ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

«ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ
ΤΩΝ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΑΠΟΘΕΣΕΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ
ΣΤΟΥΣ ΧΕΙΜΑΡΡΟΥΣ ΤΗΣ ΒΔ/κης ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ»

Διδακτορική Διατριβή

Μιχάλης Παγώνας

Πάτρα, 2009

Η Γέφυρα Πίου – Αντίρριου

στους γονείς μου
Κλεονίκη και Γεώργιο,
στον αδελφό μου
Παναγιώτη,

στη μνήμη της θείας μου
Ελισάβετ Πετρίδου

... μετὰ δὲ τὸν Χάραδρον ἐρείπια οὐκ ἐπιφανῇ πόλεώς
ἐστὶν Ἀργυράς, καὶ πηγὴ τε Ἀργυρᾶ ἐν δεξιᾷ τῆς
λεωφόρου καὶ Σέλεμνος ποταμός κατιὼν ἐς θάλασσαν.
λόγος δὲ τῶν ἐπιχωρίων ἐς αὐτόν ἐστι, Σέλεμνον μει-
ράκιον ὠραίῳ ποιμαίνειν ἐνταῦθα, Ἀργυρᾶν δὲ εἶναι
μὲν τῶν ἐν θαλάσῃ νυμφῶν, ἐρασθεῖσαν δὲ αὐτὴν
Σελέμνου φοιτῶν τε ὡς αὐτόν φασι ἐκ θαλάσσης
ἀνιούσαν, καὶ καθεύδειν παρ' αὐτῷ· μετὰ δὲ οὐ πολὺν
χρόνον οὔτε ὠραίος ἔτι ἐφαίνετο Σέλεμνος οὔτε ὡς
αὐτόν φοιτήσῃν ἐμελλεν ἡ νύμφη, Σέλεμνον δὲ μονω-
θέντα Ἀργυρᾶς καὶ τελευτήσαντα ὑπὸ τοῦ ἔρωτος
ἐποίησεν Ἀφροδίτῃ ποταμόν. λέγω δὲ τὰ ὑπὸ Πατρώων
λεγόμενα. καὶ ἦρα γὰρ καὶ ὕδωρ γενόμενος Ἀργυ-
ρᾶς, καθότι ἔχει καὶ ἐπὶ τῷ Ἀλφειῷ λόγος Ἀρεθούσης
ἔτι ἐρᾶν αὐτόν-δωρεῖται καὶ τῷδε Ἀφροδίτῃ Σέλε-
μνον· ἐς λήθην ἄγει τὸν ποταμόν Ἀργυρᾶς. ἤκουσα
δὲ καὶ ἄλλον ἐπ' αὐτῷ λόγον, τὸ ὕδωρ τοῦ Σελέμνου
σύμφωρον καὶ ἀνδράσιν εἶναι καὶ γυναιξὶν ἐς ἔρωτος
ἵαμα, λουμένοις ἐν τῷ ποταμῷ λήθην ἔρωτος γίνεσθαι.
εἰ δὲ μέτεστιν ἀληθείας τῷ λόγῳ, τιμιώτερον χρημάτων
πολλῶν ἐστὶν ἀνθρώποις τὸ ὕδωρ τοῦ Σελέμνου.

ἀπωτέρω δὲ Ἀργυρᾶς ποταμός ἐστὶν ὀνομαζόμενος
Βολιναῖος, καὶ πόλις ποτὲ ᾤκειτο πρὸς αὐτῷ Βολίνα.
παρθένου δὲ ἐρασθῆναι Βολίνης Ἀπόλλωνα, τὴν δὲ
φεύγουσαν ἐς τὴν ταύτῃ φασὶν ἀφεῖναι θάλασσαν
αὐτήν, καὶ ἀθάνατον γενέσθαι χάριτι τοῦ Ἀπόλλωνος.
ἐφεξῆς δὲ ἄκρα τε ἐς τὴν θάλασσαν ἔχει, καὶ ἐπ' αὐτῇ
λέγεται λόγος ὡς Κρόνος τῆς θαλάσσης ἐνταῦθα ἔρριψε
τὸ δρέπανον, ᾧ τὸν πατέρα Οὐρανὸν ἐλυμήνατο· ἐπὶ
τούτῳ δὲ καὶ τὴν ἄκραν Δρέπανον ὀνομάζουσιν. ὀλί-
γον δὲ ὑπὲρ τὴν λεωφόρον Ῥυπῶν ἐστὶ τὰ ἐρείπια·
σταδίους δὲ Αἴγιον περὶ τοὺς τριάκοντα ἀπέχει Ῥυπῶν ...

Παύσανίου Ἀχαικά
χχιιι

Τα μέλη της επταμελούς Εξεταστικής Επιτροπής

Καθηγητής Νικόλαος Κοντόπουλος (Επιβλέπων), Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Γεωλογίας

Καθηγητής Αβραάμ Ζεληλίδης, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Γεωλογίας

Καθηγητής Νικόλαος Λαμπράκης, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Γεωλογίας

Καθηγητής Αλέξανδρος Δημητριάδης, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών

Καθηγητής Γεώργιος Μιγκίρης, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών

Καθηγητής Ανδρέας Παυλόπουλος, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών

Αναπληρωτής Καθηγητής Γεώργιος Παπαθεοδώρου, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Γεωλογίας

«Η έγκριση της παρούσης διδακτορικής διατριβής από το τμήμα Γεωλογίας του Πανεπιστημίου
Πατρών δεν υποδηλώνει αποδοχή των γνώμων του συγγραφέως.»

Νόμος 5343/1932 (ΦΕΚ 86), άρθρο 202, §2

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η ανάθεση της διδακτορικής διατριβής έγινε ύστερα από απόφαση της Γενικής Συνέλευσης Ειδικής Σύνοψης (1/21-10-2004) του τμήματος Γεωλογίας του Πανεπιστημίου Πατρών.

Η διατριβή, για την περίοδο 2006-2008, χρηματοδοτήθηκε από το Γ' Κοινοτικό Πλαίσιο Στήριξης μέσω του έργου «Περιφερειακός Πόλος Καινοτομίας Δυτικής Ελλάδας» με τίτλο «Σύστημα Διαχείρισης Ποτάμιων Συστημάτων».

Η τριμελής συμβουλευτική επιτροπή αποτελείται από τα μέλη ΔΕΠ του τμήματος Γεωλογίας, τους κκ. Καθηγητή Νικόλαο Κοντόπουλο, Καθηγητή Αβραάμ Ζεληλίδη και Καθηγητή Νικόλαο Λαμπράκη. Καθ' όλη τη διάρκεια της διατριβής μου συμπαραστάθηκαν με τις συμβουλές και τις υποδείξεις τους και τους ευχαριστώ θερμά. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω και τα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής, τους κκ. Καθηγητή Αλέξανδρο Δημητράκοπουλο, Καθηγητή Γεώργιο Μιγκίρο, Καθηγητή Ανδρέα Παυλόπουλο καθώς και τον Αναπληρωτή Καθηγητή Γεώργιο Παπαθεοδώρου, για τις συμβουλές και παρατηρήσεις τους στην εξέταση της διατριβής.

Το συνάδελφο γεωλόγο του Εργαστηρίου Υδρογεωλογίας, υποψήφιο διδάκτορα κ. Ηλία Καραπάνο, ευχαριστώ για τη σημαντική βοήθεια που μου προσέφερε στις εργαστηριακές αναλύσεις.

Ακόμα, θα ήθελα να ευχαριστήσω το συνάδελφο διδάκτορα γεωλόγο κ. Αλέξανδρο Καρκάνα καθώς και τους συναδέλφους γεωλόγους του Εργαστηρίου Ιζηματολογίας υποψήφιους διδάκτορες κκ. Γεώργιο Παντόπουλο, Όλγα Παναγιωτακοπούλου, Άγγελο Μαραβέλη και Τάκη Κωνσταντόπουλο για τη συμπαράσταση και τις συμβουλές τους.

Τέλος, οφείλω να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την υλική στήριξη σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Πάτρα, Μάιος 2009

Μ. Παγώνας

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Abstract

Εισαγωγή

1 Γεωλογική Επισκόπηση

1.1	Αλπικό Υπόβαθρο (ζώνη Ωλονού – Πίνδου).....	1-3
1.1.1	Στρωματογραφική Εξέλιξη.....	1-4
1.1.2	Ορογενετική Εξέλιξη.....	1-9
1.2	Μεταλπικοί Σχηματισμοί (Πλειο-Τεταρτογενές Επικάλυμμα).....	1-11
1.2.1	Πλειο-Πλειστοκαινικά Ιζήματα	1-13
1.2.2	Τεταρτογενείς Αποθέσεις	1-14
1.2.2.1	Πλειστοκαινικές Αποθέσεις.....	1-14
1.2.2.2	Ολοκαινικές Αποθέσεις	1-14
1.3	Τεκτονική.....	1-15
1.4	Σεισμοτεκτονική.....	1-18

2 Στοιχεία Γεωμορφολογίας

2.1	Γεωμορφολογική Ανάλυση και Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών	2-2
2.1.1	Ποσοτική Ανάλυση Αναγλύφου	2-3
2.1.2	Ποσοτική Ανάλυση Υδρογραφικού Δικτύου.....	2-6
2.2	Γεωμορφολογία της Περιοχής Έρευνας.....	2-11
2.2.1	Λεκάνη Απορροής Χείμαρρου Σέλεμνου	2-15
2.2.2	Λεκάνη Απορροής Χείμαρρου Ξυλοκέρα	2-15
2.2.3	Λεκάνη Απορροής Χείμαρρου Βολιναίου	2-16
2.3	Εξέλιξη των Ποταμίων Συστημάτων του Δήμου Ρίου	2-17
2.3	Συμπεράσματα.....	2-20

3 Ιζηματολογία Σύγχρονων Αποθέσεων

3.1	Μεθοδολογία.....	3-2
3.1.1	Εργασία Υπαίθρου	3-2
3.1.1.1	Επιφανειακή Δειγματοληψία.....	3-2
3.1.1.2	Υποεπιφανειακή Δειγματοληψία.....	3-2

3.1.2	Εργαστηριακές Μέθοδοι	3-4
3.2	Θέσεις Σταθμών Δειγματοληψίας.....	3-7
3.2.1	Χείμαρρος Σέλεμνος.....	3-7
3.2.2	Χείμαρρος Ξυλοκέρας.....	3-7
3.2.3	Χείμαρρος Βολιναίος	3-8
3.3	Ανάλυση Μορφομετρικών και Ιστολογικών Χαρακτηριστικών Επιφανειακών Ιζημάτων	3-8
3.3.1	Αποτελέσματα Ανάλυσης της Λιθολογίας.....	3-9
3.3.1.1	Χείμαρρος Σέλεμνος.....	3-9
3.3.1.2	Χείμαρρος Ξυλοκέρας.....	3-11
3.3.1.3	Χείμαρρος Βολιναίος	3-13
3.3.2	Αποτελέσματα Ανάλυσης του Αριθμητικού Μέσου	3-15
3.3.2.1	Χείμαρρος Σέλεμνος.....	3-15
3.3.2.2	Χείμαρρος Ξυλοκέρας.....	3-17
3.3.2.3	Χείμαρρος Βολιναίος	3-18
3.3.3	Αποτελέσματα Ανάλυσης της Στρογγυλότητας	3-19
3.3.3.1	Χείμαρρος Σέλεμνος.....	3-19
3.3.3.2	Χείμαρρος Ξυλοκέρας.....	3-21
3.3.3.3	Χείμαρρος Βολιναίος	3-22
3.3.4	Αποτελέσματα Ανάλυσης της Σφαιρικότητας	3-23
3.3.4.1	Χείμαρρος Σέλεμνος.....	3-24
3.3.4.2	Χείμαρρος Ξυλοκέρας.....	3-27
3.3.4.3	Χείμαρρος Βολιναίος	3-30
3.4	Πολυμεταβλητή Στατιστική Ανάλυση	3-33
3.4.1	Παραγοντική Ανάλυση R-Τύπου.....	3-34
3.4.1.1	Χείμαρρος Σέλεμνος.....	3-35
3.4.1.2	Χείμαρρος Ξυλοκέρας.....	3-37
3.4.1.3	Χείμαρρος Βολιναίος	3-40
3.5	Υπολογισμός Στατιστικών Κοκκομετρικών Παραμέτρων Υποεπιφανειακών Ιζημάτων.....	3-42
3.5.1	Χείμαρρος Σέλεμνος.....	3-43
3.5.1.1	Διάμεσος – Αριθμητικός Μέσος	3-44
3.5.1.2	Ταξινόμηση.....	3-45

3.5.1.3	Ασυμμετρία	3-45
3.5.1.4	Κύρτωση.....	3-45
3.5.2	Χείμαρρος Ξυλοκέρας	3-46
3.5.2.1	Διάμεσος – Αριθμητικός Μέσος.....	3-48
3.5.2.2	Ταξινόμηση	3-48
3.5.2.3	Ασυμμετρία	3-48
3.5.2.4	Κύρτωση.....	3-49
3.5.3	Χείμαρρος Βολινάιος.....	3-50
3.5.3.1	Διάμεσος – Αριθμητικός Μέσος.....	3-51
3.5.3.2	Ταξινόμηση	3-52
3.5.3.3	Ασυμμετρία	3-52
3.5.3.4	Κύρτωση.....	3-52
3.6	Συμπεράσματα Ιζηματολογικών Αναλύσεων	3-53
4	Χρήσεις Γης	
4.1	Μεταβολή Χρήσεων Γης 1990-2000	4-5
5	Υδρομετεωρολογία, Κλιματολογία	
5.1	Στατιστικές Παράμετροι	5-1
5.2	Ατμοσφαιρικά Κατακρημνίσματα	5-2
5.2.1	Εκτίμηση των Ελλίπων Παρατηρήσεων	5-3
5.2.2	Έλεγχος της Ομοιογένειας των Βροχομετρικών Δεδομένων	5-4
5.2.3	Σχέση Υψομέτρου – Ύψους Βροχόπτωσης	5-5
5.2.4	Κατανομή των Βροχοπτώσεων	5-7
5.2.4.1	Ετήσια Πορεία	5-7
5.2.4.2	Μηνιαία Πορεία	5-8
5.2.4.3	Ανάλυση Χρονοσειράς Βροχομετρικών Δεδομένων – Ξηρές Περίοδοι	5-9
5.3	Θερμοκρασία	5-12
5.3.1	Κατανομή των Θερμοκρασιών	5-12
5.3.1.1	Ετήσια Πορεία	5-12
5.3.1.2	Μηνιαία Πορεία	5-13
5.3.2	Σχέση Υψομέτρου – Θερμοκρασίας.....	5-14
5.4	Σχετική Υγρασία του Αέρα.....	5-16

5.4.1	Ετήσια Πορεία	5-17
5.4.2	Μηνιαία Πορεία	5-18
5.5	Άνεμος	5-20
5.6	Ηλιοφάνεια	5-23
5.7	Κλίμα	5-24
5.8	Συμπεράσματα	5-26
6	Επιφανειακή Υδρολογία	
6.1	Γενική Ταξινόμηση Μοντέλων.....	6-1
6.2	Αναλυτική Παρουσίαση Μοντέλου	6-3
6.2.1	Υδρολογικό Ισοζύγιο.....	6-3
6.2.2	Όγκος Νερού από Βροχόπτωση.....	6-3
6.2.3	Εξατμισοδιαπνοή	6-4
6.2.3.1	Δυνητική Εξατμισοδιαπνοή.....	6-5
6.2.3.2	Πραγματική Εξατμισοδιαπνοή.....	6-7
6.2.3.2.1	Ισοζύγιο κατά Thornwaite – Mather.....	6-7
6.2.3.3	Σχέση Ύψομέτρου – Πραγματικής Εξατμισοδιαπνοής.....	6-10
6.2.4	Υπολογισμός του Όγκου του Νερού Κατείσδυσης.....	6-13
6.2.5	Επιφανειακή Απορροή.....	6-16
6.2.6	Προσεγγιστικό Υδατικό Ισοζύγιο της Περιοχής.....	6-18
7	Υδρογεωλογία	
7.1	Υδρολιθολογική Ταξινόμηση των Γεωλογικών Σχηματισμών.....	7-1
7.1.1	Κατηγορία 1: Πορώδη (μη Συνεκτικά) Πετρώματα.....	7-2
7.1.1.1	Υποκατηγορία 1 ^α : Εκτεταμένοι και με Υψηλή Απόδοση Υδροφόροι	7-2
7.1.2	Κατηγορία 2: Συνεκτικά Πετρώματα με Δευτερογενή Υδροπερατότητα	7-3
7.1.2.1	Υποκατηγορία 2 ^α : Εκτεταμένοι και με Υψηλή Απόδοση Υδροφόροι	7-3
7.1.3	Κατηγορία 3: Συνεκτικά και Πορώδη Πετρώματα με Περιορισμένη ή μη Συγκέντρωση Υπόγειων Υδάτων – Άνευ Πρακτικής Σημασίας.....	7-3
7.1.3.1	Υποκατηγορία 3 ^β : Υδροφόροι Χωρίς Πρακτική Σημασία ή μη Υδροφόροι Σχηματισμοί	7-3
7.2	Υδροφόρα Στρώματα.....	7-4
7.2.1	Καρστικά Υδροφόρα.....	7-4

7.2.2	Πλειοκαινικά Υδροφόρα	7-5
7.2.3	Τεταρτογενή Υδροφόρα.....	7-5
7.3	Πιεζομετρία του Προσχωματικού Υδροφόρου.....	7-6
7.4	Υπόγεια Αποθέματα	7-8
8	Ποιότητα Υδατικών Πόρων	
8.1	Δίκτυο Παρακολούθησης Ποιοτικών Παραμέτρων	8-1
8.2	Μεθοδολογία.....	8-1
8.2.1	Εργασία Υπαίθρου	8-1
8.2.2	Εργαστηριακές Αναλύσεις	8-3
8.3	Υδροχημική Σύσταση των Δειγμάτων	8-3
8.3.1	Επιφανειακά Ύδατα.....	8-3
8.3.1.1	Χείμαρρος Σέλεμνος.....	8-3
8.3.1.1.1	Χωρική Κατανομή.....	8-4
8.3.1.1.2	Χρονική Κατανομή	8-6
8.3.1.2	Χείμαρρος Ξυλοκέρας	8-7
8.3.1.2.1	Χωρική Κατανομή.....	8-8
8.3.1.2.2	Χρονική Κατανομή	8-9
8.3.1.3	Χείμαρρος Βολιναίος.....	8-10
8.3.1.3.1	Χωρική Κατανομή.....	8-11
8.3.1.3.2	Χρονική Κατανομή	8-13
8.3.1.4	Περιβαλλοντική Επιβάρυνση στην Ποιότητα των Επιφανειακών Υδάτων.....	8-14
8.3.2	Υπόγεια Ύδατα.....	8-15
8.3.2.1	Υδροχημικά Χαρακτηριστικά	8-15
8.3.2.2	Παραγοντική Ανάλυση R-Τύπου	8-18
8.3.2.3	Χωρο-Χρονική Κατανομή	8-22
9	Διάβρωση Εδαφών και Στερεοπαροχή	
9.1	Παγκόσμια Εξίσωση Εδαφικής Απώλειας (ΠΕΕΑ).....	9-2
9.1.1	Υπολογισμός των Συντελεστών στην ΠΕΕΑ.....	9-7
9.1.1.1	Δείκτης Διαβρωτικότητας της Βροχόπτωσης (R)	9-7
9.1.1.2	Συντελεστής Εδαφικής Διαβρωσιμότητας (K)	9-8
9.1.1.3	Τοπογραφικός Συντελεστής (LS).....	9-9

9.1.1.4	Συντελεστής Φυτοκάλυψης (C).....	9-10
9.1.1.5	Συντελεστής Ελέγχου της Διάβρωσης (P)	9-12
9.1.2	Αποτελέσματα – Συμπεράσματα	9-12
9.2	Στερεοπαροχή από τη Διάβρωση της Λειάνης Απορροής.....	9-13
9.3	Στερεοπαροχή από τη Διάβρωση της Κοίτης	9-16
9.3.1	Ιδιότητες Ιζημάτων.....	9-16
9.3.1.1	Πυκνότητα	9-16
9.3.1.2	Ταχύτητα Καθίζησης (Settling Velocity).....	9-16
9.3.2	Κρίσιμη Τιμή Ιζήματος (Threshold of Sediment)	9-17
9.3.3	Ιδιότητες του Πυθμένα της Κοίτης.....	9-20
9.3.3.1	Μορφές Πυθμένα.....	9-20
9.3.3.2	Τραχύτητα Πυθμένα (Bed Roughness).....	9-21
9.3.3.3	Ενεργός Διατμητική Τάση (Effective Shear Stress).....	9-21
9.3.4	Τρόποι Μεταφοράς Ιζήματος.....	9-22
9.3.4.1	Φορτίο Σύρσης.....	9-23
9.3.4.2	Φορτίο σε Αιώρηση	9-24
9.3.4.2.1	Συγκέντρωση Ιζήματος σε Σταθερό Ρεύμα	9-24
9.3.4.2.2	Ύψος Αναφοράς και Συγκέντρωση Αναφοράς Ιζήματος	9-25
9.3.4.2.3	Μεταφορά Αιωρούμενου Ιζήματος	9-26
9.3.4.3	Ολικό Μεταφερόμενο Ίζημα	9-27
9.3.5	Αποτελέσματα – Στερεοπαροχή.....	9-28
9.3.5.1	Χείμαρρος Σέλεμνος.....	9-29
9.3.5.2	Χείμαρρος Ξυλοκέρας.....	9-31
9.3.5.3	Χείμαρρος Βολινάιος	9-33
9.3.6	Συμπεράσματα	9-35
10	Πλημμυρικές Απορροές	
10.1	Ανάλυση Υδρολογικής Πληροφορίας.....	10-2
10.1.1	Χρονοσειρές Υδρολογικών Φαινομένων.....	10-2
10.1.2	Περίοδος Επαναφοράς	10-2
10.1.3	Ανάλυση Συχνότητας με τη Χρήση Συναρτήσεων Κατανομής Πιθανότητας – Εκτίμηση Παραμέτρων.....	10-4

10.1.3.1	Μέθοδος Ροπών	10-5
10.1.3.2	Μέθοδος του Παράγοντα Συχνότητας.....	10-5
10.1.3.3	Κατανομή Ακραιών Τιμών Τύπου I (Gumbel).....	10-6
10.1.3.4	Κατανομή Pearson III.....	10-7
10.1.3.5	Κατανομή Λογαριθμική Pearson III (Log Pearson III)	10-7
10.2	Ανάλυση Συχνότητας Βροχομετρικών Δεδομένων του Σταθμού της Πάτρας	10-8
10.3	Οι Πλημμύρες στον Παρόντα Χρόνο	10-10
10.3.1	Υδρολογική Προσομοίωση των Λεκανών Απορροής.....	10-10
10.3.1.1	Κατασκευή Υδρογραφημάτων	10-11
10.3.1.2	Κατασκευή Στιγμαίων Μοναδιαίων Υδρογραφημάτων	10-12
10.3.1.3	Διεύθυνση Ροής	10-12
10.3.1.4	Μήκος Απορροής – Μήκος Διαδρομών Ροής	10-12
10.3.1.5	Χρόνος Διαδρομών Ροής	10-14
10.3.2	Ρυθμός Μεταβολής της Δυναμικής Ενέργειας του Νερού των Χειμάρρων σε Κινητική (Stream Power).....	10-16
10.3.3	Πολυπαράγοντική Μορφομετρική Ανάλυση Αναγλύφου	10-23
10.3.4	Φερτά Υλικά σε Καταστάσεις Πλημμύρας.....	10-25
10.4	Προσδιορισμός των Ευαίσθητων Περιοχών.....	10-26
11	Διαχρονική Εκτίμηση των Μεταβολών της Ακτογραμμής	
11.1	Η Διάβρωση των Ακτών στην Ελλάδα	11-4
11.2	Διάβρωση – Προέλαση των Ακτών στη ΒΔ/κή Πελοπόννησο.....	11-5
11.3	Μεθοδολογία.....	11-5
11.3.1	Σάρωση των Σχεδίων	11-6
11.3.2	Γεωαναφορά	11-6
11.3.3	Ψηφιοποίηση.....	11-6
11.4	Διαχρονικές Μεταβολές της Ακτογραμμής	11-7
11.4.1	Παρατηρήσεις Πεδίου.....	11-7
11.4.2	Μεταβολές της Ακτογραμμής με Βάση τη Σύγκριση Αεροφωτογραφιών Διαφορετικών Λήψεων	11-16
11.5	Συμπεράσματα.....	11-21
12	Προτάσεις Διαχείρισης	

12.1	Σημερινή Κατάσταση.....	12-1
12.2	Αντιδιαβρωτικά – Αντιπλημμυρικά Έργα.....	12-3
12.3	Προστασία των Υδατικών Πόρων	12-7
12.4	Εξοικονόμηση Υδατικών Πόρων.....	12-9

Ανακεφαλαίωση

Βιβλιογραφία

ABSTRACT

Thesis title: '*Geology and management of recent deposits and water resources in torrents of NW Peloponnese, Greece*'

The aim of this thesis is to analyze the geological, hydrological and hydrogeological conditions of the study area and develop a complete water resources plan which will help in the protection and restoration of water quality.

The study area consists of three drainage basins, these of Selemnos, Xylokeras and Volinaios. It covers 68.6 km² and is located in NW Peloponnese, in the northern part of the prefecture of Achaia. It is bounded in the north by the Gulf of Patras and in the south by Panachaiko Mountain.

From a geological perspective, the Olonos – Pindos geotectonic zone comprises the alpine substratum of the area, while Post Alpine sediments (Pliocene – Quaternary age) cover the lowlands. The land cover is constituted by forests (46.11%) and farmland (46.29%), while pasturelands are present (5.67%). Main activities, except farming and pasturing, are small industries (1.51%) next to urban or semi-urban areas.

The mean elevation of the study area is 480.74 m and the mean gradient 42.04%, which indicates a high relief. This is due to tectonic activity during the Post – Alpine period that results a high uplifting rate of the area, which in the Rio basin is measured 4.5 mm/year.

The mean gradient of the basins varies between 36.34% and 44.46%, the mean elevation between 441.89 m and 611.99 m and the relief ratio between 0.143 and 0.165.

The drainage network is well developed with a dendritic pattern and is mostly controlled by the tectonic activity with WSW-ENE direction. According to the Strahler classification, the maximum stream order is 5th while drainage density varies between 2.425 and 3.223 and stream frequency between 5.175 and 8.742.

Analysis of textural characteristics for river-bed sediments in the three torrents showed that lithology and mean size are mainly related to the inflow of new material (at the upper sampling stations) and anthropogenic interventions (at the 2-3 lower sampling stations). Pebbles were divided qualitatively into three major categories; limestone, chert and sandstone, with limestone and chert rates showing reverse distribution.

Roundness is mainly related to the inflow of new material (for Selemnos and Volinaios), while for Xylokeras to anthropogenic interventions as well.

The particle shape is often disc-shaped and spherical and less blade and rod-like. Sphericity is related to lateral sediment sources and to anthropogenic interventions (for Selemnos) and to selective transport as well (for Volinaios). For Xylokeras, sphericity is mainly related to the inflow of new material.

Subsurface sediments show very low sorting and positive asymmetry, as a result of fine-grained sediment trapped into coarse-grained, while flow velocity remains steady.

From a meteorological perspective, June, July and August are mostly dry, while November and December are mostly wet, with precipitation increasing 85 mm every 100 m of altitude.

Maximum temperature is occur during July and August and decreases at a rate of 0.75°C every 100 m of altitude. Minimum values are during January and February.

Moisture varies according to rainfall rates and temperature according to sunlight. Moisture and temperature are showing reverse distributions. The climate is mild with dry summer.

The mean annual precipitation (period 1975-2004) for the studied area reaches 1168.84 mm that corresponds to $71.649 \times 10^6 \text{ m}^3$. A small amount of the water infiltrates (19.07%), while a significant volume of $31.013 \times 10^6 \text{ m}^3$ (43.25%) runs off and ends up to the sea. Another $27.149 \times 10^6 \text{ m}^3$ (37.68%) are lost through evaporation and transpiration processes.

The main direction of underwater flow in the alluvial aquifer is N to NW, while the mean variance of water level is 2.05 m. The hydraulic gradient varies between 2.5‰ (for Selemnos and Xylokeras basins) and 5-8‰ (for the Volinaios basin).

Chemical analysis of surface water (torrent flow) and groundwater (alluvial aquifer) took place during 2005-2008.

Main contamination sources for surface water are agricultural activities, because of the use of fertilizers and intensive farming that affect nitrogen and phosphorus balance. However, these concentrations are not prohibitive for irrigation or water supply, given that there is appropriate chemical treatment and purification.

Groundwater can be classified to the CaHCO_3 chemical type that includes generally freshwater with good recharge and renewal conditions. Low concentrations of Cl^- , Na^+ and electric conductivity

between 433 and 771.5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ define water with good drinking quality. According to the SAR-EC diagram, groundwater is classified to S1-C2 and S1-C3 types, which indicate good irrigation quality.

Prediction of erosion and flood hazard is necessary for the right planning and development for the sufficient control of hazards due to natural phenomena (rainfalls and storms).

Soil erosion was estimated using the Universal Soil Loss Equation. This model calculates the mean annual soil erosion from cultivated (or non-) land using geological, geomorphological and meteorological data. The results show that regions of high risk for soil erosion are mainly located to Argyra, Sella and Pititsa as well as to the southern part of the area. Sediment transport is high as well due to increased runoff values.

Sediment derivation due to bed surface corrosion was calculated using grain size analysis of bed-surface sediments. Sediment derivation is mainly connected to the coastal processes (deposition, erosion).

Three models were used to determine regions with high risk of flood hazard; Hydrological Simulation of drainage basins, Stream Power and Relief Factor Analysis. For these models, real meteorological and runoff data were used. These models show a convergence of results which means that the areas of Ano Kastritsi, Argyra and Sella are regions with high risk of flood hazard.

An investigation of recent shoreline shifting was also conducted (from Haradros river mouth to Psathopyrgos). The investigation showed that the shoreline is mainly eroded due to human activities such as harbor and road construction, river bed flattening and bed load extraction, causing the disturbance of natural coastal process.

Streams can be polluted by a variety of substances from adjacent lands such as soil particles (sediment) and nutrients (nitrogen and phosphorus) through runoff. Vegetation within a riparian zone can slow the overland movement of water and cause sediment and attached nutrients to be deposited on the land before they can reach the stream channel. In addition, contouring and terrace cultivation will minimize soil erosion and sediment transport.

Bed load extraction is prohibitive for Selemnos and Xylokeras due to high risk of flood to the coastal urban zone. For Volinaios a selective bed load extraction could prevent a future coastal slide at the river mouth.

Coastal erosion can be reduced with the restoration of natural coastal process. This can be achieved with the restriction of human activities across the shoreline such as road, harbor and wall construction as well with sand-supply of the eroded coast.

A significance percent (43.25%) of the annual volume of water runs off and ends up to sea. Construction of small dams will result in the reduction of torrential flow and increase water infiltration. Also, suspended and bed-load sediment can be easily collected and used for construction material. In addition, a big dam in Volinaios drainage basin can save up to 41.16% of the annual water of the basin. The water can be used for irrigation and water supply, after appropriate treatment and purification.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η περιοχή έρευνας εκτείνεται στη ΒΔ Πελοπόννησο, στο βόρειο τμήμα του Νομού Αχαΐας, καταλαμβάνει έκταση 68.6 km² και περιλαμβάνει τις λεκάνες απορροής των χειμάρρων (από δυτικά προς τα ανατολικά) Σέλεμνου, Ξυλοκέρα και Βολιναίου (Εικόνα 1). Από βορρά ορίζεται από τον Πατραϊκό Κόλπο (ο χειμάρρος Βολιναίος εκβάλει στα όρια του Πατραϊκού με τον Κορινθιακό Κόλπο) και από νότο από το Παναχαϊκόν Όρος, από όπου πηγάζουν τα νερά των χειμάρρων.

Τα γεωγραφικά όρια της περιοχής μπορούν να καθοριστούν σε γεωγραφικό μήκος μεταξύ των μεσημβρινών 21° 46' και 21° 55' ανατολικά του Greenwich και σε γεωγραφικό πλάτος μεταξύ των παραλλήλων 38° 14' και 38° 21' βόρειου πλάτους. Με βάση το Ελληνικό Γαιωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς (ΕΓΣΑ '87), τα γεωγραφικά όρια της περιοχής δίνονται από τις συντεταγμένες x=306400 έως 317700 και y=4234000 έως 4245600.

Όσον αφορά στα δημογραφικά στοιχεία της περιοχής, ο συνολικός πληθυσμός ανέρχεται σε 13,291 κατοίκους (Απογραφή Εθνικής Στατιστικής Υπηρεσίας έτους 2001), ενώ στα όρια της περιοχής έρευνας περιλαμβάνεται το σύνολο των δημοτικών διαμερισμάτων του δήμου Ρίου.

Εικόνα 1: Περιοχή έρευνας

Η ανάγκη για όλο και μεγαλύτερη αξιοποίηση υδατικών πόρων προκύπτει από την αύξηση του πληθυσμού και τις διαρκώς αυξανόμενες ανάγκες σε νερό και τροφή αλλά και από την ανάπτυξη που δημιουργεί δραστηριότητες που απαιτούν μεγαλύτερες ποσότητες νερού.

