,57	21,96	1,483	1,68	21	3,54	115,30	27,57	+ 87,73
4	4,44	4,16	5,30	0,785	5,08	18	3,452	14,36	14,00	+0,36
5	18,46	14,494	14,70	0,986	2,38	21	3,209	46,52	31,97	+14,55
6	3,77	13,95	15,35	0,909	3,74	19	3,445	13,00	14,96	-1,96
7	22,95	13,37	15,72	0,851	2,59	25	3,611	48,29	37,73	+10,56
8	7,85	3,48	5,29	0,658	1,88	24	2,489	8,66	18,95	-10,29
9	33,63	6,78	9,63	0,704	1,98	23	2,76	18,72	48,04	-29,32
10	4,77	3,11	3,54	0,879	2,01	22	2,861	8,90	15,01	-6,11
11	37,96	6,42	7,36	0,872	1,94	24	3,05	19,59	51,73	-32,74
12	4,72	5,23	7,76	0,674	4,98	19	3,26	17,05	13,71	+3,34
13	43,59	18,14	19,05	0,952	2,02	23	3,164	57,39	55,99	+1,40
14	4,86	7,06	9,89	0,714	4,66	20	3,448	24,35	18,17	+6,18
15	50,07	21,82	19,32	1,129	1,83	22	3,228	70,43	63,37	+7,06
16	3,33	3,54	6,87	0,515	3,97	22	2,817	9,97	15,37	- 5,40
17	56,82	25,74	26,47	0,972	1,65	23	2,90	74,64	67,66	+6,98
18	5,85	4,53	5,32	0,852	2,36	22	3,036	13,75	16,33	-2,58
19	75,13	26,26	27,03	0,972	1,88	24	3,228	84,77	82,88	+1,89
20	3,11	3,25	4,03	0,806	2,26	26	3,386	11,01	12,33	-1,32
21	82,87	27,83	29,02	0,959	1,74	26	3,335	92,82	88,29	+4,53

## Σύνοψη, κρίσεις, συμπεράσματα

Από την έρευνα των χειμαρρικών συνθηκών του χειμάρρου Μύριχου και των υπολεκανών του (Πίν. 3 έως 12, Σχ. 6, Εικ. 2α,β,γ, 3α,β) προέκυψαν τα ακόλουθα.

Η λεκάνη του Μύριχου έχει επιφάνεια  $F = 82,87\text{Km}^2$ , με τις επιφάνειες των συμβαλλόντων κλάδων του να κυμαίνονται μεταξύ  $F = 11,49\text{Km}^2$  (ανώτερη λεκάνη) και  $F = 1,13\text{Km}^2$  (ανώνυμο Ρ). Η λεκάνη του έχει πολύ υψηλή περιμετρική ζώνη και

ήπιο κεντρικό μισαγγειακό κοίλωμα και ακανόνιστο ορθογωνικό στρογγυλόμορφο σχήμα με δείκτη στρογγυλομορφίας κατά Gravelius  $K_F = 1,23$ . Το μέγιστο υψόμετρο βρίσκεται στα 2111 m, το ελάχιστο στα 648m και το μέσο στα 1146m. Έχει αραιό υδρογραφικό δίκτυο (πυκνότητα  $D_L = 2,95 \text{Km} / \text{Km}^2$ ), οφειλόμενο στην σκληρότητα των κρυσταλοपुरιγενών, σχιστολιθικών και ασβεστολιθικών πετρωμάτων και στη συμπαγή δασική βλάστηση και σημαντικό μήκος κεντρικής κοίτης ( $L_k = 17,74 \text{Km}$ ). Το πολύ μεγάλο υψομετρικό του ανάπτυγμα ( $\Delta H_{\max} = 1463 \text{ m}$ ) συμβάλλει στην ανάπτυξη των ισχυρών κλίσεων της λεκάνης ( $J_F = 40,23\%$ ) και της κεντρικής του κοίτης ( $J_{lk} = 7,62\%$ ).

Το γεωϋπόθεμα του χειμάρρου δομείται από πετρώματα του Κρυσταλοपुरιγενούς σχηματισμού (56,10%) και ακολουθούν πετρώματα του Σχιστολιθικού (21,10%), του Προσχωσιγενούς (11,30%) και του Ασβεστολιθικού (10,30%) σχηματισμού. Ο φλυσικός σχηματισμός απουσιάζει και καταγράφεται οριακή παρουσία του Νεογενούς (1,2%).

Ο χειμάρρος έχει σημαντικό μέσο ετήσιο ύψος βροχής ( $P_m = 814,9 \text{ mm}$ ) και χαμηλή μέση ετήσια θερμοκρασία αέρα ( $T_m = 8,3^{\circ}\text{C}$ ).

Η βλάστηση του χειμάρρου χαρακτηρίζονται από την παρουσία ενός έντονα προστατευτικού συνηρεφούς δάσους Δρυός-Οξυάς και περιμετρικά της Βλάστης αναδασώσεων Πεύκης, με έντονα προστατευτική αντιδιαβρωτική, υδρολογική και αντιπλημμυρική δράση, ενώ σημαντική είναι και η αντιδιαβρωτική, υδρολογική και αντιπλημμυρική δράση των λιβαδικών εκτάσεων.

Από την έρευνα προέκυψε ότι η μέγιστη υδατοπαροχή του χειμάρρου στη θέση 1 έχει τιμή  $\max Q_{100} = 21,89 \text{m}^3/\text{s}$  (θέση 1) και στο κλείσιμο της λεκάνης γίνεται  $\max Q_{100} = 77,37 \text{m}^3/\text{s}$  (θέση 21). Οι μέγιστες στερεοπαροχές λόγω της πολύ καλής δασικής - λιβαδικής βλάστησης και του έντονα διηθητού ορεινού ασβεστολιθικού γεωϋποθέματος είναι αρκετά απομειωμένες. Οι μέγιστες στερεοπαροχές εκκινούν από την τιμή  $\max G_{100} = 3,40 \text{m}^3/\text{s}$  (θέση 1) και φθάνουν την τιμή των  $\max G_{100} = 10,92 \text{m}^3/\text{s}$  (θέση 21), με αποτέλεσμα οι μέγιστες υδατοστερεοπαροχές να ανέρχονται σε  $\max(Q+G)_{100} = 25,29 \text{m}^3/\text{s}$  (θέση 1) και  $\max(Q+G)_{100} = 88,29 \text{m}^3/\text{s}$  (θέση 21).

Οι κατά μήκος της κεντρικής κοίτης του Μύριχου υπολογισθείσες παροχετευτικές ικανότητες των 21 διατομών ελέγχου κυμαίνονται από  $\max Q_{\text{παρ}} = 25,29 \text{m}^3/\text{s}$  (θέση 1) μέχρι  $Q_{\text{παρ}} = 92,82 \text{m}^3/\text{s}$  (θέση 21). Από τον έλεγχο της παροχετευτικής επάρκειας των κοιτών στις θέσεις ελέγχου (Σχ. 5, Πίν. 12) προκύπτει ότι από τις 21 ελεγχθείσες θέσεις οι 13 (θέσεις 1,2,3,4,5,7,12,13,14,15,17,19,21) έχουν παροχετευτικό πλεόνασμα κυμαινόμενο από  $100,68 \text{m}^3/\text{s}$  (Θέση 1), μέχρι  $0,36 \text{m}^3/\text{s}$  (θέση 4) και οι 8 (θέσεις 6, 8, 9, 10, 11, 16, 18, 20) παροχετευτικό έλλειμμα κυμαινόμενο από  $32,74 \text{m}^3/\text{s}$  (θέση 9), μέχρι  $1,32 \text{m}^3/\text{s}$  (θέση 20).

Επισημαίνεται ότι η κατά το παρελθόν πολύ έντονη πλημμυρική υδατοστερομεταφορική δράση του Μύριχου οφείλονταν εν πολλοίς στην μείωση-υποβάθμιση της δασικής βλάστησης λόγω της έντονης υπερβόσκησης. Με τη ρύθμιση της βοσκής, την αύξηση της φυσικής βλάστησης και τις υδρονομικές αναδασώσεις του 1958-1965 τα πλημμυρικά φαινόμενα μειώθηκαν σημαντικά και συνεχίζουν να βαίνουν συνεχώς μειούμενα.

## Βιβλιογραφία

American Society of Civil Engineers. Task Committee on Hydrology. Handbook.

- Cadenas Lopez, (1993). Torrent control and streambed stabilization. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Italy.
- Chow, V.T. (ed.) (1964). Handbook of Hydrology. New York.
- Horton, R.E. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins: Hydrological Approach to quantitative morphology. Bull of the Geol. Soc. Am. 56.
- Garg, S.K. (1987). Hydrology and Water Resources Engineering. New Delhi.
- Kirkby, M.J. and Morgan, R.P.C. (1980). Soil erosion, (ed.). John Willey and Sons.
- Gregory, K.J. and Walling, O. (1983). Drainage Basin. Form and Process. A. Geomorphological Approach. Fletcher and Son L TD. Norwich. U.K.
- Κωτούλας, Δ. (1969). Οι χείμαρροι της Β. Ελλάδος. Επιστημονική Επετηρίδα Γ.Δ. Σχολής (Παράρτημα).
- Κωτούλας, Δ. (1979). Συμβολή στη μελέτη του γενικού μηχανισμού δράσεως ενός χειμαρρικού δυναμικού. Επετ. Για τα 50 χρόνια της Δασολογίας. Α.Π.Θ. Θεσσαλονίκη.
- Κωτούλας, Δ. (2001α). Ορεινή Υδρονομική. Τόμος Πα: Τα ρέοντα ύδατα. Θεσσαλονίκη.
- Κωτούλας, Δ. (2001β). Ορεινή Υδρονομική, Τόμος Πβ: Υδρονομικά Έργα. Θεσσαλονίκη.
- Linsley, R., Kohler, M. and Paulhus, J., (1982). Hydrology for Engineers. 3<sup>rd</sup> ed. McGraw Hill.
- Μαργαρόπουλος, Π. (1963). Η υδατική διάβρωση και το χειμαρρικό φαινόμενο. Αθήνα.
- Margaropoulos, P. (1964). Rapport sur la classification des bassins torrentiels FAO/EFC/TORR/64/2.
- Μουλόπουλος, Χ. (1968). Ορεινή Υδρονομική. Θεσσαλονίκη.
- Murphy, J., Wallace, O. and Lane, L. (1977). Geomorphic Parameters: Predict Hydrographic Characteristics in the Southwest. Water Res. Bul. Am. Water. Res. Ass. vol.13(1), pp. 25-38.
- Παυλίδης, Θ. (1991). Ανάλυση του μηχανισμού πλημμυρικής δράσης του χειμάρρου Φούρκας και του συστήματος διευθέτησής του, υπό το πρίσμα της πρόσφατης πλημμύρας του Δεκεμβρίου του 1990. Επιστημονική Επετηρίδα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος. Τόμ. ΑΛ/1, Αρ. 24, σελ. 664-720.
- Παυλίδης, Θ. (1998). Έρευνα αντιμετώπισης και αξιοποίησης των υδατικών προβλημάτων του ορεινού όγκου του Χορτιάτη. Ερευνητικό Έργο 7025. Επιτροπή Ερευνών Α.Π.Θ.
- Παυλίδης, Θ., Καραχάλιος, Π., Μαρίνος, Δ., Παπαθανασίου, Β., Σούτσας, Κ. και Τσεμπερίδης, Κ. (2000). Το χειμαρρικό περιβάλλον των χειμάρρων του Αγίου Όρους. Επιστημονική Επετηρίδα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος, τόμος ΜΓ, σελ 201- 222, Θεσσαλονίκη.
- Shaw, E. (1983). Hydrology in Practice (ed.). Van Norstrand Reihold, υ.κ , Co. Ltd.
- Στεφανίδης, Π. (1990). Μορφομετρική και υδρογραφική συγκρότηση των χειμαρρικών τύπων στο χώρο της Β. Ελλάδας. Διδακτορική Διατριβή. Θεσσαλονίκη.
- Subramanya, K. (2008). Engineering Hydrology.
- Tricart, J. (1965). Principes et methodes de la geomorphologie. Paris.
- Τσακίρης, Γ. (1995). Υδατικοί Πόροι, Τεχνική Υδρολογία. Αθήνα.
- Young, A. (1972). Slopes Geomorphology texts. London. New York.

**ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΜΕΣΗΣ ΕΤΗΣΙΑΣ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΑΠΩΛΕΙΑΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΡΙΩΝ  
ΕΜΠΕΙΡΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΚΑΙ ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ ΤΩΝ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ  
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ. Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΩΝ ΧΕΙΜΑΡΡΩΝ ΤΣΑΙ,  
ΒΑΘΥ, ΛΥΚΟΡΡΕΜΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥΠΟΛΗΣ**

**Σπυρίδων Παπαρρίζος**

Εργαστήριο Διευθέτησης Ορεινών Υδάτων και Διαχείρισης Κινδύνου  
Τμήμα Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων  
Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης  
e-mail: [spirap@gmail.com](mailto:spirap@gmail.com)

**Θεόφιλος Αναστασίου**

Εργαστήριο Διευθέτησης Ορεινών Υδάτων και Διαχείρισης Κινδύνου  
Τμήμα Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων  
Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης  
e-mail: [feeltheo@hotmail.com](mailto:feeltheo@hotmail.com)

**Σίμος Ποτουρίδης**

Εργαστήριο Διευθέτησης Ορεινών Υδάτων και Διαχείρισης Κινδύνου  
Τμήμα Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων  
Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης  
e-mail: [spotouri@fmenr.duth.gr](mailto:spotouri@fmenr.duth.gr)

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Η λεκάνη απορροής των ποταμών Τσάι, Βαθύ και Λυκόρεμα παρουσιάζεται με έντονο ανάγλυφο και πολυσχιδές, πυκνό υδρογραφικό δίκτυο, το οποίο σε συνδυασμό με τους έντονους γεωλογικούς σχηματισμούς και τη φωτιά που ξέσπασε το 2007, ενθαρρύνουν το φαινόμενο της διάβρωσης, της απόθεσης και της μεταφοράς των φερτών υλικών. Στην παρούσα έρευνα εξετάστηκαν τα μέγιστα ποσοστά της ροής και της μεταφοράς μάζας των λεκανών απορροής του Λουτρού Αλεξανδρούπολης, αλλά και της ευρύτερης περιοχής.

Το πρόβλημα προσεγγίζεται με την εφαρμογή τριών εμπειρικών μεθόδων σε περιβάλλον Γ.Σ.Π., της μεθόδου της παγκόσμιας εξίσωσης εδαφικής απώλειας (U.S.L.E.) η δεύτερη είναι η μέθοδος του Gavrilovič, όπως τροποποιήθηκε από τον Zemljic (1971) και η τρίτη είναι η μέθοδος Kronfellner-Kraus.

**Λέξεις κλειδιά:** Εδαφική απώλεια, U.S.L.E., Gavrilovič, Kronfellner-Kraus, στερεοαπορροή.

**Εισαγωγή**

Η ορθολογική χρήση και η προστασία των εδαφικών πόρων αποτελεί ένα μείζον πρόβλημα για τον άνθρωπο στη σύγχρονη εποχή. Η υποβάθμιση των εδαφικών πόρων η

οποία σχετίζεται άμεσα με την μείωση ή απώλεια της παραγωγικής διαδικασίας των δασικών ή αγροτικών εδαφών, είναι αποτέλεσμα της δράσης παραγόντων όπως οι κλιματικές μεταβολές και οι ανθρώπινες δραστηριότητες (Τσακίρης 1995).

Η κύρια διαδικασία που είναι υπεύθυνη για την υποβάθμιση είναι η διάβρωση, δηλαδή η απομάκρυνση εδαφικού υλικού από περιοχές με ορεινό ή ημιορεινό ανάγλυφο και την απόθεση του σε περιοχές πεδινές ή σε εκβολές υδατορευμάτων. Η διάβρωση οφείλεται στη δράση του βρόχινου νερού που μετασχηματίζεται σε απορροή ή στον αέρα ή στη συνδυασμένη δράση των δύο ή σε άλλα φυσικά στοιχεία (Τσακίρης 1995, Κωτούλας 2001). Ιδιαίτερο πρόβλημα αποτελεί ή επιταχυνόμενη διάβρωση, η οποία οφείλεται σε ανθρωπογενείς δραστηριότητες όπως οι δασικές πυρκαγιές, η υπερβόσκηση, οι υλοτομίες και άλλες επεμβάσεις του ανθρώπου όπου οι απώλειες εδάφους είναι μεγαλύτερες και γρηγορότερες.

Στη χώρα μας το φαινόμενο της επιταχυνόμενης διάβρωσης είναι ιδιαίτερα έντονο και οφείλεται σε παράγοντες όπως (Οικονόμου και Νάκος 1990):

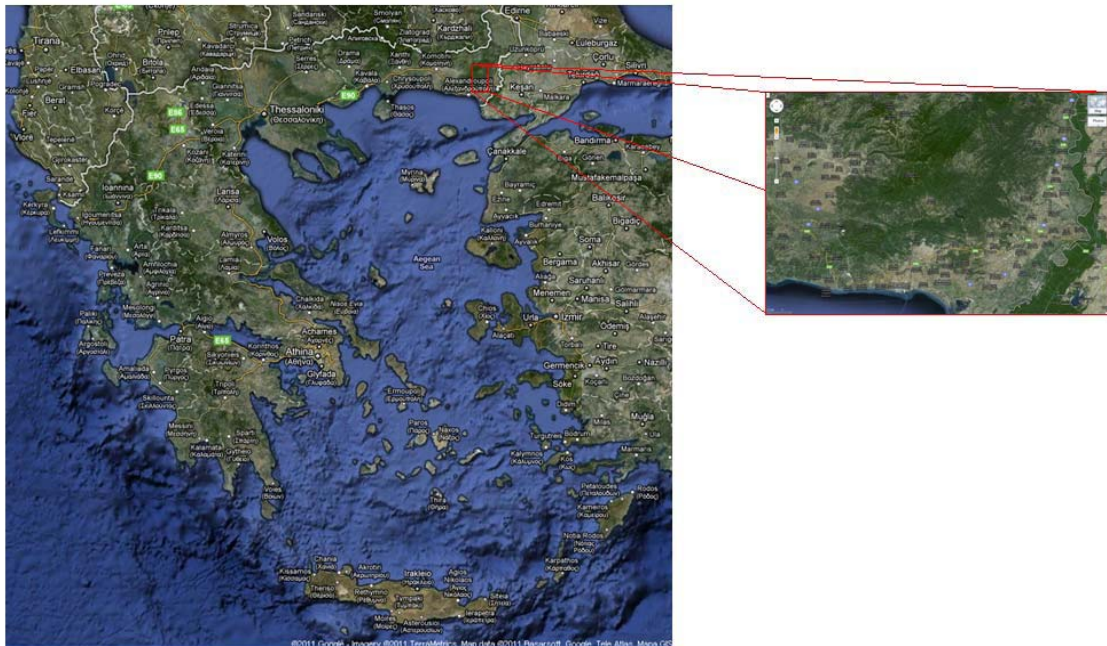
- Το έντονο ορεινό ανάγλυφο των δασικών εκτάσεων.
- Το μεσογειακού τύπου κλίμα με ξηρά και θερμά καλοκαίρια και ψυχρούς χειμώνες με αρκετά επεισόδια ραγδαίων βροχών.
- Ο σημαντικός αριθμός των δασικών πυρκαγιών.
- Η μη ορθολογική χρήση των φυσικών πόρων.
- Το μεγάλο ποσοστό αδιαπέραστων από το νερό γεωλογικών σχηματισμών.
- Οι ανθρωπογενείς επεμβάσεις, όπως η έντονη και ανεξέλεγκτη βόσκηση των ορεινών εδαφών, η εκχέρσωση και καλλιέργεια έντονα επικλινών εδαφών, η διατάραξη της προστατευτικής φυσικής φυτοκάλυψης.

Η διάβρωση των δασικών εδαφών αποτελεί σημαντικό πρόβλημα τόσο για τις ορεινές περιοχές αλλά επίσης για τις χαμηλότερες ή πεδινές περιοχές οι οποίες υφίστανται τις συνέπειες της μεταφοράς των υλικών μέσω των υδατορευμάτων και της απόθεσης αυτών στη θάλασσα ή σε φυσικούς ή τεχνητούς ταμιευτήρες.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι ο υπολογισμός της εδαφικής απώλειας στις υπολεκάνες απορροής του ποταμού Σπερχειού με το συνδυασμό της Παγκόσμιας Εξίσωσης Εδαφικής Απώλειας (Universal Soil Loss Equation), της Gavrilovič, όπως τροποποιήθηκε από τον Zempljic (1971) και της μεθόδου μέγιστου δυνατού στερεοφορτίου Kronfellner-Kraus, και τη βοήθεια των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών.

## Περιοχή έρευνας

Η περιοχή όπου διεξήχθη η έρευνα, είναι η λεκάνη απορροής των παραπόταμων: Τσάι, Βαθή, Λυκόρρεμα, η οποία βρίσκεται στη Θράκη, στο νότιο τμήμα του νομού Έβρου. Περιλαμβάνει νότια το χωριό Λουτρός, το οποίο είναι μέρος της δημοτικής μονάδας της Τραϊανούπολης και βρίσκεται ανάμεσα στην Αλεξανδρούπολη και τον εθνική οδό GR-51. Το 2001 ο πληθυσμός του ήταν 1.049 για τον οικισμό και 1.120 για το δημοτικό διαμέρισμα. Η περιοχή είναι επίπεδη, με εξαίρεση προς τα βόρεια. Επίσης, στη λεκάνη περιλαμβάνεται ο ημιορεινός οικισμός Αισύμη με υψόμετρο 390 μέτρα, ο οποίος βρίσκεται στους ανατολικούς πρόποδες του Επταδένδρου 22,5 χιλιόμετρα βόρεια της πόλης της Αλεξανδρούπολης. Η περιοχή είναι περίπου 100 έως 150 στρέμματα και το 2001 ο πληθυσμός της ήταν 289 για το χωριό και 367 για το δημοτικό διαμέρισμα. Ο γενικός προσανατολισμός της λεκάνης είναι Β.Δ. προς Ν.Α.



**Σχήμα 1.** Η περιοχή έρευνας στην Ελλάδα.

Η ηφαιστειακή δραστηριότητα στην περιοχή της Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης κατανέμεται κυρίως σε δύο μεγάλες περιοχές, στην περιοχή μεταξύ Διποτάμων-Καλότυχου (Ελληνοβουλγαρικά σύνορα βόρεια της Ξάνθης) και στην περιοχή Αλεξανδρούπολης. Η ηφαιστειακή δράση συνδέεται με τη δημιουργία μεγάλων ιζηματογενών λεκανών που αναπτύχθηκαν μέσα στη Μάζα της Ροδόπης καθώς και στα νότια περιθώριά της. Οι λεκάνες αυτές σχηματίστηκαν μετά από μία έντονη ορογενετική δραστηριότητα κατά το Ηώκαινο, η οποία επηρέασε όλες τις Εσωτερικές Ελληνίδες ζώνες.

Στην περιοχή της Αλεξανδρούπολης απαντούν δύο μεγάλες ηφαιστειακές εμφανίσεις που σχηματίστηκαν στις αντίστοιχες ανω-ηώκαινικές ιζηματογενείς λεκάνες Αισύμης-Κίρκης (δυτικά) και Φερρών-Δαδιάς-Σουφλίου (ανατολικά). Τα ιζηματογενή πετρώματα των λεκανών αυτών είναι βασικό κροκαλοπαγές, άργιλλοι, ψαμμίτες, μάργες και νομμουλιτοφόροι ασβεστόλιθοι. Τα ηφαιστειακά πετρώματα σχηματίζουν δόμους, ροές λάβας, φλέβες και πυροκλαστικά. Η ηλικία των ηφαιστιτών προσδιορίστηκε σε 24-30 εκατ. χρόνια (Ολιγόκαινο) με τη μέθοδο K-Ar.

Οι πετρογραφικοί τύποι των ηφαιστειακών πετρωμάτων της Αλεξανδρούπολης είναι βασालτικοί ανδεσίτες, ανδεσίτες, δακίτες και ρυόλιθοι. Στην περιοχή Αισύμης-Κίρκης (400 τετρ. χλμ.) επικρατούν κυρίως ανδεσίτες και δακίτες, οι οποίοι σε αρκετή έκταση είναι αλλοιωμένοι (προπυλιτιωμένοι, σερικιτιωμένοι). Στην ηφαιστειότητα της περιοχής οφείλονται οι αξιόλογες θερμομεταλλικές πηγές Λουτρών.

Το κλίμα της Αλεξανδρούπολης περιγράφεται σαν μεικτό Μεσογειακό-Κεντροευρωπαϊκό Κλίμα. (A. Matzarakis. Meteorological Institute, University of Freiburg, D-79085 Freiburg, Germany).

Για το χαρακτηρισμό του κλίματος στην υπό μελέτη περιοχή χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα της τελευταίας εικοσαετίας (1980-2002) από τον πλησιέστερο μετεωρολογικό σταθμό που είναι αυτός του αεροδρομίου της Αλεξανδρούπολης.

Από την ανάλυση των τιμών της θερμοκρασίας, του ύψους βροχής, της σχετικής υγρασίας και της ηλιοφάνειας προκύπτουν κάποια γενικά κλιματολογικά γνωρίσματα για την περιοχή. Το καλοκαίρι είναι θερμό με μέγιστες θερμοκρασίες να παρατηρούνται τον Ιούλιο και τον Αύγουστο, ενώ ο χειμώνας είναι αρκετά ψυχρός με ελάχιστες θερμοκρασίες να παρατηρούνται τον Ιανουάριο και Φεβρουάριο. Οι παγετοί αρχίζουν συνήθως από τα μέσα Νοεμβρίου και επεκτείνονται πολλές φορές έως τέλος Μαρτίου. Η μέση ετήσια θερμοκρασία στην περιοχή ανέρχεται στους 14°C, ενώ το μέσο ετήσιο ύψος βροχής στα 481.2mm.

Στο χωριό του Λουτρού και νότια του Αετοχωρίου οι φυτικές διαπλάσεις της περιοχής αποτελούνται από ώριμο πευκοδάσος με μαύρη Πεύκη (*Pinus nigra*), που συνήθως εντοπίζεται σε υψόμετρο μεγαλύτερο των 400 m. Κυρίαρχα είδη είναι: *Quercus pubescens*, *Quercus coccifera* και *Quercus frainetto*. Επίσης, συναντάμε: *Acer campestre*, *Carpinus orientalis* και σε υγρά εδάφη: *Salix alba*, *Populus alba*.

## **Υλικά και Μέθοδοι**

### **Γενικά**

Τα τοπογραφικά δεδομένα της περιοχής μελέτης προήλθαν από την ψηφιοποίηση των χαρτών 1:50000 της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού (Γ.Υ.Σ.). Από την ψηφιοποίηση των χαρτών έγινε η χάραξη του υδρογραφικού δικτύου, η οριοθέτηση των λεκανών απορροής καθώς και η σχεδίαση των ισουψών καμπύλων ισοδιάστασης 20 m. Μέσω του Arcmap 9.3 έγινε αναπαραγωγή των ισουψών καμπύλων στα 5 m. Με βάση την ισοδιάσταση των 5 m δημιουργήθηκε το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους με διάσταση καννάβου 10 m.

Στη συνέχεια με την βοήθεια των εφαρμογών του ίδιου προγράμματος υπολογίστηκαν όλα τα μορφολογικά χαρακτηριστικά των λεκανών απορροής που επηρεάζουν τον τρόπο και την διαδικασία κίνησης του απορρέοντος νερού.

Το γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής έρευνας μελετήθηκε με βάση τους χάρτες του Ι.Γ.Μ.Ε. (1:500.000 και 1:50.000).

Για την κάλυψη των χρήσεων γης χρησιμοποιήθηκε η βάση δεδομένων corine land cover, του έτους 2000 (Corine 2000).

### **Εκτίμηση της στερεοπαροχής με εμπειρικά (στοχαστικά) μοντέλα**

Η ανάγκη της κατά το δυνατό ακριβούς προβλέψεως και εκτιμήσεως του όγκου των φερτών υλών σε υδρολογικές λεκάνες, οδήγησε στην ανάπτυξη διαφόρων μοντέλων διαβρώσεως, διαφορετικού βαθμού ακρίβειας και πολυπλοκότητας. Η ανάγκη αυτή υπαγορεύτηκε τόσο εξαιτίας των σοβαρών συνεπειών της διαβρώσεως των εδαφών στα τεχνικά έργα, όσο και από την απαίτηση για τον εντοπισμό περιοχών για λήψη μέτρων αντιδιαβρωτικής προστασίας, ανάλογα με την επικινδυνότητα στη διάβρωση (Τσακίρης 1995). Κατά τις τελευταίες δεκαετίες, πολλά διαφορετικά εμπειρικά μοντέλα έχουν προταθεί για την εκτίμηση και τον υπολογισμό της μέσης ετήσιας διάβρωσης και υποβάθμισης των λεκανών απορροής (Κωτούλας 2001). Η επιλογή της κάθε μεθόδου σχετίζεται με την καταλληλότητα του κάθε μοντέλου σε σχέση με τις τοπικές συνθήκες



(γεωμορφολογία, κλπ.), τις απαιτήσεις σε δεδομένα, την πολυπλοκότητα που το χαρακτηρίζει, την ακρίβεια και την εγκυρότητά του, τις προϋποθέσεις που απαιτεί και τέλος τους αντικειμενικούς στόχους του χρήστη (Meritt et al. 2003). Επιπλέον η χρήση μοντέλων σε περιοχές διαφορετικές από αυτές στις οποίες αναπτύχθηκαν δύναται να οδηγήσει σε σημαντικά λάθη, ενώ η χρήση τους απαιτεί επαλήθευση (Vrieling et al. 2006, Tazioli 2008).

Τα εμπειρικά μοντέλα είναι συνήθως απλούστερα. Βασίζονται στην ανάλυση παρατηρήσεων καθώς και στην χρήση γεωμορφολογικών δεδομένων και στοχεύουν στη μοντελοποίηση αυτών για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων (Wheater et al. 1993, Meritt et al. 2003).

### **Παγκόσμια Εξίσωση Εδαφικής Απώλειας, (Universal Soil Loss Equation, USLE)**

Η Παγκόσμια Εξίσωση Εδαφικής Απώλειας (Universal Soil Loss Equation, USLE) αναπτύχθηκε στις ΗΠΑ (Wischmeier and Smith 1965, 1978) ενώ από τότε έχουν γίνει αρκετές προσαρμογές και βελτιώσεις. Η εξίσωση αυτή αφορά την επιφανειακή διάβρωση, συμπεριλαμβάνοντας και τη διάβρωση ρυακιών καθώς επίσης και τις τυχόν ανθρώπινες παρεμβάσεις που γίνονται στον έλεγχο της διάβρωσης.

Η διατύπωση της Παγκόσμιας Εξίσωσης Εδαφικής Απώλειας στην αρχική της μορφή είναι:

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P$$

όπου:

A : είναι η υπολογισμένη ετήσια γενική διάβρωση (tons/ha/year)

R : συντελεστής διαβρωτικότητας βροχής (Rainfall erosivity factor).

K : συντελεστής διαβρωσιμότητας εδάφους (Soil erodibility factor).

LS: συντελεστής ανάγλυφου ή τοπογραφικός συντελεστής (Topographic factor), που αποτελείται από το γινόμενο του μήκους κλιτύος L (slope – length factor) και του συντελεστή κλίσης κλιτύος S (slope – gradient factor).

C : συντελεστής φυτοκάλυψης (Vegetation cover factor).

P : συντελεστής ελέγχου διάβρωσης (Support practice factor).

Παρακάτω αναλύονται οι συντελεστές της Παγκόσμιας Εξίσωσης Εδαφικής Απώλειας.

### **Συντελεστής διαβρωτικότητας της βροχόπτωσης R**

Ο συντελεστής αυτός είναι συνάρτηση της συνολικής κινητικής ενέργειας της βροχής, καθώς επίσης και της μέγιστης τιμής της έντασης βροχής διάρκειας τουλάχιστον 30 λεπτών. Υπολογίζεται από την εξίσωση  $R = 5,9 \cdot 10^{-4} EI_{30}$

όπου:

$$E = 3,79 \cdot \sum_j (3,14 + \ln(I_j)) \cdot I_j \cdot \Delta t_j$$

E : συνολική κινητική ενέργεια της βροχής ανά μονάδα επιφάνειας ( $J/m^2$ ).

$I_{30}$  : μέγιστη ένταση βροχής διάρκειας 30 min, (mm/h).

$\Delta t_j$  : υποδιαίρεση χρόνου βροχής με αντίστοιχη ένταση /, (h).

Οι δύο παραπάνω εξισώσεις αφορούν ένα μεμονωμένο επεισόδιο βροχής. Στην πράξη ενδιαφέρει η μέση ετήσια τιμή του R για μια χρονοσειρά N ετών, όπου χρειάζεται να υπολογιστούν οι επιμέρους ετήσιες τιμές του R και να προκύψει ο μέσος

όρος αυτών, (πρέπει να ληφθούν υπόψη όλα τα επεισόδια βροχής διάρκειας 30 min κάθε έτους). Η παραπάνω διαδικασία είναι και χρονοβόρα και επίπονη, για αυτό το λόγο η τιμή του R τελικά προσδιορίζεται είτε από χάρτες (isoerodent maps), είτε από πίνακες.

Στην πράξη μπορούν ακόμη να χρησιμοποιηθούν απλές σχέσεις, που συσχετίζουν το μέσο ετήσιο ύψος βροχής P (mm), με την ετήσια τιμή του R, όπως αυτή των Kirkby και Morgan (1980):

$$R = \alpha \cdot P$$

όπου:  $\alpha = 0.1 \pm 0.05$  για εύκρατα κλίματα.

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε η εξής σχέση που αναπτύχθηκε στη Γερμανία (Schwertmann et al. 1990) και έχει χρησιμοποιηθεί και για τις ελληνικές συνθήκες (Χρυσάνθου και Πυλιώτης 1995):

$$R = 0.83 \cdot N - 17.7$$

όπου:

R [MJ\*mm/(ha\*h)] ο συντελεστής διαβρωτικότητας της βροχόπτωσης, και N [mm] η μέση ετήσια βροχόπτωση.

Πριν από την ανάλυση των βροχομετρικών δεδομένων ενός σταθμού πρέπει πρώτα να ελεγχθεί η ποιότητα και η πληρότητα των δεδομένων. Για τον έλεγχο της ποιότητας των παρατηρήσεων γίνεται έλεγχος της ομοιογένειας τους. Ελέγχεται, δηλαδή, κατά πόσο το σύνολο των παρατηρήσεων προέκυψε με τις ίδιες συνθήκες μετρήσεως. Ο έλεγχος της ομοιογένειας των δεδομένων ενός σταθμού γίνεται με μεθόδους όπως της διπλής αθροιστικής καμπύλης, των αθροιστικών αποκλίσεων, της δοκιμής πιθανοφάνειας, της αναλογίας Von Neumann κλπ. (Μιμίκου και Μπαλτάς 2006). Ο πιο συνηθισμένος τρόπος για έλεγχο ομοιογένειας στις χρονοσειρές βροχοπτώσεων είναι η δημιουργία διπλής αθροιστικής καμπύλης (Digman 1994), όπως έγινε και στη περίπτωση της υπό μελέτη περιοχής.

### Συντελεστής διαβρωσιμότητας εδάφους K

Εξαρτάται κυρίως από τη μηχανική σύσταση του εδάφους (ποσοστά σε άμμο, ιλύ και άργιλο). Όταν το ποσοστό ιλύος και λεπτής άμμου δεν υπερβαίνει το 70%, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η εξίσωση:

$$K = 2,1 \cdot M^{1,14} \cdot 10^{-6} \cdot (12 - a) + 0,0325 \cdot (b - 2) + 0,025 \cdot (c - 3)$$

όπου:

$$M = P_s \cdot (100 - P_c)$$

M : η παράμετρος μεγέθους κόκκων,

P<sub>s</sub> : ποσοστό ιλύος και πολύ λεπτής άμμου στο έδαφος (%), (0.002 <c/<0.1mm),

P<sub>c</sub> : ποσοστό αργίλου στο έδαφος (%), [d< 0.002 mm],

a : ποσοστό οργανικού εδαφικού υλικού, (%),

b : κωδικός εδαφικής δομής,

c : κωδικός διαπερατότητας εδάφους.

Στη γενικότερη περίπτωση, ο συντελεστής K προσδιορίζεται από το νομογράφημα του Wischmeier and Smith, 1978. Το νομογράφημα αυτό είναι απλό στη χρήση του,

χρειάζεται δε η γνώση της ποσοστιαίας αναλογίας σε άμμο, ιλύ και άργιλο, ο τύπος της δομής (κοκκώδης, τεμαχισμένη, πλακώδης κλπ), καθώς και ο βαθμός διαπερατότητας (υψηλή, μέση, χαμηλή) του εδάφους.

Για τον υπολογισμό του συντελεστή διαβρωσιμότητας  $K$  χρησιμοποιήθηκε γεωλογικός χάρτης (ΙΓΜΕ), ενώ οι τιμές που αποδόθηκαν στους γεωλογικούς σχηματισμούς της περιοχής έρευνας προέρχονται από την ελληνική αλλά και τη διεθνή βιβλιογραφία (Mitchell and Bubbenzer 1980, Zarris et al. 2002, Χρύσανθου και Πυλιώτης 1995, Ζαρρής κ.ά. 2001).

### Συντελεστής ανάγλυφου $LS$

Προκύπτει από την παρακάτω εξίσωση :

$$LS = (x / 22,13)^m \cdot (65,41 \cdot \sin^2 \theta + 4,56 \cdot \sin \theta + 0,065)$$

όπου:

$x$  : κεκλιμένο μήκος κλιτύος (m), δηλ. η απόσταση από το σημείο αφετηρίας της επιφανειακής ροής, μέχρι το σημείο συγκεντρώσεως της στο υδατόρευμα.

$\theta$  : γωνία κλίσης εδάφους, ( $\sin \theta = s / (10^4 + s^2)^{1/2}$ ), όπου  $s$  η κλίση, (%).

Η τιμή του εκθέτη  $m$ , ανάλογα με την κλίση του εδάφους  $s$  υπολογίζεται από κατάλληλους πίνακες.

Για τον υπολογισμό του συντελεστή  $LS$  έγινε χρήση του προγράμματος Arcmap 9.3 (Jianguo Ma 2001).

$$LS = (\text{FlowAccumulation} \cdot \text{CellSize} / 22,13)^{0,4} \cdot (\text{SinSlope} / 0,0896)^{1,3}$$

### Συντελεστής φυτοκάλυψης $C$

Οι τιμές του συντελεστή φυτοκάλυψης  $C$  υπολογίζονται από πίνακες που έχουν τιμές για αγροτολιβαδικές και δασικές εκτάσεις αντίστοιχα. Ακόμα υπάρχουν πίνακες που δίνουν τις τιμές του  $C$  ανάλογα με τον τύπο και το ύψος της βλάστησης, το ποσοστό κάλυψης της εδαφικής επιφάνειας από χαμηλά φυτά χωρίς φύλλωμα, καθώς και το αντίστοιχο ποσοστό θαμνώδους και δενδρώδους βλάστησης σε κάθετη προβολή. Επίσης μπορούμε να βρούμε σε άλλους κατάλληλους πίνακες τιμές του  $C$  για δασώδεις εκτάσεις, ανάλογα με το συνολικό ποσοστό κάλυψης.