Σκοπός της παρούσας διατριβής είναι η μελέτη της γεωλογίας της περιοχής και κυρίως η ιζηματολογική ανάλυση των αποθέσεων των τριών χειμάρρων με σκοπό την ερμηνεία της λειτουργίας και της δυναμικότητας αυτών.

Ακόμα, γίνεται εκτεταμένη ανάλυση των μετεωρολογικών συνθηκών που επικρατούν στην περιοχή καθώς και των υδρολογικών και υδρογεωλογικών συνθηκών με στόχο τον προσδιορισμό του υδατικού ισοζυγίου και της αποθηκευτικής ικανότητας των γεωλογικών σχηματισμών. Με τη χρήση χημικών μεθόδων γίνεται ποιοτικός χαρακτηρισμός των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων καθώς και ο εντοπισμός πηγών ρύπανσής τους.

Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προκαλούνται από την έλλειψη μέτρων ορθολογικής διαχείρισης και προστασίας των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων καθώς και στον προσδιορισμό όλων αυτών των καταστροφικών φαινομένων (διάβρωση εδαφών, πλημμύρες) που προκαλούνται από τη δράση του νερού στην επιφάνεια της γης. Έτσι, με τη χρήση εμπειρικών μεθόδων προσδιορίζονται οι περιοχές που παρουσιάζουν υψηλές τιμές εδαφικής απώλειας καθώς και στερεοπαροχής, ενώ παράλληλα γίνεται ανάλυση της υδρολογικής πληροφορίας προκειμένου να εντοπιστούν οι περιοχές που εμφανίζουν υψηλή πλημμυρική επικινδυνότητα.

Ακόμα, γίνεται χρήση γεωδαιτικών μεθόδων για τη μελέτη των διαχρονικών μεταβολών της ακτογραμμής με στόχο τον εντοπισμό περιοχών προέλασης και υποχώρησης της ακτής, αλλά και τη σύνθεσή τους με τη δράση των φυσικών διεργασιών αλλά και των άμεσων και έμμεσων ανθρωπογενών παρεμβάσεων.

Τέλος, με την υλοποίηση των παραπάνω στόχων και την ανάλυση των δεδομένων που προκύπτουν, αναδεικνύονται τα σημαντικότερα προβλήματα της περιοχής και δίνονται προτάσεις προστασίας και ορθότερης διαχείρισης των σύγχρονων αποθέσεων και των υδατικών πόρων.

1 ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

Η σύγχρονη γεωμορφολογική εικόνα μιας περιοχής είναι το σύνθετο αποτέλεσμα της γεωλογικής δομής (τεκτονική – στρωματογραφική διάρθρωση) και των εξωγενών διεργασιών που έδρασαν επί αυτής (κλιματολογικές συνθήκες, κ.ά.).

Οι Ελληνικές οροσειρές, με γενική διεύθυνση ανάπτυξης ΒΒΔ – ΝΝΑ, αποτελούν προέκταση του Διναρικού κλάδου του Αλπικού ορογενετικού συστήματος. Η διάκριση του Ελληνικού γεωσυγκλίνου, που αποτελούσε μικρό μέρος του μεγάλου αλπικού γεωσυγκλίνου, σε γεωτεκτονικές ζώνες έγινε για πρώτη φορά από τον Aubouin (1959) (Εικόνα 1.1) και στηρίχθηκε αρχικά στην παλαιογεωγραφική ανάπτυξη υποθαλάσσιων δυαδικών συστημάτων ράχων – αυλάκων, με διεύθυνση δομής εκείνη του Ελληνικού ορογενετικού τόξου.

Εικόνα 1.1: Γεωτεκτονικό σχήμα των Ελληνίδων ζωνών Rh: Μάζα της Ροδόπης, Sm: Σερβομακεδονική μάζα, CR: Περιοδοπική ζώνη, (Pe: Ζώνη Παιανίας, Pa: Ζώνη Πάικου, Al: Ζώνη Αλμωπίας) = Ζώνη Αζιού, PI: Πελαγονική ζώνη, Ac: Αττικό-Κυλαδική ζώνη, Sp: Υποπελαγονική ζώνη, Pk: Ζώνη Παρνασσού - Γκιώνας, P: Ζώνη Πίνδου, G: Ζώνη Γαβρόβου - Τρίπολης, I: Ιόνιος ζώνη, Px: Ζώνη Παξών ή Προαπούλια, Au: Ενότητα «Ταλέα όρη – πλατώδεις ασβεστόλιθοι» πιθανόν της Ιονίου ζώνης (Mountrakis et al., 1983)

Ο Brunn (1956) διέκρινε τις γεωτεκτονικές ζώνες σε δύο κατηγορίες: α) τις εξωτερικές και β) τις εσωτερικές. Ο διαχωρισμός τους στηρίχτηκε στο γεγονός ότι, στις πρώτες εκδηλώθηκε μία μόνο κύρια ορογένεση (Αλπική), ενώ στις δεύτερες (δεν έχουν συνεχή ιζηματογένεση) εκδηλώθηκαν και παλαιότερες ορογένεσεις (Ερυνία).

Εικόνα 1.2: Γεωλογικός χάρτης της περιοχής (Lofthus & Τσόφλιας, 1971; Τσόφλιας, 1984; Doutsos et al., 1988)

Για την κατανόηση της γεωλογικής δομής της περιοχής (Εικόνα 1.2), έχουν διακριθεί δύο ενότητες:

α) η ενότητα των σχηματισμών του υποβάθρου και β) η ενότητα των σχηματισμών του επικαλύμματος.

Οι σχηματισμοί του υποβάθρου είναι παλαιότεροι, αλπικής γένεσης (ζώνη Ωλονού – Πίνδου), ενώ οι σχηματισμοί του επικαλύμματος είναι νεότεροι (πλειο-τεταρτογενείς αποθέσεις) και για τη δημιουργία τους υπεύθυνη είναι η τεκτονική που έδρασε στην περιοχή (Εικόνα 1.3). Η νεοτεκτονική αυτή είναι επίσης υπεύθυνη και για τη δημιουργία της Κορινθιακής – Πατραϊκής τάφρου (Zelilidis, 2003).

Εικόνα 1.3: (α) Σχηματική γεωλογική τομή στην οποία δίνεται η διάρθρωση των κυρίων τεκτονικο-στρωματογραφικών ενότητων της Πελοποννήσου (από Jacobshagen et al., 1978b), (β) Απλοποιημένος τεκτονικός – γεωλογικός χάρτης της Πελοποννήσου, (γ) Λιθοστρωματογραφικές τομές για τις ενότητες των Πλακωδών Ασβεστόλιθων, της Ιονίου Ζώνης, Ζώνης Τρίπολης και ζώνης Πίνδου (Σχήμα από Doustos et al., 2000)

1.1 Αλπικό Υπόβαθρο (ζώνη Ωλονού – Πίνδου)

Η ζώνη αυτή καθορίστηκε από τον Philippon (1898) στον Ελλαδικό χώρο και ονομάστηκε απ' αυτόν ζώνη Πίνδου – Ωλονού (Pindos – Olonos – Zone). Ο Renz (1940) διατήρησε ουσιαστικά την ονομασία της εν λόγω ζώνης (Olonos – Pindos – Zone). Στη συνέχεια, ο Aubouin (1957) τη χαρακτήρισε ως ζώνη της Πίνδου (Zone du Pinde). Ο τελευταίος διακρίνει στο χώρο της ζώνης μια αξονική περιοχή

(Pinde Axial), μια εξωτερική περιοχή (Pinde externe, στη δυτική Πίνδο) και μια εσωτερική (Pinde interne, στην ανατολική Πίνδο) και επιπλέον, την Υπερπινδική Υποζώνη (Sous – Zone Ultrapindique) που αντιπροσωπεύει τη μετάβαση του εσωτερικού τμήματος της ζώνης προς την Υποπελαγονική ζώνη.

Ο αρχικός καθορισμός της Υπερπινδικής υποζώνης σαν παλαιογεωγραφικός χώρος μεταξύ της αύλακας της Πίνδου και της Υποπελαγονικής κατωφέρειας, αποκτά ιδιαίτερη σημασία με τις νεότερες αντιλήψεις για τη γεωτεκτονική εξέλιξη των Ελληνίδων σύμφωνα με τις οποίες οι ζώνες Πίνδου και Υποπελαγονική αντιπροσωπεύουν ένα κοινό παλιό ωκεάνιο χώρο που βρίσκονταν Δυτικά της Πελαγονικής και σχετιζόνταν με τη Νέο – Τηθύ. Η παρουσία των οφιολίθων στην ενότητα του Κόζιακα της Υπερπινδικής υποζώνης, καθώς βέβαια και το χαρακτηριστικό κοινό γνώρισμα των δύο ζωνών Πίνδου και Υποπελαγονικής που είναι η μεγάλη παρουσία της σχιστοκερατολιθικής διάπλασης, στηρίζουν την άποψη αυτή.

Σχήμα 1.1: Συνθετική τομή εγκάρσια στις Εξωτερικές Ελληνίδες στη βόρεια Πελοπόννησο. Σ' αυτή φαίνεται η σχέση μεταξύ της διαδικασίας του back-thrusting/folding, της τεκτονικής διαφυγής στη Φυλλιτική – Χαλαζιτική Σειρά και της παραμόρφωσης στο τεκτονικό κάλυμμα της Πίνδου. PQS: Φυλλιτική – Χαλαζιτική Σειρά (Ξυπολιάς, 2000)

Τα ιζήματα της ζώνης Ωλονού – Πίνδου, που είναι αλλόχθονη, εκτείνονται από τα αλβανικά σύνορα μέχρι τον Κορινθιακό Κόλπο μέσω των Όρεων Λάκμου, Αθαμανικών, Πίνδου, Αγράφων και Αιτωλικών. Συνεχίζονται στην Πελοπόννησο (Παναχαϊκό, Ωλονός, Αρκαδία, Τριφυλία, Μεσσηνία) καθώς και στην Κρήτη και Δωδεκάνησα (Κάρπαθος, Σύμη, Ρόδος).

Ο χώρος στον οποίο εξαπλώνονται τα ιζήματα της ζώνης της Πίνδου αποτελούσε κατά τον Μεσοζωικό ένα ευγεωσύγκλινο, είχε δηλαδή αρχικό μαγματισμό και ήταν η βαθύτερη από τις επάλληλες υποθαλάσσιες αύλακες, με ενδιάμεσα υποθαλάσσια υβώματα (της Πελαγονικής προς τα ανατολικά και της Γαβρόβου προς τα δυτικά), στις οποίες μεριζόταν το Ελληνικό τμήμα του Αλπικού γεωσύγκλινου. Συνήθως αναφέρεται σαν το 'Ελληνικό ευγεωσύγκλινο' κατά τη διάρκεια του Μεσοζωικού.

1.1.1 Στρωματογραφική Εξέλιξη

Δεν έχει βρεθεί προαλπικό υπόβαθρο της ζώνης Ωλονού – Πίνδου. Γενικά, τα πρώτα αλπικά ιζήματα σε όλη την έκταση της ζώνης είναι δολομίτες και ασβεστόλιθοι Μέσου Τριαδικού. Σε ορισμένες, εντούτοις,

περιοχές έχουν παρατηρηθεί κάτω από τους δολομίτες και τους ασβεστόλιθους μερικές κλαστικές ιζηματογενείς σειρές που αποτελούνται κυρίως από ψαμμίτες με ασβεστολιθικές παρεμβολές, ηλικίας Μέσο-Τριαδικής.

Όσον αφορά την καθαυτό ζώνη Ωλονού – Πίνδου (Χριστοδούλου, 1982), αυτή χαρακτηρίζεται, γενικά, από πελαγικά ιζήματα (Τριαδικό – Ηώκαινο), ενώ στις παρυφές της αντίστοιχης Αύλακας υπάρχουν παρενστρώσεις μικρολατυποπαγών ασβεστόλιθων ή αλλιώς μικρολατυποπαγών των παρυφών (*microbreches de flancs*). Το συνολικό πάχος των μεσοζωικών στρωμάτων υπερβαίνει τα 1000 m. Σύμφωνα με νεότερες έρευνες, κάτω από του ασβεστόλιθους του Αν. Κάρνιου – Νόριου, με *Monotis* (*Halobia*) *superba* Mojs και *Monotis* (*Daconella*) *Styriaca* Mojs, υπάρχουν τριαδικές φλυσχοειδείς κλαστικές αποθέσεις (*formation détritique*).

Σχήμα 1.2: Σχηματική λιθοστρωματογραφική στήλη, αντιπροσωπευτική της ζώνης Ωλονού – Πίνδου: 1) δολομίτες, 2) πλακώδεις ασβεστόλιθοι, 3) αργιλοψαμμίτες, 4) ηφαιστειοϊζηματογενή υλικά, 5) κερατόλιθοι, 6) ασβεστόλιθοι με πυριτικές ενστρώσεις, 7) λατυποπαγή, 8) άνω-κρητιδικοί ασβεστόλιθοι, 9) σχηματισμός φλύσχη (Μουντράκης, 1985)

Οι άνω-τριαδικοί (άνω-καρνικοί – νόριοι) πυριτιούχοι ασβεστόλιθοι, παρουσιάζουν ένα πάχος 150 m περίπου και σταθερή φάση. Συχνά έχουν μαργαϊκές ή δολομιτικές παρενστρώσεις, οι τελευταίες στη δυτική περιοχή εξάπλωσης της ζώνης. Ενίοτε, οι ασβεστόλιθοι αυτοί εμφανίζονται με τη φάση του 'Ammonitico Rosso' (ερυθροί κονδυλώδεις ασβεστόλιθοι με αμμωνίτες).

Πάνω στους ανωτέρω ασβεστόλιθους αναπτύσσονται ραδιολαρίτες κόκκινοι ή πράσινοι, συχνά διαποτισμένοι με μαγγανιούχες ενώσεις, που καλύπτουν το στρωματογραφικό εύρος Ιουρασικό – Κατώτερο Κρητιδικό (βάση του Κατώτερου Κρητιδικού). Το πάχος τους κυμαίνεται ανάμεσα στα 250 και 350 m. Στην κεντρική περιοχή της ζώνης οι ραδιολαρίτες εναλλάσσονται (στη βάση και στην κορυφή τους) με πελαγικούς ασβεστόλιθους με ακτινόζωα. Προς τα ανατολικά και προς τα δυτικά, δηλαδή προς

τις παρυφές της αύλακας (μάζα του Κόζιακα και δυτικό μέτωπο του πινδικού καλύμματος, αντιστοίχως), παρουσιάζονται οφιόλιθοι στη βάση των ραδιολαριτών. Επίσης, προς τα ανατολικά και δυτικά οι ραδιολαρίτες εναλλάσσονται με λατυποπαγείς ασβεστόλιθους που εγκλείουν τα τρηματοφόρα *Trocholima alpina* Leupold και *T. cf. elongata* Leupold.

Πάνω στους ραδιολαρίτες αναπτύσσονται μαργαϊκές – ψαμμιτικές αποθέσεις με κατακόρυφη διαβάθμιση των κόκκων τους και με πλευρικές μεταβάσεις προς ερυθρές μάργες με ακτινόζωα. Οι αποθέσεις αυτές συνθέτουν τον λεγόμενο ‘πρώτο φλύσχη’ της Πίνδου (Aubouin). Το μέσο πάχος των αποθέσεων είναι 50 m και αρχικά πιστευόταν ότι καλύπτει το στρωματογραφικό εύρος Βαρρέμιο – Άπτιο. Νεότερες, όμως, έρευνες έδειξαν ότι τόσο το πάχος όσο και η λιθολογία και η ηλικία τους ποικίλει στις διάφορες περιοχές εξάπλωσης των ιζημάτων της ζώνης Ωλονού – Πίνδου.

Σύμφωνα με τον Καρακίτσιο (2001), στην αύλακα της Πίνδου, επί των ασβεστόλιθων και ιάσπιδων του Ανώτερου Τριαδικού, ακολουθεί ασβεστομαργαϊκή πελαγική ιζηματογένεση, με παρεμβολές ραδιολαριτών και ορισμένες φορές (στα εσωτερικά της τμήματα), οφιολιθικές τοποθετήσεις, στο τέλος του Ιουρασιού. Οι διάφοροι ραδιολαριτικοί ορίζοντες περιλαμβάνουν ακτινόζωα, διαφόρων βαθμίδων του Ιουρασιού, οι δε ασβεστόλιθοι του Ανώτερου Ιουρασιού περιλαμβάνουν *Calpionellidae*. Το Κατώτερο Κρητιδικό χαρακτηρίζεται από πελαγικές αποθέσεις ασβεστόλιθων με παρεμβολές πυριτόλιθων. Πάνω από τους ασβεστόλιθους με *Calpionellidae* απαντούν μάργες και ψαμμίτες (που ονομάζονταν παλαιότερα ‘πρώτος φλύσχος’), των οποίων η παρουσία συνδέεται με την πρώιμη ορογενετική φάση των εσωτερικών Ελληνίδων. Το Ανώτερο Κρητιδικό χαρακτηρίζεται από πλακώδεις ασβεστόλιθους με *Globotruncanidae*, ενώ το τέλος του Κρητιδικού, από μεταβατικά προς τον φλύσχη, ασβεστομαργαϊκά στρώματα, επίσης με *Globotruncanidae*.

Πάνω στα στρώματα του πρώτου φλύσχη αναπτύσσονται οι ασβεστόλιθοι του Ανώτερου Κρητιδικού (πάχος 500 m περίπου) οι οποίοι είναι πελαγικοί λεπτοπλακώδεις με πυριτόλιθους. Στις περιοχές όπου αντιπροσωπεύουν τις παρυφές της αύλακας υπάρχουν μέσα στους ανωτέρω παρενστρώσεις λατυποπαγών ασβεστόλιθων με ρουδιστές. Το Μαιστρίχτιο αντιπροσωπεύεται, ιδιαίτερα στην Πελοπόννησο, στην ανατολική παρυφή της αύλακας από μαζώδεις ασβεστόλιθους σε πάγκους (πάχος 400-500 m) που εναλλάσσονται με πελαγικούς και μικρολατυποπαγείς ασβεστόλιθους.

Στην κορυφή των παραπάνω λεπτοπλακωδών με πυριτόλιθους ασβεστόλιθων, πραγματώνεται η μετάβασή τους στον ‘δεύτερο φλύσχη’ της ζώνης της Πίνδου, μέσω των λεγόμενων στρωμάτων μετάβασης στο δεύτερο φλύσχη (*couches de passage au deuxième flysch du Pinde*) που το πάχος τους εκτιμάται σε 50 m. Η μετάβαση αυτή έλαβε χώρα στο Μαιστρίχτιο (πανίδα με *Globigerina* και *Globorotalia*).

Ο κύριος δεύτερος φλύσχος της Πίνδου που είναι περισσότερο κροκαλοπαγής (δηλαδή επικρατεί η φάση με κροκαλοπαγή) προς τα ανατολικά της αύλακας και ψαμμιτικός και ψαμμιτο-μαργαϊκός προς τα

δυτικά, παρουσιάζει πάχος 1000-1500 m. Σ' αυτόν εγκλείονται τρηματοφόρα όπως *Nummulites laevigatus* Brug., *Orbitolites complanatus* του Λουτήσιου, καθώς και *Discocyclina discus* Kauf., *D. scalaris* Schlumb., *D. sella* Arch., *Asterodiscus* sp., *Actinocyclina radians* Arch., *Champanina* sp., κ.ά. του Αν. Λουτήσιου – Πριαμπόνιου.

Μετά την ολοκλήρωση της απόθεσης του δεύτερου φλύσχη, η έκταση της αύλακας της Πίνδου αναδύθηκε από την επενέργεια της Πυρηναιικής φάσης των αλπικών πτυχώσεων. Απόηχος της πτύχωσης αυτής στον γειτονικό παλαιογεωγραφικό χώρο της ζώνης Γαβρόβου – Τριπόλεως, ήταν η βραχεία διάρκεια ανάδυσης της τελευταίας που σημαδεύεται από την χωρίς οικονομική σημασία ενδοηκκαινική βωξιτογένεση.

Από τη μελέτη των σχηματισμών του φλύσχη (Ανανιάδης, 2003) της ζώνης Πίνδου, προέκυψαν οι εξής τύποι απόθεσης (Σχήμα 1.3):

- Τύπος 1: αποθέσεις κατωφέρειας. Περιλαμβάνει τις ιλυώδεις αποθέσεις οι οποίες διακόπτονται από τα υποθαλάσσια φαράγγια που μεταφέρουν υλικό προς τη βάση της κατωφέρειας.
- Τύπος 2: αποθέσεις υποθαλάσσιων φαραγγίων. Στον τύπο αυτό ανήκουν μεγάλου πάχους κροκαλοπαγή με την παρουσία και ψαμμιτικών κροκαλών.
- Τύπος 3: αποθέσεις καναλιών εσωτερικού ριπιδίου. Περιλαμβάνει μεγάλου πάχους ψαμμιτικά κανάλια με διαβρωσιγενείς βάσεις καθώς και κάποια μικρού πάχους κροκαλοπαγή.
- Τύπος 4: αποθέσεις καναλιών μεσαίου ριπιδίου. Στον τύπο αυτό ανήκουν τα αποθετικού χαρακτήρα ψαμμιτικά κανάλια.
- Τύπος 5: αποθέσεις αναχωμάτων – υπερχειλίσης και περιθωρίων των καναλιών.
- Τύπος 6: αποθέσεις περιορισμένης λεκάνης. Οι αποθέσεις αυτές αποτελούνται αποκλειστικά από ιλύ.

Σχήμα 1.3: Υποθετικό μοντέλο των περιβαλλόντων απόθεσης σε υποθαλάσσια τάφρο (Ανανιάδης, 2003)

Στην περιοχή έρευνας, οι λιθοστρωματογραφικές ενότητες της ζώνης (Σχήμα 1.4), από κάτω προς τα πάνω, έχουν ως εξής (Τσόφλιας, 1984):

Σχήμα 1.4: Λιθοστρωματογραφική στήλη της ζώνης Ωλονού – Πίνδου (Τσόφλιας, 1984)

I. Ανώτερο Τριαδικό: διακρίνονται δύο τμήματα από κάτω προς τα πάνω:

1. Ασβεστόλιθοι πλακώδεις με ίασι: έχουν χρώμα τεφρό ή πράσινο, με λεπτές στρώσεις πρασινωπών μαργών, στις διαχωριστικές επιφάνειες των οποίων βρίσκονται απολιθώματα άνω-τριαδικής ηλικίας.
2. Φλύσχος: εναλλασσόμενες αργιλικές με ψαμμιτικές και ασβεστομαργαϊκές στρώσεις με πάχος 15-20 cm. Μέσα στη μάζα του φλύσχη παρεμβάλλονται ασβεστόλιθοι με τραπεζοειδές σχήμα και πρασινωπό χρώμα, πάχους 30-50 cm. Οι αργιλικές στρώσεις δεν περιέχουν απολιθώματα. Οι ψαμμιτικές περιέχουν φυτικά λείψανα, οι δε ασβεστομαργαϊκές *Halobia* και *Κωνόδοντα* του Μέσου – Ανώτερου Τριαδικού.

- II. Ιουρασιό – Κατώτερο Κρητιδικό: ραδιολαρίτες οι οποίοι αποτελούνται από ολοπυριτικές στρώσεις μικρού πάχους στο κατώτερο τμήμα τους. Έχουν χρώμα κόκκινο, πράσινο, κίτρινο με συχνές παρεμβολές πυριτικών και γεωδών αργίλων. Το γεώδες τμήμα των ραδιολαριτών είναι πλούσιο σε Ακτινόζωα. Τόσο οι ολοπυριτικές στρώσεις όσο και οι γεώδεις, συχνά είναι εμπλουτισμένες με μαγγάνιο ή περιέχουν κονδύλους μαγγανίου. Μέσα στη μάζα των ραδιολαριτών και κυρίως στο ενδιάμεσο τμήμα και στην κορυφή τους, βρίσκονται τραπεζοειδείς σχηματισμοί μικρολατυποπαγών ασβεστόλιθων που περιέχουν απολιθώματα. Μέσα στη μάζα των ραδιολαριτών απαντούν διαβασικοί τόφφοι.
- III. Ανώτερο Κενομάνιο – Κατώτερο Κονιάσιο: φλύσχης και μικρολατυποπαγείς ασβεστόλιθοι που συνίστανται από εναλλαγές κόκκινων υλικών, ψαμμιτών και μικρολατυποπαγών ασβεστόλιθων κοκκινωπού χρώματος. Οι μικρολατυποπαγείς ασβεστόλιθοι έχουν τραπεζοειδή εμφάνιση και περιέχουν κόκκους χαλαζία, κομμάτι από πρασινόλιθους, ραδιολαρίτες και Ρουδιστές. Διαπιστώθηκαν ακόμη σε πολύ λίγες θέσεις μέσα στο φλύσχη, λεπτές ασβεστολιθικές στρώσεις πελαγιών ασβεστόλιθων πλούσιων σε πυριτικό υλικό. Οι απολιθωματοφόροι ορίζοντες είναι πολύ λίγοι. Το κόκκινο αργιλικό υλικό καθώς και οι πελαγικοί ασβεστόλιθοι, περιέχουν Ακτινόζωα. Οι μαργαϊκές και ψαμμιτικές στρώσεις δεν περιέχουν απολιθώματα. Οι κόκκινοι μικρολατυποπαγείς ασβεστόλιθοι περιέχουν κομμάτια από Ρουδιστές και μικροπανίδα με *Globotruncana* και μικροπανίδα με *Globotruncana helvetica* του Ανώτερου Κενομάνιου – Κατώτερου Κονιάσιου.
- IV. Κονιάσιο – Μαιστρίχτιο: πελαγικοί ασβεστόλιθοι, λεπτοπλακώδεις έως μεσοστρωματώδεις, με πάχος κάθε πλάκας που δεν ξεπερνά τα 15 cm, με παρεμβολές στρώσεων από πυριτικό υλικό πάχους 1-2 cm. Συχνά παρατηρούνται ενστρώσεις μικρολατυποπαγών ασβεστόλιθων πάχους 30-50 cm που περιέχουν κομμάτια από Ρουδιστές. Στη βάση τους, τα στρώματα των πελαγιών ασβεστόλιθων, είναι πλούσια σε πυριτικό υλικό που ελαττώνεται προοδευτικά και χάνεται τελικά στην κορυφή τους.
- V. Μαιστρίχτιο – Παλαιόκαινο: στρώματα κυρίως ψαμμιτικά και σπανιότερα μαργαϊκά, που εναλλάσσονται με λεπτοπλακώδεις πελαγικούς ασβεστόλιθους, πάχους περίπου 50 m. Μέσα στις ασβεστολιθικές πλάκες παρατηρείται συχνά πυριτικό υλικό μαύρου χρώματος. Δε βρέθηκαν απολιθώματα μέσα στους ψαμμίτες και τις μάργες του φλύσχη.

1.1.2 Ορογενετική Εξέλιξη

Η ζώνη Πίνδου εξαφανίζεται παλαιογεωγραφικά προς τα βόρεια. Το Προαλπικό υπόβαθρο των πετρωμάτων της δεν εμφανίζεται πουθενά και συνεπώς είναι άγνωστο. Τα στρώματά της αναδύθηκαν με την τελική φάση πτυχώσεων που ήταν η Ελβετική φάση στο Κατώτερο Ολιγόκαινο ή, σύμφωνα με άλλους ερευνητές, η Πυρηναϊκή φάση στο Πριαμπόνιο του Ηωκαίνου. Ανεξάρτητα από το πότε ακριβώς

εκδηλώθηκε η πτύχωση, είναι γεγονός ότι ήταν η μοναδική φάση που έπληξε τη ζώνη. Με τη μοναδική αυτή φάση πτυχώσεων έγινε η προς τα δυτικά επώθηση της ζώνης Ωλονού – Πίνδου υπό μορφή καλύμματος (Temple, 1968) (Σχήμα 1.5), που φαίνεται να ξεπερνάει σε ορισμένες φάσεις τα 100 km.

Σχήμα 1.5: Γεωλογική τομή εγκάρσια στη βόρεια Πελοπόννησο από τον Temple (1968). Η θέση της τομής δίνεται στο χάρτη της Πελοποννήσου στο κάτω αριστερό τμήμα της εικόνας

Τα αλπικά της ιζημάτα χαρακτηρίζονται από μια έντονη τεκτονική επωθήσεων και εφιππεύσεων (Χριστοδούλου, 1982). Τα ιζημάτα αυτά είναι επωθημένα πάνω σ' εκείνα της ζώνης Γαβρόβου – Τριπόλεως. Στα Τζουμέρια, η ζώνη της Πίνδου εφιππεύει απευθείας την Ιόνια ζώνη. Τα ίδια ιζημάτα, στην περιοχή εξάπλωσής τους, συνιστούν λέπια που εφιππεύουν το ένα το άλλο, με διεύθυνση Α-Δ. Στην Πίνδο έχει διαπιστωθεί η παρουσία 11 λεπίων τεκτονικά τοποθετημένων το ένα πάνω στο άλλο, δηλαδή η μεσοζωική σειρά ιζημάτων ή τμήματα αυτής, επαναλαμβάνονται 11 φορές. Επίσης, πάνω στα λέπια αυτά, ιδιαίτερα πάνω στον φλύσχη της Πίνδου, έχουν επωθηθεί οφιόλιθοι της γειτονικής Υποπελαγονικής ζώνης. Συνήθως, τα λέπια αρχίζουν με άνω-ιουρασικούς κερατόλιθους και σπάνια εμφανίζονται στη βάση των λεπίων τα τριαδικά πετρώματα. Αυτό συμβαίνει ιδιαίτερα στην Πελοπόννησο.

Πρέπει να σημειωθεί ότι έχουν διαπιστωθεί μεταβάσεις ιζημάτων της ζώνης Γαβρόβου – Τριπόλεως προς εκείνα της ζώνης Ωλονού – Πίνδου (δηλαδή ιζημάτα που έχουν μικτούς λιθολογικούς – παλαιοντολογικούς κ.ά. χαρακτήρες) (Χριστοδούλου, 1982). Συγκεκριμένα, τέτοιες μεταβάσεις έχουν παρατηρηθεί στην Πελοπόννησο στα στρώματα του Ανώτερου Κρητιδικού (πελαγικά ιζημάτα με επίσης πελαγικές πανίδες, που παρεμβάλλονται μέσα σε νηριτικά, με βενθονικά απολιθώματα) καθώς και σε εκείνα του Μέσου Ηωκαίνου (πρώιμη παρεμβολή χερσογενών υλικών, κυρίως στην εσωτερική πλευρά της ζώνης Γαβρόβου – Πελοποννήσου).

Πάνω στα στρώματα της ζώνης Πίνδου βρίσκονται επωθημένες οφιολιθικές μάζες, η τοποθέτηση των οποίων ήταν και παραμένει βασικό γεωλογικό πρόβλημα που συνδέεται με την παλιά θέση της Τηθύος. Προέρχονται, δηλαδή, οι οφιόλιθοι από ένα κατεστραμμένο ωκεάνιο φλοιό που βρίσκονταν μεταξύ

Πίνδου και Υποπελαγονικής ή προέρχονται από πιο ανατολικά, από τη ζώνη Αξιού. Το πιθανότερο και πιο γενικά αποδεκτό είναι ότι προέρχονται από τον δυτικό ωκεάνιο χώρο της Υποπελαγονικής και επωθήθηκαν πάνω στον φλύσχη της Πίνδου κατά τη διάρκεια της τελικής Τριτογενούς πύχωσης, μετά φυσικά τη λήξη της ιζηματογένεσης του φλύσχη.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η παλαιογεωγραφική θέση και η τεκτονική συμπεριφορά της ζώνης Πίνδου στην Πελοπόννησο (Χριστοδούλου, 1982). Όπως φαίνεται στο χάρτη των γεωτεκτονικών ζωνών της Ελλάδας (Εικόνα 1.1), η ζώνη Ωλονού – Πίνδου περιβάλλει τη ζώνη Τριπόλεως. Επομένως, η θέση αυτή είναι αυτόχθονη και παλαιογεωγραφικά η ζώνη Ωλονού – Πίνδου περιέβαλε το ύψωμα Τριπόλεως που ήταν ανεξάρτητο από το ύψωμα Γαβρόβου στο Βορρά, ή πρόκειται για δύο διαφορετικές ζώνες ανατολικά και δυτικά του υψώματος Τριπόλεως. Σήμερα έχει αποδειχθεί ότι η τωρινή θέση της ζώνης Ωλονού – Πίνδου οφείλεται στην επώθησή της υπό μορφή καλύμματος από τα ανατολικά προς τα δυτικά πάνω στη ζώνη Γαβρόβου – Τριπόλεως, που στη συνέχεια αποκαλύφθηκε ενδιάμεσα υπό μορφή πολλών τεκτονικών παραθύρων μικρής ή μεγάλης έκτασης, το σπουδαιότερο των οποίων είναι στην περιοχή της Τρίπολης. Η εξήγηση του επωθημένου τεκτονικού καλύμματος της Πίνδου συμφωνεί με τη σύγχρονη αντίληψη για την επώθηση προς τα Δυτικά των Ελληνικών ζωνών και επιβεβαιώνεται από το παράθυρο του Ολύμπου όπου αποκαλύπτεται επίσης η ζώνη Γαβρόβου – Τριπόλεως.

1.2 Μεταλπικοί Σχηματισμοί (Πλειο-Τεταρτογενές Επικάλυμμα)

Οι μεταλπικοί σχηματισμοί είναι στενά συνδεδεμένα με τις νεοτεκτονικές διεργασίες, οι οποίες συνδέονται με τη δημιουργία του ελληνικού τόξου.