Σε περίπτωση καλλιεργούμενων εκτάσεων, η τιμή του  $C$  καθορίζεται από το είδος και το πρόγραμμα της καλλιέργειας και μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια του έτους, ανάλογα με το στάδιο ανάπτυξης των φυτών. Στις Η.Π.Α. χρησιμοποιούνται πίνακες ανάλογα με τη γεωγραφική θέση της περιοχής και το κλίμα της, που μπορεί κανείς να προμηθευτεί εύκολα από την αρμόδια υπηρεσία, (SCS state office).

Για τον υπολογισμό του παράγοντα  $C$  έγινε χρήση του Corine 2000 και του προγράμματος Arcmap 9.3.

### Συντελεστής ελέγχου διάβρωσης $P$

Οι τιμές του συντελεστή ελέγχου διάβρωσης  $P$ , εξαρτώνται από τις εφαρμοζόμενες πρακτικές ενίσχυσης του εδάφους έναντι της διάβρωσης. Συγκεκριμένα, ανάλογα με την κλίση της επιφάνειας του εδάφους και την εφαρμοζόμενη τεχνική ενίσχυσης. Ο συντελεστής  $P$  εισάγεται και αυτός μετά από την μελέτη των κατάλληλων πινάκων.

Για εντελώς γυμνό και άγονο έδαφος, χωρίς καμία τεχνική ενίσχυσης έναντι της διάβρωσης, και οι δυο παραπάνω συντελεστές παίρνουν την τιμή 1 (Τσακίρης 1995).

Στη συγκεκριμένη περίπτωση ο συντελεστής P δόθηκε ανάλογα τα έργα που έχουν γίνει σε κάθε λεκάνη. Στη συνολική διάβρωση της λεκάνης απορροής θα πρέπει να προσθέσουμε και τη διάβρωση των οχθών των χειμάρρων, η οποία εκτιμάται εμπειρικά σαν ποσοστό 20% της επιφανειακής διάβρωσης (Roehl 1962, Μάρης κ.ά. 2006).

Έτσι, η συνολική ετήσια εδαφική διάβρωση προκύπτει από τον τύπο:

$$\text{Συνολική Διάβρωση} = 1,2 \cdot A$$

## Η μέθοδος Gavrilovič

Η μέθοδος Gavrilovič (Gavrilovič 1972, 1976, 1988) είναι ένα παραμετρικό διανεμημένο μοντέλο και χρησιμοποιήθηκε ευρέως για την ετήσια πρόβλεψη των ποσοστών εδαφολογικής διάβρωσης και της παραγωγής ιζημάτων σε μεγάλη κλίμακα λεκανών στη Σλοβενία και στην Κροατία τα τελευταία 35 χρόνια (Globevnik et al. 2003). Η μέθοδος Gavrilovic αναπτύχθηκε για την προστασία από τη διάβρωση, κυρίως στη δασική διαχείριση και τον έλεγχο των ρευμάτων. Η μέθοδος επίσης εφαρμόστηκε και σε λεκάνες απορροής στις Ιταλικές και Σουηδικές Άλπεις (Bazzoffi 1985, Pozzi et al. 1991, Fanetti and Vezzoli 2007).

Η βάση της μεθόδου Gavrilovic βασίζεται στο ότι τα φερτά υλικά που μεταφέρονται από το χειμαρρικό ρεύμα (G) συσχετίζονται με την ποσότητα των φερτών υλικών που παράγονται από την εδαφική διάβρωση W (m<sup>3</sup>/year) και με την ποσότητα που κατακρατείται στον υδροκρίτη (R: συντελεστής κατακράτησης φερτών υλικών) και δίνεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$G = W \cdot R$$

Ο υπολογισμός της ποσότητας των φερτών υλικών W περιλαμβάνει εμπειρικούς συντελεστές (συντελεστής διαβρωσιμότητας, συντελεστής προστασίας εδάφους και συντελεστής διάβρωσης) και φυσικά χαρακτηριστικά (ετήσια βροχόπτωση, θερμοκρασία, μέση κλίση και εμβαδό λεκάνης). Οι λεκάνες με την ισχυρή στο χώρο μεταβλητότητα αυτών των παραμέτρων, πρέπει να διαχωριστούν σε υπολεκάνες που παρουσιάζουν ομοιογενή χαρακτηριστικά.

Η μέθοδος αυτή προσδιορίζει τη μέση ετήσια διάβρωση ή υποβάθμιση στις ορεινές λεκάνες απορροής των χειμαρρικών ρευμάτων και έχει την ακόλουθη μορφή:

$$W = T \cdot h \cdot \pi \cdot \sqrt{Z^3} \cdot F \quad (\text{m}^3 / \text{έτος})$$

όπου:

W : όγκος μέσης, ετήσιας παραγωγής φερτών υλικών στην ορεινή λεκάνη απορροής του χειμαρρικού ρεύματος (m<sup>3</sup>/έτος). Εκφράζεται σε συμπαγή όγκο φερτών υλών. Για την αναγωγή του σε φαινόμενο όγκο πολλαπλασιάζεται, επί 1,28 ÷ 1,32 (το πορώδες των φυσικών αποθέσεων καταλαμβάνει τα 0,28 ÷ 0,32 του φαινόμενου όγκου).

T : συντελεστής θερμοκρασίας, ο οποίος παρέχεται από τη σχέση:

$$T = \sqrt{\frac{t_0}{10} + 0,1}$$

t<sub>0</sub> : μέση ετήσια θερμοκρασία στο μέσο υψόμετρο της ορεινής λεκάνης απορροής (°C)

h : μέσο ετήσιο ύψος βροχής στο μέσο υψόμετρο της ορεινής λεκάνης (mm)

$\pi$  : ο αριθμός 3,14159...

F : επιφάνεια της λεκάνης (km<sup>2</sup>)

z : συντελεστής διάβρωσης, ο οποίος υπολογίζεται από τη σχέση:

$$z = x \cdot y \cdot (\varphi + \sqrt{J})$$

x : συντελεστής που εκφράζει τη μείωση της αντίστασης του γεωλογικού υποθέματος κατά της διάβρωσης ανάλογα με την κατάσταση και την καλλιέργεια της επιφάνειας του, με βάση την παρουσία της βλάστησης. Δίνονται κατάλληλοι πίνακες. Κυμαίνεται μεταξύ 0,05 και 1,0.

y : συντελεστής διαβρωσιμότητας του γεωλογικού υποθέματος, ο οποίος εξαρτάται από την πετρολογική και εδαφολογική σύσταση των λεκανών. Δίνονται κατάλληλοι πίνακες. Κυμαίνεται μεταξύ 0,2 και 2,0.

$\varphi$  : συντελεστής, που εκφράζει το είδος και το βαθμό της διάβρωσης των λεκανών απορροής. Δίνονται κατάλληλοι πίνακες. Κυμαίνεται μεταξύ 0,1 και 1,0.

J : μέση κλίση της επιφάνειας της λεκάνης απορροής, ως εφαπτόμενης γωνίας (-), (Κωτούλας 2001).

Ο συντελεστής κατακράτησης φερτών υλικών στη λεκάνη απορροής (R) αναθεωρήθηκε από τον Zemljic (1971), και υπολογίζεται χρησιμοποιώντας μορφολογικά χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής και δίνεται από τη σχέση:

$$R = \left( \frac{(O \times D)^{1/2} (L + L_1)}{F (L + 10)} \right)$$

όπου:

O : η περίμετρος της λεκάνης απορροής(km).

D : το μέσο υψόμετρο της λεκάνης απορροής (km).

L : το μήκος της κεντρικής κοίτης της λεκάνης απορροής (km).

L<sub>1</sub> : το μήκος των δευτερευουσών κοιτών της λεκάνης απορροής (km).

### **Η μέθοδος του Kronfellner-Kraus ή του μέγιστου δυνατού στερεοφορτίου**

Η μέθοδος προσδιορίζει το μέγιστο δυνατό φορτίο φερτών υλών ή του μέγιστου δυνατού στερεοφορτίου γενικά και ιδίως των μικρών χειμαρρικών ρευμάτων των ορεινών και πολύ ορεινών περιοχών, το οποίο μπορεί να αποθεθεί στον κώνο πρόσχωσης τους λόγω έντονης στερεομεταφοράς μετά από έκτακτο πλημμυρικό γεγονός. Αυτό αποτελείται κυρίως από αδρομερή υλικά, ο όγκος των οποίων προσεγγίζει σχεδόν το συνολικό φορτίο φερτών υλικών, που παράγεται στην ορεινή λεκάνη λόγω της μέγιστης δυνατής υποβάθμισης κατά τη διάρκεια του συγκεκριμένου έκτακτου γεγονότος (Kronfellner-Kraus 1985).

Ένα μέρος όμως από τα παραγόμενα λεπτόκοκκα υλικά (αιωροφορτίο), το οποίο έχει μικρή συμμετοχή στο συνολικό φορτίο υλικών, διοχετεύεται δια του κώνου πρόσχωσης στον μεγαλύτερο αποδέκτη του ρεύματος, για αυτό και δεν προσμετράται από την εξίσωση. Συνεπώς, για τον υπολογισμό της πραγματικής υποβάθμισης της λεκάνης θα πρέπει να παίρνεται υπόψη, εκτός από το στερεοφορτίο και το αιωροφορτίο, όσο μικρό και αν είναι αυτό, και οι τυχόν ενδιάμεσες αποθέσεις (εάν υπάρχουν) στο χώρο της λεκάνης.

Το μέγεθος του μέγιστου δυνατού φορτίου φερτών υλών στις ορεινές λεκάνες απορροής με έκταση έως 80 km<sup>2</sup> (το πολύ 120 km<sup>2</sup>), δίνεται από την εξής σχέση:

$$G_{ολ} = \kappa \cdot J \cdot F$$

όπου:

$G_{ολ}$  : μέγιστο δυνατό συνολικό φορτίο (στερεοαιωροφορτίο, όχι χειμαρρολάβα), που αποτίθεται στον κώνο προσχώσεως κατά τη διάρκεια ενός έκτακτου πλημμυρικού γεγονότος. Εκφράζεται σε φαινόμενο (όχι συμπαγή) όγκο υλικών ( $m^3$ ). Για να μετατραπεί ο φαινόμενος σε συμπαγή όγκο διαιρείται δια 1,28-9-1,32 (πορώδες φυσικών αποθέσεων: 0,25+0,32).

$J$  : μέση κλίση κοίτης, στα ανάντη της υπόψη θέσης, (δηλ. της σημαντικής από άποψη σχεδιασμού περιοχής πριν από τη μεταφορά των υλικών). Δίνεται ως ποσοστό % (όχι ως εφαπτόμενη γωνίας).

$F$  : έκταση της λεκάνης απορροής ( $km^2$ ).

$\kappa$  : συντελεστής, που εκφράζει τη χειμαρρικότητα του ρεύματος. Οι μικρές ορεινές λεκάνες με έντονο ανάγλυφο και ευπαθές γεωυπόθεμα έχουν υψηλές τιμές ( $\kappa = 1500$ ), ενώ οι μεγαλύτερες, δασωμένες λεκάνες έχουν μικρές τιμές ( $\kappa = 500$ ).

Συνιστάται να εφαρμόζεται η σχέση σε μικρές ορεινές λεκάνες απορροής με ενιαία κεντρική κοίτη. Σε μεγαλύτερα χειμαρρικά ρεύματα, καθώς και σε μικρότερα με διακλάδωση της κεντρικής κοίτης, υποδιαιρείται η λεκάνη απορροής τους σε μικρότερα, αυτοτελή τμήματα (από υδρολογική και στερεομεταφορική άποψη), επί των οποίων να γίνεται ο υπολογισμός, τα δε επιμέρους αποτελέσματα να αθροίζονται (Κωτούλας, 2001).

### Βαθμός εκφόρτισης φερτών υλικών

Ένα μέρος από τα φερτά υλικά που παράγονται στη συνολική λεκάνη λόγω γενικής διάβρωσης, παραμένει στο χώρο της με τη μορφή ενδιάμεσων αποθέσεων, χωρίς να μεταφέρεται εκτός λεκάνης (Klaghofer et al. 1992, Κωτούλας 2001, Mutua and Klik 2006). Επομένως η γνώση του όγκου των υλικών τα οποία κατακρατούνται εντός της λεκάνης απορροής είναι σημαντική κατά τη μελέτη έργων διαχείρισης και προστασίας των πεδινών περιοχών από προσχώσεις.

Σε περιφερειακό επίπεδο, η πιο διαδεδομένη μέθοδος για την εκτίμηση του βαθμού εκφόρτισης των υλικών (SDR) είναι μέσω μιας συνάρτησης της μορφής:

$$SDR = a \cdot F^{\beta}$$

όπου:

$F$  : η έκταση της λεκάνης απορροής ( $km^2$ ).

$a$  και  $\beta$ : εμπειρικοί συντελεστές

Επίσης άλλοι ερευνητές βασίστηκαν σε στοιχεία όπως η έκταση της λεκάνης απορροής (SDR Vs Area) ή σε στοιχεία όπως είναι το μήκος της κοίτης του ρεύματος (SDR Vs Distance), δημιουργώντας καμπύλες (Renfro 1975).

Η NRCS (Natural Resources Conservation Service) (1979) βασισμένη σε δεδομένα της Blackland Prairie, Texas (Renfro 1975) ανέπτυξε ένα εκθετικό μοντέλο. Τέλος οι Williams and Berndt (1972) χρησιμοποίησαν την κλίση της κεντρικής κοίτης για την εκτίμηση του βαθμού εκφόρτισης των υλικών.

Ο βαθμός εκφόρτισης των φερτών υλικών υπολογίστηκε με την γενική προσεγγιστική σχέση (Williams and Berndt 1972, Κωτούλας 2001):

$$D_R = 0,627 \cdot J_s^{0,403}$$

όπου:

$J_s$  : η μέση κλίση της κεντρικής κοίτης (%).

## Αποτελέσματα

Η περιοχή έρευνας περιλαμβάνει 77 υπολεκάνες. Το μέσο υψόμετρο των λεκανών κυμαίνεται μεταξύ 65,5778 m – 784.415 m, το ελάχιστο μεταξύ 20 m – 685.057 m και το μέγιστο μεταξύ 81.3659 m – 901.436 m όπου σε συνδυασμό με τις κλίσεις που επικρατούν προσδιορίζουν το έντονο ανάγλυφο της περιοχής έρευνας. Με βάση την έκταση που καταλαμβάνουν οι λεκάνες απορροής, παρατηρούμε ότι το εμβαδόν τους ποικίλει και συναντάμε λεκάνες με έκταση 0.068854 km<sup>2</sup> και 22,927710 km<sup>2</sup> η μεγαλύτερη.

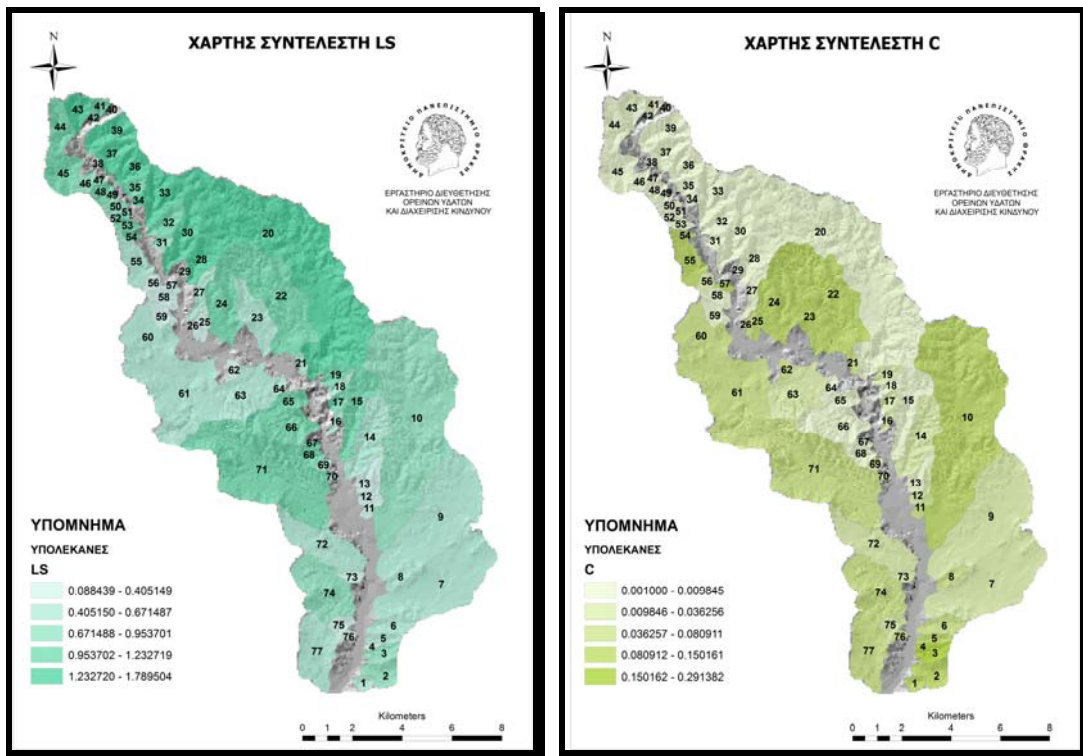
## Εδαφική απώλεια

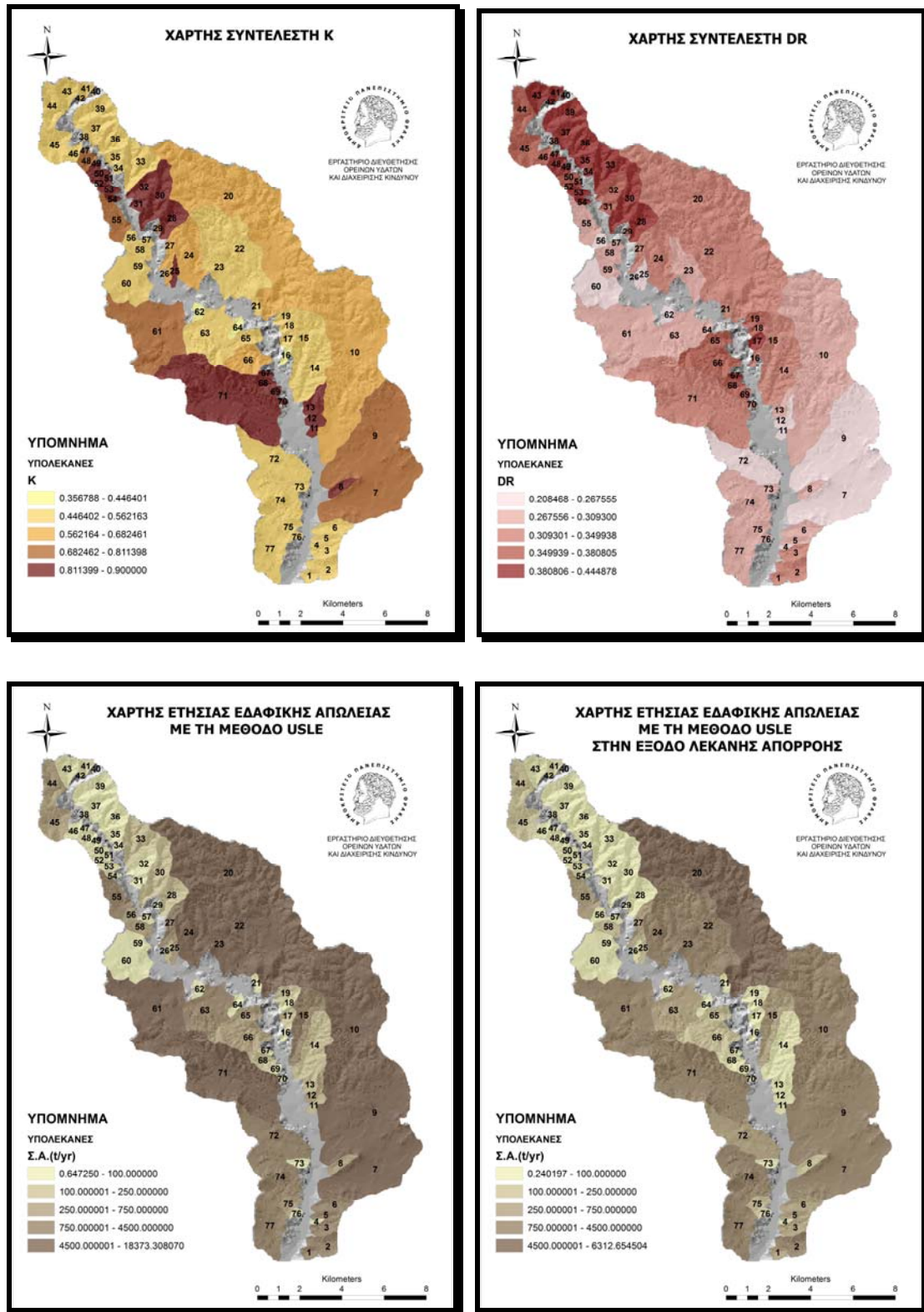
Στην παρούσα έρευνα το πρόβλημα της εδαφικής απώλειας προσεγγίστηκε με τη χρήση τριών εμπειρικών μεθόδων:

1. Η πρώτη μέθοδος είναι η Παγκόσμια Εξίσωση Εδαφικής Απώλειας (USLE).
2. Η δεύτερη μέθοδος ήταν η τροποποιημένη κατά Zemljic μέθοδος του Gavrilovic.
3. Η τρίτη μέθοδος ήταν η μέθοδος του Kronfellner-Kraus ή του μέγιστου δυνατού στερεοφορτίου.