Ο Ελληνικός χώρος, αποτελεί το νοτιότατο όριο της Ευρασιατικής λιθοσφαιρικής πλάκας, κάτω από την οποία καταδύεται η Αφρικανική. Το σύστημα αυτό της σύγκρουσης και κατάδυσης των λιθοσφαιρικών πλακών δημιουργήθηκε μετά το Μέσο Μειόκαινο, δηλαδή στο χρονικό διάστημα μεταξύ 5-10 εκατ. χρόνια και από τότε συνεχίζει να εξελίσσεται μέχρι σήμερα. Αποτέλεσμα των συνθηκών αυτών ήταν ο ελλαδικός χώρος κατά την περίοδο αυτή (του Νεογενούς- Τεταρτογενούς), να υποστεί διάφορες τεκτονικές φάσεις συμπίεσης και εφελκυσμού, με άμεση συνέπεια την πολλαπλή διάρρηξή του σε ένα ορθογώνιο σύστημα κανονικών ρηγμάτων. Η διάρρηξη αυτή είχε ως αποτέλεσμα την επίσης πολλαπλή εισβολή της θάλασσας στο χώρο αυτό και την απόθεση θαλάσσιων Νεογενών και Τεταρτογενών ιζημάτων. Παράλληλα, κατά θέσεις, έγινε απόθεση λιμναίων και χερσαίων ιζημάτων στις περιοχές απόσυρσης της θάλασσας (Εικόνα 1.4), τόσο στο χώρο των Εσωτερικών ζωνών όσο και στο χώρο των Εξωτερικών (Rondogianni, 1984).

Εικόνα 1.4: Χάρτης με τις κυριότερες νεογενείς και τεταρτογενείς αποθέσεις του Ελληνικού χώρου (Rondogianni, 1984)

Η λεκάνη της δυτικής Πελοποννήσου αποτελεί μια από τις κυριότερες Νεογενείς – Τεταρτογενείς λεκάνες του Ελληνικού χώρου. Έχει διεύθυνση ανάπτυξης ΒΒΔ-ΝΝΑ, παράλληλα δηλαδή προς το ορογενετικό τόξο των Ελληνίδων (Zelilidis & Doutsos, 1992) (Εικόνα 1.5).

Εικόνα 1.5: Κύριες τεκτονικές γραμμές και κατανομή των μετα-μειοκαινικών λεκανών (Zelilidis & Doutsos, 1992)

1.2.1 Πλειο-Πλειστοκαινικά Ιζήματα

Τα Πλειο-Πλειστοκαινικά ιζήματα και οι αλλουβιακές αποθέσεις κατέχουν μεγάλο τμήμα της περιοχής μελέτης. αποτελούνται κυρίως από θαλάσσιους, λιμνοθαλάσσιους, λιμναίους και χερσαίους σχηματισμούς.

Ο Philippson (1892), σύμφωνα με τη μονογραφία του περί Πελοποννήσου, διαιρεί τα νεογενή στρώματα της Πελοποννήσου σε δύο βαθμίδες:

1. Την κατώτερη πάχους 600 m που αποτελείται από μάργες, αργίλους, άμμους και ασβεστολιθικούς ψαμμίτες, και
2. Την ανώτερη πάχους 800 m αποτελούμενη από κροκαλοπαγή.

Ο Deperet (1913) δέχεται Άνω-Πλειοκαινική ηλικία για τους νεογενείς σχηματισμούς της Βορείου Πελοποννήσου.

Ο Μαριολάκος (1975) διαπιστώνει την απουσία Μειοκαινίου από όλη τη Βόρεια Πελοπόννησο.

Οι Kontopoulos & Doutsos (1985) διαπιστώνουν μέσο-άνω-πλειοκαινική ηλικία (Άπτιο) για τα ιζήματα της περιοχής του Αντιρρίου και διακρίνουν πέντε κύριες λιθοφάσεις συνολικού πάχους 500 m: τη βαθύτερη θαλάσσιας προέλευσης, τις δύο ενδιάμεσες λιμναίας και λιμνοθαλάσσιας προέλευσης αντίστοιχα και τις δύο ανώτερες χερσαίας προέλευσης.

Οι Doutsos et al. (1988) και Poulímenos et al. (1989) διακρίνουν τα χερσαία κροκαλοπαγή σε αποθέσεις ανώτερου και κατώτερου δικτυωτού ποταμού και σε αλλουβιακές ριπιδιακές αποθέσεις με μέγιστο πάχος της ενότητας αυτής 500 m.

Οι Zelilidis et al. (1988) αναγνώρισαν τις εξής πέντε κύριες λιθοφάσεις στα ιζήματα της περιοχής έρευνας προς την πλευρά του Πατραϊκού κόλπου:

1. Λιθοφάση Α, που αποτελεί τη βάση της λιθοστρωματογραφικής διαδοχής Άνω-Πλειοκαινικής ηλικίας και δομείται από φαιόχρωμες θαλάσσιες αποθέσεις (εναλλαγές πηλού και πηλούχου αργίλου).
2. Λιθοφάση Β, που είναι λιμναίας προέλευσης και αποτελείται από στρώματα άμμου, αμμούχου πηλού και πηλού τα οποία παρουσιάζουν λαμίνωση.
3. Λιθοφάση C, που συνίσταται από κροκαλοπαγή κίτρινου χρώματος, ποταμο-χερσαίας προέλευσης.
4. Λιθοφάση D, που αντιπροσωπεύεται από αποθέσεις αλλουβιακών ριπιδίων (κροκάλες, χάλικες).
5. Λιθοφάση E, που δομείται από κοκκινωπές, χερσαίες, ποτάμιες αποθέσεις (άμμο, πηλό και κροκαλοπαγή).

Οι λιθοφάσεις D και E καλύπτονται από αλλουβιακές και ποτάμιες σύγχρονες αποθέσεις.

Οι Doutsos et al. (1988) διακρίνουν δύο ιζηματολογικές φάσεις για τα ιζήματα της δυτικής Κορινθιακής τάφρου που εκτείνεται ανατολικά της περιοχής Άνω Καστριτσίου – Ρίου:

1. Η πρώτη σχετίζεται με βύθιση που έλαβε χώρα στο Ανώτερο Πλειόκαινο και συνίσταται από ακολουθίες εναλλασσόμενων στρωμάτων πηλών και αργίλων με παρεμβολές αμμωδών και λιγνιτοφόρων στρωμάτων.
2. Η δεύτερη ιζηματολογική φάση συνίσταται από κροκαλοπαγή μέγιστου πάχους 500 m.

Ο Ρόζος (1989) υποδιαιρεί το χώρο ανάπτυξης των πλειο-πλειστοκαινικών ιζημάτων του νομού Αχαΐας σε τρεις υποπεριοχές (λεκάνες): α) του Πατραϊκού, β) του Κορινθιακού και γ) του Λεοντίου.

Τέλος, οι Kontopoulos & Zelilidis (1997), για την περιοχή Ρίου – Αντίρριου, διακρίνουν τέσσερις ιζηματολογικές φάσεις (από κάτω προς τα πάνω): α) κίτρινα έως γκρι λιμναία ιζήματα, β) κίτρινα έως κόκκινο-καφέ χερσαία ιζήματα, γ) κίτρινα έως γκρι λιμνοθαλάσσια ιζήματα και δ) κόκκινα χερσαία ιζήματα.

1.2.2 Τεταρτογενείς Αποθέσεις

1.2.2.1 Πλειστοκαινικές Αποθέσεις

Οι πλειστοκαινικές αποθέσεις αποτελούνται από:

- Παλαιές αποθέσεις από πολύμικτο χαλαρό κροκαλολατυποπαγές με ερυθρογή. Σε ορισμένες θέσεις παρατηρούνται παρεμβολές ερυθρής αργιλομιγούς άμμου. Οι αποθέσεις αυτές εμφανίζουν σχεδόν οριζόντια στρώση. Στην περιοχή του Πατραϊκού κόλπου έχουν πάχος 6 m (Zelilidis et al., 1988).
- Αποθέσεις μικτών φάσεων από αργίλους, άμμους, κροκαλοπαγή με κόκκινο πηλό και κομμάτια πυριτόλιθων που προήλθαν από την αποσάθρωση των ραδιολαριτών. Οι αποθέσεις αυτές έχουν σχηματίσει υπερυψωμένες αναβαθμίδες και λόφους μικρής, σχετικά, εξάπλωσης που έχουν έντονα προσβληθεί από τη σύγχρονη διάβρωση και έχουν πάχος μερικά μέτρα.
- Ερυθρή αργιλομιγή άμμο αιολικής προέλευσης μικρού, γενικά, πάχους και έκτασης που εμφανίζεται στα δυτικά παράλια του Πατραϊκού κόλπου, με πάχος έως 10 m.
- Αδρομερή ημισυνεκτικά έως συνεκτικά υλικά από κροκαλοπαγή ποτάμιας προέλευσης με πτωχή διαβάθμιση. Το πάχος τους ανέρχεται έως 200 m.

1.2.2.2 Ολοκαινικές Αποθέσεις

Οι ολοκαινικές αποθέσεις περιλαμβάνουν:

- Παλαιές αλλουβιακές αποθέσεις (χαλαρά κροκαλοπαγή, λατυποπαγή με φακούς ιλυώδεις ή αμμώδεις και σχεδόν οριζόντια στρώση) με πάχος έως 10 m.

- Πλευρικά κορήματα και κώνους κορημάτων πάχους μερικών μέτρων. Οι σχηματισμοί αυτοί άλλοτε είναι συγκολλημένοι και άλλοτε όχι και αποτελούνται από ασβεστολιθικά, κυρίως, θραύσματα (Βουδούρης, 1995).
- Αποθέσεις κοιλάδων, χειμαρρώδεις αποθέσεις, δελταϊκές προσχώσεις από αργίλους, άμμους, χάλικες και κροιάλες. Τα υλικά αυτά σχηματίζουν αναβαθμίδες μερικά μέτρα υψηλότερα από τις σημερινές κοίτες των ποταμών και των χειμάρρων. Το πάχος τους ανέρχεται σε μερικά μέτρα.
- Λιμνοθαλάσσιες, περιλίμνιες αποθέσεις και αποθέσεις τελμάτων από ιλύ και λεπτομερή αργιλοαμμώδη υλικά πάχους μερικών μέτρων.
- Παράκτιοι αμμούχοι σχηματισμοί: σχηματίζουν ευρύ παράκτιο ανάχωμα που σε ορισμένες θέσεις έχει ύψος 10 m και εύρος 400 m.

Οι Doutsos & Piper (1990) χωρίζουν τις αναβαθμίδες σε δύο φάσεις:

1. Η παλαιότερη φάση της Τυρρηνίας ηλικίας αποτελείται από παράκτια κροκαλοπαγή, ενώ
2. Η νεότερη φάση συνίσταται από ποτάμια κροκαλοπαγή που κατά θέσεις εναλλάσσονται με κροκαλοπαγή θαλάσσιας προέλευσης (Πουλημένος, 1991).

Οι Kontopoulos & Stamatopoulos (1990) διακρίνουν τρεις κύριες λιθοφάσεις στις ολοκαινικές χειμαρρώδεις αποθέσεις του Σέλεμνου ποταμού: α) κροκαλοπαγών, β) ιλυούχων χαλίκων και γ) αμμούχων ιλύων και διαπιστώνουν τη χαρακτηριστική απουσία των αμμωδών φάσεων.

1.3 Τεκτονική

Ο Τρικαλινός (1957) αποδίδει τη δημιουργία τεκτονικών βυθισμάτων της Βόρειας Πελοποννήσου σε προπλειοκαινική τεκτονική, με αποτέλεσμα τη διείσδυση της Πλειοκαινικής θάλασσας.

Ο Aubouin (1959) ερευνήσε την τεκτονική της Ηπειρωτικής Ελλάδας και δέχεται ότι το κάλυμμα της Πίνδου ανορθώνεται με μορφή λεπίων με πολυάριθμα 'ολισθήματα' στην εσωτερική του μάζα.

Ο Μαριολάκος (1975) είχε διατυπώσει την άποψη ότι τα ρήγματα της Βορείου Πελοποννήσου συνιστούν τεκτονισμό βαρύτητας και η εξέλιξη της περιοχής συνδέεται κατά βάση με τεκτονισμό θλίψεως.

Οι Ferentinos et al. (1985), μετά από υποθαλάσσιες έρευνες, διαπιστώνουν την ασύμμετρη ανάπτυξη του Πατραϊκού, καθώς και την παρουσία δύο συστημάτων κανονικών ρηγμάτων ΔΒΔ/κών και ΝΔ/κών διευθύνσεων.

Οι Doutsos et al. (1988) απέδειξαν ότι οι τάφροι του Κορινθιακού και του Πατραϊκού δημιουργήθηκαν κατά τη διάρκεια διαστολής στην περιθωριακή λεκάνη του Αιγαίου τόξου. Η τάφρος Ρίου – Αντίρριου συνδέει τις ανωτέρω τάφρους σαν ζώνη μετασχηματισμού (transfer zone). Η συνολική αυτή εξέλιξη λαμβάνει χώρα με τη δημιουργία δύο συστημάτων ρηγμάτων τα οποία παρουσιάζουν ορθογώνιο σχέδιο (fault pattern) επιφανειακής εξάπλωσης μεταξύ τους: α) ένα κύριο ΔΒΔ/κής

διεύθυνσης σύστημα κανονικών ρηγμάτων και ΒΒΑ/κών ρηγμάτων μετασχηματισμού που σχετίζονται με τη διαστολή της περιθωριακής λεκάνης του Αιγίου, και β) ένα δευτερεύον σύστημα ΑΒΑ/κών κανονικών ρηγμάτων και ΒΒΔ/κών ρηγμάτων μετασχηματισμού που συνδέονται, κατά πάσα πιθανότητα, με τη μεταορογενετική ανύψωση της περιοχής όπισθεν του Ελληνικού τόξου (Εικόνα 1.6).

Εικόνα 1.6: Ρήγματα της περιοχής του Κορινθιακού Κόλπου, όπως προέκυψαν από την ανάλυση αεροφωτογραφιών (Doutsos et al., 1988)

Οι Zelilidis et al. (1988) απέδειξαν ότι, στην περιοχή του Πατραϊκού εμφανίζεται ένα ρομβοειδές σύστημα ρηγμάτων με μεγάλης κλίσης κανονικά ρήγματα ΑΒΑ/κής και ΔΒΔ/κής διεύθυνσης (Εικόνα 1.7).

Εικόνα 1.7: Ρήγματα της περιοχής του Πατραϊκού κόλπου, όπως προέκυψαν από την ανάλυση αεροφωτογραφιών (Zelilidis et al., 1988)

Ανατολικά της Πάτρας και μέχρι το ακρωτήριο Σαλμένιο, τα ρήγματα διατηρούν τις ίδιες διευθύνσεις με επικράτηση της ABA/κής διεύθυνσης (Doutsos et al., 1988) (Εικόνα 1.6).

Από γεωδαιτικά στοιχεία και τις μεταβολές της στάθμης της θάλασσας που διαπιστώνονται από αρχαιολογικά ευρήματα, η περιοχή της Βόρειας Πελοποννήσου παρουσιάζει μία γενική ανύψωση καθ' όλη τη διάρκεια του Τεταρτογενούς, που συνεχίζεται και σήμερα (Dufaure, et al., 1979; Kelletat et al., 1978; Mariolakos et al., 1985; Μαριολάκος & Στείρος, 1989). Η ανύψωση αυτή δεν είναι ομοιόμορφη αλλά αντικλινικού τύπου και αυξάνει από Α προς Δ. η διαφορετική αυτή ανύψωση αντανακλάται και στην υψομετρική διαφορά μεταξύ των ομόλογων αναβαθμίδων της Κορίνθου που αυξάνεται προς τα δυτικά (Dufaure et Zamanis, 1980).

Η παρουσία, άλλωστε, αναβαθμίδων σε μεγάλα υψόμετρα από διάβρωση των σύγχρονων υδρορρευμάτων λόγω βύθισης του επιπέδου βάσης, επιβεβαιώνει την ύπαρξη ανοδικών κινήσεων.

Ο Τσόφλιας (1970) διαπιστώνει κύρτωση της αυτόχθονης σειράς κάτω από το Πινδικό κάλυμμα που έχει συντελέσει στη μετατόπιση της αλλόχθονης σειράς προς το εξωτερικό άκρο της όπου παρατηρείται η μεγαλύτερη συγκέντρωση πλαστικών ραδιολαριτικών στρωμάτων.

Μετά το τέλος του Ηωκίνου, η περιοχή της Πινδικής αύλακας άρχισε να πτυχώνεται (Jacobshagen, 1977; Χριστοδούλου, 1982) και στη συνέχεια αναδύεται και επωθείται προς τα δυτικά. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα οι μεγάλοι πάχους Πινδικοί σχηματισμοί να επωθούνται με τη μορφή καλύμματος και να φτάνουν στην περιοχή του νομού Αχαΐας στο τέλος του Ολιγοκίνου πάνω από τους σχηματισμούς της ζώνης Γαβρόβου – Τριπόλεως (Κατσικάτσος, 1992).

Μετά το μέσο Μειόκαινο, όλη η περιοχή υπέστη μια γενική ανύψωση και επιμήκυνση. Κατά τη διάρκεια της επιμήκυνσης σχηματίστηκαν τρία ασύμμετρα graben: α) της Κορίνθου, β) του Ρίου και γ) της Πάτρας. Η ασυμμετρία των graben επέφερε το βόρειο βύθισμα των κύριων ρηγμάτων παράλληλα προς την ακτογραμμή της Βόρειας Πελοποννήσου (Koukouvelas et al., 2001).

Η ευρύτερη Κορινθιακή – Πατραϊκή τάφρος, σύμφωνα με τον Δούτσο (2000), διακρίνεται τεμαχισμένη σε τρεις επιμέρους τάφρους: α) την Κορινθιακή τάφρο στα ανατολικά, β) τη τάφρο του Ρίου – Αντίρριου στο κέντρο και γ) την Πατραϊκή τάφρο στα δυτικά. Η Πατραϊκή τάφρος με μήκος 40 km και μέσο εύρος 20 km, παρουσιάζει μικρότερο ποσοστό διαστολής συγκριτικά, όπως αυτό αποτυπώνεται στο μικρότερο (135 m) βάθος της τάφρου. Εάν ληφθεί επιπλέον υπόψη ότι τα ιζήματα της Πατραϊκής τάφρου είναι νεότερης Τεταρτογενούς ηλικίας, τότε είναι έκδηλο ότι η διάνοιξη του συστήματος των τάφρων στην περιοχή δεν έγινε ομοιόμορφα ούτε και κατά την ίδια περίοδο. Αρχικά σχηματίστηκαν κατά το Άνω Πλειόκαινο το ανατολικό τμήμα της Κορινθιακής τάφρου και η τάφρος του Ρίου – Αντίρριου (Σχήμα 1.6). Στη συνέχεια, κατά το Τεταρτογενές, η Κορινθιακή τάφρος προελαύνει τεκτονικά προς τα δυτικά ώστε να συναντήσει τη τάφρο του Ρίου – Αντίρριου. Αυτή λειτουργεί ως μία

ενδιάμεση ζώνη μεταβίβασης τεκτονικής διαταραχής, διαχωρίζοντας μία περιοχή εντονότερης διάνοιξης προς τα ανατολικά από μία περιοχή ηπιότερης διάνοιξης προς τα δυτικά.

Σχήμα 1.6: Δομές διαστολής πάνω από τη ζώνη καταβύθισης του Ελληνικού τόξου στο κέντρο της Ελληνικής χερσονήσου: 1) στο Άνω Πλειόκαινο σχηματίζεται το ανατολικό τμήμα της Κορινθιακής τάφρου και η τάφρος του Ρίου – Αντίρριου, 2) στο Κάτω Πλειστόκαινο και έως σήμερα η Κορινθιακή τάφρος προελαύνει προς τα δυτικά και συναντά την τάφρο του Ρίου – Αντίρριου, ενώ συγχρόνως σχηματίζονται η τάφρος της Πάτρας και η τάφρος της Τριχωνίδας (Doutsos et al., 1988)

1.4 Σεισμοτεκτονική

Η ρηξιγενής τεκτονική της περιοχής μελέτης είναι ιδιαίτερα ενεργή μέχρι σήμερα, γι' αυτό και είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τη σεισμικότητα σε αυτή. Όπως φαίνεται από την εικόνα 1.6, η Κορινθιακή – Πατραϊκή τάφρος και ιδιαίτερα το δυτικό τμήμα της Κορινθιακής τάφρου, είναι από τις πλέον σεισμογενείς του Ελληνικού χώρου. Στην εικόνα 1.8 σύμφωνα με τους Doutsos & Poulimenos (1992) και Δούτσος (2000) φαίνονται και αριθμούνται τα ενεργά ρήγματα της ευρύτερης περιοχής έρευνας.

Εικόνα 1.8: Χάρτης ενεργών ρηγμάτων (αριθμούνται με κόκκινο) της περιοχής έρευνας (Doutsos & Poulimenos, 1992; Δούτσος, 2000)

Η περιοχή έρευνας, λόγω της αυξημένης αυτής σεισμικότητας, κατατάσσεται στην κατηγορία II στον χάρτη ζωνών σεισμικής επικινδυνότητας του Ελληνικού χώρου (Εικόνα 1.9).

Εικόνα 1.9: Χάρτης ζωνών σεισμικής επικινδυνότητας του Ελληνικού χώρου (ΟΑΣΠ, 2001), με τις τροποποιήσεις της υπ' αριθμό Δ17α-115-9-ΦΝ275/2003 απόφασης (ΦΕΚ 1154Β')

2 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑΣ

Οι ποταμοί και οι χείμαρροι του ΒΔ/ιού τμήματος του νομού Αχαΐας παρουσιάζουν εποχική κυμαινόμενη μεταφορική ικανότητα και διαβρώνουν τα Άνω Πλειοκαινικά και Πλειστοκαινικά ιζήματα στα βόρεια του νομού σχηματίζοντας εύφορες προσχωσιγενείς πεδιάδες. Μεγάλο μέρος των όμβριων υδάτων καταισδύει σε ασβεστόλιθους και ρέει υπογείως δια μέσου καρστικών εγκοίλων.

Συγκρίνοντας τους ποταμοχείμαρρους που εκβάλλουν στον Κορινθιακό με αυτούς που εκβάλλουν στον Πατραϊκό παρατηρείται ότι, οι ποταμοχείμαρροι του Κορινθιακού (Κράθις, Βουραϊκός, Σελινούντας, Φοίνικας) σχηματίζουν δέλτα με τη μορφή κώνων ριπιδίων (fan deltas), ενώ οι ποταμοχείμαρροι του Πατραϊκού (Γλαυκός, Χάραδρος, Πείρος) δε σχηματίζουν δέλτα. Αυτό οφείλεται στο συσχετισμό προσφοράς κλαστικών υλικών, διασποράς αυτών από θαλάσσια ρεύματα και κύματα, αλλά κυρίως στο ρυθμό των ανοδικών ή καθοδικών κινήσεων που επικρατούν στις περιοχές εκβολής καθώς και στη στροφή προς νότο της παράκτιας πλατφόρμας, εξαιτίας της δράσης ρηγμάτων ΒΑ/κής διεύθυνσης, με αποτέλεσμα αυτή να αποκτά αρνητική κλίση (Kontopoulos & Zelilidis, 1997).

Στο διάγραμμα του σχήματος 2.1 φαίνονται οι ρυθμοί ανύψωσης κατά μήκος της Πατραϊκής – Κορινθιακής τάφρου, όπως αυτοί υπολογίστηκαν από τις τεταρτογενείς αναβαθμίδες. Έτσι, για την περιοχή κοντά στο Αίγιο, ο ρυθμός ανύψωσης υπολογίζεται στα 2.5 mm/year. Εάν ληφθεί υπόψη ότι ο λόγος ρυθμού διάβρωσης/ρυθμού ανύψωσης στην περιοχή είναι <1 (Zelilidis, 2003), έχουμε και την εξήγηση για το ισχυρό ανάγλυφο που παρατηρείται.

Σχήμα 2.1: Σχηματική τομή από Zelilidis (2000) που δείχνει το ρυθμό ανύψωσης κατά μήκος της Πατραϊκής – Κορινθιακής τάφρου. Τα γράμματα αντιστοιχούν σε δεδομένα προερχόμενα αντίστοιχα από S=Stamatopoulos et al. (1994), P=Piper et al. (1990), K=Kontopoulos & Zelilidis (1997), F=Frydas (1991), D=Doutsos & Piper (1990), K-A-D=Keraudren and Sorel (1987), Armijo et al. (1996), Dia et al. (1997)

Συγκεκριμένα, στην υπολεκάνη της Πάτρας (Σχήμα 2.1), υπολογίζεται ο ρυθμός ανύψωσης 0.8 mm/year περίπου (Stamatopoulos et al., 1994), ενώ κοντά στην Πάτρα στο 1 mm/year (Piper et al., 1990). Ο πλέον υψηλός ρυθμός ανύψωσης υπολογίστηκε κοντά στην υπολεκάνη του Ρίου, 4.5 mm/year

(Kontopoulos & Zelilidis, 1997). Ο ρυθμός ανύψωσης στην υπολεκάνη της Κορίνθου μειώνεται με κατεύθυνση προς τα ανατολικά, από 2.2 mm/year, κοντά στο Αίγιο (Frydas, 1991; Poulimenos et al., 1993) και 1.5 mm/year στο κεντρικό σημείο της λεκάνης (Doutsos & Piper, 1990), καταλήγει στα 0.3-0.4 mm/year κοντά στην πόλη της Κορίνθου (Keraudren & Sorel, 1987; Armijo et al., 1996; Dia et al., 1997).

Η αύξηση του ρυθμού ανύψωσης κατά το Τεταρτογενές συνεπάγεται την ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου, που με τη σειρά του σχετίζεται με τα ποτάμια περιβάλλοντα ιζηματογένεσης, όπως εκείνο του δικτυωτού ποταμού, ή εκείνα των αλλουβιακών και δελταϊκών ριπιδίων, που είναι συνδεδεμένα με την Τεταρτογενούς ηλικίας ιζηματογένεση που έλαβε χώρα στην περιοχή.

Συνεπάγεται επίσης και μεγάλης έκτασης μεταβολή της κοκκομετρίας, από λεπτόκοκκο σε αδρόκοκκο, προς τα πάνω, με παράλληλη αύξηση του όγκου του παραγόμενου υλικού.

Το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής έρευνας (Εικόνα 2.1) είναι καλά αναπτυγμένο και επικρατεί η κατακόρυφη διάνοιξη των κοιλάδων. Βρίσκεται στο στάδιο νεότητας και η επικρατούσα μορφή του είναι η δενδριτική.

Οι Δούτσος και Καμηλάρης (1984), συγκρίνουν την ποσοστιαία κατανομή των κυριότερων διευθύνσεων του υδρογραφικού δικτύου της Αχαΐας με τις διευθύνσεις των ρηγμάτων της περιοχής και διαπιστώνουν τέλεια προσαρμογή, που σημαίνει άμεση γενετική σχέση της διανοίξεων των κοιλάδων με τα προϋπάρχοντα ρήγματα.

2.1 Γεωμορφολογική Ανάλυση και Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών

Στα πλαίσια της γεωμορφολογικής ανάλυσης της περιοχής έρευνας χρησιμοποιήθηκαν τοπογραφικοί χάρτες κλίμακας 1:50000 της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού (Γ.Υ.Σ.) (φύλλα χάρτη 'Ναύπακτος' και 'Χαλανδρίτσα') καθώς και γεωλογικοί χάρτες κλίμακας 1:50000 του Ινστιτούτου Γεωλογίας και Ερευνών Υπεδάφους (Ι.Γ.Ε.Υ.) (φύλλο χάρτη 'Ναύπακτος') και του Ινστιτούτου Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (Ι.Γ.Μ.Ε.) (φύλλο χάρτη 'Χαλανδρίτσα'). Για την επεξεργασία των δεδομένων οι χάρτες μετατράπηκαν σε ψηφιακή μορφή με τη βοήθεια σαρωτή. Η ανάλυση κάθε χάρτη είναι 300 dpi και το βάθος χρώματος 24bit. Η διαχείριση και η επεξεργασία των γεωγραφικών δεδομένων έγινε με τη χρήση του λογισμικού πακέτου ArcGIS 9.1 της ESRI.

Για την οργάνωση των δεδομένων ορίστηκε ένα κοινό σύστημα συντεταγμένων. Το σύστημα που χρησιμοποιείται στον ελλαδικό χώρο είναι το Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς του 1987 (ΕΓΣΑ '87). Για τη γεωαναφορά κάθε χάρτη επιλέχτηκαν τέσσερα σημεία γνωστών συντεταγμένων από τον τοπογραφικό χάρτη. Έτσι, οι συντεταγμένες κάθε χάρτη μετατρέπονται σε συντεταγμένες (x, y) του συστήματος.

Στη συνέχεια, τα χωρικά δεδομένα της περιοχής έρευνας οργανώθηκαν σε θεματικά επίπεδα (shape files) διανυσματικής μορφής, τα οποία μπορεί να είναι σημεία (points), γραμμές (polylines) ή πολύγωνα (polygons). Η διαδικασία της ψηφιοποίησης πραγματοποιήθηκε χειροκίνητα με τη χρήση του λογισμικού Land Desktop της Autodesk. Μετά την ψηφιοποίηση κάθε γεωγραφικού στοιχείου, γίνεται η ανάθεση των τιμών στον πίνακα περιγραφικών χαρακτηριστικών (attribute table). Τα θεματικά επίπεδα που δημιουργήθηκαν είναι:

Πίνακας 2.1: Θεματικά επίπεδα που δημιουργήθηκαν

ΘΕΜΑΤΙΚΟ ΕΠΙΠΕΔΟ	ΜΟΡΦΗ	ΑΤΤRIBUTE TABLE	ΠΗΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ
Ακτογραμμή	Polyline	Κωδικός	Γ.Υ.Σ.
Ισοϋψείς	Polyline	Υψόμετρο	Γ.Υ.Σ.
Υψομετρικά σημεία	Point	Υψόμετρο	Γ.Υ.Σ.
Υδρογραφικό δίκτυο	Polyline	Αριθμηση κλάδων, Μήκος	Γ.Υ.Σ.
Κοιτότητες	Point	Ονομασία	Γ.Υ.Σ.
Λεκάνες απορροής	Polygon	Ονομασία, Εμβαδόν, Περίμετρος	Γ.Υ.Σ.
Γεωλογικοί σχηματισμοί	Polygon	Λιθολογία	Ι.Γ.Ε.Υ., Ι.Γ.Μ.Ε.
Τεκτονική	Polyline	Είδος	Ι.Γ.Ε.Υ., Ι.Γ.Μ.Ε.,

Για τη δημιουργία του Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους (ΨΜΕ), το οποίο θα απεικονίζει τις κλίσεις και γενικά τη μορφολογία της περιοχής, χρησιμοποιήθηκε η εντολή 3D Analyst με υψομετρική βάση τα θεματικά επίπεδα των ισοϋψών και των υψομετρικών σημείων.

2.1.1 Ποσοτική Ανάλυση Αναγλύφου

Για την ποσοτική ανάλυση και τον προσδιορισμό της μορφολογίας μιας λεκάνης υπολογίστηκαν οι εξής παράμετροι που αναφέρονται παρακάτω:

- Η *υψομετρική καμπύλη της λεκάνης* εκφράζει την ποσοστιαία κατανομή της επιφάνειας στα διάφορα υψόμετρα (Σχήμα 2.2).
- Η *συνολική επιφάνεια (Α)* κάθε λεκάνης, που αντιστοιχεί στην έκταση που περιλαμβάνεται από τον υδροκρίτη της λεκάνης.
- Η *περίμετρος (Π)* κάθε λεκάνης, που συμπίπτει με το συνολικό μήκος του υδροκρίτη της λεκάνης.
- Το *μέγιστο μήκος λεκάνης ($L_{\max}$)* μετρήθηκε κατά μήκος μιας γραμμής περίπου παράλληλης προς τον κύριο κλάδο του αντίστοιχου υδρογραφικού δικτύου.
- Το *μέγιστο πλάτος λεκάνης ($D_{\max}$)* μετρήθηκε κατά μήκος μιας γραμμής κάθετης στον κύριο κλάδο του αντίστοιχου υδρογραφικού δικτύου.
- Ο *δείκτης μορφής (F)* ισούται με το πηλίκο της συνολικής επιφάνειας της λεκάνης απορροής (Α) προς το τετράγωνο του μέγιστου μήκους αυτής ($L_{\max}$) (Horton, 1932), δηλαδή:

$$F = \frac{A}{L_{\max}^2} \quad (2.1)$$

Ο Horton εισήγαγε τον δείκτη μορφής ως δείκτη πρόβλεψης της έντασης της βροχόπτωσης σε μία λεκάνη συγκεικλιμένης επιφάνειας.

- Ο *συντελεστής κυκλικότητας* (R_C) υπολογίστηκε από τη σχέση (Tauer & Humborg, 1992):

$$R_C = \frac{4\pi \cdot A}{\Pi^2} \quad (2.2)$$

Αποτελεί μία ποσοτική έκφραση της γεωμετρίας της λεκάνης απορροής. Οι τιμές του συντελεστή κυμαίνονται από 0 έως 1, με την τιμή 1 να αντιστοιχεί σε λεκάνη μορφής τέλειου κύκλου.

- Ο *συντελεστής επιμήκυνσης* (R_L) υπολογίστηκε από τη σχέση των Tauer & Humborg (1992) και αποτελεί μία έκφραση του επιμήκους σχήματος μιας λεκάνης απορροής:

$$R_L = \frac{2\sqrt{A/\pi}}{L} \quad (2.3)$$

- Το *μέσο υψόμετρο* (H_μ) της λεκάνης ορίζεται ως το πηλίκο του αθροίσματος των γινομένων του μέσου υψομέτρου δύο διαδοχικών ισοϋψών (ε), επί την αντίστοιχη επιφάνειά τους (α), διά της συνολικής επιφάνειας της λεκάνης (A), δηλαδή:

$$H_\mu = \frac{\sum \alpha \cdot \varepsilon}{A} \quad (2.4)$$

- Το *υψόμετρο μέγιστης συχνότητας* ($H_{\mu,\sigma}$) αντιστοιχεί στο υψόμετρο της επιφάνειας (μέσο) μεταξύ δύο ισοϋψών με το μεγαλύτερο εμβαδόν.
- Το *υψόμετρο 50%* ($H_{50\%}$) είναι εκείνο που αντιστοιχεί στο 50% της αθροιστικής καμπύλης επιφάνειας (Σχήμα 2.2).
- Η *μέση κλίση λεκάνης* (p), εκφρασμένη σε ποσοστό %, υπολογίζεται κατά τη μέθοδο του J. W. Alvord, που έχει υιοθετηθεί από τον R. Horton (1932):

$$p = \frac{D \cdot L}{A} \quad (2.5)$$

όπου D = η ισοδιάσταση (σε m) και L = το συνολικό μήκος των ισοϋψών στην περιοχή.

- Η *μέγιστη υψομετρική διαφορά* (H) υπολογίστηκε ως η υψομετρική διαφορά μεταξύ μέγιστου και ελάχιστου υψομέτρου της λεκάνης (Gregory & Walling, 1983).
- Η *σχετική υψομετρική διαφορά* (R_{hp}) ορίζεται ως το πηλίκο της μέγιστης υψομετρικής διαφοράς (H) προς την περίμετρο της λεκάνης (Π) (Gregory & Walling, 1983), δηλαδή:

$$R_{hp} = \frac{H}{\Pi} \quad (2.6)$$

- Ο βαθμός αναγλύφου (R_h) ορίζεται ως το πηλίκο της μέγιστης υψομετρικής διαφοράς (H) προς το μέγιστο μήκος ($L_{\max}$) της υδρολογικής λεκάνης (Schumm, 1956), δηλαδή:

$$R_h = \frac{H}{L_{\max}} \quad (2.7)$$

Σχήμα 2.2: Υψομετρικές καμπύλες των υπό μελέτη ρεμάτων

Η περιοχή έρευνας διαιρείται σε 3 κύριες υδρολογικές λεκάνες, μεταξύ των οποίων αναπτύσσεται μία μεσολεκανώδης περιοχή (Εικόνα 2.1). Στον πίνακα 2.2 συνοψίζονται οι μορφολογικές παράμετροι που υπολογίστηκαν ξεχωριστά για κάθε λεκάνη απορροής, με βάση τις παραπάνω σχέσεις και τις υψομετρικές καμπύλες του σχήματος 2.2.

Πίνακας 2.2: Κυριότερες μορφολογικές παράμετροι των λεκανών απορροής της περιοχής έρευνας

	Λ (km ²)	Π (km)	$L_{\max}$ (km)	$D_{\max}$ (km)	F	R_C	R_L	H_{μ} (m)	$H_{\mu.s.}$ (m)	$H_{50\%}$ (m)	p (%)	H (m)	R_{hp} (%)	R_h
Σέλεμνος	17.584	23.674	10.087	2.911	0.173	0.394	0.469	441.89	250	287.83	36.34	1607	6.79	0.159
Ξυλοκέρας	11.896	23.986	9.755	1.497	0.125	0.26	0.399	611.99	450	446.84	43.56	1607	6.7	0.165
Βολινσιός	32.259	34.051	11.346	5.629	0.251	0.349	0.565	517.3	450	379.04	44.46	1621	4.76	0.143

Οι χαμηλές τιμές του συντελεστή κυκλικότητας εκφράζουν μη κυκλικές λεκάνες, ενώ οι τιμές του συντελεστή επιμήκυνσης προσδιορίζουν, μάλλον, επιμήκεις λεκάνες απορροής.

Από τις υψομετρικές καμπύλες του σχήματος 2.2 προκύπτει ότι, η μεγαλύτερη επιφάνεια των λεκανών απορροής κατανέμεται στην πεδινή (0-200 m) και ημιορεινή (200-600 m) ζώνη, με το υψόμετρο 50% να κυμαίνεται μεταξύ 287.83-446.84 m και το μέσο υψόμετρο μεταξύ 441.89-611.99 m.

αρχή μέχρι το τέλος τους. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται και ως προς τις μεγαλύτερες τάξεις. Με βάση την αρίθμηση κατά Strahler (1964), ο κύριος κλάδος του υδρογραφικού δικτύου, από τον οποίο διέρχεται ολόκληρη η ποσότητα του ύδατος και των ιζημάτων που προέρχονται από επιφανειακή απορροή, έχει και τη μεγαλύτερη τάξη.

Κατά την ποσοτική ανάλυση του υδρογραφικού δικτύου προσδιορίστηκαν οι παρακάτω παράμετροι:

- ο Το μήκος (L) και το πλήθος (N) των κλάδων.
- ο Ο συντελεστής διακλάδωσης (R_b) ορίζεται ως ο λόγος του πλήθους (N) των κλάδων ορισμένης τάξης (u), προς το πλήθος των κλάδων της αμέσως επόμενης τάξης ($u+1$) (Horton, 1945), δηλαδή:

$$R_b = \frac{N_u}{N_{u+1}} \quad (2.8)$$

Συνήθως, ο συντελεστής αυτός λαμβάνει τιμές από 2 έως 5 και τείνει να αυξάνει σε περισσότερα επιμήκεις λεκάνες απορροής (Beaumont, 1975).

- ο Ο συντελεστής μήκυνσης (R_L) του υδρογραφικού δικτύου ορίζεται ως ο λόγος του αθροιστικού μέσου μήκους των κλάδων μιας δοσμένης τάξης προς το αθροιστικό μέσο μήκος των κλάδων της επόμενης μεγαλύτερης τάξης, δηλαδή:

$$R_L = \frac{\sum \bar{L}_u}{\sum \bar{L}_{u+1}} \quad (2.9)$$

- ο Η πυκνότητα αποστράγγισης ή αλλιώς υδρογραφική πυκνότητα (R_D) ορίζεται ως ο λόγος του συνολικού μήκους ($\sum L$) όλων των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου προς την επιφάνεια (A) της λεκάνης απορροής, δηλαδή:

$$R_D = \frac{\sum L}{A} \quad (2.10)$$

Η πυκνότητα του υδρογραφικού δικτύου εξαρτάται από τον κλιματικό τύπο, τις γεωλογικές συνθήκες, τον εδαφικό μανδύα και τη φυτοκάλυψη της λεκάνης απορροής.

- ο Η υδρογραφική συχνότητα ή αλλιώς συχνότητα διακλάδωσης (R_N) ορίζεται ως το πηλίκο του συνολικού αριθμού ($\sum N$) των κλάδων προς τη συνολική έκταση (A) της υδρολογικής λεκάνης, δηλαδή:

$$R_N = \frac{\sum N}{A} \quad (2.11)$$

- ο Η μέση κλίση (S_c) του κύριου ρεύματος είναι ένας από τους παράγοντες που ελέγχουν την ταχύτητα του νερού και ισούται με το πηλίκο της διαφοράς του υψομέτρου στις πηγές και στο στόμιο προς το μήκος του κύριου ρεύματος.

Σε κάθε υδρολογική λεκάνη ξεχωριστά, εξετάστηκε η ισχύς των δύο νόμων του Horton. Ο πρώτος νόμος μπορεί να διατυπωθεί ως εξής: «Ο αριθμός των διαδοχικών μικρότερης τάξεως κλάδων ενός υδρογραφικού δικτύου τείνει να σχηματίζει μία αύξουσα γεωμετρική ακολουθία, της οποίας ο πρώτος όρος είναι η μονάδα και έχει για λόγο το συντελεστή διακλάδωσης (R_b)». Η μαθηματική του έκφραση είναι:

$$N_u = R_b^{(k-u)} \quad (2.12)$$

όπου k είναι η μέγιστη τάξη και u η ζητούμενη τάξη.

Για να ισχύει ο πρώτος νόμος του Horton, θα πρέπει τα σημεία του ημιλογαριθμικού διαγράμματος $u = f(\log N_u)$ να προβάλλονται πάνω στην ίδια ευθεία. Η κλίση της ευθείας συμπίπτει με το $\log R_b$, δηλαδή ισχύει:

$$\varepsilon\phi\omega = \log R_b \quad (2.13)$$

Ο δεύτερος νόμος του Horton διατυπώνεται ως εξής: «τα αθροιστικά μέσα μήκη των διαδοχικά μεγαλύτερης τάξεως κλάδων ενός υδρογραφικού δικτύου τείνουν να σχηματίζουν μία αύξουσα γεωμετρική ακολουθία, της οποίας ο πρώτος όρος είναι το μέσο μήκος των 1^{ης} τάξεως κλάδων και έχει για λόγο το συντελεστή μήκους (R_L)». Η μαθηματική έκφραση του νόμου δίνεται από τον τύπο:

$$\bar{L}_u = \bar{L}_1^{(u-1)} \quad (2.14)$$

όπου k είναι το μέσο μήκος του κλάδου 1^{ης} τάξης.

Η ισχύς του δεύτερου νόμου του Horton προϋποθέτει και πάλι την προβολή των σημείων του ημιλογαριθμικού διαγράμματος $u = f(\sum \bar{L}_u)$ πάνω στην ίδια ευθεία. Η κλίση της ευθείας συμπίπτει με το $\log R_L$, δηλαδή ισχύει:

$$\varepsilon\phi\omega = \log R_L \quad (2.15)$$

Στα παρακάτω σχήματα απεικονίζεται η εφαρμογή των δύο νόμων του Horton για κάθε λεκάνη απορροής, ενώ στον πίνακα 2.3 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης του υδρογραφικού δικτύου για όλες τις αυτοτελείς λεκάνες απορροής της περιοχής έρευνας.

Σχήμα 2.3: Εφαρμογή του πρώτου (α) και δεύτερου (β) νόμου του Horton στη λεκάνη απορροής του Σέλεμον

Σχήμα 2.4: Εφαρμογή του πρώτου (α) και δεύτερου (β) νόμου του Horton στη λεκάνη απορροής του Ξυλοκέρα

Σχήμα 2.5: Εφαρμογή του πρώτου (α) και δεύτερου (β) νόμου του Horton στη λεκάνη απορροή του Βολινάιου

Πίνακας 2.3: Ανάλυση του υδρογραφικού δικτύου της περιοχής έρευνας

	1 ^{ος}	2 ^{ος}	3 ^{ος}	4 ^{ος}	5 ^{ος}	1 ^{ος} (m)	2 ^{ος} (m)	3 ^{ος} (m)	4 ^{ος} (m)	5 ^{ος} (m)	R_b	R_L	R_D (km ⁻¹)	R_N (km ⁻¹)	S_C (%)
Σ.	67	18	5	1		17765.92	13235.49	6150.02	5484.38		4.013	2.612	2.425	5.175	12.67
Ξ.	64	14	4	1		14860.97	9172.66	4434.73	7013.14		3.947	2.93	2.983	6.977	13.8
Β.	205	59	14	3	1	48310.23	30175.12	14941.13	2335.45	103969.45	3.906	2.121	3.223	8.742	11.08

Οι υψηλές τιμές του συντελεστή διακλάδωσης πιστοποιούν την επιμήκη μορφή των λεκανών απορροής.

Ο συντελεστής διακλάδωσης λαμβάνει υψηλές τιμές (3.906-4.013), ως αποτέλεσμα της ενεργής τεκτονικής και της μικρής διαπερατότητας των σχηματισμών.

Οι υψηλές τιμές της υδρογραφικής πυκνότητας και συχνότητας υποδεικνύουν ένα καλά αναπτυγμένο υδρογραφικό δίκτυο με υψηλές απορροές και χαμηλές τιμές κατείδυσης και κατ' επέκταση υψηλή διάβρωση.

Οι σχετικά μικρές τιμές της μέσης κλίσης των ρευμάτων (11.08-13.8%) υποδηλώνουν χαμηλές ταχύτητες ροής.

Σύμφωνα με τον πρώτο και το δεύτερο νόμο του Horton, υπολογίστηκαν τα θεωρητικά αναμενόμενα πλήθος και μέσο μήκος των κλάδων, αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα φαίνονται στο σχήμα 2.6. Θετικές τιμές απόκλισης υποδεικνύουν την ύπαρξη περισσότερων κλάδων και μεγαλύτερου μέσου μήκους αντίστοιχα, ενώ αρνητικές τιμές απόκλισης υποδεικνύουν λιγότερους κλάδους και μικρότερα μέσα μήκη αντίστοιχα.

Σχήμα 2.6: Απόκλισεις του πλήθους (α) και του μέσου μήκους (β) των κλάδων από τις θεωρητικά αναμενόμενες τιμές, βάσει του 1^{ου} και 2^{ου} νόμου του Horton αντίστοιχα

Όπως προκύπτει από το παραπάνω σχήμα (2.6α), οι κλάδοι του υδρογραφικού δικτύου παρουσιάζουν θετικές τιμές απόκλισης ή ελάχιστα αρνητικές, που σημαίνει ότι το υδρογραφικό δίκτυο είναι καλά αναπτυγμένο (εκτός από τους κλάδους πρώτης τάξης του χείμαρρου Βολιναίου οι οποίες εμφανίζουν υψηλή αρνητική απόκλιση).

Από το σχήμα 2.6β προκύπτει ότι οι κλάδοι πρώτης και δεύτερης τάξης παρουσιάζουν μικρότερα μέσα μήκη, σε αντίθεση με τους κλάδους τρίτης, τέταρτης και πέμπτης τάξης που εμφανίζουν

Στην εικόνα 2.3 παρουσιάζεται ο χάρτης σκιασμένου αναγλύφου της περιοχής έρευνας, όπου φαίνεται η κατανομή υψομέτρου στην περιοχή. Με βάση γεωμορφολογικά κριτήρια, στην περιοχή έρευνας μπορούν να διακριθούν τρεις ζώνες:

Α) η *πεδινή ζώνη* εκτείνεται από τις ακτές του Κορινθιακού κόλπου μέχρι και το υψόμετρο των 200 m, καλύπτοντας μία έκταση 18.382 km², που αντιστοιχεί στο 26.78% περίπου της συνολικής επιφάνειας της περιοχής.

Εικόνα 2.3: Χάρτης σκιασμένου αναγλύφου της περιοχής έρευνας

Β) η *ημιορεινή ζώνη* απαντάται στο κεντρικό τμήμα της περιοχής, νοτιότερα της πεδινής ζώνης και μέχρι το υψόμετρο των 600 m. Η περιοχή αυτή καταλαμβάνει μία έκταση 32.252 km², που αποτελεί το 47% περίπου της συνολικής επιφάνειας της περιοχής έρευνας.

Γ) η *ορεινή ζώνη*, με υψόμετρο μεγαλύτερο των 600 m, καταλαμβάνει το νότιο μέρος της περιοχής έρευνας με μία έκταση που ανέρχεται σε 17.992 km², που αποτελεί περίπου το 26.22% της συνολικής επιφάνειας.

Το τεκτονικό καθεστώς της περιοχής αποτελεί καθοριστικό παράγοντα στη διαμόρφωση και ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου (Εικόνα 2.4).

Εικόνα 2.4: Χάρτης υδρογραφικού δικτύου και δικτύου τεκτονικών ασυνεχειών της περιοχής έρευνας (Loftus & Τσόφλιας, 1971; Τσόφλιας, 1984; Dontsos et al., 1988)

Η επίδραση της τεκτονικής στην ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου μελετήθηκε με τη βοήθεια των ροδοδιαγραμμάτων που δημιουργήθηκαν για τις τάξεις των κλάδων καθώς και για το δίκτυο των τεκτονικών ασυνεχειών της περιοχής έρευνας (Σχήμα 2.7).

Σχήμα 2.7: Ροδοδιαγράμματα όλων των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου και των τεκτονικών ασυνεχειών

Από το παραπάνω σχήμα παρατηρείται πως η επικρατούσα διεύθυνση των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου είναι η ΔΝΔ-ΑΒΑ, που συμπίπτει με τη διεύθυνση των τεκτονικών ασυνεχειών της περιοχής. Όπως φαίνεται χαρακτηριστικά και στο χάρτη της εικόνας 2.4, ο κορμός του υδρογραφικού δικτύου των περισσότερων υδρολογικών λεκανών ακολουθεί, κατά κύριο λόγο, τις τεκτονικές γραμμές της περιοχής. Φαίνεται, λοιπόν, ότι το υδρογραφικό δίκτυο έχει αναπτυχθεί, κυρίως, κατά μήκος τεκτονικών ασυνεχειών, δεδομένου ότι αποτελούν επιφάνειες αδυναμίας, τις οποίες τα ρέοντα ύδατα μπορούν να

διαβρώσουν εύκολα και να σχηματίσουν κανάλια επιφανειακής απορροής. Ωστόσο, υπάρχουν κλάδοι του δικτύου που τέμνουν κάθετα τις τεκτονικές γραμμές.

Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό γνώρισμα της περιοχής έρευνας είναι η απουσία δέλτα στις εκβολές των ποταμοχείμαρρων. Το γεγονός αυτό συνδέεται με την κυριαρχία των διαβρωτικών διεργασιών των θαλάσσιων κυμάτων έναντι της απόθεσης των προσφερόμενων κλαστικών υλικών, τα έντονα παράκτια ρεύματα της περιοχής που διασπείρουν τα υλικά κατά μήκος της ακτής, τους έντονους ρυθμούς τεκτονικής ανύψωσης (Kontopoulos & Zelilidis, 1997) (Σχήμα 2.1) των ακτών της και της μείωσης του υλικού στο στόμιο του ποταμού λόγω ανθρωπογενών παρεμβάσεων (απολήψεις του υλικού της κοίτης που λαμβάνουν χώρα σε ανάντη σημεία της ακτής).

2.2.1 Λεκάνη Απορροής Χείμαρρου Σέλεμνου

Η έκταση της λεκάνης καλύπτει συνολικά 17.584 km². Το μέσο υψόμετρο της λεκάνης ανέρχεται σε 441.89 m, το υψόμετρο μέγιστης συχνότητας σε 250 m και το υψόμετρο 50% σε 287.83 m. Η μέγιστη υψομετρική διαφορά είναι 1607 m, η σχετική υψομετρική διαφορά είναι 6.79%, ο βαθμός αναγλύφου 0.159 και η μέση κλίση της λεκάνης 36.34% (Πίνακας 2.2).

Η πεδινή ζώνη της λεκάνης καλύπτεται από τις σύγχρονες προσχώσεις του Τεταρτογενούς, ενώ η ημιορεινή ζώνη καλύπτεται από τις Πλειοκαινικές και Πλειστοκαινικές αποθέσεις. Ο φλύσχος και οι ασβεστόλιθοι του Κρητιδικού καταλαμβάνουν την ορεινή ζώνη της λεκάνης.

Ο χείμαρρος Σέλεμνος πηγάζει από την οροσειρά Παναχαΐκό και εκβάλλει στον Κορινθιακό κόλπο, στο Ακρωτήριο Ρίο. Το υδρογραφικό δίκτυο είναι δενδριτικού τύπου.

Ο κορμός του χείμαρρου είναι 4^{ης} τάξεως κλάδος και αποτελείται από 67 κλάδους 1^{ης} τάξεως, 18 κλάδους 2^{ης} και 5 κλάδους 3^{ης} τάξεως. Ο συντελεστής διακλάδωσης ισούται με 4.013 και ο συντελεστής μήκυνσης με 2.612. Η πυκνότητα αποστράγγισης είναι ίση με 2.425 km⁻² και η υδρογραφική συχνότητα με 5.175 km⁻¹. Τέλος, η μέση κλίση της κοίτης του χείμαρρου ισούται με 12.67% (Πίνακας 2.3).

Από την εφαρμογή του πρώτου νόμου του Horton στο υδρογραφικό δίκτυο του Σέλεμνου (Σχήμα 2.4α) προέκυψε η εξίσωση:

$$\log N_u = 2.4537 - 0.6035u \quad (2.16)$$

Ο δεύτερος νόμος του Horton (Σχήμα 2.4β) εκφράζεται μαθηματικά από την εξίσωση:

$$\log \sum \bar{L}_u = 1.9872 + 0.417u \quad (2.17)$$

2.2.2 Λεκάνη Απορροής Χείμαρρου Ξυλοκέρα

Είναι η μικρότερη σε έκταση λεκάνη της περιοχής έρευνας, καλύπτοντας συνολικά 11.896 km². Το μέσο υψόμετρο ισούται με 611.99 m, η μέγιστη υψομετρική διαφορά με 1607 m και η σχετική υψομετρική διαφορά με 6.7%. Η λεκάνη του Ξυλοκέρα, σε σχέση με τις άλλες λεκάνες της περιοχής, παρουσιάζει τις

μεγαλύτερες τιμές υψομέτρου μέγιστης συχνότητας, υψομέτρου 50% και βαθμού αναγλύφου με τιμές 450 m, 446.84 m και 0.165 αντίστοιχα, ενώ η μέση κλίση της είναι ίση με 43.56% (Πίνακας 2.2).

Πρόκειται για μία σχετικά επιμήκη λεκάνη ($R_L=0.399$), το σχήμα της οποίας αποκλίνει σημαντικά από τον κύκλο ($R_C=0.26$). Ο κύριος άξονας της λεκάνης παρουσιάζει μια γενική ΒΔ-ΝΑ διεύθυνση, παράλληλη με τη γειτονική διεύθυνση της λεκάνης του Σέλεμνου. Η λεκάνη του Ξυλοκέρα χωρίζει τις υδρολογικές λεκάνες του Σέλεμνου και του Βολιναίου στο κεντρικό τμήμα της περιοχής (Εικόνα 2.3).

Οι σύγχρονες προσχώσεις του Τεταρτογενούς καλύπτουν την πεδινή ζώνη της λεκάνης και οι αποθέσεις Πλειοκαίνου – Πλειστοκαίνου την ημιορεινή ζώνη. Την ορεινή ζώνη καλύπτουν οι ασβεστόλιθοι και ο φλύσχης.

Ο χείμαρρος Ξυλοκέρας πηγάζει από την οροσειρά Παναχαϊκό και εκβάλλει στον Κορινθιακό κόλπο δυτικά του χείμαρρου Σέλεμνου και σε απόσταση μόλις 0.5 km απ' αυτόν.

Το υδρογραφικό δίκτυο της λεκάνης, που είναι δενδριτικού τύπου, αποτελείται από 64 κλάδους 1^{ης} τάξεως, 14 κλάδους 2^{ης} και 4 κλάδους 3^{ης} τάξεως, ενώ ο κορμός του είναι ένας 4^{ης} τάξεως κλάδος. Οι τιμές του συντελεστών διακλάδωσης και μήκυνσης είναι αντίστοιχα 3.947 και 2.93, ενώ η υδρογραφική πυκνότητα και συχνότητα είναι ίσες με 2.983 και 6.977 (Πίνακας 2.3). Η μέση κλίση του κορμού του δικτύου ισούται με 13.8%.

Η εξίσωση που περιγράφει τον πρώτο νόμο του Horton (Σχήμα 2.4α) έχει τη μορφή:

$$\log N_u = 2.3792 - 0.5963u \quad (2.18)$$

Η αντίστοιχη εξίσωση περιγραφής του δεύτερου νόμου του Horton (Σχήμα 2.4β) είναι:

$$\log \sum \bar{L}_u = 1.8511 + 0.4669u \quad (2.19)$$

2.2.3 Λεκάνη Απορροής Χείμαρρου Βολιναίου

Είναι η μεγαλύτερη σε έκταση λεκάνη της περιοχής και καλύπτει συνολικά 32.259 km². Γενικά, η λεκάνη του Βολιναίου είναι ημιορεινή με μέσο υψόμετρο 517.3 m, υψόμετρο μέγιστης συχνότητας 450 m και υψόμετρο 50% 379.04 m. Η μέγιστη υψομετρική διαφορά ισούται με 1621 m και η σχετική υψομετρική διαφορά με 4.76%. Ο βαθμός αναγλύφου είναι ίσος με 0.143 και η μέση κλίση με 44.46% (Πίνακας 2.2).

Ο μέγιστος άξονας της λεκάνης παρουσιάζει Β-Ν διεύθυνση (Εικόνα 2.3). Το πεδινό τμήμα της καλύπτουν οι Τεταρτογενείς αποθέσεις, το ημιορεινό οι Άνω Πλειοκαινικές και Πλειστοκαινικές αποθέσεις και το ορεινό ο φλύσχης και οι ασβεστόλιθοι του Κρητιδικού.

Ο χείμαρρος Βολιναίος, όπως και οι άλλοι χείμαρροι της περιοχής, πηγάζει από το Παναχαϊκό όρος και εκβάλλει στον Κορινθιακό κόλπο στο Ακρωτήριο Δρέπανο. Το υδρογραφικό δίκτυο είναι δενδριτικού τύπου.

Ο κορμός του χειμάρρου είναι 5^{ης} τάξεως και αποτελείται από 205 κλάδους 1^{ης} τάξεως, 59 κλάδους 2^{ης} τάξεως, 14 κλάδους 3^{ης} και 3 κλάδους 4^{ης} τάξεως. Ο συντελεστής διακλάδωσης ισούται με 3.906, ο συντελεστής μήκυνσης με 2.121, η πυκνότητα αποστράγγισης με 3.223 km⁻² και η υδρογραφική συχνότητα με 8.742. Τέλος, η μέση κλίση της κοίτης του χειμάρρου ισούται με 11.08% (Πίνακας 2.3).

Ο πρώτος νόμος του Horton (Σχήμα 2.5α) εκφράζεται από την εξίσωση:

$$\log N_u = 2.9163 - 0.5917u \quad (2.20)$$

Ο δεύτερος νόμος του Horton (Σχήμα 2.5β) περιγράφεται από την εξίσωση:

$$\log \sum \bar{L}_u = 2.0031 + 0.3266u \quad (2.21)$$

2.3 Εξέλιξη των Ποταμίων Συστημάτων του Δήμου Ρίου

Το δήμο Ρίου διατρέχουν τέσσερα ποτάμια: ο Χάραδρος, ο Σέλεμνος, ο Ξυλοκέρας και ο Βολινάιος. Τα ποτάμια αυτά, σύμφωνα με τους Alexander & Seger (1993) και Zelilidis (1998a), ανήκουν στο σύστημα συνεχούς ροής (antecedent) όπου η ροή τους δεν άλλαξε απ' τη στιγμή της δημιουργίας τους. Όμως, η ροή των ποταμών αυτών μπορεί να χωριστεί και να μελετηθεί σε δύο τμήματα εξαιτίας της γεωμορφολογικής τους ιδιαιτερότητας. Το ανώτερο τμήμα τους που διατρέχει το Προ-Νεογενές υπόβαστρο και τα Πλειο-Πλειστοκαινικά ιζήματα με έντονα ανάγλυφα, και το κατώτερο τμήμα τους που διατρέχει τις Ολοκαινικές αποθέσεις και χαρακτηρίζεται από ομαλά ανάγλυφα.

Σύμφωνα με τους Kontopoulos & Zelilidis (1997), τα ποτάμια αυτά κινούνται μέσα σε ρηξιγενείς ζώνες μετασχηματισμού (Εικόνα 2.5), λόγος που σύμφωνα με τον Zelilidis (1998a) συντελεί στην ανάπτυξη του τύπου antecedent. Επιπλέον, σύμφωνα με τους Kontopoulos & Zelilidis (1997), στο ανώτερο τμήμα των ποταμών αυτών και στην περιοχή όπου αναπτύσσονται τα Πλειο-Πλειστοκαινικά ιζήματα (Εικόνα 2.5), ο ρυθμός ανύψωσης φθάνει τα 0.6 cm/year και για το λόγο αυτό υπάρχουν έντονα ανάγλυφα. Στη δημιουργία των έντονων αναγλύφων βοηθάει και η υπαρξη συνεκτικών κροκαλοπαγών που αντιστέκονται στη διάβρωση.

Η πρόσφατη κατολίσθηση στην περιοχή του Πλατανίου έγινε μέσα σε μία τέτοια ρηξιγενή ζώνη μετασχηματισμού και βρίσκεται στην περιοχή μεταξύ του ανώτερου και κατωτέρου τμήματος του ποταμού Ξυλοκέρα. Συνεπώς, ο μεγάλος ρυθμός ανύψωσης στο ανώτερο τμήμα της λεκάνης απορροής των ποταμών, σε συνδυασμό με την υπαρξη ρηξιγενών ζωνών μετασχηματισμού, μπορεί να προκαλέσει στις περιοχές αυτές έντονα κατολισθητικά φαινόμενα (περιοχές Σελλών, Αργυρών, Άνω Καστριτσίου).

Στο κατώτερο τμήμα των ποταμών, όπου παρουσιάζονται χαμηλά ανάγλυφα και η πιο έντονη οικιστική ανάπτυξη του δήμου, υπάρχουν τα ενεργά ρήγματα που ελέγχουν την εξέλιξη του τμήματος αυτού των ποταμών (Εικόνα 2.5). Δύο κύρια κανονικά ρήγματα ΒΑ/Κής διεύθυνσης ελέγχουν την εξέλιξη του κατωτέρου τμήματος. Τα ρήγματα αυτά τοποθετούνται το ένα μπροστά απ' την παράκτια ζώνη και μέσα στη θάλασσα και το άλλο στην περιοχή όπου αλλάζει το ανάγλυφο της περιοχής (Κάτω Καστρίτσι,

Πλατάνι). Εξαιτίας της σύγχρονης δράσης των δύο αυτών ρηγμάτων, το τέμαχος που περιλαμβάνεται μεταξύ των δύο ρηγμάτων ανυψώνεται και στρίβει προς τα πίσω (νότια), με αποτέλεσμα στην παράκτια ζώνη να δημιουργείται σήμερα, και πιο έντονα στο μέλλον, ένας παράκτιος φραγμός. Ο παράκτιος αυτός φραγμός νόβεται απ' τα ρήγματα μετασχηματισμού και για το λόγο αυτό τα ποτάμια συνεχίζουν την αρχική τους πορεία χωρίς αλλαγή πορείας.

Εικόνα 2.5: Γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης όπου διακρίνονται οι ρηξιγενείς ζώνες και η κατανομή των Πλειο-Πλειστοκαινικών ιζημάτων (Kontopoulos & Zelilidis, 1997)

Σύμφωνα με τους Kontopoulos & Zelilidis (1997), το ίδιο φαινόμενο έλαβε χώρα και πριν 100000 χρόνια και το αποτέλεσμα αυτής της κατάστασης ήταν να δημιουργηθεί ένα λιμνοθαλάσσιο περιβάλλον ιζηματογένεσης στο τέμαχος που έστριβε προς τα πίσω (περιοχές Άνω Καστριτσίου, Αγ. Γεωργίου και Πλατανίου). Η επικοινωνία της θάλασσας, τότε, με τη λιμνοθάλασσα γινόταν μέσω των ρηγμάτων μετασχηματισμού όπου κινούντο και τα ποτάμια συστήματα. Με δεδομένο το υπαρκτό γεγονός του τότε, αλλά και του ίδιου τρόπου εξέλιξης του κατωτέρου τμήματος των ποταμών σήμερα, συμπεραίνεται ότι η πλατφόρμα πίσω απ' την ακτογραμμή, απ' τον πόδα (footwall) του πρώτου ενεργού ρήγματος στη

θάλασσα και έως την οροφή (hangingwall) του δευτέρου ρήγματος, σε συνδυασμό με την προς τα πίσω στροφή του, θα μετατραπεί σε λιμνοθάλασσα και η επικοινωνία της θάλασσας θα γίνεται πάλι μέσω των ρηγμάτων μετασχηματισμού, δηλαδή μέσω των σημερινών κοιτών των ποταμών. Το φαινόμενο αυτό μπορεί να επισπευσθεί απ' τον ανθρώπινο παράγοντα. Η απόφραξη δευτερευόντων αυλάκων των ποταμών έχει ως αποτέλεσμα τον μηδενισμό της απόθεσης ιζημάτων, που σε συνδυασμό με τη διάβρωση θα οδηγήσουν πιο γρήγορα την περιοχή σε αρνητικά ανάγλυφα και την αναγκαστική είσοδο της θάλασσας στην πλατφόρμα αυτή. Επιπλέον, το γεγονός της μετατροπής της περιοχής σε λιμνοθάλασσα θα οδηγήσει και την αλλαγή του τύπου των ποταμίων συστημάτων από antecedent σε ανάστροφο (reverse), δηλαδή τα ποτάμια συστήματα δεν θα συνεχίσουν να εκβάλλουν στη θάλασσα και στη θέση όπου σήμερα εκβάλλουν, αλλά θα στρίψουν και θα κινούνται παράλληλα με το δεύτερο κύριο ρήγμα. Η καταστροφή της παράκτιας ζώνης θα συνεχιστεί απ' τη στιγμή που θα σταματήσει η παροχή και απόθεση υλικού, ενώ η έντονη διάβρωση λόγω ρευμάτων που λαμβάνει χώρα στην περιοχή αυτή θα συνεχιστεί.