Με τη βοήθεια των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών εκτιμήθηκαν οι παράγοντες που επηρεάζουν την εδαφική απώλεια, υπολογίστηκε η εδαφική απώλεια σε επίπεδο λεκάνης απορροής ενώ τέλος εκτιμήθηκε και η στερεοαπορροή, δηλαδή το καθαρό φορτίο φερτών υλικών τα οποία καταλήγουν στην έξοδο κάθε λεκάνης (Σχήμα 2).

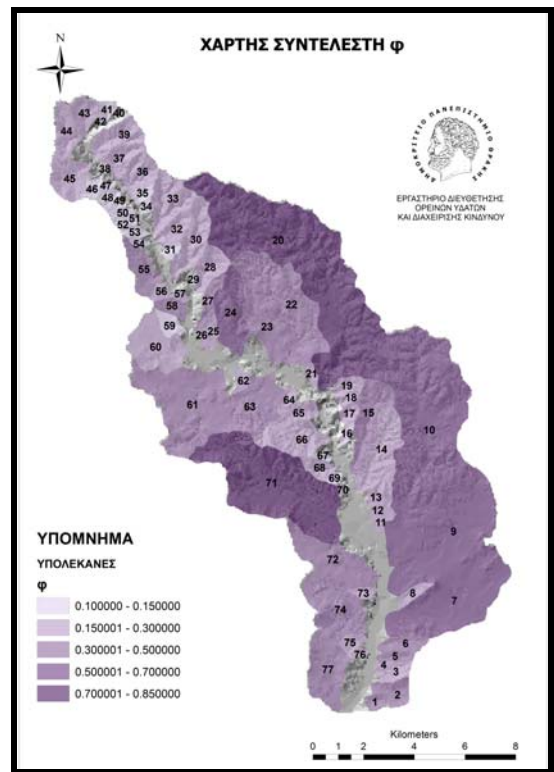
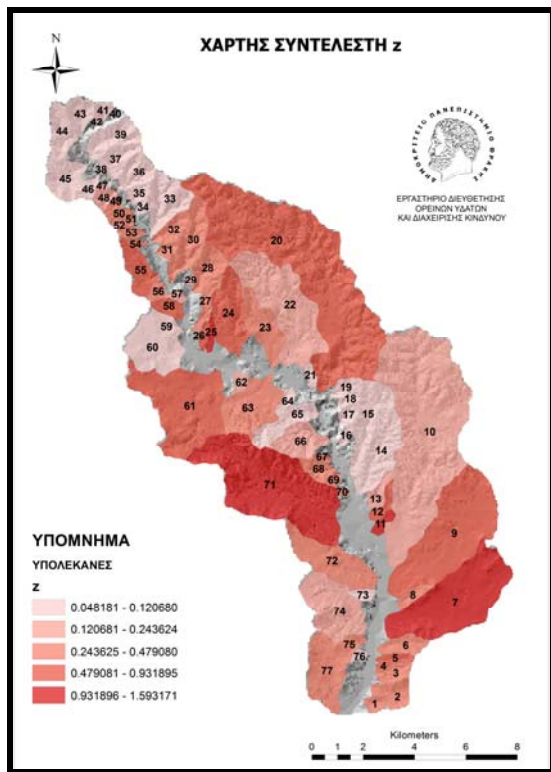
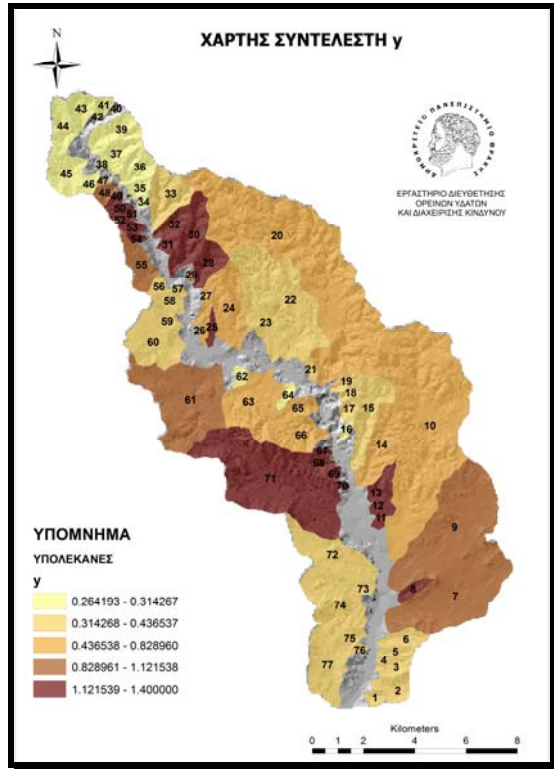
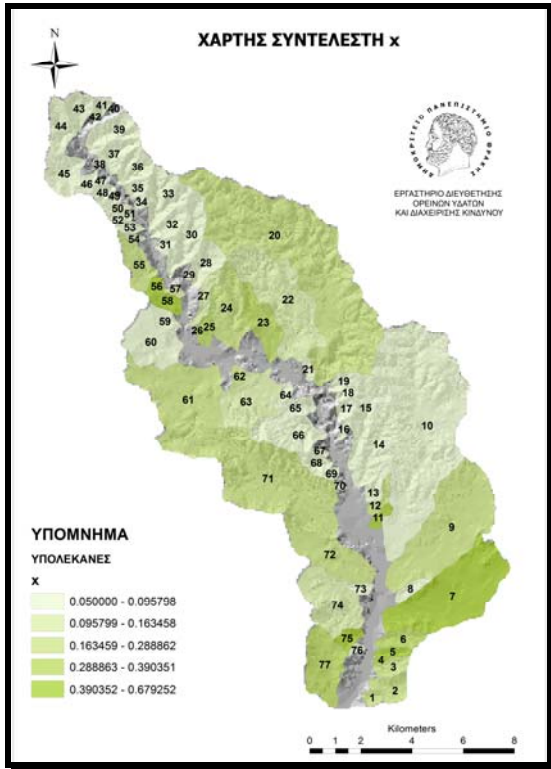
Ομοίως εκτιμήθηκαν οι παράγοντες που υπεισέρχονται στην εξίσωση του Gavrilovic (Σχήμα 3) και της μεθόδου των Kronfellner-Kraus (Σχήμα 4).

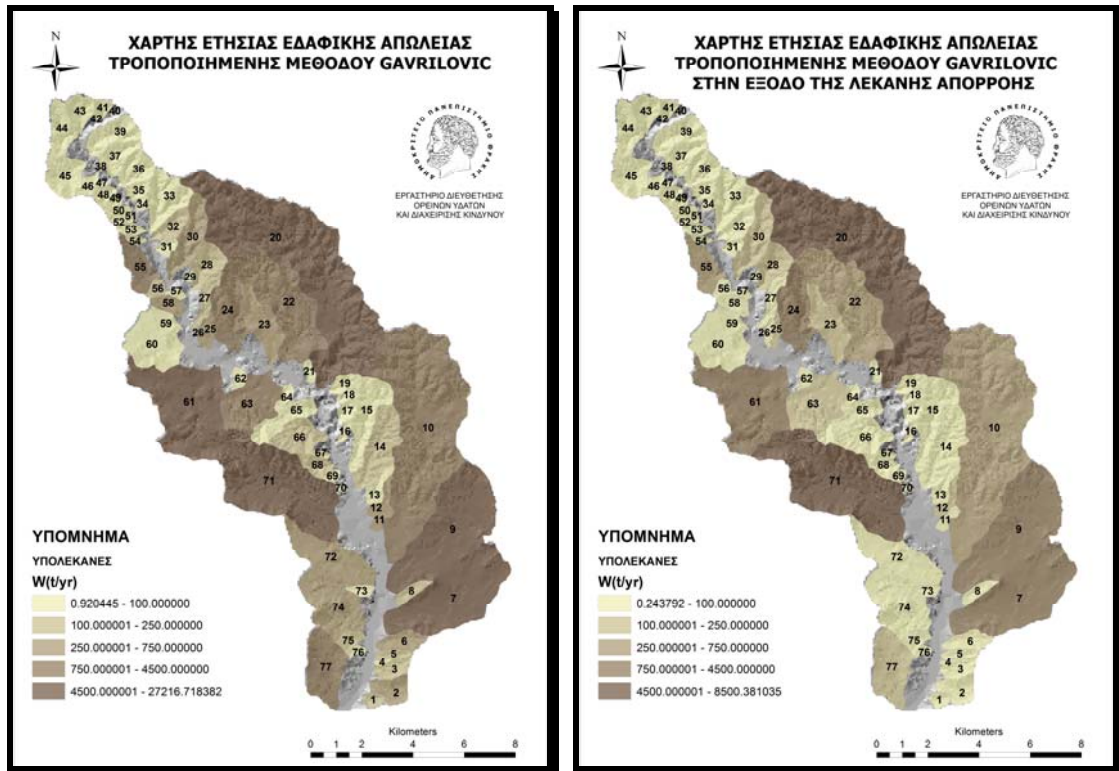




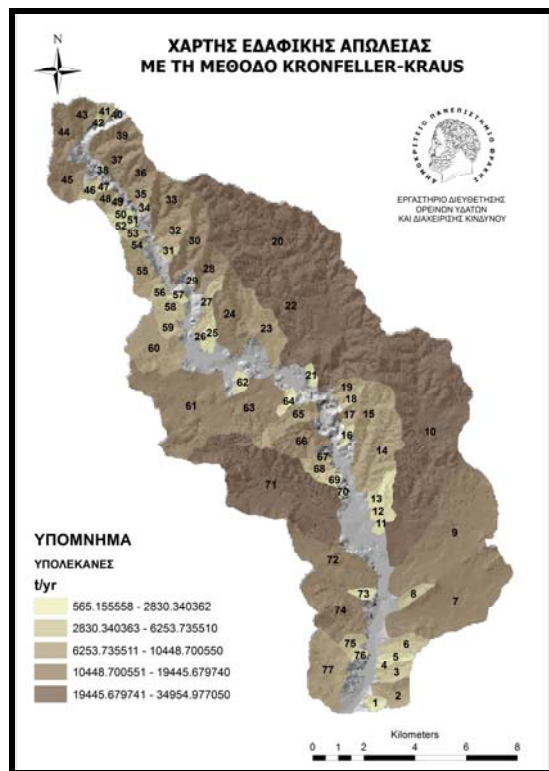
**Σχήμα 2.** Χάρτης Συντελεστή Αναγλύφου (LS), Χάρτης Συντελεστή Εδαφοκάλυψης (C), Χάρτης Συντελεστή διαβρωσιμότητας εδάφους (K), Χάρτης Συντελεστή Βαθμού Εκφόρτισης Φερτών Υλών (DR) και χάρτες εδαφικής απώλειας (A) και εδαφικής απώλειας στην έξοδο με βάση την Παγκόσμια Εξίσωση Εδαφικής Απώλειας (USLE).







Σχήμα 3. Χάρτης Συντελεστή  $x$ , Χάρτης Συντελεστή  $y$ , Χάρτης Συντελεστή  $z$ , Χάρτης Συντελεστή  $\phi$  και χάρτης εδαφικής απώλειας ( $W$ ) και εδαφικής απώλειας στην έξοδο ( $G$ ) με βάση την τροποποιημένη μέθοδο του Ganrilovic.



Σχήμα 4. Χάρτης Εδαφικής απώλειας με τη μέθοδο Kronfeller-Kraus.

**Πίνακας 1.** Εδαφική απώλεια και στερεοαπορροή στην έξοδο της λεκάνης με τη χρήση των τριών εμπειρικών τύπων (USLE, Gavrilovič, Kronfeller-Kraus).

A/A	Εμβαδό (km <sup>2</sup> ) F	USLE				Gavrilovič		Kronfellner - Kraus
		A t/ha/yr	DR	Σ.Α. t/yr	Σ.Α. Έξοδο Λεκάνης t/yr	W(t/yr)	Gavrilovic Έξοδο Λεκάνης t/yr	Γολ
F1	0,420	16,120	0,340	813,900	279,340	155,189	8,547	2771,54
F2	1.19	22,670	0,340	3245,530	1112,640	618,133	31,321	7055,53
F3	0.85	16,700	0,320	1722,480	565,590	314,217	18,411	4853,85
F4	0,120	4,900	0,230	73,640	17,220	9,567	5,437	565,16
F5	0,510	22,960	0,300	1416,810	438,220	243,456	32,295	2298,85
F6	1,110	17,240	0,300	2307,140	696,360	386,867	50,139	3714,60
F7	9,310	11,760	0,240	13157,190	3208,170	1782,317	2305,595	11926,33
F8	0,610	4,920	0,290	366,070	109,750	60,972	11,331	3673,86
F9	10,540	9,230	0,230	11960,190	2777,330	1542,961	2212,536	12472,04
F10	20,550	4,000	0,300	9871,680	3021,180	1678,433	510,987	24350,74
F11	0,400	4,840	0,200	237,180	49,440	27,467	92,563	765,54
F12	0,600	4,150	0,250	303,420	78,000	43,333	141,289	1713,15
F13	0,770	1,940	0,290	180,920	52,960	29,422	16,283	2185,62
F14	3,320	0,580	0,320	231,750	74,400	41,333	42,763	8872,24
F15	3,100	3,080	0,340	1150,390	402,560	223,644	19,625	9168,40
F16	0,270	0,230	0,330	7,720	2,580	1,433	0,585	2156,70
F17	0,480	2,800	0,390	164,700	65,030	36,128	0,813	9133,51
F18	0,390	1,680	0,360	80,400	29,300	16,278	0,900	6253,74
F19	0,650	1,690	0,350	132,960	47,180	26,211	1,401	6893,54
F20	22,920	6,670	0,340	18373,300	6312,180	3506,767	4504,024	34954,98
F21	0,310	1,250	0,340	47,100	16,380	9,100	0,970	2375,10
F22	7,780	10,300	0,320	9625,660	3093,940	1718,856	297,004	22237,64
F23	2,590	17,660	0,290	5494,010	1643,790	913,217	165,092	6937,30
F24	3,410	24,450	0,320	10022,890	3295,680	1830,933	761,054	15684,27
F25	0,400	8,480	0,240	413,640	100,940	56,078	165,681	1403,56
F26	0,320	5,320	0,240	206,370	51,320	28,511	68,749	1145,38
F27	0,910	8,190	0,320	897,660	287,480	159,711	54,490	5050,75
F28	1,550	0,640	0,400	120,600	48,320	26,844	105,569	12622,66
F29	0,110	0,150	0,380	2,110	0,800	0,444	1,849	1785,34
F30	2,590	0,600	0,390	187,670	73,640	40,911	206,745	14108,25
F31	0,390	0,320	0,370	15,190	5,760	3,200	22,942	3905,13
F32	1,090	0,380	0,370	50,770	19,100	10,611	61,610	8175,38
F33	2,600	0,380	0,400	120,050	49,130	27,294	33,643	19011,61
F34	0,190	0,280	0,400	6,680	2,670	1,483	0,679	5597,59

A/A	Εμβαδό (km <sup>2</sup> ) F	USLE				Gavrilovič		Kronfellner - Kraus
		A t/ha/yr	DR	Σ.Α. t/yr	Σ.Α. Έξοδο Λεκάνης t/yr	W(t/yr)	Gavrilovic Έξοδο Λεκάνης t/yr	Goλ
F35	0,550	0,220	0,400	14,630	5,870	3,261	4,000	6688,68
F36	1,460	0,290	0,400	51,260	20,600	11,444	12,174	13576,80
F37	1,270	0,280	0,400	43,780	17,770	9,872	13,027	11639,47
F38	0,060	0,070	0,370	0,640	0,240	0,133	0,312	896,72
F39	1,880	0,350	0,400	80,610	32,310	17,950	22,846	12487,88
F40	0,040	0,310	0,410	1,850	0,770	0,428	0,244	2212,81
F41	0,360	0,220	0,410	9,830	4,040	2,244	6,311	4969,50
F42	0,100	0,180	0,440	2,250	1,000	0,556	0,927	2027,63
F43	1,150	0,340	0,410	47,500	19,870	11,039	53,424	11993,54
F44	1,710	1,820	0,370	375,460	139,690	77,606	30,930	13920,27
F45	1,950	2,190	0,360	514,920	188,230	104,572	39,367	16685,69
F46	0,490	0,160	0,350	9,460	3,320	1,844	2,133	5547,20
F47	0,110	0,210	0,400	2,890	1,160	0,644	2,605	1455,70
F48	0,510	0,320	0,390	20,140	7,950	4,417	22,228	6682,43
F49	0,220	0,320	0,400	8,930	3,630	2,017	14,987	3356,73
F50	0,320	0,260	0,360	10,170	3,720	2,067	26,211	2830,34
F51	0,140	0,200	0,350	3,570	1,280	0,711	12,148	1740,64
F52	0,200	0,420	0,400	10,510	4,290	2,383	19,935	2513,24
F53	0,390	0,370	0,420	17,950	7,560	4,200	32,260	4301,33
F54	0,210	0,360	0,400	9,670	3,880	2,156	17,416	3535,26
F55	1,710	11,700	0,290	2406,820	709,900	394,389	336,739	9800,98
F56	0,420	6,900	0,250	354,910	90,360	50,200	9,831	3978,95
F57	0,230	1,920	0,280	55,320	15,890	8,828	3,628	913,83
F58	0,700	7,640	0,280	642,600	180,430	100,239	30,777	4980,32
F59	0,740	0,070	0,280	6,510	1,840	1,022	0,681	5171,92
F60	3,420	0,090	0,260	37,900	10,140	5,633	3,320	10448,70
F61	8,600	6,980	0,270	7213,030	1982,030	1101,128	2635,222	19445,68
F62	0,390	1,560	0,240	74,610	17,920	9,956	4,064	1645,61
F63	3,840	4,960	0,280	2290,530	649,120	360,622	127,427	14747,07
F64	0,440	1,630	0,300	87,480	26,800	14,889	0,961	1732,00
F65	1,870	2,020	0,350	456,040	161,070	89,483	14,595	7725,23
F66	2,110	1,490	0,360	379,010	138,710	77,061	48,285	14160,32
F67	0,180	0,350	0,420	7,820	3,340	1,856	4,776	3905,91
F68	0,800	2,310	0,370	223,690	84,250	46,806	26,796	4905,75
F69	0,240	0,250	0,350	7,400	2,660	1,478	4,458	2236,15
F70	0,110	5,880	0,340	80,300	27,720	15,400	3,006	1127,03
F71	13,130	8,000	0,330	12615,160	4189,400	2327,444	8500,381	27681,15