Για να μελετηθεί το φαινόμενο σε λεπτομέρεια απαιτείται η λεπτομερής γνώση των ρυθμών ανύψωσης, βύθισης, διάβρωσης και απόθεσης των ιζημάτων, έτσι ώστε να διαπιστωθεί πότε μπορεί χρονικά να συμβεί αυτό το φαινόμενο στην περιοχή. Είναι σίγουρο πως το φαινόμενο ξεκίνησε, το πότε όμως θα λάβει χώρα η είσοδος της θάλασσας, που δεν θα γίνει απότομα αλλά σταδιακά και πιθανά να ξεκινήσει με κάποιο έντονο φαινόμενο (σεισμός, πλημμύρες), είναι άγνωστο. Ένας σεισμός μπορεί να προκαλέσει γρήγορη ανύψωση στην οροφή του κυρίου ρήγματος στην παράκτια ζώνη και συνεπώς απότομη δημιουργία του φραγμού, ενώ η βύθιση στον πόδα του δευτέρου ρήγματος μπορεί προκαλέσει αρνητικά ανάγλυφα στην πλατφόρμα. Ένα πλημμυρικό γεγονός μπορεί να πλημμυρίσει την πλατφόρμα εξαιτίας της αδυναμίας των ποταμών να παροχετεύσουν και να εκτονώσουν το δυναμικό νερού και στερεού υλικού, είτε εξαιτίας της απόφραξης των δευτερευόντων αυλάκων, είτε λόγω περιορισμού της κοίτης της κύριας αυλάκας.

Επιπλέον, σύμφωνα με τον Zelilidis (1998b), η σημερινή πλατφόρμα αποτελεί το υπαεριώδες τμήμα ενός δελταϊκού ριπιδίου που σταδιακά αναπτύσσεται στο στενό Ρίου – Αντιρρίου και που στο μέλλον, μέσα από έντονα πλημμυρικά γεγονότα, το στενό αυτό θα γεμίσει από ιζήματα και θα κλείσει (σήμερα δεν υπάρχει ιζηματογένεση λόγω έντονων ρευμάτων).

Συμπερασματικά, φαίνεται πως τα ποτάμια συστήματα της περιοχής πρέπει να μελετηθούν σε λεπτομέρεια σε δύο περιοχές, την ανώτερη και την κατώτερη. Στην ανώτερη περιοχή τους εγκυμονούν κίνδυνοι κατολισθήσεων, λόγω λιθολογίας, ρυθμού ανύψωσης της περιοχής και έντονης τεκτονικής δραστηριότητας. Στην κατώτερη περιοχή τους εγκυμονούν κίνδυνοι πλημμυρικών γεγονότων και μετατροπή της περιοχής σε λιμνοθάλασσα εξαιτίας της απόφραξης δευτερευόντων αυλάκων, μείωσης του πλάτους των κυρίων αυλάκων και έντονης τεκτονικής δραστηριότητας.

2.4 Συμπεράσματα

Από τη γεωμορφολογική ανάλυση της περιοχής έρευνας, προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

Η περιοχή έρευνας περιλαμβάνει τις αυτοτελείς λεκάνες απορροής των χειμάρρων Σέλεμνου, Ξυλοκέρα και Βολιναίου και καταλαμβάνει έκταση 68.62 km². Οι λεκάνες είναι επιμήκεις και καταλαμβάνουν, κυρίως, την παράκτια και ημιορεινή ζώνη της περιοχής.

Το μέσο υψόμετρο της περιοχής είναι 480.74 m και η μέση κλίση είναι 42.04%, ως αποτέλεσμα τόσο του έντονου τεκτονισμού (ανύψωση της περιοχής), όσο και των σχηματισμών (συνεκτικοί) που δημιουργούν πρανή με έντονες κλίσεις. Έτσι, η διατήρηση ενός ισχυρού αναγλύφου αναζοπυρώνει τη δράση των εξωγενών παραγόντων (διάβρωση).

Το υδρογραφικό δίκτυο είναι καλά αναπτυγμένο και είναι δενδριτικού τύπου. Η παρουσία λιγότερων και μικρότερων κλάδων μικρότερης τάξης σε σχέση με τους κλάδους μεγαλύτερης τάξης, υποδηλώνει τη μετάβαση των κλάδων σε μεγαλύτερη τάξη. Οι υψηλές τιμές της υδρογραφικής πυκνότητας και συχνότητας υποδεικνύουν υψηλές απορροές με μεγάλους ρυθμούς διάβρωσης. Οι μικρές κλίσεις των ρευμάτων υποδηλώνουν χαμηλές ταχύτητες ροής.

Η ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου είναι συνυφασμένη με το δίκτυο των τεκτονικών ασυνεχειών της περιοχής έρευνας. Οι έντονοι ρυθμοί τεκτονικής ανύψωσης που προκαλούν στροφή της παράκτιας πλατφόρμας προς το νότο, με αποτέλεσμα να αποκτά αρνητική κλίση, σε συνδυασμό με τη δράση των θαλάσσιων κυμάτων και ρευμάτων καθώς και την απόληψη υλικού από τις κοιτές των χειμάρρων (που οδηγεί στη μείωση του προσφερόμενου υλικού), έχουν ως αποτέλεσμα την απουσία δέλτα στις εκβολές τους.

3 ΙΖΗΜΑΤΟΛΟΓΙΑ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΑΠΟΘΕΣΕΩΝ

Σκοπός του κεφαλαίου αυτού είναι ο προσδιορισμός των μορφομετρικών και ιστολογικών χαρακτηριστικών των επιφανειακών κόκκινων και των στατιστικών κοκκομετρικών παραμέτρων των υποεπιφανειακών ιζημάτων στις κοίτες των ρευμάτων της περιοχής έρευνας. Για το σκοπό αυτό επιλέχθηκαν συγκεκριμένες θέσεις στους χείμαρρους με σκοπό την όσο το δυνατό καλύτερη κάλυψη της περιοχής έρευνας. Έτσι, στο χείμαρρο Σέλεμνο επιλέχθηκαν οι θέσεις Σ1-Σ7, στο χείμαρρο Ξυλοκέρα οι θέσεις Ξ1-Ξ8 και στο χείμαρρο Βολιναίο οι θέσεις Β1-Β7 (Εικόνα 3.1). Συνολικά έγινε ανάλυση σε 44 δείγματα (22 επιφανειακά και 22 υποεπιφανειακά δείγματα).

Εικόνα 3.1: Θέσεις σταθμών δειγματοληψίας

3.1 Μεθοδολογία

3.1.1 Εργασία Υπαίθρου

3.1.1.1 Επιφανειακή Δειγματοληψία

Για τη μελέτη των μορφομετρικών χαρακτηριστικών των επιφανειακών κόκκων στις κοίτες των χειμάρρων της περιοχής μελέτης, πραγματοποιήθηκε συλλογή κόκκων από την επιφάνεια της κοίτης των ρευμάτων σε συγκεκριμένους σταθμούς δειγματοληψίας.

Σε κάθε σταθμό δειγματοληψίας πραγματοποιήθηκε συστηματική δειγματοληψία κατά μήκος παράλληλων αριθμημένων ταινιών (Wohl et al., 1996), με χρήση δειγματοληπτικού πλαισίου (Εικόνα 3.2). Το βήμα της δειγματοληψίας έχει καθοριστεί να είναι μεγαλύτερο από τον άξονα b της μέγιστης διαμέτρου ($D_{\max}$) ώστε να αποφεύγονται διπλές μετρήσεις των κόκκων μεγάλου μεγέθους. Η λήψη των δειγμάτων γίνεται ακριβώς κάτω από τα σημεία όπου διασταυρώνονται οι ελαστικές ταινίες του πλαισίου, οι οποίες έχουν δυνατότητα να αλλάζουν θέση ανάλογα με το βήμα της δειγματοληψίας. Το πλαίσιο μετακινείται κατά μήκος της αριθμημένης ταινίας που, μετά τη λήξη της δειγματοληψίας, μετακινείται παράλληλα στην επόμενη θέση. Ο ελάχιστος αριθμός κόκκων που πρέπει να συλλεχθεί είναι 100 (Wolman, 1954; Hey & Thorne, 1983). Βελτίωση στην ακρίβεια των αναλύσεων μπορεί να πραγματοποιηθεί με τη συλλογή περίπου 400 κόκκων (Rice & Church, 1996).

Εικόνα 3.2: Πλαίσιο δειγματοληψίας επιφανειακών κόκκων (Bunte & Abt, 2001)

3.1.1.2 Υποεπιφανειακή Δειγματοληψία

Για τη μελέτη των υποεπιφανειακών ιζημάτων συλλέχθηκε καθορισμένο δείγμα (Church et al., 1987), το βάθος του οποίου καθορίζεται από το βάθος D_e (Σχήμα 3.1). Το D_e είναι το βάθος στο οποίο εκτείνεται το κατώτερο τμήμα ενός μεγάλου κόκκου, μέσα στο ιζηματογενές στρώμα. Το βάθος δειγματοληψίας ποικίλει και εξαρτάται από το σχήμα και τη θέση του μεγάλου κόκκου. Έτσι, αν ο

μεγάλος κόκκος είναι δισκοειδής και σχεδόν οριζόντιος, το βάθος είναι σχετικά μικρό και ίσο με τον άξονα c . Αντίθετα, αν ο κόκκος είναι επιμήκης και βρίσκεται σε κατακόρυφη θέση, τότε το βάθος δειγματοληψίας είναι μεγαλύτερο και ισούται με τον άξονα a .

Σχήμα 3.1: Σχηματική απεικόνιση της σχέσης μεταξύ βάθους D_e και βάθους υποεπιφανειακής δειγματοληψίας (Winema National Forest, 1998)

Το βάρος του υποεπιφανειακού δείγματος εξαρτάται από τον άξονα D_{max} και δίνεται από τη σχέση:

$$m = 2.87 D_{max} - 44.8 \quad (3.1)$$

όπου m το βάρος του δείγματος που πρέπει να ληφθεί (Σχήμα 3.2).

Σχήμα 3.2: Ελάχιστο βάρος δειγματοληψίας για διαφορετικές τιμές του D_{max} ($D_{max}=0.1\%m$ για $D_{max}<32mm$, $D_{max}=1\%m$ για $D_{max}<128mm$ και $D_{max}=5\%m$ για $D_{max}>128mm$) (Church et al., 1987)

Κατόπιν, το υλικό κοσινίστηκε και υποδιαιρέθηκε (Εικόνα 3.3) προκειμένου να αποφευχθεί η μεταφορά μεγάλου όγκου ιζήματος στο εργαστήριο.

Εικόνα 3.3: Μεριστής υλικού ογκομετρικής δειγματοληψίας (Ibbeken, 1974)

3.1.2 Εργαστηριακές Μέθοδοι

Ο προσδιορισμός των τριών αξόνων των κόκκων έγινε βάσει της σχηματικής απεικόνισης 3.3. Η μέτρηση των αξόνων έγινε με τη χρήση μετροταινίας, παχύμετρου και τρισιδιάστατου κροκαλόμετρου (Εικόνα 3.4).

Σχήμα 3.3: (α) Προσδιορισμός των αξόνων ενός κόκκου (Υυζγκ, 1986; Υυζγκ & Winkler, 1991), (β) ασυμφωνία στον προσδιορισμό των αξόνων a και b για ρομβικούς, ακανόνιστους ελλειψοειδείς και ελλειψοειδείς κόκκους

Εικόνα 3.4: Μέτρηση των αξόνων με τη χρήση κροκαλόμετρου (Ibbeken & Denzer, 1988)

Επίσης, μελετήθηκαν και προσδιορίστηκαν το σχήμα, η στρογγύλωση και η σφαιρικότητα των κόκκων. Για τον προσδιορισμό της σφαιρικότητας των κόκκων χρησιμοποιήθηκε ο τύπος (Sneed & Folk, 1958):

$$\left(\frac{c^2}{ab} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (3.2)$$

όπου a , b και c οι τρεις άξονες των κόκκων, ενώ για την ταξινόμηση του σχήματος χρησιμοποιήθηκε το διάγραμμα του Zingg (1935), με τις μετατροπές που υπέστη από τον Krumbein (1941) (Σχήμα 3.4). Για τον προσδιορισμό της στρογγυλότητας των κόκκων χρησιμοποιήθηκε ο οπτικός χάρτης του Krumbein (1941) (Σχήμα 3.5).

Σχήμα 3.4: α) Σχέση μεταξύ λόγου αξόνων και σχήματος κόκκων, και β) σχέση μεταξύ σφαιρικότητας και σχήματος κόκκων (ταξινόμηση Zingg, με τις μετατροπές που υπέστη από τον Krumbein (1941))

Σχήμα 3.5: Οπτικός χάρτης για τον υπολογισμό της στρογγυλότητας (Krumbein, 1941)

Στο υλικό της υποεπιφανειακής δειγματοληψίας που μεταφέρθηκε στο εργαστήριο έγινε κοκκομετρική ανάλυση με τη μέθοδο των κόσκινων.

Για τη μαθηματοποίηση των σχέσεων που συνδέουν τα επί τοις % ιστολογικά χαρακτηριστικά όλων των λιθολογικών τύπων με την απόσταση μεταφοράς, ερευνήθηκε η πιθανότητα υπακοής αυτών σε γραμμικές ή λογαριθμικές εξισώσεις. Από τις τιμές που προέκυψαν, χρησιμοποιήθηκαν αυτές που δείχνουν καλύτερη προσαρμογή ($R^2 > 0.80$). Λήφθηκαν υπόψη οι τρόποι στατιστικής επεξεργασίας και παρουσίασης που αναφέρονται στις εργασίες των Barndorff - Nielsen (1977), Church & Kellerhals (1978), Κοντόπουλος & Πανάγος (1979), Brierley & Hickin (1985), Rice & Church (1996), Petrie & Diplas (2000), Bevenger & King (1995), Potyondy & Bunte (2002).

Για τον έλεγχο των αποτελεσμάτων της λιθολογίας, της στρογγύλωσης και του σχήματος των κόκκων των δειγμάτων μεταξύ διαδοχικών σταθμών δειγματοληψίας καθώς και μεταξύ μη διαδοχικών σταθμών, πραγματοποιήθηκε η μέθοδος χ^2 . Με τη μέθοδο αυτή διαπιστώνεται αν οι διαφορές που εμφανίζουν τα αποτελέσματα των αναλύσεων μεταξύ διαφορετικών πληθυσμών είναι στατιστικώς σημαντικά. Η μέθοδος χ^2 πραγματοποιήθηκε για επίπεδο εμπιστοσύνης 0.05 (95%).

Η σύγκριση των τιμών των αριθμητικών μέσων και των τιμών της σφαιρικότητας των κροκαλών, που προσδιορίστηκαν, πραγματοποιήθηκε με τον έλεγχο MANN – WHITNEY U (Mann-Whitney U test) και για επίπεδο εμπιστοσύνης 0.05 (95%). Ο έλεγχος αυτός χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της διαφοράς μεταξύ δύο δειγμάτων και πραγματοποιήθηκε για τα δείγματα διαδοχικών σταθμών δειγματοληψίας καθώς και για δείγματα μη διαδοχικών σταθμών.

3.2 Θέσεις Σταθμών Δειγματοληψίας

3.2.1 Χείμαρρος Σέλεμνος

Κατά μήκος της κοίτης του κύριου ποτάμιου κλάδου επιλέχθηκαν 7 θέσεις δειγματοληψίας (Εικόνα 3.1) που καλύπτουν 6.562 χιλιόμετρα του ποτάμιου ρεύματος (Πίνακας 3.1). Στο σχήμα 3.6 προβάλλεται το ύψος κάθε σταθμού δειγματοληψίας σε σχέση με την απόσταση κατά μήκος της κύριας κοίτης του χείμαρρου.

Πίνακας 3.1: Θέσεις σταθμών δειγματοληψίας κατά μήκος της κύριας κοίτης

ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ ΣΤΑΘΜΟΥ	ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ (km)	ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΣΤΑΘΜΟΥ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΡΧΗ (km)	ΑΠΟΛΥΤΟ ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΣΤΑΘΜΟΥ (m)
Σ1	0	3.966	429.6
Σ2	1.05	5.016	300
Σ3	0.959	5.975	220.2
Σ4	0.896	6.871	186.3
Σ5	1.578	8.449	85.1
Σ6	1.321	9.77	23.7
Σ7	0.758	10.528	2.8

Σχήμα 3.6: Μεταβολή του ύψους των σταθμών δειγματοληψίας σε σχέση με την απόσταση

3.2.2 Χείμαρρος Ξυλοκέρας

Κατά μήκος της κοίτης του κύριου ρεύματος επιλέχθηκαν 8 θέσεις δειγματοληψίας (Εικόνα 3.1) που καλύπτουν 6.990 χιλιόμετρα του χείμαρρου (Πίνακας 3.2 και Σχήμα 3.7).

Πίνακας 3.2: Θέσεις σταθμών δειγματοληψίας κατά μήκος της κύριας κοίτης

ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ ΣΤΑΘΜΟΥ	ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ (km)	ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΣΤΑΘΜΟΥ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΡΧΗ (km)	ΑΠΟΛΥΤΟ ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΣΤΑΘΜΟΥ (m)
Ξ1	0	2.01	600
Ξ2	1.073	3.083	482.7
Ξ3	1.778	4.861	300
Ξ4	0.58	5.441	264.2
Ξ5	1.095	6.49	169.8
Ξ6	1.246	7.736	63.2
Ξ7	0.749	8.485	22.9
Ξ8	0.469	8.954	2.7

Σχήμα 3.7: Μεταβολή του ύψους των σταθμών δειγματοληψίας σε σχέση με την απόσταση

3.2.3 Χείμαρρος Βολινάιος

Κατά μήκος της κύριας αύλακας έχουν επιλεγεί 7 σταθμοί δειγματοληψίας (Εικόνα 3.1) που καλύπτουν 10.283 χιλιόμετρα του ρεύματος (Πίνακας 3.3 και Σχήμα 3.8).

Πίνακας 3.3: Θέσεις σταθμών δειγματοληψίας κατά μήκος της κύριας κοίτης

ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ ΣΤΑΘΜΟΥ	ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ (km)	ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΣΤΑΘΜΟΥ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΡΧΗ (km)	ΑΠΟΛΥΤΟ ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΣΤΑΘΜΟΥ (m)
B1	0	2.921	766
B2	0.732	3.653	573.9
B3	1.543	5.196	300
B4	2.174	7.37	232.7
B5	2.228	9.598	200
B6	1.422	11.02	82.9
B7	2.184	13.204	0.5

Σχήμα 3.8: Μεταβολή του ύψους των σταθμών δειγματοληψίας σε σχέση με την απόσταση

3.3 Ανάλυση Μορφομετρικών και Ιστολογικών Χαρακτηριστικών Επιφανειακών Ιζημάτων

Σε κάθε σταθμό δειγματοληψίας, ο αριθμός των κόκκων που συλλέχθηκαν κυμαίνεται μεταξύ 106-560. Συνολικά, συλλέχθηκαν και επεξεργάστηκαν 5,361 κόκκοι.

3.3.1 Αποτελέσματα Ανάλυσης της Λιθολογίας

Οι λιθολογικοί τύποι που απαντούν στις κοίτες των τριών ρευμάτων είναι ο ασβεστολιθικός, ο κερατολιθικός και ο ψαμμιτικός.

Προκειμένου να κατανοηθούν και να ερμηνευτούν σωστά τα αποτελέσματα της ανάλυσης της λιθολογίας, θεωρήθηκε σκόπιμο να υπολογιστεί η 'αναλογία του κερατόλιθου' (Plumley, 1948). Ο κερατόλιθος, η παρουσία του οποίου φαίνεται σε όλους τους σταθμούς δειγματοληψίας, είναι ο σκληρότερος εκ των τριών λιθολογικών τύπων και ο πιο ανθεκτικός στην τριβή, επομένως μπορεί να θεωρηθεί σαν μια 'σταθερά'. Με σημείο αναφοράς τη 'σταθερά' αυτή, μπορεί να υπολογιστεί η σχετική ανθεκτικότητα των υπολοίπων λιθολογιών στην τριβή και τη θραύση και επομένως να βγουν πιο ασφαλή αποτελέσματα από την απευθείας χρήση της επί τοις % λιθολογικής σύστασης.

Ο υπολογισμός της 'αναλογίας του κερατόλιθου' γίνεται με βάση τον τύπο (Plumley, 1948):

$$\frac{100K}{K+Y} \quad (3.3)$$

όπου K είναι ο αριθμός των κερατολιθικών κόκκων και Y ο αριθμός των κόκκων των υπολοίπων λιθολογιών.

Οι ασυνέχειες στην καμπύλη της 'αναλογίας του κερατόλιθου' για ένα λιθολογικό τύπο μπορεί να οφείλονται είτε στην τοπική ποικιλότητα του σταθμού δειγματοληψίας, είτε στην πλευρική εισροή νέου υλικού (φυσική 'μόλυνση' από επί παράπλευρους κλάδους του υδρογραφικού δικτύου και από τη διάβρωση της κύριας ποτάμιας αύλακας), είτε στην αλλαγή της ποσοτικής συμμετοχής των λιθολογικών τύπων εξαιτίας ανθρωπογενών παρεμβάσεων.

3.3.1.1 Χείμαρρος Σέλεμος

Ο λιθολογικός τύπος που επικρατεί στην κύρια ποτάμια αύλακα είναι ο ασβεστολιθικός με ποσοστό 65.17% κατά μέσο όρο, ακολουθεί ο κερατολιθικός με ποσοστό 31.44% και ο ψαμμιτικός μόλις με 3.39% κατά μέσο όρο. Στον πίνακα 3.4 παρουσιάζονται τα εκατοστιαία μεγέθη των τριών λιθολογικών τύπων για κάθε σταθμό δειγματοληψίας, ενώ στο σχήμα 3.9 φαίνονται οι μεταβολές της επί τοις % λιθολογικής σύστασης σε σχέση με την απόσταση κατά μήκος του ρεύματος.

Πίνακας 3.4: Λιθολογική επί τοις % σύσταση των κόκκων στις κοίτες των σταθμών δειγματοληψίας

ΣΤΑΘΜΟΣ	ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΙΚΟΙ ΚΟΚΚΟΙ	ΚΕΡΑΤΟΛΙΘΙΚΟΙ ΚΟΚΚΟΙ	ΨΑΜΜΙΤΙΚΟΙ ΚΟΚΚΟΙ
Σ1	50.94	46.23	2.83
Σ2	62.45	35.63	1.92
Σ3	62.45	35.57	1.98
Σ4	67.94	29.89	2.17
Σ5	73.73	19.49	6.78
Σ6	76.08	20.57	3.35
Σ7	62.62	32.71	4.67
ΣΥΝΟΛΟ	65.17	31.44	3.39

Σχήμα 3.9: Μεταβολή της επί τοις % λιθολογικής σύστασης σε σχέση με την απόσταση μεταφοράς

Μέχρι τον έκτο σταθμό δειγματοληψίας παρατηρείται σημαντική αύξηση του ποσοστού των ασβεστολιθικών κόκκων, την οποία ακολουθεί αξιοσημείωτη μείωση στον επόμενο και τελευταίο σταθμό. Το αντίθετο συμβαίνει με τους κερατολιθικούς κόκκους το ποσοστό των οποίων μειώνεται αισθητά μέχρι τον έκτο για να αυξηθεί στον έβδομο σταθμό. Αντίθετα, οι ψαμμιτικοί κόκκοι παρουσιάζουν σταθερή τιμή σε όλο το μήκος της κύριας αύλακας.

Η μέθοδος χ^2 έδειξε πως, τα δείγματα μεταξύ των διαδοχικών σταθμών δειγματοληψίας Σ4-Σ5 ($\chi^2=7.19>5.99=\chi^2_{\alpha/2}$) και μεταξύ των Σ6-Σ7 ($\chi^2=9.06>5.99=\chi^2_{\alpha/2}$) παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική διαφορά όσον αφορά τη λιθολογία. Επίσης, στατιστικά σημαντική διαφορά παρουσιάζουν και τα δείγματα των μη διαδοχικών σταθμών δειγματοληψίας Σ1-Σ4 ($\chi^2=8.27>5.99=\chi^2_{\alpha/2}$). Εφαρμόζοντας τη μέθοδο σύγκρισης ποσοστών προκύπτει ότι, η διαφορά στη λιθολογία μεταξύ των σταθμών Σ1-Σ4 οφείλεται τόσο στην αύξηση των ασβεστολίθων όσο και στην ταυτόχρονη μείωση των κερατόλιθων. Αυτό εξηγείται από φυσική ‘μόλυνση’ του χείμαρρου από πλευρικές εισροές, αφού μεταξύ των σταθμών αυτών παρεμβάλλονται αρκετοί επί μέρους κλάδοι του υδρογραφικού δικτύου.

Όσον αφορά τη σημαντική διαφορά στη λιθολογία μεταξύ των διαδοχικών σταθμών Σ4-Σ5, αυτή οφείλεται στη μείωση των κερατόλιθων, ενώ μεταξύ των σταθμών Σ6-Σ7 η διαφορά οφείλεται τόσο στην αύξηση των κερατόλιθων όσο και στην ταυτόχρονη μείωση των ασβεστολίθων. Οι διαφορές αυτές μπορούν να αποδοθούν στην παρουσία φυσικής ‘μόλυνσης’ μεταξύ των σταθμών Σ4 και Σ5 και σε ανθρωπογενείς παρεμβάσεις που λαμβάνουν χώρα στο χαμηλό τμήμα του χείμαρρου, όπου και βρίσκονται οι σταθμοί Σ6 και Σ7. Οι ανθρωπογενείς αυτές παρεμβάσεις συνίστανται σε καθαρισμό της κοίτης.

Στον πίνακα 3.5 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των υπολογισμών της ‘αναλογίας του κερατόλιθου’, ενώ στο σχήμα 3.10 φαίνονται οι μεταβολές της αναλογίας συναρτήσει της απόστασης.

Πίνακας 3.5: Υπολογισμός της αναλογίας του κερατόλιθου

ΣΤΑΘΜΟΣ	$100K/(K+A)$	$100K/(K+\Psi)$
Σ1	47.57	94.23
Σ2	36.33	94.9

ΣΤΑΘΜΟΣ	$100K/(K+A)$	$100K/(K+\Psi)$
Σ3	36.29	94.74
Σ4	30.56	93.22
Σ5	20.91	74.19
Σ6	21.29	86
Σ7	34.31	87.5

Σχήμα 3.10: Προβολή της 'αναλογίας του κερατόλιθου' σε σχέση με την απόσταση μεταφοράς

Στην καμπύλη της 'αναλογίας του κερατόλιθου' που προκύπτει για τους ασβεστολιθικούς κόκκους, παρατηρείται μία σταδιακή μείωση μέχρι τον έκτο σταθμό δειγματοληψίας που υποδηλώνει την εισροή νέου υλικού ασβεστολιθικής σύστασης μεταξύ των σταθμών. Στη συνέχεια, η τιμή της αναλογίας αυξάνεται μέχρι τον τελευταίο σταθμό, που πιστοποιεί τα φαινόμενα ανθρώπινης παρέμβασης που λαμβάνουν χώρα στους κατάντη σταθμούς (Σ6 και Σ7). Το ίδιο συμβαίνει και με τους ψαμμίτες, με τη διαφορά ότι στους τέσσερις πρώτους σταθμούς δεν παρατηρείται μεταβολή της αναλογίας, που σημαίνει πως η αναλογία τους παραμένει ανεπηρέαστη από την εισροή νέου υλικού.

3.3.1.2 Χείμαρρος Ξυλοκέρας

Ο λιθολογικός τύπος που επικρατεί κατά μήκος της κύριας αύλακας είναι ο ασβεστολιθικός με ποσοστό 79.51% κατά μέσο όρο, ακολουθεί ο κερατολιθικός με ποσοστό 14.05% και ο ψαμμιτικός με ποσοστό 6.44%. Στον πίνακα 3.6 παρουσιάζονται οι επί τοις % τιμές της λιθολογίας για κάθε θέση δειγματοληψίας και στο σχήμα 3.11 παρουσιάζονται οι μεταβολές της επί τοις % λιθολογικής σύστασης της ποτάμιας αύλακας σε σχέση με την απόσταση κατά τη διεύθυνση ροής του ρεύματος.

Πίνακας 3.6: Λιθολογική επί τοις % σύσταση των κόκκων στις κοίτες των σταθμών δειγματοληψίας

ΣΤΑΘΜΟΣ	ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΙΚΟΙ ΚΟΚΚΟΙ	ΚΕΡΑΤΟΛΙΘΙΚΟΙ ΚΟΚΚΟΙ	ΨΑΜΜΙΤΙΚΟΙ ΚΟΚΚΟΙ
Ξ1	76.21	16.74	7.05
Ξ2	79.11	13.04	7.85
Ξ3	80.84	10.48	8.68
Ξ4	80.44	13.88	5.68
Ξ5	75.60	15.55	8.85
Ξ6	77.69	16.04	6.27
Ξ7	88.76	6.98	4.26
Ξ8	77.46	19.69	2.85
ΣΥΝΟΛΟ	79.51	14.05	6.44

Σχήμα 3.11: Μεταβολή της επί τοις % λιθολογικής σύστασης σε σχέση με την απόσταση μεταφοράς

Στους πρώτους έξι σταθμούς το ποσοστό των ασβεστόλιθων είναι σχεδόν σταθερό. Στον έβδομο σταθμό παρατηρείται αύξηση των ασβεστόλιθων και στη συνέχεια μείωση μέχρι τον όγδοο και τελευταίο σταθμό. Οι κερατόλιθοι ακολουθούν ακριβώς την αντίθετη πορεία από αυτή των ασβεστόλιθων. Δηλαδή, μέχρι τον έκτο σταθμό παρουσιάζουν σταθερή τιμή για να μειωθούν στον έβδομο και να αυξηθούν μέχρι τον όγδοο σταθμό. Οι ψαμμίτες παρουσιάζουν σχεδόν σταθερή τιμή σε όλο το μήκος του κύριου ρεύματος, με εξαίρεση μικρές αυξομειώσεις (στατιστικά ασήμαντες). Το γεγονός ότι οι συμμετοχή των τριών λιθολογιών παραμένει σταθερή στους πρώτους πέντε σταθμούς δειγματοληψίας, δείχνει ότι ανάμεσά τους λαμβάνουν χώρα φαινόμενα πλευρικής ‘μόλυνσης’ από πλήθος κλάδων του υδρογραφικού δικτύου, που επιτρέπει τη διατήρηση των αναλογιών μεταξύ των τριών λιθολογικών τύπων.

Σύμφωνα με τη μέθοδο χ^2 , στατιστικά σημαντική διαφορά υπάρχει μεταξύ των δειγμάτων των διαδοχικών σταθμών $\Xi 6-\Xi 7$ ($\chi^2=13.8>5.99=\chi^2_{\text{κρισ}}$) και $\Xi 7-\Xi 8$ ($\chi^2=20.43>5.99=\chi^2_{\text{κρισ}}$). Μεταξύ των σταθμών $\Sigma 6-\Sigma 7$ οι διαφορές οφείλονται στη μείωση των κερατόλιθων και στην αύξηση των ασβεστόλιθων. Αντίθετα, μεταξύ των σταθμών $\Sigma 7-\Sigma 8$ η διαφορά οφείλεται στη μείωση των ασβεστόλιθων και την αύξηση των κερατόλιθων. Οι διαφορές αυτές αποδίδονται στις ανθρωπογενείς παρεμβάσεις που λαμβάνουν χώρα μεταξύ των σταθμών ($\Xi 6$, $\Xi 7$ και $\Xi 8$), οι οποίοι βρίσκονται στο χαμηλό τμήμα του χείμαρρου. Οι ανθρωπογενείς αυτές παρεμβάσεις αφορούν τον καθαρισμό της κοίτης της κύριας ποτάμιας αύλακας.

Στον πίνακα 3.7 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των υπολογισμών της ‘αναλογίας του κερατόλιθου’ και στο σχήμα 3.12 προβάλλεται η αναλογία αυτή σε σχέση με την απόσταση μεταφοράς.

Πίνακας 3.7: Υπολογισμός της αναλογίας του κερατόλιθου

ΣΤΑΘΜΟΣ	100K/(K+A)	100K/(K+Ψ)
Ξ1	18.01	70.37
Ξ2	14.15	62.39
Ξ3	11.48	54.69
Ξ4	14.72	70.97
Ξ5	17.06	63.74
Ξ6	17.11	71.91
Ξ7	7.29	62.07
Ξ8	20.27	87.36

Σχήμα 3.12: Προβολή της 'αναλογίας του κερατόλιθου' σε σχέση με την απόσταση μεταφοράς

Από την ανάλυση της καμπύλης της 'αναλογίας του κερατόλιθου' προκύπτει ότι, οι ασβεστολιθικοί κόκκοι παραμένουν σχεδόν ανεπηρέαστοι στους πρώτους έξι σταθμούς πιστοποιώντας τη 'μόλυνση' του χείμαρρου με εισροή νέου υλικού. Από τον έκτο σταθμό και μέχρι τον όγδοο και τελευταίο σταθμό, η καμπύλη παρουσιάζει ένα σχεδόν ανώμαλο σχήμα το οποίο και εξηγείται από την ανθρώπινη παρέμβαση που λαμβάνει χώρα στους σταθμούς αυτούς. Αντίθετα, οι ψαμμίτες δείχνουν να επηρεάζονται σε όλο το μήκος ρεύματος τόσο από την εισροή νέου υλικού όσο και από τις ανθρωπογενείς παρεμβάσεις.

3.3.1.3 Χείμαρρος Βολιναίος

Η επικρατούσα λιθολογική σύσταση της ποτάμιας κοίτης είναι η ασβεστολιθική με ποσοστό κατά μέσο όρο 65.96%, ακολουθεί η ψαμμιτική με 24.93% και η κερατολιθική με ποσοστό 9.11%. Στον πίνακα 3.8 δίνονται τα εκατοστιαία μεγέθη των λιθολογιών για κάθε σταθμό δειγματοληψίας, ενώ στο σχήμα 3.13 παρουσιάζονται οι μεταβολές της λιθολογικής σύστασης σε σχέση με την απόσταση μεταφοράς.

Πίνακας 3.8: Λιθολογική επί τοις % σύσταση των κόκκων στις κοίτες των σταθμών δειγματοληψίας

ΣΤΑΘΜΟΣ	ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΙΚΟΙ ΚΟΚΚΟΙ	ΚΕΡΑΤΟΛΙΘΙΚΟΙ ΚΟΚΚΟΙ	ΨΑΜΜΙΤΙΚΟΙ ΚΟΚΚΟΙ
B1	65.25	10.17	24.58
B2	67.73	6.36	25.91
B3	66.96	7.05	25.99
B4	67.80	5.93	26.27
B5	65	9.17	25.83
B6	62.30	12.30	25.40
B7	66.67	12.82	20.51
ΣΥΝΟΛΟ	65.96	9.11	24.93

Σχήμα 3.13: Μεταβολή της επί τοις % λιθολογικής σύστασης σε σχέση με την απόσταση μεταφοράς

Όλοι οι κόκκοι και των τριών λιθολογικών τύπων παρουσιάζουν σχετικά σταθερό ποσοστό σε όλο το μήκος της ποτάμιας αλύκαας με μικρές αυξομειώσεις. Η σύγκριση των δειγμάτων (με τη μέθοδο χ^2) από θέση σε θέση δειγματοληψίας έδειξε ότι τα ποσοστά των λιθολογιών δεν παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ τους. Αυτό μπορεί να δικαιολογηθεί από τη φυσική 'μόλυνση' που υφίσταται ο χείμαρρος μέχρι και τον έκτο σταθμό δειγματοληψίας από μεγάλο πλήθος παράπλευρων ποτάμιων κλάδων που επιτρέπει τη διατήρηση των αναλογιών μεταξύ των τριών λιθολογικών τύπων, ενώ για τους δύο τελευταίους σταθμούς η απόσταση δεν είναι ικανή ώστε να προκαλέσει κάποια αξιοσημείωτη διαφορά.

Στον πίνακα 3.9 δίνονται οι τιμές της 'αναλογίας του κερατόλιθου' και στο σχήμα 3.14 παρουσιάζονται οι μεταβολές της σε σχέση με την απόσταση.

Πίνακας 3.9: Υπολογισμός της αναλογίας του κερατόλιθου

ΣΤΑΘΜΟΣ	$100K/(K+A)$	$100K/(K+\Psi)$
B1	13.48	29.27
B2	8.59	19.72
B3	9.52	21.33
B4	8.06	18.42
B5	12.36	26.19
B6	16.48	32.61
B7	16.13	38.46

Σχήμα 3.14: Προβολή της 'αναλογίας του κερατόλιθου' σε σχέση με την απόσταση μεταφοράς

Οι καμπύλες που προκύπτουν δείχνουν πως, τόσο οι ασβεστόλιθοι όσο και οι ψαμμίτες επηρεάζονται από την πλευρική ‘μόλυνση’ στους πρώτους σταθμούς δειγματοληψίας, χωρίς ωστόσο να προκαλείται σημαντική μεταβολή στη λιθολογική σύσταση από σταθμό σε σταθμό.

3.3.2 Αποτελέσματα Ανάλυσης του Αριθμητικού Μέσου

Η μείωση του κοκκομετρικού μεγέθους προς τα κατάντη ενός ρεύματος οφείλεται, κυρίως, στην τριβή και τη θραύση καθώς και στη μείωση της κλίσης του ρεύματος. Πολλές φορές, όμως, η αλλαγή του κοκκομετρικού μεγέθους είναι ακανόνιστη και δεν ερμηνεύεται από μία συνεχή πτωτική καμπύλη. Αυτό οφείλεται κυρίως στη φυσική ‘μόλυνση’ του χείμαρρου από παραπόταμους ή και άλλες πηγές καθώς και στις ανθρωπογενείς παρεμβάσεις. Η σπουδαιότητα των παραπόταμων είναι μεγάλη (Church & Kellerhals, 1978; Knighton, 1980; Dawson, 1988), ωστόσο, όπως απέδειξε ο Rice (1998), δεν επιδρούν όλοι οι παραπόταμοι στην υφή των επιφανειακών ιζημάτων της κοίτης ενός ρεύματος.

Οι Rice & Church (1998) υποστήριξαν ότι, εκτός από τους παραπόταμους, άλλες πηγές τροφοδοσίας (καλλιεργούμενες εκτάσεις, αναβαθμίδες) είναι εξίσου ικανές να προκαλέσουν σημαντικές αλλαγές στη μεταβολή του κοκκομετρικού μεγέθους. Όσον αφορά τις ανθρωπογενείς παρεμβάσεις, η αύξηση του κοκκομετρικού μεγέθους προς τα κατάντη του ρεύματος υποδηλώνει έλλειψη πλευρικής τροφοδοσίας εξαιτίας π.χ. ενός φράγματος στο οποίο και συσσωρεύονται τα ιζήματα, καθώς και όπου υπάρχει σημαντική διεύθετηση της κοίτης του ρεύματος (Williams & Wolman, 1984; Sear, 1992).

3.3.2.1 Χείμαρρος Σέλεμνος

Υπολογίστηκε ο αριθμητικός μέσος (σε mm) των κόκκων όλων των λιθολογιών για κάθε σταθμό δειγματοληψίας (Πίνακας 3.10) και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο σχήμα 3.15.

Πίνακας 3.10: Τιμές αριθμητικού μέσου (σε mm) όλων των λιθολογικών τύπων κατά μήκος της κύριας κοίτης

ΣΤΑΘΜΟΣ	ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΙΚΟΙ ΚΟΚΚΟΙ	ΚΕΡΑΤΟΛΙΘΙΚΟΙ ΚΟΚΚΟΙ	ΨΑΜΜΙΤΙΚΟΙ ΚΟΚΚΟΙ	ΣΥΝΟΛΟ
Σ1	45.87	36.33	55.33	41.73
Σ2	41.64	35.16	54	39.57
Σ3	41.94	35.39	38.4	39.54
Σ4	40.42	36.35	39.75	39.19
Σ5	66.24	60.52	54.25	64.31
Σ6	54.28	59.63	52.71	55.33
Σ7	31.04	30.24	37	31.06

Σχήμα 3.15: Μεταβολή του αριθμητικού μέσου σε σχέση με την απόσταση μεταφοράς

Όπως φαίνεται στο σχήμα 3.15, ο αριθμητικός μέσος των ασβεστολιθικών και κερατολιθικών κόκκων παρουσιάζει σταθερή τιμή μέχρι τον τέταρτο σταθμό δειγματοληψίας. Η τιμή του αυξάνεται σημαντικά μέχρι και τον πέμπτο σταθμό, για να μειωθεί ξανά στον έβδομο (τελευταίο) σταθμό δειγματοληψίας. Ο αριθμητικός μέσος των ψαμμιτικών κόκκων μειώνεται σημαντικά από τον δεύτερο μέχρι τον τρίτο σταθμό δειγματοληψίας, ενώ από τον τέταρτο σταθμό μέχρι τον πέμπτο παρουσιάζει απότομη αύξηση και από τον έκτο προς τον έβδομο σταθμό παρουσιάζει απότομη μείωση.

Σύμφωνα με τον έλεγχο Mann – Whitney U, οι διαδοχικοί σταθμοί Σ4-Σ5 ($z=-5.867$, $z_{\text{κρισ}}=1.96$) και Σ6-Σ7 ($z=9.375$, $z_{\text{κρισ}}=1.96$) παρουσιάζουν σημαντική διαφορά στις τιμές του αριθμητικού μέσου, η οποία οφείλεται στην αύξηση του αριθμητικού μέσου των ασβεστολίθων και των κερατόλιθων μεταξύ των σταθμών Σ4-Σ5 και στη μείωση του αριθμητικού μέσου αυτών μεταξύ των σταθμών Σ6-Σ7. Επίσης, σημαντική διαφορά παρατηρείται και μεταξύ των σταθμών Σ1-Σ7 ($z=4.154$, $z_{\text{κρισ}}=1.96$) εξαιτίας της μείωσης του αριθμητικού μέσου των κερατόλιθων.

Η διακύμανση αυτή του αριθμητικού μέσου (για το σύνολο των λιθολογιών) μεταξύ των σταθμών αποδίδεται στη φυσική ‘μόλυνση’ του χείμαρρου μέχρι και τον τέταρτο σταθμό δειγματοληψίας. Η αύξηση του αριθμητικού μέσου στον πέμπτο σταθμό, σε σχέση προς τον τέταρτο σταθμό, οφείλεται τόσο στη φυσική ‘μόλυνση’ μεταξύ τέταρτου και πέμπτου σταθμού, η οποία προσφέρει αδρομερέστερο υλικό σε σχέση προς τον τέταρτο σταθμό, όσο και σε αλλαγές της κλίσης. Ειδικότερα, μέρος του πλέον αδρομερέστερου εκ της μολύνσεως υλικού αποτίθεται, λόγω απότομης αλλαγής της κλίσης, στην κορυφή του αλλουβιακού ριπιδίου και το υπόλοιπο και λιγότερο αδρομερέστερο, αλλά αδρομερέστερο σε σχέση με το υλικό του τέταρτου σταθμού, αποτίθεται στον πέμπτο σταθμό ο οποίος βρίσκεται εγγύτατα της κορυφής του αλλουβιακού ριπιδίου (430 m) με την οποία ο σταθμός αυτός παράγει κλίση μόλις μίας μοίρας. Η απόσταση αυτή καθώς και η κλίση μίας μοίρας, δεν επιτρέπουν να λειτουργήσει η διαδικασία της εκλεκτικής ταξινόμησης. Οι παρατηρηθείσες μεταβολές που λαμβάνουν χώρα στο χαμηλό τμήμα του χείμαρρου, όπου και βρίσκονται οι τελευταίοι σταθμοί (Σ6 και Σ7), οφείλονται στις ανθρωπογενείς παρεμβάσεις.

3.3.2.2 Χείμαρρος Ξυλοκέρας

Στον πίνακα 3.11 δίνονται οι τιμές του αριθμητικού μέσου των κόκκων όλων των λιθολογιών, ενώ στο σχήμα 3.16 παρουσιάζονται οι μεταβολές του συναρτήσει της απόστασης.

Πίνακας 3.11: Τιμές αριθμητικού μέσου (σε mm) όλων των λιθολογικών τύπων κατά μήκος της κύριας κοίτης

ΣΤΑΘΜΟΣ	ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΙΚΟΙ ΚΟΚΚΟΙ	ΚΕΡΑΤΟΛΙΘΙΚΟΙ ΚΟΚΚΟΙ	ΨΑΜΜΙΤΙΚΟΙ ΚΟΚΚΟΙ	ΣΥΝΟΛΟ
Ξ1	132.45	60.21	79.06	116.59
Ξ2	125.18	66.59	94.43	115.12
Ξ3	120.51	73.51	100.62	113.86
Ξ4	68.62	47.43	52.06	64.74
Ξ5	61.41	48.64	66.09	59.84
Ξ6	54.17	50.72	68.16	54.49
Ξ7	50.76	44.44	53.27	50.43
Ξ8	34.69	36.21	47.55	35.35

Σχήμα 3.16: Μεταβολή του αριθμητικού μέσου σε σχέση με την απόσταση μεταφοράς

Από την ανάλυση των καμπύλων που προκύπτουν, παρατηρείται μείωση του αριθμητικού μέσου σε όλο το μήκος της κύριας αύλακας του χείμαρρου. Η παρατηρούμενη συστηματική μείωση του αριθμητικού μέσου πιθανά να οφείλεται στην προοδευτική ταξινόμηση, παρά το γεγονός ότι υπάρχει εισροή υλικού η οποία επηρεάζει μόνο τη λιθολογία. Εντούτοις, η απουσία συστηματικής μείωσης του αριθμητικού μέσου στο γειτονικό χείμαρρο Σέλεμνο υποδηλώνει ότι η φυσική 'μόλυνση' κατά μήκος της κοίτης του χείμαρρου Ξυλοκέρα μιμείται το έργο της προοδευτικής ταξινόμησης. Ο αριθμητικός μέσος των ασβεστόλιθων υπακούει σε μία εξίσωση γραμμικής συμμεταβολής, αφού $R^2=0.89$, όπως και ο αριθμητικός μέσος του συνόλου των κόκκων με $R^2=0.86$.

Ο έλεγχος Mann – Whitney U έδειξε ότι σημαντική διαφορά παρουσιάζουν οι τιμές του αριθμητικού μέσου (για το σύνολο των λιθολογιών) των διαδοχικών σταθμών Ξ3-Ξ4 ($z=9.420$, $z_{\text{κρισ}}=1.96$), Ξ6-Ξ7 ($z=3.092$, $z_{\text{κρισ}}=1.96$) και Ξ7-Ξ8 ($z=4.559$, $z_{\text{κρισ}}=1.96$), καθώς και των μη διαδοχικών σταθμών Ξ1-Ξ4 ($z=7.474$, $z_{\text{κρισ}}=1.96$) και Ξ4-Ξ6 ($z=2.341$, $z_{\text{κρισ}}=1.96$). Η διαφορά μεταξύ των σταθμών Ξ3-Ξ4 οφείλεται στη σημαντική μείωση του αριθμητικού μέσου όλων των λιθολογιών, η οποία προκαλείται από τη φυσική 'μόλυνση' και σε πολύ μικρό βαθμό από τη μείωση της κλίσης της κοίτης (εκλεκτική ταξινόμηση), με αποτέλεσμα να βραδυπορούν οι μεγαλύτεροι κόκκοι. Η διαφορά μεταξύ των

σταθμών Ξ6-Ξ7 οφείλεται στη μείωση του αριθμητικού μέσου των ασβεστόλιθων και τους κερατόλιθων, ενώ μεταξύ των σταθμών Ξ7-Ξ8 τη διαφορά προκαλεί η μείωση του αριθμητικού μέσου των ασβεστόλιθων. Μεταξύ των σταθμών Ξ1-Ξ4 η διαφορά του αριθμητικού μέσου παίρνει τη μεγαλύτερη της τιμή και προκαλείται από το σύνολο των λιθολογιών, ενώ τη διαφορά μεταξύ των σταθμών Ξ4-Ξ6 προκαλεί η μείωση του αριθμητικού μέσου των ασβεστολιθικών κόκκων. Οι παραπάνω διαφορές μεταξύ των σταθμών δειγματοληψίας οφείλονται στη φυσική 'μόλυνση'.

3.3.2.3 Χείμαρρος Βολινάιος

Στον πίνακα 3.12 παρουσιάζονται οι τιμές του αριθμητικού μέσου όλων των λιθολογιών, ενώ στο σχήμα 3.17 φαίνονται οι μεταβολές του αριθμητικού μέσου σε σχέση με την απόσταση μεταφοράς.

Πίνακας 3.12: Τιμές αριθμητικού μέσου (σε mm) όλων των λιθολογικών τύπων κατά μήκος της κύριας κοίτης

ΣΤΑΘΜΟΣ	ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΙΚΟΙ ΚΟΚΚΟΙ	ΚΕΡΑΤΟΛΙΘΙΚΟΙ ΚΟΚΚΟΙ	ΨΑΜΜΙΤΙΚΟΙ ΚΟΚΚΟΙ	ΣΥΝΟΛΟ
B1	79.45	129.92	85.45	86.06
B2	63.15	94.79	70.46	67.06
B3	63.89	92.36	69.73	67.42
B4	49.01	48.86	55.58	50.73
B5	64.61	71.36	62.53	64.69
B6	75.20	78.27	61.81	72.17
B7	47.41	53.53	45.50	47.80

Σχήμα 3.17: Μεταβολή του αριθμητικού μέσου σε σχέση με την απόσταση μεταφοράς

Οι καμπύλες που προκύπτουν δείχνουν αξιοσημείωτη μείωση του αριθμητικού μέσου από τον πρώτο μέχρι και τον τέταρτο σταθμό δειγματοληψίας, σημαντική αύξηση από τον τέταρτο μέχρι και τον έκτο σταθμό δειγματοληψίας και μείωση μέχρι τον έβδομο σταθμό.

Η σύγκριση των αριθμητικών μέσων (του συνόλου των λιθολογιών) έδειξε πως μεταξύ των διαδοχικών σταθμών B1-B2 ($z=3.737$, $z_{\text{κρισ}}=1.96$) και B3-B4 ($z=3.171$, $z_{\text{κρισ}}=1.96$) και μεταξύ των μη διαδοχικών σταθμών B1-B4 ($z=5.999$, $z_{\text{κρισ}}=1.96$) υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά που οφείλεται στη μείωση του αριθμητικού μέσου των ασβεστόλιθων και μεταξύ των σταθμών B4-B5 ($z=-3.653$, $z_{\text{κρισ}}=1.96$) στην αύξησή του. Τέλος, μεταξύ των διαδοχικών σταθμών B6-B7 ($z=5.272$, $z_{\text{κρισ}}=1.96$) η

παρατηρούμενη μείωση του αριθμητικού μέσου, οφείλεται στη μείωση του αριθμητικού μέσου τόσο των ασβεστολιθικών όσο και των κερατολιθικών κόκκων.

Η μείωση του αριθμητικού μέσου μεταξύ των σταθμών B1-B2 μπορεί να αποδοθεί στην εκλεκτική ταξινόμηση εξαιτίας της μεγάλης κλίσης μεταξύ των σταθμών αυτών. Μεταξύ των σταθμών B2-B3, παρά την ύπαρξη επίσης μεγάλης κλίσης μεταξύ τους, δεν παρατηρείται στατιστικώς σημαντική διαφορά εξαιτίας της φυσικής 'μόλυνσης' μεταξύ των σταθμών. Η στατιστικά σημαντική μείωση του αριθμητικού μέσου μεταξύ των σταθμών B3-B4 καθώς και η αύξησή του μεταξύ των σταθμών B4-B5, θα πρέπει να αποδοθεί στη φυσική 'μόλυνση' και στην πολύ μικρή κλίση μεταξύ όλων αυτών των σταθμών. Η μείωση μεταξύ των B6-B7 οφείλεται, σε ένα βαθμό, στη δραστηριότητα της εκλεκτικής ταξινόμησης (η απόσταση μεταξύ των σταθμών είναι 2184 m και η κλίση δύο μοίρες), δεδομένου ότι απουσιάζει η φυσική 'μόλυνση'. Όμως, η ανθρωπογενής παρέμβαση μεταξύ των δύο αυτών σταθμών στη μορφή βαθμιδωτής διαμόρφωσης της κοίτης, οδηγεί στη μείωση της ταχύτητας της ροής και κατά συνέπεια στη μείωση του αριθμητικού μέσου στο σταθμό B7 σε σχέση με το βαθμό B6.

3.3.3 Αποτελέσματα Ανάλυσης της Στρογγυλότητας

Η στρογγυλότητα προσδιορίζει το ποσοστό καμπυλότητας ενός κόκκου (Schneiderhöhn, 1954) και λειτουργεί σαν μέσο εκτίμησης της τριβής. Στις πιο πολλές περιπτώσεις, η στρογγυλότητα είναι ένα απευθείας προϊόν της τριβής κατά τη διάρκεια της μεταφοράς της. Επομένως, η στρογγυλότητα εξαρτάται άμεσα από τη μεταφορά. Ακόμα, στη βελτίωση της στρογγυλότητας μπορεί να συμμετάσχει και η εκλεκτική ταξινόμηση (Pettijohn, 1957).

Ωστόσο, αρκετά πετρώματα (π.χ. βασάλτης) αποσυμπετρώνονται σε κομμάτια με μεγάλο βαθμό στρογγυλότητας στη διάρκεια της αποσάθρωσης, ενώ άλλα σχίζονται πιο εύκολα (στρωματοσιγενή ή σχιστοφυή) και θραύονται αρκετές φορές κατά τη διάρκεια της μεταφοράς στους, με αποτέλεσμα να 'επιβραδύνεται' η συνεχής αύξηση της στρογγυλότητας.

Οι Potter & Pettijohn (1963) υποστηρίζουν ότι η πλειονότητα των κροκαλών έχει, συνήθως, αποστρογγυλωθεί μετά από 15-30 km, ενώ κατά τον Pettijohn (1957) η πιο αξιοσημείωτη αύξηση της στρογγυλότητας συμβαίνει στα πρώτα 5-10 km μεταφοράς της. Τέλος, ο Krumbein (1941) με πειραματικά δεδομένα και ο Plumley (1948) με υπαίθριες παρατηρήσεις, διαπίστωσαν ότι η στρογγυλότητα μεταβάλλεται πιο άμεσα από τη σφαιρικότητα.

3.3.3.1 Χείμαρρος Σέλεμνος

Στον πίνακα 3.13 παρουσιάζονται οι επί τοις % αναλογίες των κόκκων για κάθε κλάση της στρογγυλότητας, ενώ στον πίνακα 3.14 αναγράφονται οι τιμές του βαθμού στρογγύλωσης των κόκκων όλων των λιθολογιών για κάθε σταθμό δειγματοληψίας, ενώ στο σχήμα 3.18 φαίνεται η εξέλιξή του κατά μήκος της κοίτης της ποτάμιας αύλακας.

Πίνακας 3.13: Ποσοστά επί τοις % των επί μέρους κλάσεων της στρογγυλότητας στις κοίτες των σταθμών δειγματοληψίας

ΣΤΑΘΜΟΣ	ΚΛΑΣΗ Α	ΚΛΑΣΗ Β	ΚΛΑΣΗ C	ΚΛΑΣΗ D	ΚΛΑΣΗ E
Σ1	19.81	49.06	26.42	4.72	0
Σ2	9.96	38.31	36.40	14.56	0.77
Σ3	9.88	35.97	37.15	16.21	0.79
Σ4	4.89	32.61	41.30	20.11	1.09
Σ5	10.17	26.27	39.83	19.49	4.24
Σ6	4.31	22.97	44.02	25.36	3.35
Σ7	7.48	24.77	33.64	30.84	3.27

Πίνακας 3.14: Μέσες τιμές του βαθμού στρογγυλότητας όλων των λιθολογικών τύπων κατά μήκος της κύριας κοίτης

ΣΤΑΘΜΟΣ	ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΙΚΟΙ ΚΟΚΚΟΙ	ΚΕΡΑΤΟΛΙΘΙΚΟΙ ΚΟΚΚΟΙ	ΨΑΜΜΙΤΙΚΟΙ ΚΟΚΚΟΙ	ΣΥΝΟΛΟ
Σ1	0.424	0.317	0.683	0.382
Σ2	0.517	0.363	0.710	0.466
Σ3	0.531	0.359	0.750	0.474
Σ4	0.552	0.397	0.750	0.510
Σ5	0.532	0.333	0.825	0.513
Σ6	0.576	0.415	0.807	0.551
Σ7	0.610	0.379	0.850	0.545

Σχήμα 3.18: Μεταβολή του βαθμού στρογγυλότητας με την απόσταση μεταφοράς

Από τις καμπύλες που προκύπτουν, παρατηρείται μια βαθμιαία αύξηση (με μικρές διακυμάνσεις) της στρογγυλότητας των κόκκων όλων των λιθολογικών τύπων από σταθμό σε σταθμό δειγματοληψίας. Ο βαθμός στρογγυλότητας των ασβεστολιθικών και των ψαμμιτικών κόκκων καθώς και του συνόλου των λιθολογικών τύπων, υπακούουν σε λογαριθμικές εξισώσεις ($R^2_{\text{ασβ}}=0.82$, $R^2_{\text{ψαμ}}=0.94$, $R^2_{\text{συν}}=0.91$). Αντίθετα, η μεταβολή της στρογγυλότητας των κερατολιθικών κόκκων δεν υπακούει σε κάποια κατανομή.

Η μέθοδος χ^2 έδειξε πως μεταξύ των διαδοχικών σταθμών Σ1-Σ2 ($\chi^2=17.1>9.49=\chi^2_{\text{κριθ}}$) και μεταξύ των μη διαδοχικών σταθμών Σ2-Σ5 ($\chi^2=10.20>9.49=\chi^2_{\text{κριθ}}$) υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά στις τιμές της στρογγυλότητας. Μεταξύ των σταθμών Σ1-Σ2 η διαφορά οφείλεται στη μείωση των κόκκων που ανήκουν στην κλάση Α (0.1-0.2) και στην αύξηση των κόκκων που ανήκουν στην κλάση D (0.7-0.8). Η διαφορά μεταξύ των σταθμών Σ2-Σ5 οφείλεται στη μείωση των κόκκων που ανήκουν στην κλάση Β (0.3-0.4).

Η παρουσία στατιστικά σημαντικών διαφορών (στο σύνολο των λιθολογιών) στις θέσεις μεταξύ Σ1-Σ2 και Σ2-Σ5 οφείλεται στη φυσική ‘μόλυνση’ και όχι στη διαδικασία της εκλεκτικής ταξινόμησης ή στη διαδικασία της θραύσης και της τριβής. Στις υπόλοιπες θέσεις, η μεταβολή του βαθμού στρογγυλότητας από θέση σε θέση δειγματοληψίας παραμένει στατιστικά ασήμαντη, αφού η δράση της φυσικής ‘μόλυνσης’ και των ανθρωπογενών παρεμβάσεων (στους σταθμούς Σ6 και Σ7) αντιτίθεται στις πιο πάνω διαδικασίες.

3.3.3.2 Χείμαρρος Ξυλοκέρας

Στους πίνακες 3.15 και 3.16 δίνονται αντίστοιχα τα ποσοστά των επί μέρους κλάσεων της στρογγυλότητας και οι τιμές του βαθμού στρογγύλωσης των κόκκων και στο σχήμα 3.19 παρουσιάζονται οι μεταβολές του σε σχέση με την απόσταση μεταφοράς.

Πίνακας 3.15: Ποσοστά επί τοις % των επί μέρους κλάσεων της στρογγυλότητας στις κοίτες των σταθμών δειγματοληψίας

ΣΤΑΘΜΟΣ	ΚΛΑΣΗ Α	ΚΛΑΣΗ Β	ΚΛΑΣΗ C	ΚΛΑΣΗ D	ΚΛΑΣΗ E
Ξ1	57.27	22.47	14.98	5.29	0
Ξ2	48.57	27.86	17.86	5.71	0
Ξ3	42.51	31.44	20.06	5.99	0
Ξ4	16.09	36.28	37.54	9.15	0.95
Ξ5	14.48	27.61	41.55	15.28	1.07
Ξ6	10.78	30.08	39.10	18.30	1.75
Ξ7	14.73	24.03	46.90	13.57	0.78
Ξ8	13.47	21.76	43.01	21.50	0.26

Πίνακας 3.16: Μέσες τιμές του βαθμού στρογγυλότητας όλων των λιθολογικών τύπων κατά μήκος της κύριας κοίτης

ΣΤΑΘΜΟΣ	ΛΣΒΕΣΤΟΛΙΘΙΚΟΙ ΚΟΚΚΟΙ	ΚΕΡΑΤΟΛΙΘΙΚΟΙ ΚΟΚΚΟΙ	ΨΑΜΜΙΤΙΚΟΙ ΚΟΚΚΟΙ	ΣΥΝΟΛΟ
Ξ1	0.267	0.229	0.638	0.287
Ξ2	0.300	0.205	0.605	0.311
Ξ3	0.321	0.179	0.585	0.329
Ξ4	0.446	0.268	0.694	0.435
Ξ5	0.484	0.278	0.708	0.472
Ξ6	0.509	0.313	0.710	0.49
Ξ7	0.479	0.239	0.732	0.473
Ξ8	0.545	0.276	0.714	0.497

Σχήμα 3.19: Μεταβολή του βαθμού στρογγυλότητας με την απόσταση μεταφοράς

Όπως φαίνεται στο σχήμα 3.19, η καμπύλη της στρογγυλότητας για τους ασβεστολιθικούς κόκκους αυξάνεται συνεχώς μέχρι και τον τελευταίο σταθμό, με εξαίρεση μικρή πτώση στον έβδομο σταθμό. Αντίθετα, οι κερατολιθικοί και οι ψαμμιτικοί κόκκοι παρουσιάζουν μείωση του βαθμού στρογγυλότητας μέχρι τον τρίτο σταθμό και στη συνέχεια αύξησή του στους επόμενους τρεις σταθμούς και μείωσή του στον τελευταίο σταθμό. Οι βαθμοί στρογγυλότητας των ασβεστολιθικών κόκκων καθώς και του συνόλου των λιθολογικών τύπων, υπακούουν σε εξισώσεις γραμμικής συμμεταβολής ($R^2=0.88$).

Αξιοσημείωτη διαφορά στις τιμές στρογγυλότητας του συνόλου των λιθολογιών παρατηρείται μεταξύ των σταθμών Ξ3-Ξ4 ($\chi^2=62.15>9.49=\chi^2_{\text{κρισ}}$), Ξ4-Ξ5 ($\chi^2=10.26>9.49=\chi^2_{\text{κρισ}}$), Ξ6-Ξ7 ($\chi^2=9.54>9.49=\chi^2_{\text{κρισ}}$) καθώς και Ξ1-Ξ3 ($\chi^2=12.03>9.49=\chi^2_{\text{κρισ}}$). Η διαφορά μεταξύ των σταθμών Ξ1-Ξ3 προκαλείται από τη μείωση των κόκκων που ανήκουν στην κλάση Α (0.1-0.2) και από την αύξηση των κόκκων που ανήκουν στην κλάση Β (0.3-0.4). Η διαφορά της στρογγυλότητας μεταξύ των σταθμών Ξ3-Ξ4 οφείλεται στη μείωση των κόκκων της κλάσης Α (0.1-0.2) και στην αύξηση των κόκκων της κλάσης C (0.4-0.5) και μεταξύ των σταθμών Ξ4-Ξ5 στη μείωση των κόκκων της κλάσης Β (0.3-0.4) και στην αύξηση των κόκκων της κλάσης D (0.7-0.8). Τέλος, η διαφορά μεταξύ των σταθμών Ξ6-Ξ7 οφείλεται στην αύξηση των κόκκων που ανήκουν στην κλάση C (0.5-0.6).

Η γενικώς παρατηρούμενη βελτίωση της στρογγυλότητας από θέση σε θέση δειγματοληψίας, οφείλεται στη φυσική 'μόλυνση' η οποία από θέση σε θέση 'μολύνει' κάθε φορά με κλάση υψηλότερου βαθμού στρογγυλότητας. Η παρατηρούμενη μείωση της στρογγυλότητας από το σταθμό Ξ5 στο σταθμό Ξ7 οφείλεται στον ανθρωπογενή παράγοντα.

3.3.3.3 Χείμαρρος Βολινάιος

Στον πίνακα 3.17 παρουσιάζονται τα ποσοστά των επί μέρους κλάσεων της στρογγυλότητας και στον πίνακα 3.18 δίνονται οι τιμές του βαθμού στρογγύλωσης όλων των λιθολογικών τύπων, ενώ στο σχήμα 3.20 φαίνονται οι μεταβολές του κατά μήκος της κύριας ποτάμιας αύλακας.

Πίνακας 3.17: Ποσοστά επί τοις % των επί μέρους κλάσεων της στρογγυλότητας στις κοίτες των σταθμών δειγματοληψίας

ΣΤΑΘΜΟΣ	ΚΛΑΣΗ Α	ΚΛΑΣΗ Β	ΚΛΑΣΗ C	ΚΛΑΣΗ D	ΚΛΑΣΗ E
B1	1.69	21.19	49.15	22.88	5.08
B2	0.91	18.64	50.45	24.55	5.45
B3	1.32	17.18	51.54	24.67	5.29
B4	0.85	18.64	50.85	24.58	5.08
B5	3.33	18.33	45.00	27.08	6.25
B6	5.74	18.03	39.34	29.51	7.38
B7	1.71	14.53	35.90	41.03	6.84

Πίνακας 3.18: Μέσες τιμές του βαθμού στρογγυλότητας όλων των λιθολογικών τύπων κατά μήκος της κύριας κοίτης

ΣΤΑΘΜΟΣ	ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΙΚΟΙ ΚΟΚΚΟΙ	ΚΕΡΑΤΟΛΙΘΙΚΟΙ ΚΟΚΚΟΙ	ΨΑΜΜΙΤΙΚΟΙ ΚΟΚΚΟΙ	ΣΥΝΟΛΟ
B1	0.542	0.367	0.716	0.567
B2	0.546	0.364	0.722	0.580
B3	0.547	0.375	0.723	0.581

ΣΤΑΘΜΟΣ	ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΙΚΟΙ ΚΟΚΚΟΙ	ΚΕΡΑΤΟΛΙΘΙΚΟΙ ΚΟΚΚΟΙ	ΨΑΜΜΙΤΙΚΟΙ ΚΟΚΚΟΙ	ΣΥΝΟΛΟ
B4	0.543	0.379	0.718	0.579
B5	0.546	0.350	0.744	0.579
B6	0.550	0.337	0.769	0.580
B7	0.617	0.390	0.792	0.624

Σχήμα 3.20: Μεταβολή του βαθμού στρογγυλότητας με την απόσταση μεταφοράς

Από τις καμπύλες του σχήματος 3.20 προκύπτει αύξηση της στρογγυλότητας από τον τέταρτο μέχρι και τον τελευταίο σταθμό δειγματοληψίας για τους ψαμμίτες. Οι ασβεστολιθικοί κόκκοι παρουσιάζουν αύξηση μόνο από τον έκτο προς τον έβδομο σταθμό, ενώ για τους κερατολιθικούς παρατηρείται μείωση μεταξύ τέταρτου και έκτου σταθμού. Οι ψαμμιτικοί κόκκοι παρουσιάζουν καλή προσαρμογή σε γραμμική εξίσωση ($R^2=0.83$).