A/A	Εμβαδό (km <sup>2</sup> ) F	USLE				Gavrilovič		Kronfellner - Kraus
		A t/ha/yr	DR	Σ.Α. t/yr	ΣΑ. Έξοδο Λεκάνης t/yr	W(t/yr)	Gavrilovic Έξοδο Λεκάνης t/yr	Goł
F72	3,950	4,890	0,250	2325,360	591,440	328,578	78,433	12111,89
F73	0,390	1,410	0,300	66,720	20,120	11,178	0,968	2218,51
F74	4,440	4,590	0,300	2453,780	752,910	418,283	70,793	12676,66
F75	0,620	5,130	0,270	386,470	107,920	59,956	23,305	3191,65
F76	0,190	1,530	0,290	36,710	11,000	6,111	0,257	1814,81
F77	3,540	6,430	0,270	2739,460	764,070	424,483	118,677	8332,63
					<b>39034,60</b>	<b>21685,89</b>	<b>24333,79</b>	<b>579834,50</b>

Με την χρήση της Παγκόσμιας Εξίσωσης Εδαφικής Απώλειας, υπολογίστηκε η συνολική ετήσια εδαφική απώλεια ίση με **12.8921,88 t/y**. Οι λεκάνες που παρουσιάζουν τον υψηλότερο κίνδυνο εδαφικής απώλειας είναι η υπολεκάνη 20 με **18.373,308 t/y**, η υπολεκάνη 7 με **13.157,194 t/y**, η υπολεκάνη 71 με **12.615,17 t/y** και η υπολεκάνη 9 με **11.690,192 t/y**. Στην συνέχεια και λαμβάνοντας υπόψη τον βαθμό εκφόρτισης φερτών υλών DR υπολογίστηκε η συνολική ετήσια ποσότητα φερτών υλών που φτάνει στην έξοδο των λεκανών απορροής ίση με **39.035,42361 t/y**. Οι υπολεκάνες που υπολογίστηκαν ότι παρουσιάζουν την μεγαλύτερη απώλεια στην έξοδο είναι η υπολεκάνη 20 με **6.312,6545 t/y**, η υπολεκάνη 71 με **4.189,4053 t/y**, η υπολεκάνη 24 με **3.295,688 t/y** και η υπολεκάνη 7 **3208.1758 με t/y**.

Η επόμενη μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για την εκτίμηση της υποβάθμισης της περιοχής έρευνας έγινε με την βοήθεια του μοντέλου του Gavrilovič. Από την εφαρμογή του μοντέλου προέκυψε ότι η συνολική ετήσια εδαφική απώλεια υπολογίστηκε ίση με **86.343,171908 t/y**. Την μεγαλύτερη υποβάθμιση την εμφανίζει η υπολεκάνη 71 με **27.216,72 t/y**, η υπολεκάνη 7 με **15.491,56511 t/y**, η υπολεκάνη 20 με **10.210,51149 t/y** και η υπολεκάνη 9 με **9.730,256957 t/y**. Οι υψηλές τιμές υποβάθμισης που εμφανίζονται στις υπολεκάνες οφείλεται στο μεγάλο εμβαδόν τους, στο υψηλό μέσο ετήσιο ύψος βροχής και του μεγάλου συντελεστή διάβρωσης που ασκείται σε αυτές λόγω των έντονων μέσων κλίσεων της επιφάνειας των λεκανών.

Κατόπιν κρίθηκε αναγκαίο να υπολογίσουμε την εδαφική απώλεια στην έξοδο των υπολεκανών με την χρήση του μοντέλου Gavrilovič λαμβάνοντας όμως υπόψη και τον συντελεστή κατακράτησης φερτών υλών R. Από την εφαρμογή της μεθόδου προέκυψε ότι η εδαφική απώλεια στην έξοδο των λεκανών απορροής ισούται με **24.333,786221 t/y**. Οι λεκάνες που παρουσιάζουν υψηλό κίνδυνο υποβάθμισης στην έξοδο είναι η υπολεκάνη 71 με **8.500,381035 t/y**, η υπολεκάνη 20 με **4.504,024222 t/y**, η υπολεκάνη 61 με **2.635,222416 t/y** και η υπολεκάνη 7 με **2.305,594817 t/y**.

Το τελευταίο στάδιο της εργασίας ήταν ο υπολογισμός του μεγέθους του μέγιστου φορτίου φερτών υλών που μπορεί να αποτεθεί στο κώνο πρόσχωσής τους λόγω στερεομεταφοράς μετά από έκτακτο πλημμυρικό γεγονός. Το μέγεθος αυτό προσδιορίζεται με τον τύπο του Kronfellner-Kraus και τα αποτελέσματα που προέκυψαν κατέδειξαν ότι οι λεκάνες που παρουσιάζουν την μεγαλύτερη επικινδυνότητα είναι η υπολεκάνη 20 με **34.954,977 t/y**, η υπολεκάνη 71 με **27.681,152 t/y**, η υπολεκάνη 10 με **24.350,743 t/y** και η υπολεκάνη 22 με **22.237,641 t/y**.

## Συμπεράσματα

Η διάβρωση αποτελεί το κύριο χειμαρρικό φαινόμενο κατά το οποίο παρασύρει και μεταφέρει φερτά υλικά από τις ορεινές λεκάνες των χειμαρρικών ρευμάτων και τα αποθέτει εκτός αυτών (Κωτούλας, 2001).

Ως αποτέλεσμα του φαινομένου αυτού είναι η υποβάθμιση των ορεινών λεκανών και ουσιαστικά η υποβάθμιση των εδαφικών πόρων. Αποτέλεσμα είναι η μείωση ή απώλεια της παραγωγικής στρώσης των δασικών ή αγροτικών εδαφών.

Επιπλέον η διάβρωση των δασικών εδαφών έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία προβλημάτων στους χώρους όπου παράγεται, το κύριο όμως πρόβλημα συνίσταται κατά την μεταφορά των υλικών που παράγονται μέσω των υδατορευμάτων και την απόθεση των υλικών αυτών σε χαμηλότερες θέσεις όπως είναι φυσικοί και τεχνητοί ταμιευτήρες. Τα σημαντικότερα προβλήματα σχετίζονται με τη δημιουργία προβλημάτων στη λειτουργία τους και κατά συνέπεια στους σκοπούς που εξυπηρετούν.

Η γνώση του μεγέθους της υποβάθμισης είναι πολύ σημαντική γιατί με βάση αυτό το μέγεθος καθορίζεται το σύστημα επέμβασης για την διευθέτηση των χειμαρρικών ρευμάτων, το οποίο θα οδηγήσει στην προστασία του υπόβαθρου από το φαινόμενο αυτό, στην προστασία των πεδινών περιοχών από τις πλημμύρες και τις προσχώσεις και επομένως στην ορθολογική διαχείριση των λεκανών απορροής.

Με την παρούσα μελέτη, έγινε μια προσπάθεια για τον προσδιορισμό του χειμαρρικού περιβάλλοντος στην περιοχή της Αλεξανδρούπολης καθώς και της μέσης ετήσιας στερεοαπορροής που μεταφέρεται από τα χειμαρρικά ρεύματα εκτός των λεκανών απορροής, πλήττοντας τις πεδινές αγροτικές κυρίως, αλλά και ημιαστικές περιοχές.

Η περιοχή έρευνας περιλαμβάνει 77 υπολεκάνες απορροής, τα χειμαρρικά ρεύματα των οποίων παρουσιάζουν έντονη χειμαρρική δράση.

Το σύνολο της στερεοαπορροής που προκύπτει από τη χρήση των τριών εμπειρικών μοντέλων, επιβεβαιώνει τη δράση αυτή.

Αξιολογώντας τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης καταλήγουμε στα εξής συμπεράσματα:

1. Προτείνουμε να δημιουργηθούν διάφοροι τύποι φραγμάτων που η λειτουργία τους να συμβάλει στις εξής κατευθύνσεις:

- Μείωση της ταχύτητας ροής – παροχής
- Μείωση της κλίσης της κεντρικής κοίτης ώστε να επιτευχθεί η κατάλληλη κλίση αντιστάθμισης.

- Συγκράτηση φερτών υλών (μερικώς ή ολοκληρωτικά).

- Διόδευση της πλημμυρικής αιχμής.

2. Δημιουργία διαφόρων τύπων φυτοτεχνικών έργων και κατάλληλου δασοκομικού σχεδιασμού για την ανόρθωση των υποβαθμισμένων δασών και δασικών εκτάσεων.

3. Ουσιαστική απαγόρευση της βόσκησης.

4. Μικρά τεχνικά έργα όπως τοίχοι αντιστήριξης, συρματοκιβώτια με λίθους κτλ.

Συνοψίζοντας πρέπει να τονιστεί το γεγονός ότι ο σκοπός της συγκεκριμένης εργασίας ήταν να αναδείξει τα προβλήματα της γενικότερης περιοχής και να επισημάνει τις περιοχές που χρίζουν άμεσης βοήθειας. Πιο συγκεκριμένα στις λεκάνες απορροής με κωδικό αριθμό 20, 71, 24 και 7 επιβάλλεται να πραγματοποιηθούν όλα τα παραπάνω προτεινόμενα μέτρα.

## Βιβλιογραφία

- Bazzoffi, P. (1985). Methods for Net Erosion Measurement in Watersheds as a Tool for the Validation of Models in Central Italy. Workshop on Soil Erosion and Hillslope Hydrology with Emphasis on Higher Magnitude Events. Leuven.
- Διαμαντής, Ι. (2001). Ερευνητικό Πρόγραμμα: Διερεύνηση Συνθηκών Ύδρευσης Δήμων και Κοινοτήτων (από πλευράς επάρκειας, ποιότητας νερού, προστασίας σημείων ύδρευσης) Νομού Ξάνθης – Προοπτικές, Ξάνθη, Τομέας Γεωτεχνικής Μηχανικής. Έρευνα που εκπονήθηκε για λογαριασμό της ΤΕΔΚ Ξάνθης.
- Dingman, L.S. (1994). Physical Hydrology. Prentice Hall. New York.
- Fanetti, D. and Vezzoli, L. (2007). Sediment Input and Evolution of Lacustrine Deltas: The Breggia and Greggio Rivers Case Study (Lake Como, Italy). Science Direct Quaternary International. No 173-174, pp. 113-124.
- Gavrilovic, S. (1972). Engineering of Torrents and Erosion. Izgradnja, Beograd.
- Gavrilovic, S. (1976). Torrents and Erosion. Στο Gradevinski Calendar. Beograd, Servia, pp. 159-311.
- Gavrilovic, S. (1988). The Use of an Empirical Method (Erosion Potential Method) for Calculating Sediment Production and Transportation in unstudied or Torrential Streams. Στο White, W.R. (Ed.), International Conference on River Regime. Wiley, New York (Chichester, UK), pp. 411-422.
- Globevnik, L., Holjevic, D., Petkovsek, G. and Rubinic, J. (2003). Applicability of the Gavrilovic Method in Erosion Calculation Using Spatial Data Manipulation Techniques. Στο De Boer, Erosion Prediction in Ungauged Basins: Integrating Methods and Techniques Vol. 279. IAHS Publications. (Edited by Froehlich, W., Mizuyama, T., Pietroniro, A.), pp 224-233.
- Jianguo Ma, (2001). Combining the USLE and GIS/Arcview for soil erosion estimation in fall creek watershed in Ithaca, New York. Spatial Modeling and Analysis (training course note).
- Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, (1983). Γεωλογικός Χάρτης της Ελλάδας Κλίμακας 1:500000. Αθήνα.
- Kirkby, M.J. (1980). Modeling Water Erosion Processes. Kirkby, M.J. and Morgan, R.P.C. (editors) Soil Erosion. Wiley Chichester, pp 183-216.
- Klaghofer, E., Summer, W. and Villeneuve, J.P. (1992). Some remarks on the determination of the sediment delivery ratio. Proceedings of the Chengdu Symposium, Erosion, Debris Flows and Environment in Mountain Regions. IAHS Publ. No 209.
- Kronfellner-Kraus, G. (1985). Quantitative estimation of torrent erosion. Intern. Symposium on Erosion Debris Flow and Disaster Prevention, Tsukuba Japan.
- Κωτούλας, Δ. (2001). Ορεινή Υδρονομική Τόμος Ι : Τα Ρέοντα Ύδατα. Θεσσαλονίκη: Α.Π.Θ., Τμήμα Εκδόσεων.
- Μάρης, Φ., Ηλιάδης, Α. και Βασιλείου, Α. (2006). Εκτίμηση στερεοπαροχής στη λεκάνη απορροής του Περιαστικού Δάσους Θεσσαλονίκης (Σέιχ Σου) με την παγκόσμια εξίσωση απώλειας εδάφους με χρήση συστήματος γεωγραφικής πληροφορίας, ΕΠΕΓΕ, Θεσσαλονίκη.
- Matzarakis, A. Meteorological Institute, University of Freiburg, D-79085 Freiburg, Germany.

- Merritt, W.S., Letcher, R.A. and Jakeman, A.J. (2003). A review of erosion and sediment transport models. *Environmental Modelling and Software*, 18 (8-9), pp 761-799.
- Μιμίκου, Μ. και Μπαλτάς, Ε. (2006). *Τεχνική Υδρολογία*. Αθήνα.
- Mitchell, J.K. and Bubbenzer, G.D. (1980). Soil Loss Estimation. Στο Kirkby, M.J. and Morgan R.P.C. eds. *Soil Erosion*. John Wiley and Sons Lts., pp. 17-62.
- Mutua, B. and Klik, A. (2006). Estimating spatial sediment delivery ratio on large rural catchment. *Journal of Spatial Hydrology*, Vol 6, No.1 2006.
- Οικονόμου, Α. και Νάκος, Γ. (1990). Διάβρωση Εδάφους και Ταξινόμηση Γαιών. Στο 3<sup>ο</sup> Πανελλήνιο Εδαφολογικό Συνέδριο. Αθήνα.
- Pozzi, R., Bollettinari, G. and Miniutti, P. (1991). Valutazione Quantitativa Indiretta Dell' Erosione in Alcuni Bacini Indrografici Del Versante Orobico Valtellinese (Provincia di Sondrio) e Considerazioni Sull' evento Alluvionale del Luglio 1987. Στο Proceedings of the Symposium: Fenomeni di Erosione e Alluvionamento Degli Alvei Fluviali, Ancona, 14-15/10, pp. 5-19.
- Renfro, G.W. (1975). Use of erosion equations and sediment delivery ratios for predicting sediment yield. In *Present and Prospective technology for Predicting Sediment Yields and Sources*, Agricultural Resources Services, ARS-S-40, 33-45. US Dept. Agric., Washington, D.C.
- Roehl, J.E. (1962). Sediment source areas, delivery ratios and influencing morphological factors. In *Symposium of Bari*, IAHS Publ. No. 59, pp. 202-213.
- Schwertmann, U., Vogl, W. and Kainz, M. (1990). *Bodenerosion Durch Wasser*. Verlag Eugen Ulmer. Stuttgart.
- Tazioli, A. (2008). Evaluation of erosion in equipped basins: preliminary results of a comparison between the Gavrilovic model and direct measurements of sediment transport. *Environmental Geology*, Springer Verlag, 10.1007/500254-007-1183-Y.
- Τσακίρης, Γ. (1995). *Υδατικοί Πόροι : I. Τεχνική Υδρολογία*. Αθήνα.
- Vrieling, A., Sterk, G. and Vigiak, O. (2006). Spatial evaluation of soil erosion risk in the West Usambara Mountains, Tanzania *Land Degradation and Development* 17 (3), pp. 301-319.
- Wheater, H.S., Jakeman, A.J. and Beven, K.J. (1993). Progress and directions in rainfall-runoff modelling. In: Jakeman A.J., Beck M.B., McAleer M.J. (Eds). *Modelling Change in Environmental Systems*. John Wiley and Sons, Chichester, pp. 101-132.
- Williams, J.R., and Brendt, A.D. (1972). Sediment yield computed with the Universal Equation. *Proceeding of the American Society of Civil Engineers*, 98(HY12), pp. 2087-2098.
- Wischmeier, W.H. and Smith, D. (1965). Predicting Rainfall Erosion Losses from Cropland East of the Rocky Mountains. *Agric. Handbook 282*, U.S. Gov. Print. Office, Washington, D.C.
- Wischmeier, W.H. and Smith, D. (1978). Predicting Rainfall Erosion Losses. A Guide to Conversation Planning. *Agriculture Handbook No 537* USDA Sci. and Edyc. Admin., Washington, D.C.
- Φλόκας, Α. (1997). *Μαθήματα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας*. Θεσσαλονίκη.
- Χρύσανθου, Β. και Πυλιώτης, Α. (1995). Εκτίμηση της Εισροής Φερτών Υλών σε Έναν Ταμειωτήρα υπό Κατασκευή. 6<sup>ο</sup> Πανελλήνιο Συνέδριο EYE, Θεσσαλονίκη.



- Ζαρρής, Δ., Λυκούδη, Ε. και Κουτσογιάννης, Δ. (2001). Διερεύνηση των αποθέσεων φερτών υλικών σε υδροηλεκτρικούς ταμιευτήρες. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τομέας Υδατικών Πόρων.
- Zarris, D., Lykoudi, E. and Koutsoyiannis, D. (2002). Sediment Yield Estimation from a Hydrographic survey: A Case Study for the Kremasta Reservoir Basin. Στο 5<sup>th</sup> International Conference "Water Management in the Era of Transition". Athens 4-8/9, pp. 338-345.
- Zemljic, M. (1971). Calcul du Debit Solide, Evaluation de la Vegetation Comme un des Facteurs Antierosifs. Proceedings of the Symposium INTERPRAEVENT. Villach, pp. 359-371.



## **ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΣΤΙΣ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ**

### **Σίμος Ποτουρίδης**

Εργαστήριο Διευθέτησης Ορεινών Υδάτων και Διαχείρισης Κινδύνου  
Τμήμα Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων  
Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης  
e-mail: [spotouri@fmenr.duth.gr](mailto:spotouri@fmenr.duth.gr)

### **Κυριακή Ξανθοπούλου**

Εργαστήριο Διευθέτησης Ορεινών Υδάτων και Διαχείρισης Κινδύνου  
Τμήμα Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων  
Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης  
e-mail: [kikxan@gmail.com](mailto:kikxan@gmail.com)

### **Σπυρίδων Παπαρρίζος**

Εργαστήριο Διευθέτησης Ορεινών Υδάτων και Διαχείρισης Κινδύνου  
Τμήμα Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων  
Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης  
e-mail: [spipap@gmail.com](mailto:spipap@gmail.com)

### **Φώτιος Μάρης**

Εργαστήριο Διευθέτησης Ορεινών Υδάτων και Διαχείρισης Κινδύνου  
Τμήμα Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων  
Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης  
e-mail: [fmarris@fmenr.duth.gr](mailto:fmarris@fmenr.duth.gr)

## **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Η διάβρωση του εδάφους θεωρείται μια από τις μεγαλύτερες απειλές για τα ευρωπαϊκά εδάφη, ιδιαίτερα στις μεσογειακές περιοχές. Τα μοντέλα διάβρωσης του εδάφους διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο, τόσο στην αντιμετώπιση των συγκεκριμένων αναγκών των στόχων προστασίας του εδάφους, όσο και στην προώθηση της επιστημονικής κατανόησης των διαδικασιών διάβρωσης του εδάφους. Τα μοντέλα χρησιμοποιούνται κάθε φορά που το κόστος ή ο χρόνος που χρειάζεται για την πραγματοποίηση των μετρήσεων της διάβρωσης του εδάφους είναι απαγορευτικός. Τα θέματα που σχετίζονται με την επιλογή του σωστού μοντέλου σχετίζονται με τις επιθυμητές πληροφορίες και τα διαθέσιμα δεδομένα.