Η σύγκριση των τιμών στρογγυλότητας μεταξύ των σταθμών δειγματοληψίας έδειξε σημαντική διαφορά μεταξύ των μη διαδοχικών σταθμών B1-B7 ($\chi^2=10.25>9.49=\chi^2_{\text{κρισ}}$) εξαιτίας της μείωσης των κόκκων της κλάσης C (0.5-0.6) και της αύξησης αυτών της κλάσης D (0.7-0.8) καθώς και μεταξύ των σταθμών B3-B7 ($\chi^2=11.65>9.49=\chi^2_{\text{κρισ}}$) όπου η διαφορά του βαθμού στρογγυλότητας οφείλεται στη μείωση των κόκκων της κλάσης C (0.5-0.6) και στην αύξηση των κόκκων της κλάσης D (0.7-0.8).

Η μεταβολή του βαθμού στρογγυλότητας (του συνόλου των λιθολογικών τύπων) από θέση σε θέση είναι στατιστικά ασήμαντη. Οι διαφορές μεταξύ μη διαδοχικών σταθμών και η απουσία διαφοράς από θέση σε θέση δειγματοληψίας, οφείλεται στη φυσική 'μόλυνση'. Η πιθανά αναμενόμενη δραστηριότητα της εκλεκτικής ταξινόμησης ή της τριβής και θραύσης στους δύο τελευταίους σταθμούς δειγματοληψίας εξαιτίας τη απουσίας της φυσικής μόλυνσης, απουσιάζει εξαιτίας της μικρής απόστασης μεταξύ των σταθμών και της παρουσίας βαθμιδωτής διαμόρφωσης της κοίτης.

3.3.4 Αποτελέσματα Ανάλυσης της Σφαιρικότητας

Η σφαιρικότητα των κόκκων κατά μήκος του ρεύματος εξαρτάται πρωταρχικά από τον εσωτερικό ανισοτροπισμό (στρώση, σχισμός) και δευτερευόντως από το αρχικό σχήμα των κόκκων (ανάλογα με το σχηματισμό από τον οποίο προέρχεται). Η σφαιρικότητα μεταβάλλεται, μέχρι ένα βαθμό, εξαιτίας της

δράσης της τριβής και της θραύσης. Ακόμα, πιστεύεται ότι η τριβή αυξάνει τη σφαιρικότητα και ότι τα ποτάμια τείνουν να αναπτύσσουν ραβδοειδείς κροκάλες.

Οι Sneed & Falk (1958) βρήκαν ότι ο κύριος παράγων για τη μεταβολή της σφαιρικότητας είναι η λιθολογία και ότι οι κερατολιθικές κροκάλες παρουσιάζουν πολύ μεγαλύτερη σφαιρικότητα από τις ασβεστολιθικές. Επιπλέον, διαπίστωσαν ότι για μεγάλη απόσταση μεταφοράς, οι μικρότερες κροκάλες αναπτύσσουν μεγαλύτερη σφαιρικότητα από τις μεγαλύτερες.

Οι Κοντόπουλος & Πανάγος (1979) διαπίστωσαν για τον ποταμό Εύηνο ότι, η σφαιρικότητα των ψαμμιτικών και των ασβεστολιθικών κροκαλών ελαττώνεται βαθμιαία με την απόσταση μεταφοράς, ενώ των κερατολιθικών παρουσιάζει αισθητή μείωση κοντά στις εκβολές του ποταμού. Ακόμα, διαπίστωσαν ότι και το μέσο κοκκομετρικό μέγεθος, όπως και η σφαιρικότητα, φθίνουν κατά μήκος του ποταμού, γεγονός που ενισχύει την άποψη ότι η εκλεκτική ταξινόμηση είναι ένας ακόμα παράγοντας που επηρεάζει τη μεταβολή της σφαιρικότητας.

Η εκλεκτική ταξινόμηση είναι δύσκολο να προσδιοριστεί, αφού δε μπορεί να συνδεθεί εύκολα με μεταφορά ή απόθεση ιζήματος. Υπάρχουν αντίθετες απόψεις για το αν οι σφαιρικοί (Krumbein, 1942) ή οι πεπλατυσμένοι κόκκοι (Bradley et al., 1972) μεταφέρονται πιο εύκολα. Ωστόσο, οι Komar & Li (1986) και οι Ashworth & Ferguson (1989) συμπέραναν ότι η σφαιρικότητα αυξάνεται με την απόσταση μεταφοράς.

Η μορφή ενός κόκκου εκφράζει την εξωτερική του μορφολογία (Gary et al., 1972) και για ορισμένους συγγραφείς είναι συνώνυμο του σχήματος, αναφέρεται δε στις αναλογίες μεταξύ των μηκών των τριών αξόνων του. Ο Zingg (1935) πρότεινε ένα ταξινομικό σχήμα που περιλαμβάνει τέσσερις κλάσεις: δισκοειδείς, σφαιρικές, πεπλατυσμένες (λεπιδοειδείς) και κυλινδρικές (ραβδοειδείς) κροκάλες. Οι σφαίρες έχουν μήκη αξόνων που είναι αρκετά έως σχεδόν όμοια. Στους δίσκους, ο μεγάλος και ο ενδιάμεσος άξονας είναι παραπλήσιου μεγέθους, ενώ ο μικρός άξονας είναι κατά πολύ μικρότερος. Στους ραβδόμορφους κόκκους, ο μέγιστος άξονας είναι κατά πολύ μεγαλύτερος από τους άλλους δυο. Τέλος, οι

λόγοι αξόνων των πεπλατυσμένων κόκκων ικανοποιούν τις ανισώσεις: $\frac{b}{a} < \frac{2}{3}$ και $\frac{c}{b} > \frac{2}{3}$.

3.3.4.1 Χείμαρρος Σέλεμνος

Η σφαιρικότητα των κόκκων ποικίλει ελαφρώς μεταξύ των τριών λιθολογικών τύπων. Στον πίνακα 3.19 παρατηρείται πως οι κερατολιθικοί κόκκοι δείχνουν καλύτερη μέση τιμή σφαιρικότητας απ' ότι οι υπόλοιποι λιθολογικοί τύποι. Συγκεκριμένα, οι ασβεστόλιθοι παρουσιάζουν μέση τιμή 0.708, οι κερατόλιθοι 0.728 και οι ψαμμίτες 0.715. Στο σχήμα 3.21 φαίνονται οι διακυμάνσεις της σφαιρικότητας σε σχέση με την απόσταση μεταφοράς.

Πίνακας 3.19: Μέσες τιμές σφαιρικότητας όλων των λιθολογικών τύπων καθώς και του συνόλου των κόκκων κατά μήκος της κύριας κοίτης

ΣΤΑΘΜΟΣ	ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΙΚΟΙ ΚΟΚΚΟΙ	ΚΕΡΑΤΟΛΙΘΙΚΟΙ ΚΟΚΚΟΙ	ΨΑΜΜΙΤΙΚΟΙ ΚΟΚΚΟΙ	ΣΥΝΟΛΟ
Σ1	0.727	0.711	0.683	0.718
Σ2	0.713	0.726	0.694	0.718
Σ3	0.710	0.731	0.745	0.718
Σ4	0.708	0.740	0.744	0.718
Σ5	0.683	0.717	0.747	0.694
Σ6	0.686	0.717	0.648	0.691
Σ7	0.729	0.755	0.746	0.739
ΣΥΝΟΛΟ	0.708	0.728	0.715

Σχήμα 3.21: Μεταβολή του βαθμού σφαιρικότητας με την απόσταση μεταφοράς

Από τις καμπύλες του παραπάνω σχήματος προκύπτει πως για τους ασβεστόλιθους ο βαθμός σφαιρικότητας μειώνεται μέχρι τον πέμπτο σταθμό, ενώ στη συνέχεια αυξάνεται από τον έκτο στον έβδομο σταθμό. Για τους κερατόλιθους, παρατηρείται αύξηση μέχρι τον τέταρτο σταθμό, στη συνέχεια μειώνονται στον πέμπτο και από τον έκτο μέχρι τον έβδομο αυξάνεται. Τέλος, για τους ψαμμίτες παρατηρείται αύξηση μέχρι τον τρίτο, απότομη πτώση από τον πέμπτο στον έκτο και απότομη αύξηση από τον έκτο στον έβδομο σταθμό.

Η ανάλυση των μέσων τιμών της σφαιρικότητας των κόκκων με τον έλεγχο Mann - Whitney U έδειξε σημαντική διαφορά μεταξύ των διαδοχικών σταθμών Σ4-Σ5 ($z=2.083$, $z_{\text{κρισ}}=1.96$), Σ6-Σ7 ($z=-4.513$, $z_{\text{κρισ}}=1.96$) καθώς και μεταξύ των μη διαδοχικών σταθμών Σ1-Σ6 ($z=2.040$, $z_{\text{κρισ}}=1.96$). Η διαφορά μεταξύ των σταθμών Σ1-Σ6 οφείλεται στη μείωση της σφαιρικότητας των ασβεστόλιθων και μεταξύ των σταθμών Σ6-Σ7 στην αύξηση της σφαιρικότητάς τους. Η διαφορά μεταξύ των σταθμών Σ4-Σ5 οφείλεται στην αλλαγή της σφαιρικότητας του συνόλου των λιθολογικών τύπων (μείωση της τιμής από τον τέταρτο προς τον πέμπτο σταθμό δειγματοληψίας).

Η παρατηρούμενη μείωση της σφαιρικότητας στο σύνολο των τριών λιθολογιών από τον Σ1 στον Σ6 οφείλεται στη φυσική 'μόλυνση', ενώ η παρατηρούμενη μείωση από τον Σ4 στον Σ5 οφείλεται στην αύξηση του αριθμητικού μέσου μεταξύ των δύο σταθμών λόγω φυσικής 'μόλυνσης', η οποία κατά συνέπεια δίνει κόκκους με καλύτερο βαθμό σφαιρικότητας. Η διαφορά μεταξύ των σταθμών Σ6-Σ7 οφείλεται στην ανθρωπίνη παρέμβαση.

Η ταξινόμηση του σχήματος των κόκκων υπολογίστηκε και προσδιορίστηκε με βάση το διάγραμμα του Zingg (Σχήμα 3.4) και δίνεται στο σχήμα 3.23. Από τα αποτελέσματα των υπολογισμών (Πίνακας 3.20) προκύπτει πως ο μέσος όρος των δισκοειδών κόκκων είναι 29.02%, των σφαιρικών 43.55%, των πεπλατυσμένων 7.81% και των κυλινδρικών 19.62%.

Πίνακας 3.20: Ποσοστά χαλίκων επί τοις % για κάθε σχήμα στις κοίτες των σταθμών δειγματοληψίας

ΣΤΑΘΜΟΣ	ΔΙΣΚΟΕΙΔΕΙΣ ΚΟΚΚΟΙ	ΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΚΟΚΚΟΙ	ΠΕΠΛΑΤΥΣΜΕΝΟΙ ΚΟΚΚΟΙ	ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΟΙ ΚΟΚΚΟΙ
Σ1	33.96	38.68	1.89	25.47
Σ2	27.20	44.83	8.05	19.92
Σ3	25.69	46.25	7.51	20.55
Σ4	22.83	47.83	10.33	19.02
Σ5	31.36	42.37	12.71	13.56
Σ6	38.28	33.97	7.66	20.10
Σ7	23.83	50.93	6.54	18.69
ΣΥΝΟΛΟ	29.02	43.55	7.81	19.62

Σχήμα 3.22: Μεταβολή του σχήματος των κόκκων με την απόσταση μεταφοράς

Από τις μεταβολές του σχήματος 3.22 στο σύνολο και των τριών λιθολογιών, προκύπτει πως το σχήμα των κόκκων παραμένει σχεδόν σταθερό σε όλο το μήκος του ρεύματος. Σύμφωνα με τον έλεγχο χ^2 , μεταξύ των σταθμών Σ6-Σ7 ($\chi^2=14.57>7.82=\chi^2_{\text{κριθ}}$), Σ1-Σ4 ($\chi^2=12.29>7.82=\chi^2_{\text{κριθ}}$) και Σ4-Σ6 ($\chi^2=13.01>7.82=\chi^2_{\text{κριθ}}$) παρουσιάζεται στατιστικά σημαντική διαφορά όσον αφορά το σχήμα των κόκκων. Οι διαφορές αυτές οφείλονται: α. στη μείωση των δισκοειδών κόκκων από τον Σ1 προς τον Σ4 και από τον Σ6 προς τον Σ7 και στην αύξησή τους από τον Σ4 προς τον Σ6 και β. στην αύξηση των σφαιρικών κόκκων από τον Σ1 προς τον Σ4 και από τον Σ6 προς τον Σ7 σταθμό και μείωση από τον Σ4 προς τον Σ6 δειγματοληψίας.

Η παρατηρούμενη στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των σταθμών Σ1-Σ4 οφείλεται στη φυσική 'μόλυνση', ενώ η ανάλογη διαφορά μεταξύ των σταθμών Σ4-Σ6 και των Σ6-Σ7 οφείλεται στην ανθρωπογενή παρέμβαση.

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται η ταξινόμηση του σχήματος των κόκκων όλων των λιθολογιών ανά σταθμό δειγματοληψίας.

Σχήμα 3.23: Ταξινόμηση του σχήματος των κόκκων στους σταθμούς δειγματοληψίας
(μπλε= ασβεστόλιθοι, μοβ= κερατόλιθοι, πράσινο= ψαμμίτες)
(I=δισκοειδείς, II=σφαιρικοί, III=πεπλατυσμένοι, IV=κυλινδρικοί κόκκοι)

3.3.4.2 Χείμαρρος Ξυλοκέρας

Όπως προκύπτει από τον πίνακα 3.21, οι κερατόλιθοι παρουσιάζουν καλύτερη μέση τιμή σφαιρικότητας από τους άλλους δύο τύπους. Η μέση τιμή σφαιρικότητας των ασβεστόλιθων κυμαίνεται στο 0.686, των κερατόλιθων στο 0.713 και των ψαμμιτών στο 0.688. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο σχήμα 3.24.

Πίνακας 3.21: Μέσες τιμές σφαιρικότητας όλων των λιθολογικών τύπων καθώς και του συνόλου των κόκκων κατά μήκος της κήριας κοίτης

ΣΤΑΘΜΟΣ	ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΙΚΟΙ ΚΟΚΚΟΙ	ΚΕΡΑΤΟΛΙΘΙΚΟΙ ΚΟΚΚΟΙ	ΨΑΜΜΙΤΙΚΟΙ ΚΟΚΚΟΙ	ΣΥΝΟΛΟ
Ξ1	0.672	0.690	0.706	0.678
Ξ2	0.689	0.712	0.704	0.693
Ξ3	0.700	0.737	0.710	0.704
Ξ4	0.678	0.705	0.678	0.682
Ξ5	0.683	0.705	0.669	0.685

ΣΤΑΘΜΟΣ	ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΙΚΟΙ ΚΟΚΚΟΙ	ΚΕΡΑΤΟΛΙΘΙΚΟΙ ΚΟΚΚΟΙ	ΨΑΜΜΙΤΙΚΟΙ ΚΟΚΚΟΙ	ΣΥΝΟΛΟ
Ξ6	0.689	0.727	0.667	0.694
Ξ7	0.690	0.748	0.692	0.695
Ξ8	0.683	0.682	0.679	0.683
ΣΥΝΟΛΟ	0.686	0.713	0.688

Σχήμα 3.24: Μεταβολή του βαθμού σφαιρικότητας με την απόσταση μεταφοράς

Παρατηρείται πως οι καμπύλες που προκύπτουν έχουν ένα σχεδόν ανώμαλο σχήμα, που δείχνει πως η σφαιρικότητα δε φαίνεται να σχετίζεται με την απόσταση μεταφοράς.

Στατιστικά σημαντική διαφορά παρατηρείται στις τιμές της σφαιρικότητας του συνόλου των λιθολογικών τύπων μεταξύ των σταθμών Ξ3-Ξ4 ($z=2.271$, $z_{\text{κρισ}}=1.96$) η οποία οφείλεται στη μείωση του βαθμού σφαιρικότητας και των τριών λιθολογικών τύπων. Επίσης, στατιστικά σημαντική διαφορά απαντά και μεταξύ των σταθμών Ξ1-Ξ3 ($z=-2.143$, $z_{\text{κρισ}}=1.96$) που οφείλεται στην αύξηση της σφαιρικότητας των ασβεστόλιθων.

Η στατιστικά σημαντική αύξηση της σφαιρικότητας μεταξύ των σταθμών Ξ1-Ξ3 οφείλεται στη φυσική 'μόλυνση'. Μεταξύ των σταθμών Ξ3-Ξ4 η φυσική 'μόλυνση' δημιουργεί αυξημένο αριθμητικό μέσο στο σταθμό Ξ4 σε σχέση με τον σταθμό Ξ3 και κατά συνέπεια οδηγεί στη μείωση του βαθμού σφαιρικότητας και των τριών λιθολογικών τύπων.

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι τιμές επί τοις % των ποσοστών των κόκκων για κάθε σχήμα, ενώ στο σχήμα 3.25 η μεταβολή των επί μέρους κλάσεων του σχήματος συναρτηθεί της απόστασης μεταφοράς. Οι δισκοειδείς εμφανίζονται σε ποσοστό 34.47%, οι σφαιρικοί σε ποσοστό 34.02%, οι πεπλατυσμένοι σε ποσοστό 10.52% και τέλος, οι κυλινδρικοί κόκκοι σε ποσοστό 20.99%.

Πίνακας 3.22: Ποσοστά χαλίκων επί τοις % για κάθε σχήμα στις κοίτες των σταθμών δειγματοληψίας

ΣΤΑΘΜΟΣ	ΔΙΣΚΟΕΙΔΕΙΣ ΚΟΚΚΟΙ	ΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΚΟΚΚΟΙ	ΠΕΠΛΑΤΥΣΜΕΝΟΙ ΚΟΚΚΟΙ	ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΟΙ ΚΟΚΚΟΙ
Ξ1	34.36	30.84	10.57	24.23
Ξ2	32.68	35.36	10	21.96
Ξ3	31.44	38.62	9.58	20.36
Ξ4	36.91	35.33	11.36	16.40
Ξ5	36.19	31.10	10.46	22.25
Ξ6	33.83	35.09	9.27	21.80
Ξ7	34.11	33.72	10.47	21.71

ΣΤΑΘΜΟΣ	ΔΙΣΚΟΕΙΔΕΙΣ ΚΟΚΚΟΙ	ΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΚΟΚΚΟΙ	ΠΕΠΛΑΤΥΣΜΕΝΟΙ ΚΟΚΚΟΙ	ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΟΙ ΚΟΚΚΟΙ
Ξ8	36.27	32.12	12.44	19.17
ΣΥΝΟΛΟ	34.47	34.02	10.52	20.99

Σχήμα 3.25: Μεταβολή του σχήματος των κόκκων με την απόσταση μεταφοράς

Το σχήμα των κόκκων και για τις τρεις λιθολογίες είναι σχεδόν σταθερό σε όλο το μήκος του ρεύματος. Η σύγκριση των ποσοστών επί τοις % των επί μέρους κλάσεων του σχήματος των κόκκων μεταξύ των σταθμών δειγματοληψίας δεν έδειξε κάποια σημαντική διαφορά. Στο παρακάτω σχήμα έχει γίνει ταξινόμηση του σχήματος των κόκκων για κάθε σταθμό δειγματοληψίας.

(συνέχεια)

Σχήμα 3.26: Ταξινόμηση του σχήματος των κόκκων στους σταθμούς δειγματοληψίας (μπλε= ασβεστόλιθοι, ροζ= κερατόλιθοι, πράσινο= ψαμμίτες)
(I=δισκοειδείς, II=σφαιρικοί, III=πεπλατυσμένοι, IV=κυλινδρικοί κόκκοι)

3.3.4.3 Χείμαρρος Βολινάιος

Από την ανάλυση της σφαιρικότητας (Πίνακας 3.23, Σχήμα 3.27) προκύπτει ότι η μέση τιμή για τους ασβεστόλιθους είναι 0.652, για τους κερατόλιθους 0.718 και για τους ψαμμίτες 0.659.

Πίνακας 3.23: Μέσες τιμές σφαιρικότητας όλων των λιθολογικών τύπων καθώς και του συνόλου των κόκκων κατά μήκος της κοίτης

ΣΤΑΘΜΟΣ	ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΙΚΟΙ ΚΟΚΚΟΙ	ΚΕΡΑΤΟΛΙΘΙΚΟΙ ΚΟΚΚΟΙ	ΨΑΜΜΙΤΙΚΟΙ ΚΟΚΚΟΙ	ΣΥΝΟΛΟ
B1	0.587	0.664	0.590	0.595
B2	0.621	0.674	0.635	0.628
B3	0.617	0.700	0.631	0.627
B4	0.652	0.746	0.665	0.661
B5	0.701	0.768	0.690	0.704
B6	0.677	0.732	0.674	0.683
B7	0.708	0.741	0.727	0.716
ΣΥΝΟΛΟ	0.652	0.718	0.659

Σχήμα 3.27: Μεταβολή του βαθμού σφαιρικότητας με την απόσταση μεταφοράς

Από τις καμπύλες που προκύπτουν από την προβολή του βαθμού σφαιρικότητας των τριών λιθολογιών με την απόσταση μεταφοράς, παρατηρείται συνεχής αύξηση του βαθμού σφαιρικότητας όλων των λιθολογικών τύπων, με εξαίρεση το σταθμό B6 όπου και παρατηρείται και για τις τρεις λιθολογίες απότομη μείωση. Επομένως, προκύπτει πως ο βαθμός σφαιρικότητας γενικώς μεταβάλλεται ομοιόμορφα με την απόσταση μεταφοράς. Οι τιμές της σφαιρικότητας των ασβεστολιθικών και των ψαμμιτικών

κόκκων υπακούν σε λογαριθμικές εξισώσεις ($R^2=0.91$ και $R^2=0.88$ αντίστοιχα), ενώ η τιμή της σφαιρικότητας του συνόλου των λιθολογιών υπακούει σε γραμμική εξίσωση συμεταβολής ($R^2=0.91$).

Από τη στατιστική ανάλυση των μέσων τιμών της σφαιρικότητας και των τριών λιθολογιών μεταξύ των σταθμών προκύπτει σημαντική διαφορά μεταξύ των σταθμών B1-B2 ($z=-2.083$, $z_{\text{κρισ}}=1.96$), B3-B4 ($z=-2.225$, $z_{\text{κρισ}}=1.96$), B4-B5 ($z=-3.046$, $z_{\text{κρισ}}=1.96$) και B6-B7 ($z=-1.991$, $z_{\text{κρισ}}=1.96$). Η διαφορά μεταξύ των σταθμών B1-B2 και B3-B4 οφείλεται στη μεταβολή της σφαιρικότητας του συνόλου των λιθολογικών τύπων, ενώ μεταξύ των σταθμών B4-B5 και B6-B7 οφείλεται στην αύξηση της σφαιρικότητας των ασβεστόλιθων.

Η παρατηρούμενη στατιστικά σημαντική αύξηση της σφαιρικότητας μεταξύ των σταθμών B1-B2 οφείλεται στην εκλεκτική ταξινόμηση, λόγω της παρουσίας μεγάλης κλίσης μεταξύ των σταθμών, η οποία παράγει μείωση του αριθμητικού μέσου μεταξύ των σταθμών (όπως έχει προαναφερθεί) και δικαιολογεί την παρατηρούμενη μεταβολή της σφαιρικότητας. Η στατιστικά σημαντική αύξηση μεταξύ των σταθμών B3-B4 οφείλεται στη φυσική 'μόλυνση' (όπως έχει προαναφερθεί) που παράγει μείωση του αριθμητικού μέσου από τον ένα σταθμό στον άλλο και επομένως δικαιολογεί την παρατηρούμενη αύξηση της σφαιρικότητας. Η σημαντική αύξηση της σφαιρικότητας μεταξύ των σταθμών B6-B7 μπορεί να αποδοθεί στην εκλεκτική ταξινόμηση καθώς και στην ανθρωπογενή παρέμβαση, που δικαιολογούν τη μείωση του αριθμητικού μέσου από το σταθμό B6 στο σταθμό B7 και κατά συνέπεια την παρατηρούμενη αύξηση της σφαιρικότητας. Η στατιστικά σημαντική αύξηση της σφαιρικότητας μεταξύ των σταθμών B4-B5, παρότι το γεγονός ότι εμφανίζεται στατιστικά σημαντική μείωση του αριθμητικού μέσου από τον B4 στον B5, θα πρέπει να αποδοθεί όχι μόνο στη φυσική μόλυνση, αλλά πιθανά και σε τοπική ποικιλότητα του σταθμού δειγματοληψίας.

Από την ανάλυση του σχήματος των κόκκων προκύπτει ότι, ο μέσος όρος των δισχοειδών κόκκων είναι 41.84%, των σφαιρικών 29.12%, των πεπλατυσμένων 9.51% και των κυλινδρικών 19.53% (Πίνακας 3.24). Η μεταβολή τους σε σχέση με την απόσταση μεταφοράς απεικονίζεται στο σχήμα 3.28.

Πίνακας 3.24: Ποσοστά χαλίκων επί τοις % για κάθε σχήμα στις κοίτες των σταθμών δειγματοληψίας

ΣΤΑΘΜΟΣ	ΔΙΣΧΟΕΙΔΕΙΣ ΚΟΚΚΟΙ	ΣΦΑΙΡΙΚΟΙ ΚΟΚΚΟΙ	ΠΕΠΛΑΤΥΣΜΕΝΟΙ ΚΟΚΚΟΙ	ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΟΙ ΚΟΚΚΟΙ
B1	58.47	16.95	10.17	14.41
B2	48.18	21.82	10.91	19.09
B3	48.02	22.91	11.89	17.18
B4	37.29	27.12	12.71	22.88
B5	31.67	39.58	8.33	20.42
B6	40.16	34.43	5.74	19.67
B7	29.06	41.03	6.84	23.08
ΣΥΝΟΛΟ	41.84	29.12	9.51	19.53

Σχήμα 3.28: Μεταβολή του σχήματος των κόκκων με την απόσταση μεταφοράς

Σύμφωνα με το παραπάνω σχήμα, παρατηρείται πως οι δισκοειδείς κόκκοι τείνουν να μειωθούν, ενώ αντίστοιχα αυξάνονται οι σφαιρικοί, ενώ σχεδόν σταθεροί παραμένουν οι πεπλατυσμένοι και οι κυλινδρικοί. Οι δισκοειδείς κόκκοι παρουσιάζουν καλή προσρμογή σε λογαριθμική εξίσωση ($R^2=0.85$), ενώ οι σφαιρικοί υπακούν σε γραμμική εξίσωση ($R^2=0.89$). Στατιστικά σημαντική διαφορά των επί τοις % των επί μέρους κλάσεων του σχήματος των κόκκων του συνόλου των λιθολογιών, παρατηρείται μεταξύ των σταθμών B1-B4 ($\chi^2=10.91 > 7.82 = \chi^2_{\text{κρια}}$) και οφείλεται στη σημαντική μείωση των δισκοειδών κόκκων. Η παρατηρούμενη αυτή στατιστικά σημαντική διαφορά οφείλεται, όπως έχει προαναφερθεί, στη στατιστικά σημαντική αύξηση της σφαιρικότητας μεταξύ των σταθμών.

Η ταξινόμηση του σχήματος των κόκκων όλων των λιθολογιών και για όλους τους σταθμούς δειγματοληψίας, παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα.

(συνέχεια)

Σχήμα 3.29: Ταξινόμηση του σχήματος των κόκκων στους σταθμούς δειγματοληψίας
(μπλε= ασβεστόλιθοι, μοβ= κερατόλιθοι, πράσινο= ψαμμίτες)
(I=δισκοειδείς, II=σφαιρικοί, III=πεπλατυσμένοι, IV=κυλινδρικοί κόκκοι)

3.4 Πολυμεταβλητή Στατιστική Ανάλυση

Η πολυμεταβλητή στατιστική ανάλυση (multicomponent statistical analysis) είναι μία μαθηματική μέθοδος στατιστικής επεξεργασίας δεδομένων που εφαρμόζεται πολύ συχνά σε διάφορους τομείς των Γεωεπιστημών, όπως στη γεωχημεία (Saagar & Esselaar, 1969), στην πετρογραφία (Häkli, 1970), στην τεχνική γεωλογία (Ζιούρκας & Κούκης, 1989; Taboada et al., 1997), στην περιβαλλοντική γεωλογία (Παπαθεοδώρου & Φερρεντίνος, 1994) και στην ιζηματολογία (Καρκάνας, 2006).

Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι ανάλυσης πολυμεταβλητών δεδομένων όπως οι συντελεστές συσχέτισης (correlation coefficients), η ανάλυση κύριων συνιστωσών (principal components analysis), η παραγοντική ανάλυση (factor analysis), η ανάλυση επιφανειών τάσης (trend surface analysis) και η ανάλυση διακριτότητας (discriminant analysis). Οι πολυμεταβλητές μέθοδοι επεξεργασίας δεδομένων μπορούν να χρησιμοποιηθούν όπως οι γραφικές μέθοδοι (διαγράμματα).

Η παραγοντική ανάλυση εφαρμόζεται σε ένα σύνολο δεδομένων για τρεις κυρίως λόγους:

1. Διάκριση ομάδων καλά συσχετιζόμενων πραγματικών μεταβλητών,
2. Μείωση των μεταβλητών,
3. Δημιουργία νέων συνδυασμών μεταξύ των μεταβλητών (ομάδες), οι οποίοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν νέες μεταβλητές σε μετέπειτα ανάλυση (Davis, 1986).

Το μοντέλο της παραγοντικής ανάλυσης στηρίζεται στη θεώρηση ότι, υπάρχουν p παράγοντες (όπου $p < m$ και m είναι οι πραγματικές μεταβλητές) οι οποίοι υποδηλώνονται από το f , έτσι ώστε να ισχύει:

$$X_j = \sum_{r=1}^p (l_{jr} \cdot f_r) + \varepsilon_j \quad (3.4)$$

όπου:

X_j , η j_{th} πραγματική μεταβλητή,

f , ο r_{th} συνήθης παράγων,

p , ο καθορισμένος αριθμός παραγόντων, και

ε_j , τυχαία διακύμανση, μοναδική ως προς την πραγματική μεταβλητή X_j . Υπάρχουν m πραγματικές μεταβλητές και m τυχαίες μεταβλητές ε_j , συνολικά αποτελούν τον μοναδικό παράγων.

Για τη μελέτη των εσωτερικών σχέσεων των δεδομένων της επιφανειακής συλλογής κόκκων και επειδή τα δεδομένα αυτά είναι πολυδιάστατα, δηλαδή σε μεγάλο αριθμό δειγμάτων μετρήθηκε μεγάλος αριθμός παραμέτρων, κρίθηκε απαραίτητη η εφαρμογή παραγοντικής ανάλυσης R-τύπου.

3.4.1 Παραγοντική Ανάλυση R-Τύπου

Ο βασικός στόχος της *παραγοντικής ανάλυσης R-τύπου* (R-mode factor analysis) είναι να μετατρέψει ένα μεγάλο αριθμό μεταβλητών των αρχικών δεδομένων σε ένα σημαντικά μικρότερο αριθμό *παραγόντων*, κάθε ένας από τους οποίους αποτελεί μία γραμμική συνάρτηση των αρχικών μεταβλητών. Με αυτό τον τρόπο, οι λιγότεροι νέοι παράγοντες περιγράφουν το ίδιο μέγεθος πληροφοριών.

Για την επιλογή του αριθμού των παραγόντων χρησιμοποιούνται διάφορα κριτήρια (Davis, 1986; Παπαθεοδώρου, 1996) τα βασικότερα των οποίων είναι:

- Επιλογή των δύο ή τριών πρώτων παραγόντων, ώστε να είναι δυνατή η απεικόνιση σε γραφικές παραστάσεις,
- Επιλογή των παραγόντων αποκλειστικά από το ποσοστό της ολικής διακύμανσης που εκφράζουν συνολικά,
- Επιλογή των παραγόντων οι οποίοι σχετίζονται με ιδιοτιμές μεγαλύτερες από τη μονάδα,
- Επιλογή των παραγόντων αυτών που παρουσιάζουν υψηλές φορτίσεις σε πάνω από μία μεταβλητή,
- Επιλογή του αριθμού των παραγόντων σύμφωνα με το διάγραμμα αλλαγής κλίσης του Cattel. Επιλέγονται οι παράγοντες που σχετίζονται με τις μεγαλύτερες ιδιοτιμές οι οποίες δεν παρουσιάζουν γραμμική σχέση,
- Επιλογή των παραγόντων βάσει υποκειμενικών κριτηρίων και γνώση του γεωλογικού προβλήματος.