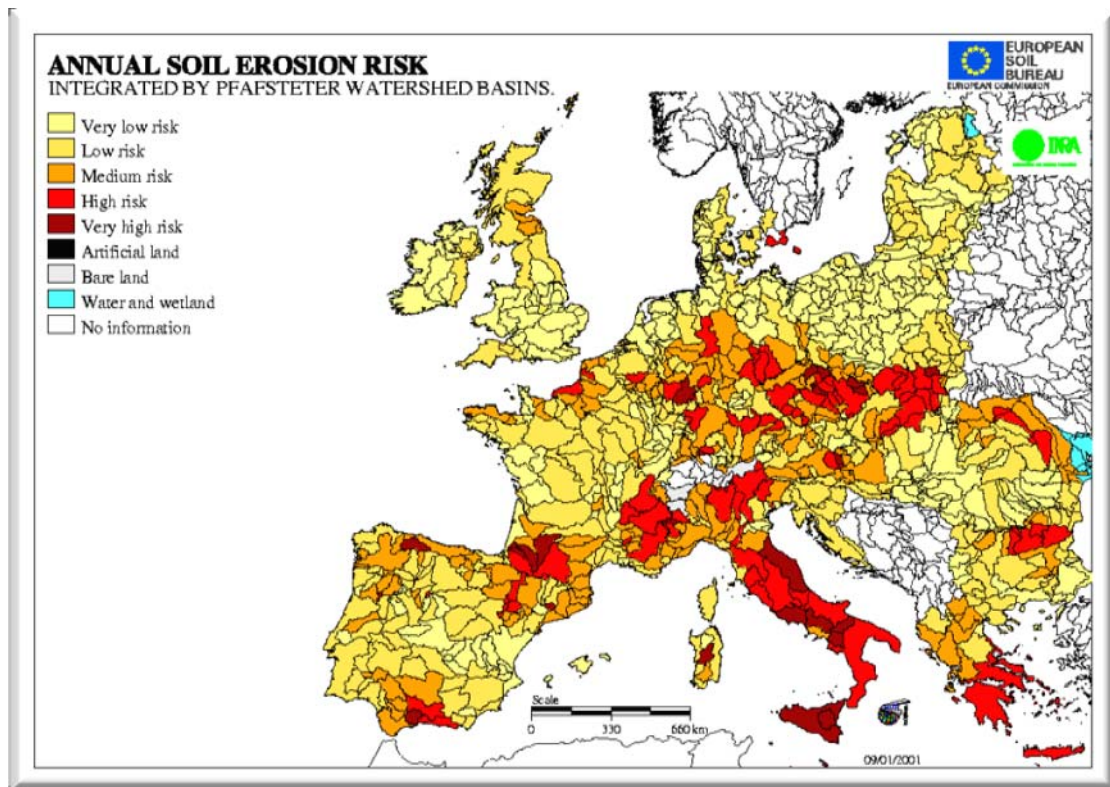
**Λέξεις Κλειδιά:** *Μοντέλα διάβρωσης, κίνδυνος διάβρωσης, αξιολόγηση μεθόδων.*

### **Εισαγωγή – Γενικά για τη διάβρωση**

Η διάβρωση του εδάφους θεωρείται μια από τις μεγαλύτερες απειλές για τα ευρωπαϊκά εδάφη, ιδιαίτερα στις μεσογειακές περιοχές (European Commission 2008). Προκειμένου να διατυπωθούν αποτελεσματικά οι στρατηγικές μετριασμού και να

εφαρμοστούν τρόποι διαχείρισης και αντιμετώπισης της διάβρωσης του εδάφους, είναι απαραίτητο να προσδιοριστεί αντικειμενικά και να ποσοτικοποιηθεί ο κίνδυνος. Η διαχείριση κινδύνου συνοπτικά αποτελείται από την εκτίμηση, την πρόληψη, την ετοιμότητα, την αντίδραση και την αποκατάσταση (Ποτουρίδης 2009).

Η διάβρωση θεωρείται ότι είναι φυσικό φαινόμενο που οδηγεί στη μετατόπιση μερών του εδάφους και πετρωμάτων από το νερό, τον άνεμο, τον πάγο και τη βαρύτητα. Ο βαθμός διάβρωσης καθορίζεται κυρίως από φυσικούς παράγοντες, δηλαδή τα χαρακτηριστικά του εδάφους, το σχηματισμό των πετρωμάτων, την τοπογραφία και το κλίμα, το ποσό του εδαφικού υλικού που είναι διαθέσιμο για μεταφορά και συνήθως είναι ανάλογο με τη διαβρωσιμότητα του εδάφους και την εδαφοκάλυψη. Η ικανότητα μεταφοράς, δηλαδή το ποσό της διαθέσιμης ενέργειας της βροχής ή απορροής (όγκος και ταχύτητα), καθορίζεται από κλιματικούς παράγοντες και καθορίζει εάν και σε ποιο ποσοστό θα πραγματοποιηθεί διάβρωση (Morgan and Quinton 1998). Η διαβρωτικότητα βροχής, στην πραγματικότητα καθορίζει τη συνολική ενέργεια της πρόσκρουσης βροχόπτωσης στα απροστάτευτα εδάφη.



**Εικόνα 1.** Ετήσιος κίνδυνος εδαφικής διάβρωσης στην Ευρώπη (European Commission 2008).

Η ανθρωπογενής επιρροή αντικατοπτρίζεται ουσιαστικά στην κάλυψη εδάφους, όπου οι αλλαγές στις χρήσεις γης και η ένταση και οι πρακτικές καλλιέργειας, όπως το όργωμα και η εφαρμογή στρατηγικών συντήρησης, προσδιορίζουν την ευαισθησία στη διάβρωση (Baffaut 1996, Boardman 2006). Κατά συνέπεια, η διάβρωση επηρεάζει ένα μεγάλο ποσοστό του πληθυσμού της γης. Οι άμεσες, επιτόπιες επιδράσεις της διάβρωσης είναι για τους περισσότερους ανθρώπους σαφείς π.χ. η εδαφική απώλεια, απώλεια νερού, χαλαρωτική ανάπτυξη, που μειώνουν τη γονιμότητα εδάφους με

επακόλουθο τη μείωση της παραγωγικότητας καθώς επίσης και τη διαταραχή της διαίτας του νερού. Ωστόσο, η διάβρωση περιλαμβάνει επίσης λιγότερο προφανή ή έμμεσα αποτελέσματα όπως η περιβαλλοντική ρύπανση, οι ενισχυμένοι κίνδυνοι πλημμύρας, λόγω της ιζηματογένεσης των ποταμών και της μείωσης της χωρητικότητας των υδρολογικών δεξαμενών και ζημιές σε κτήρια και υποδομές που βρίσκονται σε απόσταση από τη θέση όπου πραγματοποιείται η πραγματική διάβρωση.

Σε πολλές χώρες στην Ευρώπη χρησιμοποιείται η ενσωμάτωση των μοντέλων διάβρωσης για τον εντοπισμό περιοχών που κινδυνεύουν και την αξιολόγηση του κινδύνου. Γενικά, τρεις τύποι προσεγγίσεων υπάρχουν για να προσδιορίσουν τις περιοχές που κινδυνεύουν (Eckelmann et al. 2006) η ποιοτική προσέγγιση, η ποσοτική προσέγγιση και η προσέγγιση μοντέλου.

### **Στόχοι και μεθοδολογία έρευνας**

Στόχος της παρούσας μελέτης είναι η ομαδοποίηση και αξιολόγηση της δυνατότητας εφαρμογής των μεθόδων υπολογισμού διάβρωσης σε διαφόρους τομείς, σε μεσογειακά κλίματα και ειδικότερα στον Ελλαδικό χώρο. Η αξιολόγηση των μεθόδων εκτίμησης του κινδύνου διάβρωσης εξαρτώνται από τον προσδιορισμό των διαφόρων τύπων διάβρωσης και την διαστασιολόγηση διαφόρων σχετικών με τη διάβρωση έργων. Έτσι στόχος της παρούσας επισκόπησης είναι η κατανόηση της ορθής επιλογής κατάλληλου μοντέλου διάβρωσης ανά περίπτωση και περιοχή μελέτης.

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε η ποιοτική μέθοδος έρευνας. Για την επισκόπηση των μοντέλων διάβρωσης αναλύθηκαν κείμενα και περιγραφές των μεθόδων από τους επίσημους διαδικτυακούς τόπους, περιγραφή των μεθόδων στη βιβλιογραφία, σχόλια για τις διάφορες μεθόδους σε άλλα επιστημονικά έγγραφα. Η αξιολόγηση επικεντρώθηκε στον τομέα της γεωργίας και δασολογίας, της διαχείρισης νερού και της διαχείρισης λεκάνης απορροής. Έπειτα από την προκαταρκτική αξιολόγηση, οι περαιτέρω αναλύσεις επικεντρώθηκαν σε μεθόδους που αποδεδειγμένα έχουν ικανοποιητική εφαρμογή σε περιοχές στην Ελλάδα.

### **Σκοπός μοντέλων διάβρωσης**

Τα μοντέλα διάβρωσης του εδάφους διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο τόσο στην προστασία του εδάφους όσο και στην προώθηση της επιστημονικής κατανόησης των διαδικασιών διάβρωσης του εδάφους. Χρησιμοποιούνται για να βοηθήσουν τους διαχειριστές της γης να επιλέξουν τις πρακτικές για τη μείωση των ποσοστών της διάβρωσης. Τα μοντέλα πρόβλεψης της διάβρωσης χρησιμοποιούνται για τις εργασίες της καταγραφής και της αξιολόγησης καθώς και για την παρακολούθηση των χρονικών μεταβολών στα ποσοστά διάβρωσης σε μεγάλες περιοχές. Τα μοντέλα της διάβρωσης, επίσης, χρησιμοποιούνται για τους σκοπούς της μηχανικής, καθώς προβλέπουν τα ποσοστά φόρτωσης των ιζημάτων σε τεχνητές δεξαμενές. Ολοένα και περισσότερο τα μοντέλα χρησιμοποιούνται κάθε φορά που το κόστος ή ο χρόνος που χρειάζεται για την πραγματοποίηση των μετρήσεων της διάβρωσης του εδάφους είναι απαγορευτικός.

Τα μοντέλα της διάβρωσης παίζουν τουλάχιστον δύο σημαντικούς ρόλους σε σχέση με την επιστήμη της διάβρωσης του εδάφους. Πρώτον, τα μοντέλα της διάβρωσης είναι απαραίτητα για την κατανόηση ολόκληρης της διαδικασίας. Τις περισσότερες φορές οι γνώσεις μας για τους μηχανισμούς της διάβρωσης από τα πειραματικά δεδομένα είναι περιορισμένες σε εύρος και κλίμακα. Οι πληροφορίες μπορεί μερικές φορές να είναι

παραπλανητικές όσον αφορά τις συνολικές επιπτώσεις για τα μεγάλα ολοκληρωμένα συστήματα, όπου πολλές διαδικασίες και πράξεις είναι αλληλένδετες. Αν οι επιμέρους διεργασίες που περιγράφονται πολύ καλά από τα πειράματα διάβρωσης είναι σωστά ολοκληρωμένες μέσω μιας διαδικασίας με βάση το μοντέλο, το αποτέλεσμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μελέτη προγνώσεων των μοντέλων και την αξιολόγηση της συμπεριφοράς του ολοκληρωμένου συστήματος. Δεύτερον, τα μοντέλα της διάβρωσης μας βοηθούν επίσης να επικεντρωθούμε στις ερευνητικές μας προσπάθειες. Θα μας βοηθήσουν να δούμε πού υπάρχουν κενά στις γνώσεις μας και πού να εστιάσουμε τις προσπάθειές μας για αύξηση των συνολικών δυνατοτήτων μας για την πρόβλεψη της διάβρωσης.

Κατά την επιλογή ή το σχεδιασμό ενός μοντέλου διάβρωσης, πρέπει να παρθεί μια απόφαση ως προς το εάν το μοντέλο πρόκειται να χρησιμοποιηθεί εντός πεδίου, αν αφορά κομμάτι εκτός πεδίου, ή και τα δύο. Τα εντός πεδίου συνδέονται γενικά με την υποβάθμιση ή την αραίωση του εδάφους στο πεδίο, οι οποίες μπορεί να οδηγήσουν σε απώλεια της παραγωγικότητας των καλλιεργειών. Οι οικολόγοι αναφέρονται σε αυτή τη διαδικασία, ως απώλεια του εδάφους (soil loss), παραπέμποντας την καθαρή απώλεια του εδάφους μόνο πάνω από το τμήμα που βιώνει την καθαρή ζημία μακροπρόθεσμα. Οι περιοχές που υφίστανται απώλεια εδάφους τελειώνουν εκεί όπου αρχίζει η καθαρή εναπόθεση. Τα εκτός πεδίου από την άλλη πλευρά, συνδέονται με το ίζημα που φεύγει από το πεδίο, το οποίο ονομάζουμε στερεοπαροχή. Σε αυτή την περίπτωση, δεν μας ενδιαφέρει τόσο η εδαφική απώλεια, ή το ποσό των ιζημάτων που εναποτίθενται πριν από την έξοδο από το πεδίο, αν και η εκτίμηση των δύο αυτών μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση των αποδόσεων των ιζημάτων. Στην ιδανική περίπτωση, το μοντέλο θα υπολογίσει την εδαφική απώλεια, την εναπόθεση, και τη στερεοπαροχή, και έτσι έχει τη δυνατότητα να εξετάσει και τα επί τόπου και τα εκτός τόπου ζητήματα.

### **Ανάλυση μοντέλων διάβρωσης**

Μια ευρεία ποικιλία των μοντέλων είναι διαθέσιμη για την αξιολόγηση του κινδύνου διάβρωσης του εδάφους. Προκειμένου να προβλεφθεί και να αποτραπεί επίσης η εδαφολογική διάβρωση, είναι απαραίτητο να αξιολογηθεί η δυνατότητα και ο πραγματικός κίνδυνος της εδαφολογικής διάβρωσης. Για την αξιολόγηση του κινδύνου εδαφολογικής διάβρωσης, υιοθετήθηκαν διάφορες μέθοδοι. Οι πιο πρόσφατες μέθοδοι, χρησιμοποιούν τις γεωδαιτικές βάσεις δεδομένων που αναπτύσσονται χρησιμοποιώντας την τεχνολογία GIS.

Τα μοντέλα διάβρωσης μπορούν να ταξινομηθούν με διάφορους τρόπους. Όλες οι μέθοδοι θα μπορούσαν να διαιρεθούν ως μέθοδοι με βάση την ειδικότητα και με βάση το μοντέλο. Μπορεί κανείς να κάνει μια υποδιαίρεση με βάση το χρονικό διάστημα για το οποίο ένα μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί: μερικά μοντέλα είναι σχεδιασμένα για την πρόβλεψη μακροπρόθεσμων ετήσιων εδαφολογικών απωλειών, όταν άλλα προβλέπουν μεμονωμένες απώλειες από την καταιγίδα (με βάση το γεγονός). Εναλλακτικά μια διάκριση μπορεί να γίνει ανάμεσα στα ομαδοποιημένα μοντέλα που προβλέπουν διάβρωση σε ένα μόνο σημείο και στα χωρικά καταναμημένα μοντέλα. Μια άλλη χρήσιμη διαίρεση είναι αυτή μεταξύ εμπειρικών και φυσικών μοντέλων. Η επιλογή ενός συγκεκριμένου μοντέλου εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον σκοπό για τον οποίο προορίζεται, τα διαθέσιμα στοιχεία, το χρόνο και το χρήμα (Grimm et al. 2002).

Όλες αυτές οι μέθοδοι απαιτούν κατάλληλη επικύρωση (validation) και βαθμονόμηση (calibration) για κάθε κατηγορία. Μερικά από τα μοντέλα αξιολογούν κάποιους ήδη υποβαθμισμένους εδαφικούς πόρους, ενώ άλλα αξιολογούν τον κίνδυνο μελλοντικής διάβρωσης κάτω από διαφορετικά σενάρια (Boardman and Poesen 2007).

Ένας μεγάλος αριθμός εμπειρικών μοντέλων αναπτύχθηκαν στον κόσμο. Το πιο ευρύ **εμπειρικό μοντέλο** στον κόσμο είναι η μέθοδος **USLE** (Παγκόσμια Εξίσωση Εδαφικής Απώλειας) (Wischmeier and Smith 1960, 1965) και οι παραλλαγές της: **RUSLE** (Renard et al. 1997), **MUSLE**, το Ευρωπαϊκό μοντέλο εδαφικής απώλειας **EUROSEM** (Morgan et al. 1998) η μέθοδος **Gavrilovic** (Gavrilovič 1972, 1976, 1988), η **Kronfellner-Kraus** ή του μέγιστου δυνατού στερεοφορτίου (Kronfellner-Kraus 1985).

Τα πιο διαδεδομένα **φυσικής βάσης μοντέλα** είναι τα εξής: **CREAMS** (Knisel 1980, Foster et al. 1981), **ANSWERS** (Beasley et al. 1980) και **WEPP** (Lane and Nearing 1989, Nearing et al. 1989, Flanagan and Nearing 1995).

Η **Παγκόσμια Εξίσωση Εδαφικής Απώλειας (USLE)** προβλέπει το μέσο ετήσιο ποσοστό της διάβρωσης σε περιοχές με μέτρια κλίση χρησιμοποιώντας τη βροχόπτωση, τον εδαφολογικό τύπο, την τοπογραφία, τις χρήσεις γης και τις πρακτικές διαχείρισης. Η USLE προβλέπει μόνο το ποσό απώλειας εδάφους που προκύπτει από την αυλακωτή διάβρωση για μια συγκεκριμένη κλίση και δεν λαμβάνει υπόψη πρόσθετες απώλειες εδάφους που μπορεί να προκύπτουν από χαλαρωτική, αιολική και καλλιεργητική διάβρωση. Αυτό το μοντέλο διάβρωσης δημιουργήθηκε για χρήση σε επιλεγμένες χρήσεις γης και συστημάτων διαχείρισης, αλλά ισχύει για μη γεωργικές συνθήκες όπως τα εργοτάξια. Η USLE μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να συγκρίνει τις εδαφολογικές απώλειες από ένα συγκεκριμένο πεδίο με συγκεκριμένη χρήση γης και ενός συγκεκριμένου συστήματος διαχείρισης μέχρι και για τα ποσοστά «ανεκτής εδαφικής απώλειας». Τα εναλλακτικά συστήματα διαχείρισης και χρήσεων γης μπορούν επίσης να αξιολογηθούν για να καθορίσουν την επάρκεια των μέτρων συντήρησης στις γεωργικές εκμεταλλεύσεις

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P$$

όπου:

A : εδαφική απώλεια σε t/ha /έτος.

R : συντελεστής διαβρωτικότητας βροχής (Rainfall erosivity factor).

K : συντελεστής διαβρωσιμότητας εδάφους (Soil erodibility factor).

LS : συντελεστής ανάγλυφου ή τοπογραφικός συντελεστής (Topographic factor), που αποτελείται από το γινόμενο του μήκους κλιτύος L (slope – length factor) και του συντελεστή κλίσης κλιτύος S (slope – gradient factor).

C : συντελεστής φυτοκάλυψης (Vegetation cover factor).

P : συντελεστής ελέγχου διάβρωσης (Support practice factor).

Η **μέθοδος Gavrilovič** (Gavrilovič 1972, 1976, 1988) είναι ένα παραμετρικό διανεμημένο μοντέλο και χρησιμοποιήθηκε ευρέως για την ετήσια πρόβλεψη των ποσοστών εδαφολογικής διάβρωσης και της παραγωγής ιζημάτων σε μεγάλη κλίμακα, λεκανών στη Σλοβενία και στην Κροατία τα τελευταία 35 χρόνια (Globevnik et al. 2003). Η μέθοδος Gavrilovic αναπτύχθηκε για την προστασία από τη διάβρωση, κυρίως στη δασική διαχείριση και τον έλεγχο των ρευμάτων. Η μέθοδος επίσης εφαρμόστηκε

και σε λεκάνες απορροής στις Ιταλικές και Σουηδικές Άλπεις (Bazzoffi 1985, Pozzi et al. 1991, Fanetti and Vezzoli 2007).

Η βάση της μεθόδου Gavrilovic βασίζεται στο ότι τα φερτά υλικά που μεταφέρονται από το χειμαρρικό ρεύμα (G) συσχετίζονται με την ποσότητα των φερτών υλικών που παράγονται από την εδαφική διάβρωση W (m<sup>3</sup>/year) και με την ποσότητα που κατακρατείται στον υδροκρίτη (R: συντελεστής κατακράτησης φερτών υλικών) και δίνεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$G = W \cdot R$$

Ο υπολογισμός της ποσότητας των φερτών υλικών W περιλαμβάνει εμπειρικούς συντελεστές (συντελεστής διαβρωσιμότητας, συντελεστής προστασίας εδάφους και συντελεστής διάβρωσης) και φυσικά χαρακτηριστικά (ετήσια βροχόπτωση, θερμοκρασία, μέση κλίση και εμβαδό λεκάνης). Οι λεκάνες με την ισχυρή στο χώρο μεταβλητότητα αυτών των παραμέτρων, πρέπει να διαχωριστούν σε υπολεκάνες που παρουσιάζουν ομοιογενή χαρακτηριστικά.

Η μέθοδος αυτή προσδιορίζει τη μέση ετήσια διάβρωση ή υποβάθμιση στις ορεινές λεκάνες απορροής των χειμαρρικών ρευμάτων και έχει την ακόλουθη μορφή:

$$W = T \cdot h \cdot \pi \cdot \sqrt{z^3} \cdot F \quad (\text{m}^3 / \text{έτος})$$

όπου:

W : όγκος μέσης, ετήσιας παραγωγής φερτών υλικών στην ορεινή λεκάνη απορροής του χειμαρρικού ρεύματος (m<sup>3</sup>/έτος). Εκφράζεται σε συμπαγή όγκο φερτών υλών. Για την αναγωγή του σε φαινόμενο όγκο πολλαπλασιάζεται, επί 1,28 ÷ 1,32 (το πορώδες των φυσικών αποθέσεων καταλαμβάνει τα 0,28 ÷ 0,32 του φαινόμενου όγκου).

T : συντελεστής θερμοκρασίας, ο οποίος παρέχεται από τη σχέση:

$$T = \sqrt{\frac{t_0}{10} + 0,1}$$

t<sub>0</sub> : μέση ετήσια θερμοκρασία στο μέσο υψόμετρο της ορεινής λεκάνης απορροής (°C)

h : μέσο ετήσιο ύψος βροχής στο μέσο υψόμετρο της ορεινής λεκάνης (mm)

π : ο αριθμός 3,14159...

F : επιφάνεια της λεκάνης (km<sup>2</sup>)

z : συντελεστής διάβρωσης, ο οποίος υπολογίζεται από τη σχέση:

$$z = x \cdot y \cdot (\phi + \sqrt{J})$$

x : συντελεστής που εκφράζει τη μείωση της αντίστασης του γεωλογικού υποθέματος κατά της διάβρωσης ανάλογα με την κατάσταση και την καλλιέργεια της επιφάνειας του, με βάση την παρουσία της βλάστησης. Δίνονται κατάλληλοι πίνακες. Κυμαίνεται μεταξύ 0,05 και 1,0.

y : συντελεστής διαβρωσιμότητας του γεωλογικού υποθέματος, ο οποίος εξαρτάται από την πετρολογική και εδαφολογική σύσταση των λεκανών. Δίνονται κατάλληλοι πίνακες. Κυμαίνεται μεταξύ 0,2 και 2,0.

φ : συντελεστής, που εκφράζει το είδος και το βαθμό της διάβρωσης των λεκανών απορροής. Δίνονται κατάλληλοι πίνακες. Κυμαίνεται μεταξύ 0,1 και 1,0.



J : μέση κλίση της επιφάνειας της λεκάνης απορροής, ως εφαπτόμενης γωνίας (-), (Κωτούλας 2001).

Ο συντελεστής κατακράτησης φερτών υλικών στη λεκάνη απορροής (R) αναθεωρήθηκε από τον Zemljic (1971), και υπολογίζεται χρησιμοποιώντας μορφολογικά χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής και δίνεται από τη σχέση:

$$R = \left( \frac{(O \times D)^{1/2} (L + L_1)}{F(L + 10)} \right)$$

όπου:

O : η περίμετρος της λεκάνης απορροής(km).

D : το μέσο υψόμετρο της λεκάνης απορροής (km).

L : το μήκος της κεντρικής κοίτης της λεκάνης απορροής (km).

L<sub>1</sub> : το μήκος των δευτερευουσών κοιτών της λεκάνης απορροής (km).

**Η μέθοδος Kronfellner-Kraus** (Kronfellner-Kraus 1985), που προσδιορίζει το μέγιστο δυνατό φορτίο φερτών υλών ή του μέγιστου δυνατού στερεοφορτίου γενικά και ιδίως των μικρών χειμαρρικών ρευμάτων των ορεινών και πολύ ορεινών περιοχών, το οποίο μπορεί να αποθεθεί στον κώνο πρόσχωσης τους λόγω έντονης στερεομεταφοράς μετά από έκτακτο πλημμυρικό γεγονός. Αυτό αποτελείται κυρίως από αδρομερή υλικά, ο όγκος των οποίων προσεγγίζει σχεδόν το συνολικό φορτίο φερτών υλικών, που παράγεται στην ορεινή λεκάνη λόγω της μέγιστης δυνατής υποβάθμισης κατά τη διάρκεια του συγκεκριμένου έκτακτου γεγονότος (Kronfellner-Kraus 1985).

Ένα μέρος όμως από τα παραγόμενα λεπτόκοκκα υλικά (αιωροφορτίο), το οποίο έχει μικρή συμμετοχή στο συνολικό φορτίο υλικών, διοχετεύεται δια του κώνου πρόσχωσης στον μεγαλύτερο αποδέκτη του ρεύματος, για αυτό και δεν προσμετρείται από την εξίσωση. Συνεπώς, για τον υπολογισμό της πραγματικής υποβάθμισης της λεκάνης θα πρέπει να παίρνεται υπόψη, εκτός από το στερεοφορτίο και το αιωροφορτίο, όσο μικρό και αν είναι αυτό, και οι τυχόν ενδιάμεσες αποθέσεις (εάν υπάρχουν) στο χώρο της λεκάνης.

Το μέγεθος του μέγιστου δυνατού φορτίου φερτών υλών στις ορεινές λεκάνες απορροής με έκταση έως 80 km<sup>2</sup> (το πολύ 120 km<sup>2</sup>), δίνεται από την εξής σχέση:

$$G_{ολ} = \kappa \cdot J \cdot F$$

όπου:

G<sub>ολ</sub> : μέγιστο δυνατό συνολικό φορτίο (στερεοαιωροφορτίο, όχι χειμαρρολάβρα), που αποτίθεται στον κώνο προσχώσεως κατά τη διάρκεια ενός έκτακτου πλημμυρικού γεγονότος. Εκφράζεται σε φαινόμενο (όχι συμπαγή) όγκο υλικών (m<sup>3</sup>). Για να μετατραπεί ο φαινόμενος σε συμπαγή όγκο διαιρείται δια 1,28-9-1,32 (πορώδες φυσικών αποθέσεων: 0,25+0,32).

J : μέση κλίση κοίτης, στα ανάντη της υπόψη θέσης, (δηλ. της σημαντικής από άποψη σχεδιασμού περιοχής πριν από τη μεταφορά των υλικών). Δίνεται ως ποσοστό % (όχι ως εφαπτόμενη γωνίας).

F : έκταση της λεκάνης απορροής (km<sup>2</sup>).

κ : συντελεστής, που εκφράζει τη χειμαρρικότητα του ρεύματος. Οι μικρές ορεινές λεκάνες με έντονο ανάγλυφο και ευπαθές γεωυπόθεμα έχουν υψηλές τιμές (κ = 1500), ενώ οι μεγαλύτερες, δασωμένες λεκάνες έχουν μικρές τιμές (κ = 500).

Συνιστάται να εφαρμόζεται η σχέση σε μικρές ορεινές λεκάνες απορροής με ενιαία κεντρική κοίτη. Σε μεγαλύτερα χειμαρρικά ρεύματα, καθώς και σε μικρότερα με διακλάδωση της κεντρικής κοίτης, υποδιαιρείται η λεκάνη απορροής τους σε μικρότερα, αυτοτελή τμήματα (από υδρολογική και στερεομεταφορική άποψη), επί των οποίων να γίνεται ο υπολογισμός, τα δε επιμέρους αποτελέσματα να αθροίζονται (Κωτούλας 2001).

**Το Ευρωπαϊκό μοντέλο διάβρωσης εδάφους (EUROSEM)** (Morgan et al. 1998) είναι ένα δυναμικό διανεμημένο μοντέλο, ικανό να προσομοιώσει τη μεταφορά, τη διάβρωση και την απόθεση ιζημάτων πάνω στην επιφάνεια του εδάφους από αυλακοειδείς και ποταμοειδείς διαδικασίες από μεμονωμένες καταγιίδες και στα δύο επιμέρους πεδία και σε μικρές συλλεκτήριες λεκάνες. Τα αποτελέσματα του μοντέλου περιλαμβάνουν τη συνολική απώλεια εδάφους, τη συνολική απορροή, το υδρογράφημα της καταγιίδας και το γράφημα των ιζημάτων της καταγιίδας. Σε σύγκριση με άλλα μοντέλα διάβρωσης, το EUROSEM προσομοιώνει σαφέστατα την ποτάμια και αυλακωτή ροή, τις επιδράσεις της φυτοκάλυψης στην παρεμπόδιση της ενέργειας της βροχόπτωσης, τα θραύσματα των πετρωμάτων (λιθώδη) που επιδρούν στη διήθηση, την ταχύτητα ροής και τη διάβρωση από τους παφλασμούς και τις αλλαγές στη μορφή και το μέγεθος των αυλακοειδών καναλιών, σαν αποτέλεσμα της διάβρωσης και της απόθεσης. Η μεταφορική ικανότητα της απορροής μοντελοποιήθηκε χρησιμοποιώντας σχέσεις βασισμένες σε πάνω από 500 πειραματικές παρατηρήσεις των επιφανειακών ρηχών ροών. Το EUROSEM μπορεί να εφαρμοστεί σε ομαλές πλαγιές χωρίς τάφρους, αυλακοειδείς επιφάνειες και επιφάνειες χωρίς αυλάκια άροτρου (Morgan et al. 1994).

**Το πρόγραμμα πρόβλεψης διάβρωσης νερού (Water Erosion Prediction Project - WEPP)** (Lane and Nearing 1989, Nearing et al. 1989, Flanagan and Nearing 1995) (Auerwald and Schwertmann 1988) αναπτύχθηκε από την USDA-ARS ως αντικαταστάτης για τις εμπεριστατωμένες τεχνολογίες πρόβλεψης της διάβρωσης. Το μοντέλο WEPP προσομοιώνει πολλές από τις φυσικές διεργασίες που είναι σημαντικές στη διάβρωση του εδάφους, συμπεριλαμβανομένης της διήθησης, της απορροής, της βροχόπτωσης και της απόσπασης της ροής, της μεταφοράς ιζημάτων, της απόθεσης, της ανάπτυξης των φυτών και της αποσύνθεσης των υπολειμμάτων. Το μοντέλο WEPP μπορεί να χρησιμοποιηθεί για κοινές εφαρμογές σε πλαγιές λόφων και για μικρές λεκάνες. Επειδή είναι φυσικά βασισμένο, το μοντέλο χρησιμοποιήθηκε επιτυχώς στην αξιολόγηση των σημαντικών ζητημάτων των φυσικών πόρων στις Η.Π.Α. και σε πολλές άλλες χώρες. Υπήρξαν αναβαθμίσεις στη μοντελοποίηση του συστήματος από το 1995. Η νέα έκδοση βασίζεται στα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών.

**Το μοντέλο CREAMS** (Chemicals, Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems) (Foster et al. 1981b) είναι ένα μοντέλο για την πρόβλεψη της βροχόπτωσης, της διάβρωσης και χημικής μεταφοράς από τα γεωγραφικά συστήματα διαχείρισης. Ισχύει σε περιοχές μεγέθους όσο ένα χωράφι. Το CREAMS μπορεί να λειτουργήσει σε μεμονωμένες πλημμύρες αλλά επίσης μπορεί να προβλέψει μακράς διάρκειας μέσους όρους (2-50 έτη). Το μοντέλο αυτό εκτιμάει την απορροή, τη διήθηση, τη διάβρωση και τα διαλυμένα και προσροφημένα θρεπτικά στοιχεία των φυτών και φυτοφάρμακα. Θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για μια μεμονωμένη χρήση γης, για σχετικά ομογενή εδάφη, για περιοχές με χωρικά ομοιόμορφη βροχόπτωση και σε μεμονωμένες πρακτικές διαχείρισης, όπως η συντηρητική καλλιέργεια ή για επίπεδα

υψώματα γης. Στην Ελλάδα, δεν μπορούν να έχουν ικανοποιητική εφαρμογή το WEPP και το CREAMS λόγω έλλειψης ικανοποιητικών δεδομένων.

**Το πρόγραμμα CORINE** είναι ένα παράδειγμα μιας πιο ειδικής προσέγγισης που καθιερώθηκε το 1985. Οι χάρτες κινδύνου διάβρωσης εδάφους CORINE είναι το αποτέλεσμα μιας συνολικής ανάλυσης από ένα σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών, που επιτρέπει την αξιολόγηση της κατηγορίας κινδύνου διάβρωσης του εδάφους. Η κύρια πηγή των χρησιμοποιούμενων πληροφοριών είναι ο χάρτης εδάφους των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων. Ο πιθανός κίνδυνος εδαφολογικής διάβρωσης ορίστηκε ως ο εγγενής κίνδυνος της διάβρωσης, ανεξάρτητα από την τρέχουσα χρήση γης ή την εδαφοκάλυψη. Η αξιολόγηση της εδαφικής διάβρωσης του CORINE έχει το μεγάλο πλεονέκτημα της απλότητας που παρέχει μια σαφή πρόβλεψη σε αντικειμενική βάση, για το σύνολο της περιοχής μελέτης. Η μεθοδολογία CORINE βασίζεται τουλάχιστον σε γενικές γραμμές στην παγκόσμια εξίσωση απώλειας εδάφους (USLE) μιας καλά εδραιωμένης τεχνολογίας, ευρέως διαδεδομένης, τόσο στη βόρεια Αμερική όσο και αλλού στον κόσμο. Βασισμένη σε μια παραγοντική μέθοδο που χρησιμοποιεί πλέγμα 1km x 1km, η μέθοδος μπορεί να εφαρμοστεί χρησιμοποιώντας περιβάλλον GIS, σε μια ανάλυση που επιτρέπει τη διάκριση μέσα στις χωρικές περιοχές. Η κοινή γνώμη λέει ότι η μέθοδος εντοπίζει σωστά τις περιοχές της Μεσογείου που έχουν τον υψηλότερο κίνδυνο διάβρωσης.

#### Αξιολόγηση μεθόδων

Οι μέθοδοι αξιολόγησης του κινδύνου διάβρωσης θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για διάφορες ενέργειες ως εξής: εκτίμηση του μέσου όρου του κινδύνου διάβρωσης, προσδιορισμός των περιοχών υψηλών κινδύνων, προσδιορισμός των καίριων θέσεων, της θέσης της απόθεσης και των σημαντικών συγκεντρωμένων περιοχών ροής, της λεπτομερούς διάβρωσης και της απόθεσης. Η αξιολόγηση των πέντε μεθόδων που προαναφέρθηκαν παρουσιάζεται στον πίνακα παρακάτω:

**Πίνακας 1.** Αξιολόγηση των διαφόρων μεθόδων διάβρωσης που εξαρτώνται από την εκπλήρωση των διαφόρων έργων.

	Αξιολόγηση του μέσου όρου του πρότυπου κινδύνου διάβρωσης	Γαυτοποίηση των περιοχών υψηλού κινδύνου	Θέση των αποθέσεων και μεγάλων συγκεντρώσεων ροής	Λεπτομερής διάβρωση και πρότυπη ενσπόθεση	Εκτίμηση της συνολικής μεταφοράς
<b>USLE</b>	√	√	-	-	-
<b>Gavrilocic</b>	√	√	√	√	√
<b>Kronfellner - Kraus</b>	√	√	√	-	-
<b>EUROSEM</b>	√	√	√	√	-
<b>WEPP</b>	√	√	√	√	-

Για την πραγματοποίηση των διάφορων στόχων, οι περιεκτικότερες μέθοδοι είναι η Gavrilovic, η EUROSEM και η WEPP. Στον Ελλαδικό χώρο, λόγω έλλειψης ικανοποιητικών στοιχείων και λόγω δυνατότητας εύρεσης των απαραίτητων μεταβλητών που χρειάζονται για να παραχθούν αποτελέσματα, χρησιμοποιούνται συνήθως οι USLE, Gavrilovic και Kronfellner-Kraus.

Η εφαρμογή των μεθόδων ανάλογα με την κλίμακα θα μπορούσαμε να την διαχωρίσουμε σε αγροτεμάχιο (πλαγιά λόφου, χωράφι) μικρή λεκάνη απορροής και μεγάλη λεκάνη απορροής.

**Πίνακας 2.** Αξιολόγηση των διαφόρων μεθόδων διάβρωσης που εξαρτώνται από την κλίμακα.

Μέθοδος (Μοντέλο)	Αγροτεμάχιο	Μικρή Υδρολεκάνη	Μεγάλη Υδρολεκάνη
USLE (MUSLE,RUSLE)	√	√	–
Gavrilovic	–	√	√
Kronfellner - Kraus	–	√	√
EUROSEM	√	√	–
WEPP	√	√	–

Καμιά από τις μεθόδους δεν ισχύει για όλα τα εύρη. Οι περισσότερες από τις μεθόδους είναι χρήσιμες για την επιτόπια ανάλυση και για μικρές λεκάνες.

Οι μέθοδοι αξιολόγησης του κινδύνου διάβρωσης θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση των ποσοστών διάβρωσης των διαφόρων τύπων διάβρωσης.

**Πίνακας 3.** Αξιολόγηση των διαφόρων μεθόδων διάβρωσης που εξαρτώνται από την επίλυση διαφόρων τύπων διάβρωσης.

Μέθοδος (Μοντέλο)	Επιφανειακή Διάβρωση	Αυλακωτή Διάβρωση	Χαραδρωτική Διάβρωση	Αλλουβιακή Διάβρωση
USLE	√	√	–	–
Gavrilovic	√	√	√	√
Kronfellner - Kraus	√	–	–	–
EUROSEM	√	√	√	√
WEPP	√	√	–	–

Η USLE δεν είναι ικανή να προβλέψει την απόθεση που λαμβάνεται από το διαβρωμένο υλικό, καθώς κινείται από τις αναβαθμίδες στις υδάτινες μάζες. Εκτός από αυτό, η USLE και η WEPP δεν μπορούν να εντοπίσουν χαραδρωτική διάβρωση ή την ποσότητα των υλικών που παράγονται από καθιζήσεις ή κατολισθήσεις. Αλλά στην περίπτωση των επικρατέστερων τύπων διάβρωσης στις αγροτικές περιοχές όπου τα

επιτόπια αποτελέσματα είναι κυρίαρχα, δηλαδή υπάρχει διάβρωση επιφανειακή και χαραδρωτική, αυτές οι μέθοδοι είναι περιεκτικότερες. Αντιθέτως, η μέθοδος Gavrilovic και η EUROSEM μπορούν να εκτιμήσουν την ένταση της διάβρωσης όποιος και αν είναι ο τύπος διάβρωσης.

**Πίνακας 4.** Αξιολόγηση των διαφόρων μεθόδων διάβρωσης που εξαρτώνται από τον τομέα.

Μέθοδος (Μοντέλο)	Γεωργία	Δασολογία	Διαχείριση Υδάτων	Διαχείριση Υδρολεκανών
USLE	√	√	–	* √ *
Gavrilovic	–	√	–	* √ *
Kronfellner - Kraus	–	√	–	–
EUROSEM	√	√	√	√
WEPP	√	√	–	–

\* √ \*μερικώς

Για την επίλυση προβλημάτων σχετικών με τη **διάβρωση στη γεωργία**, όπου η επιτόπια εδαφολογική απώλεια και η διαβρωσιμότητα του εδάφους είναι το κύριο ενδιαφέρον, συστήνονται οι ακόλουθες μέθοδοι: USLE, WEPP, EUROSEM. Το γεγονός που πρέπει να αναφερθεί είναι ότι οι εμπειρικές μέθοδοι χρειάζονται βαθμονόμηση και έλεγχο καταλληλότητας για κάθε περιοχή. Εκτός από αυτό, μερικές μέθοδοι (USLE, MUSLE, RUSLE) χρειάζονται πολλά δεδομένα που σχετίζονται με την ένταση της βροχόπτωσης, δηλαδή να είναι καθορισμένη η παράμετρος R και τα εδαφολογικά χαρακτηριστικά να προσδιορίζουν την παράμετρο K. Αυτό ίσως αποτελεί έναν περιοριστικό παράγοντα για τη χρήση των μεθόδων αυτών σε κάποια περίπτωση.

Σχετικά με τους σκοπούς της **δασολογίας**, εξαρτάται από τη δραστηριότητα διαφόρων μεθόδων και είναι περισσότερο ή λιγότερο σχετικοί. Για τη δασοκομία (φύτευση, αραιώση κτλ.) κύριο ενδιαφέρον έχουν οι επιτόπιες καταστροφές σε μικρή περιοχή. Έτσι οι πιο κατάλληλες μέθοδοι είναι οι ίδιες που είναι και στη γεωργική μηχανική. Για τα δασικά έργα ορεινής υδρονομικής το πιο κατάλληλο εργαλείο είναι οι μέθοδοι που έχουν ως αποτέλεσμα τις επιτόπιες ζημιές, αλλά έχουν διάφορους τύπους διάβρωσης. Για αυτό το λόγο, η EUROSEM εκπληρώνει όλες τις ανάγκες. Η Gavrilovic εφαρμόζεται ικανοποιητικά επίσης λόγω του τύπου διάβρωσης που παρατηρείται στις δασικές περιοχές.

Η **διαχείριση του νερού** ενδιαφέρει κυρίως τις εκτός πεδίου καταστροφές, όπως η απόθεση με ξαφνική πλημμύρα και οι επιτόπιες καταστροφές (διάβρωση ποταμών). Για τις επιτόπιες καταστροφές η EUROSEM είναι πιο κατάλληλη.

Η **διαχείριση της λεκάνης απορροής** μπορεί να ενοποιήσει όλα όσα αναφέρθηκαν παραπάνω. Αυτός ο τομέας είναι για όλους τους τύπους της. Η κλίμακα του ποικίλει από τις μικρές ως τις μεγάλες λεκάνες. Λόγω αυτού, για αυτό το είδος της εργασίας, η Gavrilovic και η WEPP είναι ίσως η πιο κατάλληλες μέθοδοι, κατά περίπτωση.

Για τις μεσογειακές περιοχές και κυρίως τον Ελλαδικό χώρο, η μέθοδος του Gavrilovic είναι η πλέον κατάλληλη για ορεινές περιοχές, αλλά η χρήση της USLE για τις γεωργικές εκτάσεις (λοφώδεις και κοιλάδες) είναι καταλληλότερη, αν συνυπολογίσουμε την γενική έλλειψη δεδομένων στην χώρα μας.

## Συμπεράσματα για την επιλογή του κατάλληλου μοντέλου

Επιλέγοντας τον τρόπο που θα διαχειριστούμε τη γη, από πρακτικής άποψης, είναι συχνά ένα θέμα που πρέπει να επιλεγεί ανάμεσα σε μια σειρά από πιθανές επιλογές. Συχνά, ως εκ τούτου, αυτό που πρέπει να ξέρουμε δεν είναι κατ' ανάγκην το ακριβές ποσοστό της διάβρωσης για μια συγκεκριμένη επιλογή σε ένα υψηλό επίπεδο ακρίβειας, αλλά θέλουμε να γνωρίζουμε πώς αλληλεπιδρούν οι διάφορες επιλογές. Επιλέγοντας στη συνέχεια, ποιο μοντέλο θα χρησιμοποιηθεί λαμβάνουμε επίσης υπόψη το είδος των πληροφοριών που θα θέλουμε να γνωρίζει το μοντέλο και ποια δεδομένα έχουμε για τη συγκεκριμένη περιοχή εφαρμογής του (Nearing 2006). Μπορούμε να γνωρίζουμε, για παράδειγμα, ότι η USLE (Universal Soil Loss Equation) - παρέχει μόνο εκτιμήσεις για τη μέση ετήσια εδαφική απώλεια για το τμήμα του αγροτεμαχίου που βιώνει μια καθαρή απώλεια του εδάφους. Αν ενδιαφερόμαστε για επιπτώσεις εκτός της περιοχής μελέτης, τότε πιθανότατα να επιλέξουμε μια διαδικασία με βάση το μοντέλο που θα παρέχει εκτιμήσεις για το ίζημα που θα εξέρχεται από την πλαγιά του λόφου ή τη λεκάνη. Αν ενδιαφερόμαστε για την απόκτηση άλλων βοηθητικών πληροφοριών για την επιλογή της στρατηγικής διαχείρισης, όπως η υγρασία του εδάφους ή η απόδοση των καλλιεργειών, θα μπορούσαμε επίσης να αποφασίσουμε να χρησιμοποιήσουμε μια διαδικασία που θα μας παρέχει τέτοιες πληροφορίες. Από την άλλη πλευρά, αν τα στοιχεία είναι περιορισμένα για την κατάσταση που θα διαμορφωθεί, τότε η μόνη βιώσιμη επιλογή μπορεί να είναι ένα απλό εμπειρικό μοντέλο.

Κάνοντας ευρείας κλίμακας έρευνες για τη διάβρωση, ώστε να κατανοηθεί το μέγεθος του προβλήματος της διάβρωσης σε μια περιοχή και να καταστεί δυνατό να παρακολουθηθούν στη συνέχεια οι αλλαγές στη διάβρωση με την πάροδο του χρόνου, η διάβρωση μπορεί να γίνει με πολλά μοντέλα. Μπορεί να γίνει ένα στατιστικό πρόγραμμα δειγματοληψιών για να ληφθούν τυχαία σημεία πάνω στην περιοχή του ενδιαφέροντος, και το μοντέλο της διάβρωσης, στη συνέχεια, να εφαρμόζεται σε κάθε σημείο (USDA 1996). Σε αυτή την περίπτωση, δεν ανησυχούμε τόσο για την ατομική πρόβλεψη για κάθε σημείο της εφαρμογής, αλλά για την ικανότητα του μοντέλου να προβλέψει το σύνολο των μέσων όρων της απώλειας εδάφους σε ποσοτική ακρίβεια. Ενώ γνωρίζουμε ότι κανένα από τα μοντέλα της διάβρωσης δε μπορεί κατ' ανάγκη να προβλέψει τη διάβρωση για μια συγκεκριμένη τοποθεσία σε ποσοτικό επίπεδο ακρίβειας, θα είχε ενδιαφέρον να δούμε, πολλά μοντέλα να κάνουν προβλέψεις του μέσου όρου για τις κατεργασίες αρκετά αποτελεσματικά (Risse et al. 1993, Rapp 1994, Zhang et al. 1996).

Η επιλογή του σωστού μοντέλου σχετίζεται με τις **επιθυμητές πληροφορίες** και τα **διαθέσιμα δεδομένα**. Η πολυπλοκότητα και η αβεβαιότητα είναι τα βασικά ζητήματα σε σχέση με την ανάπτυξη, την κατανόηση, και τη χρήση των μοντέλων της διάβρωσης για σκοπούς προστασίας. Η φυσική μεταβλητότητα είναι πολύ μεγάλη, και η αβεβαιότητα στις προβλέψεις είναι πολύ υψηλή (Nearing et al. 1999, Nearing 2000). Για κατάλληλη και από κοινού χρήση, όπως αυτές που αναφέρονται παραπάνω, τα μοντέλα μπορεί να είναι αποτελεσματικά εργαλεία για την προστασία από την διάβρωση.

## Βιβλιογραφία

Auerswald, K. and Schwertmann, U. (1988). Modelle zur Erosionsmassnahmen unter deutschen Anbandendingugen mit dem P- Faktor den Allgemeinen Bodenabtragsgleichnung (ABAG).

- Baffaut, C., Nearing, M.A. and Nicks, A.D. (1996). Impact of climate parameters on soil erosion using CLIGEN and WEPP. *Transaction of the American Society of Agricultural Engineering* 39, pp. 447-457.
- Bazzoffi, P. (1985). Methods for Net Erosion Measurement in Watersheds as a Tool for the Validation of Models in Central Italy. *Workshop on Soil Erosion and Hillslope Hydrology with Emphasis on Higher Magnitude Events*. Leuven.
- Beasley, D.B., Huggins and Monke, E.J. (1980). ANSWERS: A model for watershed planning. *Transactions of the ASAE*, 23(4), pp. 938-944.
- Boardman and Poesen, (2007). *Soil erosion in Europe*, monograph. Willy and sons.
- Eckerman, S.D., Dörnbrack, A., Vosper, S.B., Flentje, H., Mahoney, M.J., Bui, T.P. and Carslaw, K.S. (2006). Mountain wave-induced polar stratospheric cloud forecasts for aircraft science flights during SOLVE/THESEO 2000. *Wea. Forecasting* 21, pp. 42-68.
- Fanetti, D. and Vezzoli, L. (2007). Sediment Input and Evolution of Lacustrine Deltas: The Breggia and Greggio Rivers Case Study (Lake Como, Italy). *Science Direct Quaternary International*. No 173-174, pp. 113-124.
- Flanagan, D.C. and Nearing, M.A. (1995). *USDA-Water Erosion Prediction Project: Hillslope Profile and Watershed Model Documentation*, NSERL Report No. 10, USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory: West Lafayette.
- Foster, G.R., McCool, D.K., Renard, K.G. and Moldenhauer, W.C. (1981a) Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units. *Journal of Soil and Water Conservation* 36, pp. 355-359.
- Foster, G.R., Lane, L.J., Nowlin, J.D., Laflen, J.M. and Young, R.A. (1981b). Estimating erosion and sediment yield on field-sized areas. *Transaction of the American Society of Agricultural Engineering* 24(5), pp. 1253-1262.
- Gavrilovič, Sl. (1972). *Inženjering o bujicn im tokovima i eroziji*. Beograd.
- Gavrilovic, S. (1976). *Torrents and Erosion*. Στο *Gradevinski Calendar*. Beograd, Servia, pp. 159-311.
- Gavrilovic, S. (1988). The Use of an Empirical Method (Erosion Potential Method) for Calculating Sediment Production and Transportation in unstudied or Torrential Streams. Στο White, W.R. (Ed.), *International Conference on River Regime*. Wiley, New York (Chichester, UK), pp. 411-422.
- Globevnik, L., Holjevic, D., Petkovsek, G. and Rubinic, J. (2003). Applicability of the Gavrilovic Method in Erosion Calculation Using Spatial Data Manipulation Techniques. Στο De Boer, *Erosion Prediction in Ungauged Basins: Integrating Methods and Techniques* Vol. 279. IAHS Publications. (Edited by Froehlich, W., Mizuyama, T., Pietroniro, A.), pp. 224-233.
- Grimm, M., Jones, R.J. and Montarella, L. (2002). *Soil erosion risk assessment in Europey*, EC, ESB, JRC, 2002 (revised).
- Knissel, W. (1980). *CREAMS — A field-scale model for chemicals runoff and erosion from agricultural management systems*. USDA Conservation Report no. 26.
- Kostadinov, St. and Blinkov, I. (2010). *Applicability of Various Erosion Risk Assessment Methods for Engineering Purposes*.
- Kronfellner-Kraus, G. (1985). *Quantitative estimation of torrent erosion*. Intern. Symposium on Erosion Debris Flow and Disaster Prevention. Tsukuba Japan.
- Lane, L.J. and Nearing, M.A. (Ed.) (1989). *USDA-Water Erosion Prediction Project: Hillslope Profile Model Documentation*, NSERL Report No. 2, USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory: West Lafayette.

- Morgan, R.P.C., Quinton, J.N. and Rickson, R.J. (1994). Modelling methodology for soil erosion assessment and soil conservation design. The EUROSEM approach.
- Morgan, R.P.C., Quinton, J.N., Smith, R.E., Govers, G., Poesen, J.W.A., Auerswald, K., Chisci, G., Torri, D. and Styczen, M.E. (1998). The European Soil erosion Model (EUROSEM): a dynamic approach for predicting sediment transport from fields and small catchments. *Earth Surface Processes and Landforms* 23, pp. 527-544.
- Nearing, M.A., Foster, G.R., Lane, L.J. and Finkner, S.C. (1989). A process-based soil erosion model for USDA-water erosion prediction technology. *Transaction of the American Society of Agricultural Engineering* 32(5), pp. 1587-1593.
- Nearing, M.A. and Nicks, A.D. (1998). Evaluation of the Water Erosion Prediction Project (WEPP) model for hillslopes: *in* *Modelling Soil Erosion by Water* (J Boardman and D.T. Favis-Mortlock, eds.), Springer-Verlag NATO-ASI Series I-55, Berlin, pp. 45-56.
- Nearing, M.A., Govers, G. and Norton, L.D. (1999). Variability in soil erosion data from replicated plots. *Soil Science Society of America Journal* 63(6), pp. 1829-1835.
- Nearing, M.A. (2000). Evaluating soil erosion models using measured plot data: accounting for variability in the data. *Earth Surface Processes and Landforms* 25, 1035-1043.
- Nearing, M.A., Renard, K. and Nichols, M. (2005). Erosion Prediction and Modeling, *Encyclopedia of Hydrological Sciences*. Edited by M.G. Anderson, 2005.
- Pozzi, R., Bollettinari, G. and Miniutti, P. (1991). Valutazione Quantitativa Indiretta Dell' Erosione in Alcuni Bacini Idrografici Del Versante Orobico Valtellinese (Provincia di Sondrio) e Considerazioni Sull' evento Alluvionale del Luglio 1987. *Στο Proceedings of the Symposium: Fenomeni di Erosione e Alluvionamento Degli Alvei Fluviali, Ancona, 14-15/10*, pp. 5-19.
- Rapp, J.F. (1994). Error Assessment of the Revised Universal Soil Loss Equation Using Natural Runoff Plot Data, M.S. Thesis, School of Renewable Natural Resources, University of Arizona, Tucson.
- Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A., McCool, D.K. and Yoder, D.C. (1997). Predicting Soil Erosion by Water – a Guide to Conservation Planning with the Revised universal soil loss equation (RUSLE), *Agricultural Handbook No. 703*, US Government Printing Office: Washington.
- Risse, L.M., Nearing, M.A., Nicks, A.D. and Laflen, J.M. (1993). Assessment of error in the universal soil loss equation. *Soil Science Society of America Journal* 57, pp. 825-833.
- U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, National Sediment Laboratory (USDA-ARS-NSL). (2003). RUSLE1.06c and RUSLE2, Internet site: [www.sedlab.olemiss.edu/rusle](http://www.sedlab.olemiss.edu/rusle); U.S. Department of Agriculture (1996) Summary Report 1992 National Resource Inventory, US Government Printing Office: Washington.
- Zemljic, M. (1971) Calcul du Debit Solide, Evaluation de la Vegetation Comme un des Facteurs Antierosifs. *Proceedings of the Symposium INTERPRAEVENT*. Villach, pp. 359-371.
- Water Erosion Prediction Project (WEPP) model, (2012). <http://www.ars.usda.gov/Research/docs.htm?docid=10621>
- Wischmeier, W.H. and Smith, D.D. (1960). A universal soil-loss equation to guide conservation farm planning. *Transactions of the 7th International Congress Soil Science*, Brussels, Belgium, pp. 418-425.



- Wischmeier, W.H. and Smith, D.D. (1965). Predicting Rainfall Erosion Losses in the Eastern U.S. – A Guide to Conservation Planning, Agricultural Handbook No. 282, US Government Printing Office: Washington.
- Wischmeier, W.H. and Smith, D.D. (1978). Predicting Rainfall Erosion Losses. A Guide to Conservation Planning, Agriculture Handbook No. 537, USDA-SEA, US Government Printing Office: Washington, p. 58.
- Zhang, X.C., Nearing, M.A., Risse, L.M. and McGregor, K.C. (1996). Evaluation of runoff and soil loss predictions using natural runoff plot data. Transaction of the American Society of Agricultural Engineering 39(3), pp. 855-863.
- Κωτούλας, Δ. (2001). Ορεινή Υδρονομική Τόμος Ι : Τα Ρέοντα Ύδατα. Α.Π.Θ. Τμήμα Εκδόσεων. Θεσσαλονίκη.
- Κωτούλας, Δ. (2001). Ορεινή Υδρονομική τόμος Ια: Μέθοδοι και συστήματα υδρονομικής διευθέτησης. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Τμήμα Εκδόσεων. Θεσσαλονίκη.
- Κωτούλας, Δ. (2002). Ορεινή Υδρονομική, τόμος Ιβ: Υδρονομικά έργα. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Τμήμα Εκδόσεων. Θεσσαλονίκη.
- Ποτουρίδης, Σ. (2009). Η Διαχείριση Κινδύνου στη Διευθέτηση Ορεινών Υδάτων. 1<sup>η</sup> επιστημονική Διημερίδα: Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Πόρων. Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης. Τμήμα Δασολογίας & Διαχείρισης Περιβάλλοντος & Φυσικών Πόρων. Εργαστήριο Διευθέτησης Ορεινών Υδάτων και Διαχείρισης Κινδύνου.
- Σπάρταλης, Σ., Μάρης, Φ. και Ηλιάδης, Λ. (2005). Αξιολόγηση των Ορεινών λεκανών απορροής του Ν. Ροδόπης ως προς τη χειμαρική – πλημμυρική επικινδυνότητά τους. Πρακτικά Επιστημονικού Συνεδρίου ΕΠΕΚ, 2-4-2005. ISBN: 960-87511-2-8. Κομοτηνή. Ελλάδα, σελ. 251-267.