Για την παραγοντική ανάλυση R-τύπου χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα που προέκυψαν από τις επιφανειακές αναλύσεις των επιφανειακών ιζημάτων. Συγκεκριμένα, η ανάλυση πραγματοποιήθηκε για το σύνολο των μορφομετρικών και ιστολογικών χαρακτηριστικών των ιζημάτων. Η επεξεργασία των δεδομένων έγινε με τη χρήση του λογισμικού SPSS 12.0.

3.4.1.1 Χείμαρρος Σέλεμος

Παρακάτω, δίνεται ο αρχικός πίνακας των δεδομένων καθώς και τα αποτελέσματα της παραγοντικής ανάλυσης των μορφομετρικών και ιστολογικών χαρακτηριστικών των ιζημάτων της κοίτης.

Πίνακας 3.25: Αρχικός πίνακας δεδομένων

Σ/Δ	ΑΣΒΕΣΤ.	ΚΕΡΑΤ.	ΨΑΜΜ.	ΑΡ. ΜΕΣΟΣ	ΣΦΑΙΡ.	ΣΤΡΟΓΓ.	ΔΙΣΚ.	ΣΦΑΙΡΙΚ.	ΠΕΠΛΑΤ.	ΚΥΛΙΝ.
Σ1	50.94	46.23	2.83	41.73	0.718	0.382	33.96	38.68	1.89	25.47
Σ2	62.45	35.63	1.92	39.57	0.718	0.466	27.20	44.83	8.05	19.92
Σ3	62.45	35.57	1.98	39.54	0.718	0.474	25.69	46.25	7.51	20.55
Σ4	67.94	29.89	2.17	39.19	0.718	0.510	22.83	47.83	10.33	19.02
Σ5	73.73	19.49	6.78	64.31	0.694	0.513	31.36	42.37	12.71	13.56
Σ6	76.08	20.57	3.35	55.33	0.691	0.551	38.28	33.97	7.66	20.10
Σ7	62.62	32.71	4.67	31.06	0.739	0.545	23.83	50.93	6.54	18.69

Πίνακας 3.26: Πίνακας ιδιοτιμών

ΠΑΡΑΓΩΝ	ΙΔΙΟΤΙΜΗ	ΟΛΙΚΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ (%)	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ (%)
1	5.52	55.20	55.20
2	3.03	30.28	85.49
3	0.84	8.39	93.88
4	0.59	5.88	99.76
5	0.02	0.18	99.94
6	0.01	0.06	100
7	2.80E-16	2.80E-15	100
8	2.81E-17	2.81E-16	100
9	-4.62E-17	-4.62E-16	100
10	-1.94E-16	-1.94E-15	100

Σχήμα 3.30: Διάγραμμα αλλαγής κλίσης του Cattell

Σύμφωνα με το κριτήριο επιλογής του αριθμού των παραγόντων, με δεδομένο ότι διατηρούνται οι παράγοντες με ιδιοτιμές μεγαλύτερες της μονάδας, καταλήγουμε σε ένα τετραπλό μοντέλο που εκφράζει το 99.76% της συνολικής διακύμανσης. Ο αριθμός των παραγόντων φαίνεται και στο διάγραμμα αλλαγής κλίσης του Cattell (Σχήμα 3.30).

Πίνακας 3.27: Παραγοντικές φορτίσεις

	1	2	3	4
ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ	-0.313	0.811	0.482	0.107
ΚΕΡΑΤΟΛΙΘΟΙ	0.310	-0.777	-0.472	-0.278
ΨΑΜΜΙΤΕΣ	-0.140	0.228	0.186	0.944
ΛΡ. ΜΕΣΟΣ	-0.761	0.161	0.505	0.373
ΣΦΑΙΡΙΚΟΤΗΤΑ	0.862	-0.214	-0.455	-0.053
ΣΤΡΟΓΓΥΛΟΤΗΤΑ	0.114	0.971	0.123	0.168
ΔΙΣΚΟΕΙΔΕΙΣ	-0.965	0.001	-0.216	0.129
ΣΦΑΙΡΙΚΟΙ	0.987	0.024	0.133	0.074
ΠΕΠΛΑΤΥΣΜΕΝΟΙ	0.085	0.491	0.847	0.179
ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΟΙ	-0.131	-0.511	-0.675	-0.505

Ο πρώτος παράγοντας αντιπροσωπεύει το 55.20% της συνολικής διακύμανσης, είναι διπολικός και χαρακτηρίζεται από υψηλές θετικές φορτίσεις (loadings) της σφαιρικότητας και του σφαιρικού σχήματος και αρνητικές φορτίσεις του αριθμητικού μέσου και του δισκοειδούς σχήματος. Μπορεί να θεωρηθεί ως *παράγοντας σφαιρικότητας* του ρεύματος και εκφράζει την πολύ καλή συσχέτιση μεταξύ της σφαιρικότητας και του σφαιρικού σχήματος, ενώ συγχρόνως φαίνεται μεγάλη αντιπάθεια της σφαιρικότητας με τον αριθμητικό μέσο και το δισκοειδές σχήμα των κόκκων. Το γεγονός αυτό υποδηλώνει ότι, με την αύξηση της σφαιρικότητας των κόκκων, ενώ παράλληλα μειώνεται ο αριθμητικός μέσος και το ποσοστό των δισκοειδών κόκκων.

Ο δεύτερος παράγοντας αντιπροσωπεύει το 30.28% της συνολικής διακύμανσης, είναι διπολικός και χαρακτηρίζεται από υψηλές θετικές φορτίσεις των ασβεστολιθικών κόκκων και της στρογγυλότητας και αρνητική των κερατολιθικών κόκκων. Μπορεί να θεωρηθεί ως *παράγοντας ασβεστολιθικής σύστασης* και εκφράζει την πολύ καλή συσχέτιση των ασβεστολιθικών κόκκων με τη στρογγυλότητα καθώς και την αντιπάθειά τους με τους κερατολιθικούς κόκκους. Αυτό σημαίνει ότι, η αύξηση του ποσοστού των ασβεστολίθων υποδηλώνει ταυτόχρονη μείωση του ποσοστού των κερατόλιθων.

Ο τρίτος παράγοντας αντιπροσωπεύει το 8.39% της συνολικής διακύμανσης, είναι διπολικός και χαρακτηρίζεται από θετική φόρτιση του αριθμητικού μέσου και αρνητική των κυλινδρικών. Μπορεί να θεωρηθεί ως *παράγοντας πλάτυνσης* και εκφράζει τη μεγάλη αντιπάθεια των πεπλατυσμένων κόκκων ως προς τους κυλινδρικούς κόκκους. Το γεγονός αυτό υποδηλώνει ότι, η αύξηση του ποσοστού των πεπλατυσμένων κόκκων σημαίνει ταυτόχρονη μείωση του ποσοστού των κυλινδρικών.

Ο τέταρτος παράγοντας εκφράζει το 5.88% της συνολικής διακύμανσης, είναι διπολικός και χαρακτηρίζεται από υψηλή θετική φόρτιση των ψαμμιτών και αρνητική φόρτιση των κυλινδρικών κόκκων. Μπορεί να θεωρηθεί ως *παράγοντας ψαμμιτικής σύστασης* και εκφράζει τη μεγάλη αντιπάθεια των ψαμμιτών ως προς το κυλινδρικό σχήμα, που σημαίνει ότι, η αύξηση του ποσοστού των ψαμμιτικών κόκκων σημαίνει μείωση του ποσοστού των κυλινδρικών κόκκων.

Πίνακας 3.28: Τιμές των 4 παραγόντων

	1	2	3	4
Σ1	-0.67567	-1.76	-1.0575	0.172
Σ2	0.28252	-0.4	0.40052	-0.738
Σ3	0.41634	-0.31	0.29232	-0.733
Σ4	0.73867	0.32	0.77245	-0.916
Σ5	-0.53042	-0.03	1.45015	1.659
Σ6	-1.6051	1.4	-0.60476	-0.478
Σ7	1.37367	0.77	-1.25319	1.034

Σχήμα 3.31: Διακύμανση των τιμών των παραγόντων κατά μήκος του ρεύματος

3.4.1.2 Χείμαρρος Ξυλοκέρας

Παρακάτω, δίνεται ο αρχικός πίνακας των δεδομένων καθώς και τα αποτελέσματα της παραγοντικής ανάλυσης των μορφομετρικών και ιστολογικών χαρακτηριστικών των ιζημάτων της κοίτης.

Πίνακας 3.29: Αρχικός πίνακας δεδομένων

Σ/Δ	ΑΣΒΕΣΤ.	ΚΕΡΑΤ.	ΨΑΜΜ.	ΑΡ. ΜΕΣΟΣ	ΣΦΑΙΡ.	ΣΤΡΟΓΓ.	ΔΙΣΚ.	ΣΦΑΙΡΙΚ.	ΠΕΠΛΑΤ.	ΚΥΛΙΝ.
Ξ1	76.21	16.74	7.05	116.59	0.678	0.287	34.36	30.84	10.57	24.23
Ξ2	79.11	13.04	7.85	115.12	0.693	0.311	32.68	35.36	10	21.96
Ξ3	80.84	10.48	8.68	113.86	0.704	0.329	31.44	38.62	9.58	20.36
Ξ4	80.44	13.88	5.68	64.74	0.682	0.435	36.91	35.33	11.36	16.40
Ξ5	75.60	15.55	8.85	59.84	0.685	0.472	36.19	31.10	10.46	22.25
Ξ6	77.69	16.04	6.27	54.49	0.694	0.490	33.83	35.09	9.27	21.80
Ξ7	88.76	6.98	4.26	50.43	0.695	0.473	34.11	33.72	10.47	21.71
Ξ8	77.46	19.69	2.85	35.35	0.683	0.497	36.27	32.12	12.44	19.17

Πίνακας 3.30: Πίνακας ιδιοτιμών

ΠΑΡΑΓΩΝ	ΙΔΙΟΤΙΜΗ	ΟΛΙΚΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ (%)	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ (%)
1	4.61	46.08	46.08
2	2.68	26.77	72.85
3	1.12	11.25	84.09
4	0.94	9.44	93.53
5	0.51	5.07	98.61
6	0.14	1.39	99.99
7	2.12E-05	2E-04	100
8	4.91E-16	5E-15	100
9	1.81E-17	2E-16	100
10	-1.04E-16	0	100

Σχήμα 3.32: Διάγραμμα αλλαγής κλίσης του Cattell

Σύμφωνα με το κριτήριο επιλογής του αριθμού των παραγόντων, με δεδομένο ότι διατηρούνται οι παράγοντες με ιδιοτιμές μεγαλύτερες της μονάδας, καταλήγουμε σε ένα πενταπλό μοντέλο που εκφράζει το 98.61% της συνολικής διακύμανσης. Ο αριθμός των παραγόντων φαίνεται και στο διάγραμμα αλλαγής κλίσης του Cattell (Σχήμα 3.32).

Πίνακας 3.31: Παραγοντικές φορτίσεις

	1	2	3	4	5
ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ	0.206	0.117	0.933	0.069	-0.259
ΚΕΡΑΤΟΛΙΘΟΙ	-0.319	0.103	-0.923	-0.010	-0.186
ΨΑΜΜΙΤΕΣ	0.189	-0.420	-0.119	-0.117	0.859
ΑΡ. ΜΕΣΟΣ	0.197	-0.930	-0.016	-0.121	0.284
ΣΦΑΙΡΙΚΟΤΗΤΑ	0.896	0.010	0.371	0.008	0.154
ΣΤΡΟΓΓΥΛΟΤΗΤΑ	-0.086	0.980	0.008	0.113	-0.138
ΔΙΣΚΟΕΙΔΕΙΣ	-0.794	0.490	-0.191	0.288	-0.087
ΣΦΑΙΡΙΚΟΙ	0.787	-0.200	0.236	0.511	0.129
ΠΕΠΛΑΤΥΣΜΕΝΟΙ	-0.639	0.147	-0.142	0.362	-0.591
ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΟΙ	0.0344	-0.230	-0.0464	-0.954	0.178

Ο πρώτος παράγοντας εκφράζει το 46.08% της συνολικής διακύμανσης, είναι διπολικός και χαρακτηρίζεται από υψηλές θετικές φορτίσεις της σφαιρικότητας και του σφαιρικού σχήματος και αρνητικές φορτίσεις του δισκοειδούς και του πεπλατυσμένου σχήματος. Μπορεί να θεωρηθεί ως παράγοντας σφαιρικότητας και εκφράζει την πολύ καλή συσχέτιση της σφαιρικότητας με το σφαιρικό σχήμα και τη μεγάλη αντιπάθεια της σφαιρικότητας με το δισκοειδές και πεπλατυσμένο σχήμα. Αυτό σημαίνει ότι, η αύξηση της σφαιρικότητας ευνοεί τη δημιουργία σφαιρικού σχήματος, ενώ αντιτίθεται στη δημιουργία δισκοειδούς και πεπλατυσμένου σχήματος κόκκων.

Ο δεύτερος παράγοντας εκφράζει το 26.77% της συνολικής διακύμανσης, είναι διπολικός και χαρακτηρίζεται από υψηλή θετική φόρτιση της στρογγυλότητας και υψηλή αρνητική του αριθμητικού μέσου. Μπορεί να θεωρηθεί ως παράγοντας στρογγυλότητας και εκφράζει την πολύ κακή συσχέτιση της

στρογγυλότητας με τον αριθμητικό μέσο. Το γεγονός αυτό υποδηλώνει ότι, η αύξηση της στρογγυλότητας οδηγεί στη μείωση του αριθμητικού μέσου.

Ο τρίτος παράγοντας εκφράζει το 11.25% της συνολικής διακύμανσης, είναι διπολικός και χαρακτηρίζεται από υψηλή θετική φόρτιση των ασβεστολίθων και υψηλή αρνητική των κερατόλιθων. Μπορεί να θεωρηθεί ως *παράγοντας ασβεστολιθικής σύστασης* και εκφράζει την πολύ κακή συσχέτιση των ασβεστολιθικών κόκκων με τους κερατολιθικούς. Αυτό σημαίνει ότι, η αύξηση του ποσοστού των ασβεστολίθων υποδηλώνει ταυτόχρονη μείωση του ποσοστού των κερατόλιθων.

Ο τέταρτος παράγοντας εκφράζει το 9.44% της συνολικής διακύμανσης, είναι διπολικός και χαρακτηρίζεται από θετική φόρτιση του σφαιρικού σχήματος και υψηλή αρνητική φόρτιση του κυλινδρικού σχήματος. Μπορεί να θεωρηθεί ως *παράγοντας σφαιρικού σχήματος* και εκφράζει την αντιπάθεια του σφαιρικού σχήματος με το κυλινδρικό σχήμα. Το γεγονός αυτό υποδηλώνει ότι, οι σφαιρικοί κόκκοι δημιουργούνται εις βάρος των κυλινδρικών κόκκων.

Ο πέμπτος παράγοντας εκφράζει το 5.07% της συνολικής διακύμανσης, είναι διπολικός και χαρακτηρίζεται από υψηλή θετική φόρτιση των ψαμμιτών και αρνητική του πεπλατυσμένου σχήματος. Μπορεί να θεωρηθεί ως *παράγοντας ψαμμιτικής σύστασης* και εκφράζει την αντιπάθεια των ψαμμιτών ως προς το πεπλατυσμένο σχήμα. Αυτό σημαίνει ότι, η αύξηση του ποσοστού των ψαμμιτών υποδηλώνει ταυτόχρονη μείωση του ποσοστού των πεπλατυσμένων κόκκων.

Πίνακας 3.32: Τιμές των 5 παραγόντων

	1	2	3	4	5
Ξ1	-1.04686	-1.42	-0.44808	-1.1723	-0.23655
Ξ2	0.45764	-1.11	-0.02574	-0.1234	0.08943
Ξ3	1.55439	-0.86	0.2169	0.6403	0.43082
Ξ4	-0.92213	0.02	0.32623	2.0096	0.28582
Ξ5	-0.93536	0.88	-0.36395	-0.4523	1.66096
Ξ6	1.21527	1.162	-0.82924	-0.5534	0.26602
Ξ7	-0.05127	0.681	2.17337	-0.7175	-0.64705
Ξ8	-0.27169	0.649	-1.04949	0.3689	-1.84946

Σχήμα 3.33: Διακύμανση των τιμών των 5 παραγόντων κατά μήκος του ρεύματος

3.4.1.3 Χείμαρρος Βολινάιος

Παρακάτω, δίνεται ο αρχικός πίνακας των δεδομένων καθώς και τα αποτελέσματα της παραγοντικής ανάλυσης των μορφομετρικών και ιστολογικών χαρακτηριστικών των ιζημάτων της κοίτης.

Πίνακας 3.33: Αρχικός πίνακας δεδομένων

Σ/Δ	ΑΣΒΕΣΤ.	ΚΕΡΑΤ.	ΨΑΜΜ.	ΑΡ. ΜΕΣΟΣ	ΣΦΑΙΡ.	ΣΤΡΟΓΓ.	ΔΙΣΚ.	ΣΦΑΙΡΙΚ.	ΠΕΠΛΑΤ.	ΚΥΛΙΝ.
B1	65.25	10.17	24.58	86.06	0.595	0.567	58.47	16.95	10.17	14.41
B2	67.73	6.36	25.91	67.06	0.628	0.580	48.18	21.82	10.91	19.09
B3	66.96	7.05	25.99	67.42	0.627	0.581	48.02	22.91	11.89	17.18
B4	67.80	5.93	26.27	50.73	0.661	0.579	37.29	27.12	12.71	22.88
B5	65	9.17	25.83	64.69	0.704	0.579	31.67	39.58	8.33	20.42
B6	62.30	12.30	25.40	72.17	0.683	0.580	40.16	34.43	5.74	19.67
B7	66.67	12.82	20.51	47.80	0.716	0.624	29.06	41.03	6.84	23.08

Πίνακας 3.34: Πίνακας ιδιοτιμών

ΠΑΡΑΓΩΝ	ΙΔΙΟΤΙΜΗ	ΟΛΙΚΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ (%)	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ (%)
1	5.81	58.12	58.12
2	2.73	27.29	85.41
3	1.23	12.28	97.69
4	0.12	1.26	98.95
5	0.06	0.65	99.60
6	0.04	0.39	100
7	3.85E-16	4E-15	100
8	4.82E-17	5E-16	100
9	-1.98E-17	0	100
10	-2.07E-16	0	100

Σχήμα 3.34: Διάγραμμα αλλαγής κλίσης του Cattell

Σύμφωνα με το κριτήριο επιλογής του αριθμού των παραγόντων, με δεδομένο ότι διατηρούνται οι παράγοντες με ιδιοτιμές μεγαλύτερες της μονάδας, καταλήγουμε σε ένα τριπλό μοντέλο που εκφράζει το 97.69% της συνολικής διακύμανσης. Ο αριθμός των παραγόντων φαίνεται και στο διάγραμμα αλλαγής κλίσης του Cattell (Σχήμα 3.34).

Πίνακας 3.35: Παραγοντικές φορτίσεις

	1	2	3
ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ	0.086	0.968	0.182
ΚΕΡΑΤΟΛΙΘΟΙ	0.072	-0.810	0.565
ΨΑΜΜΙΤΕΣ	-0.184	0.191	-0.957
ΑΡ. ΜΕΣΟΣ	-0.862	-0.390	-0.296
ΣΦΑΙΡΙΚΟΤΗΤΑ	0.895	-0.380	0.210
ΣΤΡΟΓΓΥΛΟΤΗΤΑ	0.555	0	0.815
ΔΙΣΚΟΕΙΔΕΙΣ	-0.967	0.162	-0.168
ΣΦΑΙΡΙΚΟΙ	0.836	-0.470	0.229
ΠΕΠΛΑΤΥΣΜΕΝΟΙ	-0.265	0.884	-0.341
ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΟΙ	0.947	0.129	0.162

Ο πρώτος παράγοντας εκφράζει το 58.12% της ολικής διακύμανσης, είναι διπολικός και χαρακτηρίζεται από υψηλές θετικές φορτίσεις της σφαιρικότητας με τη στρογγυλότητα, το σφαιρικό και το κυλινδρικό σχήμα και υψηλές αρνητικές φορτίσεις του αριθμητικού μέσου και του δισκοειδούς σχήματος. Μπορεί να θεωρηθεί ως *παράγοντας σφαιρικότητας* και εκφράζει την πολύ καλή συσχέτιση της σφαιρικότητας με το σφαιρικό σχήμα, τη στρογγυλότητα και το κυλινδρικό σχήμα και την αντιπάθεια ως προς τον αριθμητικό μέσο και το δισκοειδές σχήμα. Αυτό σημαίνει ότι, η αύξηση της σφαιρικότητας συνοδεύεται από αύξηση της στρογγυλότητας και ευνοεί τη δημιουργία κυλινδρικών κόκκων, ενώ ταυτόχρονα οδηγεί στη μείωση του αριθμητικού μέσου και αντιτίθεται στη δημιουργία δισκοειδούς σχήματος κόκκων.

Ο δεύτερος παράγοντας εκφράζει το 27.29% της συνολικής διακύμανσης, είναι διπολικός και χαρακτηρίζεται από υψηλές θετικές φορτίσεις των ασβεστόλιθων και του πεπλατυσμένου σχήματος και υψηλή αρνητική των κερατόλιθων. Μπορεί να θεωρηθεί ως *παράγοντας ασβεστολιθικής σύστασης* και εκφράζει την πολύ καλή συσχέτιση των ασβεστολιθικών κόκκων με το πεπλατυσμένο σχήμα καθώς και την αντιπάθειά τους με τους κερατόλιθους. Αυτό σημαίνει ότι, η αύξηση του ποσοστού των ασβεστόλιθων υποδηλώνει αύξηση του ποσοστού των πεπλατυσμένων κόκκων και ταυτόχρονη μείωση του ποσοστού των κερατόλιθων.

Ο τρίτος παράγοντας εκφράζει το 12.28% της ολικής διακύμανσης, είναι διπολικός και χαρακτηρίζεται από θετικές φορτίσεις των κερατόλιθων και της στρογγυλότητας και υψηλή αρνητική των ψαμμιτών. Μπορεί να θεωρηθεί ως *παράγοντας στρογγυλότητας* και εκφράζει την καλή συσχέτιση της στρογγυλότητας με τους κερατόλιθους και την αντιπάθεια ως προς τους ψαμμίτες. Αυτό σημαίνει ότι, η αύξηση της στρογγυλότητας σημαίνει αύξηση του ποσοστού των κερατόλιθων και ταυτόχρονη μείωση των ψαμμιτών.

Πίνακας 3.36: Τιμές των 3 παραγόντων

	1	2	3
B1	-1.8277	-0.29	0.32452
B2	-0.36019	0.844	-0.16891
B3	-0.52151	0.678	-0.16903
B4	0.8248	1.208	-0.70717

	1	2	3
B5	0.8817	-0.66	-0.86525
B6	0.11595	-1.69	-0.49769
B7	0.88695	-0.1	2.08354

Σχήμα 3.35: Διακύμανση των τιμών των 3 παραγόντων κατά μήκος του ρεύματος

3.5 Υπολογισμός Στατιστικών Κοκκομετρικών Παραμέτρων Υποεπιφανειακών Ιζημάτων

Για τα δείγματα των υποεπιφανειακών ιζημάτων, έχουν κατασκευαστεί τα ιστογράμματα, για κάθε σταθμό δειγματοληψίας, που προκύπτουν από τα αποτελέσματα της κοκκομετρικής ανάλυσης με τη μέθοδο των κόσκινων. Κατόπιν, κατασκευάστηκαν οι αθροιστικές κατά βάρος καμπύλες βασισμένες στη χρήση μιας τεταγμένης σε κλίμακα πιθανότητας. Ο υπολογισμός των στατιστικών παραμέτρων έγινε με βάση τους τύπους των Folk & Ward (1957):

- Η διάμεσος (ϕ_{50}) είναι η τιμή που αντιστοιχεί στο 50% της αθροιστικής καμπύλης.
- Ο αριθμητικός μέσος (M_z) υπολογίστηκε από τη σχέση:

$$M_z = \frac{\phi_{16} + \phi_{50} + \phi_{84}}{3} \quad (3.5)$$

- Η ταξινόμηση (σ_1) υπολογίστηκε από τη σχέση:

$$\sigma_1 = \frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{4} + \frac{\phi_{95} - \phi_5}{6.6} \quad (3.6)$$

- Η ασυμμετρία (Sk_I) υπολογίστηκε από τη σχέση:

$$Sk_I = \frac{\phi_{16} + \phi_{84} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{84} - \phi_{16})} + \frac{\phi_5 + \phi_{95} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{95} - \phi_5)} \quad (3.7)$$

- Η κύρτωση (K_G) υπολογίστηκε από τη σχέση:

$$K_G = \frac{\phi_{95} - \phi_5}{2.44(\phi_{75} - \phi_{25})} \quad (3.8)$$

3.5.1 Χείμαρρος Σέλεμνος

Σχήμα 3.36: Ιστογράμματα για κάθε σταθμό δειγματοληψίας χωριστά

Σχήμα 3.37: Αθροιστικές κατά βάρος καμπύλες, για κάθε σταθμό δειγματοληψίας

Πίνακας 3.37: Κοκκομετρικές στατιστικές παράμετροι στους σταθμούς δειγματοληψίας

ΣΤΑΘΜΟΣ	ΔΙΑΜΕΣΟΣ	ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟΣ ΜΕΣΟΣ	ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ	ΑΣΥΜΜΕΤΡΙΑ	ΚΥΡΤΩΣΗ
Σ1	-2.039	-1.844	2.594	0.135	0.799
Σ2	-2.843	-2.327	2.714	0.279	0.812
Σ3	-3.139	-2.631	2.700	0.304	0.811
Σ4	-3.955	-3.420	2.495	0.391	1.198
Σ5	-3.922	-3.298	3.073	0.329	0.930
Σ6	-4.132	-3.818	2.573	0.307	1.126
Σ7	-2.866	-2.429	2.423	0.309	0.881

Στον πίνακα 3.37 δίνονται οι τιμές των στατιστικών κοκκομετρικών παραμέτρων που προέκυψαν για κάθε σταθμό δειγματοληψίας και στη συνέχεια κατασκευάστηκαν γραφήματα που παρουσιάζουν τις τιμές και τις μεταβολές της Ταξινόμησης, της Ασυμμετρίας και της Κύρτωσης κατά μήκος της κύριας κοίτης του χείμαρρου.

3.5.1.1 Διάμεσος – Αριθμητικός Μέσος

Στο παρακάτω διάγραμμα δίνεται η κατανομή της διαμέσου και του αριθμητικού μέσου.

Σχήμα 3.38: Τιμές διαμέσου – αριθμητικού μέσου κατά μήκος της κύριας κοίτης

3.5.1.2 Ταξινόμηση

Οι τιμές της ταξινόμησης για κάθε σταθμό δειγματοληψίας παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα.

Σχήμα 3.39: Τιμές ταξινόμησης κατά μήκος της κύριας κοίτης

Από την καμπύλη του σχήματος προκύπτει πως η τιμή της ταξινόμησης είναι πολύ πτωχή σε όλο το μήκος της κοίτης του ρεύματος (μέσος όρος τιμών ταξινόμησης: 2.653).

3.5.1.3 Ασυμμετρία

Στο παρακάτω σχήμα δίνονται οι μεταβολές της ασυμμετρίας κατά μήκος της κοίτης του ρεύματος.

Σχήμα 3.40: Τιμές ασυμμετρίας κατά μήκος της κύριας κοίτης

Έτσι, για τους σταθμούς Σ1 και Σ2 η ασυμμετρία είναι θετική, ενώ για τους σταθμούς Σ3 μέχρι και Σ7 η ασυμμετρία είναι πολύ θετική (μέσος όρος τιμών ασυμμετρίας: 0.293).

3.5.1.4 Κύρτωση

Οι τιμές της κύρτωσης κατά μήκος της κύριας κοίτης του ρεύματος παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα.

Σχήμα 3.41: Τιμές κρίσης κατά μήκος της κύριας κοίτης

Από το σχήμα προκύπτει πως η καμπύλη είναι πλατύκορτη για τους σταθμούς Σ1 μέχρι και Σ3 καθώς και για τον Σ7, λεπτόκορτη για το σταθμό Σ4 και μεσόκορτη για τους σταθμούς Σ5 και Σ6 (μέσος όρος τιμών κρίσης: 0.937).

3.5.2 Χείμαρρος Ξυλοκέρας

(συνέχεια)

Σχήμα 3.42: Ιστογράμματα για κάθε σταθμό δειγματοληψίας χωριστά

Σχήμα 3.43: Αθροιστικές κατά βάρος καμπύλες, για κάθε σταθμό δειγματοληψίας

Πίνακας 3.38: Κοκκομετρικές στατιστικές παράμετροι στους σταθμούς δειγματοληψίας

ΣΤΑΘΜΟΣ	ΔΙΑΜΕΣΟΣ	ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟΣ ΜΕΣΟΣ	ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ	ΑΣΥΜΜΕΤΡΙΑ	ΚΥΡΤΩΣΗ
Ξ1	-4.366	-3.769	2.764	0.319	0.811
Ξ2	-5.063	-4.298	2.841	0.411	0.963
Ξ3	-5.588	-4.951	2.687	0.448	1.124
Ξ4	-4.549	-3.883	2.900	0.336	1.233
Ξ5	-4.250	-3.461	2.929	0.382	0.886
Ξ6	-4.135	-3.322	2.753	0.417	0.913
Ξ7	-4.063	-3.265	2.629	0.444	0.903
Ξ8	-3.794	-3.111	2.296	0.441	0.971

Στον πίνακα 3.38 δίνονται οι τιμές των στατιστικών κοκκομετρικών παραμέτρων που προέκυψαν για κάθε σταθμό δειγματοληψίας και στη συνέχεια κατασκευάστηκαν γραφήματα που παρουσιάζουν τις τιμές και τις μεταβολές της Ταξινόμησης, της Ασυμμετρίας και της Κύρτωσης κατά μήκος της κύριας κοίτης του χείμαρρου.

3.5.2.1 Διάμεσος – Αριθμητικός Μέσος

Στο παρακάτω διάγραμμα δίνεται η κατανομή της διαμέσου και του αριθμητικού μέσου.

Σχήμα 3.44: Τιμές διαμέσου – αριθμητικού μέσου κατά μήκος της κύριας κοίτης

3.5.2.2 Ταξινόμηση

Οι τιμές ταξινόμησης για κάθε σταθμό δειγματοληψίας παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα.

Σχήμα 3.45: Τιμές ταξινόμησης κατά μήκος της κύριας κοίτης

Από την καμπύλη του σχήματος προκύπτει πως η τιμή της ταξινόμησης είναι πολύ πτωχή σε όλο το μήκος της κοίτης του ρεύματος (μέσος όρος τιμών ταξινόμησης: 2.725).

3.5.2.3 Ασυμμετρία

Στο παρακάτω σχήμα δίνονται οι μεταβολές της ασυμμετρίας κατά μήκος της κοίτης του ρεύματος.

Σχήμα 3.46: Τιμές ασυμμετρίας κατά μήκος της κύριας κοίτης

Έτσι, η ασυμμετρία είναι πολύ θετική σε όλο το μήκος της ποτάμιας αύλακας (μέσος όρος τιμών ασυμμετρίας: 0.4).

3.5.2.4 Κύρτωση

Οι τιμές της κύρτωσης κατά μήκος της κύριας κοίτης του ρεύματος παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα.

Σχήμα 3.47: Τιμές κύρτωσης κατά μήκος της κύριας κοίτης

Από το σχήμα προκύπτει πως η καμπύλη είναι πλατύκυρτη για τους σταθμούς Ξ1 και Ξ5, μεσόκυρτη για τους σταθμούς Ξ2 και Ξ6 μέχρι και Ξ8 και λεπτόκυρτη για τους σταθμούς Ξ3 και Ξ4 (μέσος όρος τιμών κύρτωσης: 0.975).

3.5.3 Χείμαρρος Βολιναίος

Σχήμα 3.48: Ιστογράμματα για κάθε σταθμό δειγματοληψίας χωριστά

Σχήμα 3.49: Αθροιστικές κατά βάρος καμπύλες, για κάθε σταθμό δειγματοληψίας

Πίνακας 3.39: Κοκκομετρικές στατιστικές παράμετροι στους σταθμούς δειγματοληψίας

ΣΤΑΘΜΟΣ	ΔΙΑΜΕΣΟΣ	ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟΣ ΜΕΣΟΣ	ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ	ΑΣΥΜΜΕΤΡΙΑ	ΚΥΡΤΩΣΗ
B1	-4.900	-3.682	2.842	0.584	1.068
B2	-4.839	-3.619	2.803	0.606	0.982
B3	-4.803	-3.592	2.780	0.613	0.967
B4	-4.715	-3.493	2.766	0.626	0.930
B5	-5.102	-4.175	2.865	0.498	1.097
B6	-4.828	-3.961	2.805	0.479	1.070
B7	-4.115	-3.121	2.815	0.494	1.084

Στον πίνακα 3.39 δίνονται οι τιμές των στατιστικών κοκκομετρικών παραμέτρων που προέκυψαν για κάθε σταθμό δειγματοληψίας και στη συνέχεια κατασκευάστηκαν γραφήματα που παρουσιάζουν τις τιμές και τις μεταβολές της Τάξινομησης, της Ασυμμετρίας και της Κύρτωσης κατά μήκος της κύριας κοίτης του χείμαρρου.

3.5.3.1 Διάμεσος – Αριθμητικός Μέσος

Στο παρακάτω διάγραμμα δίνεται η κατανομή της διαμέσου και του αριθμητικού μέσου.

Σχήμα 3.50: Τιμές διαμέσου – αριθμητικού μέσου κατά μήκος της κύριας κοίτης

3.5.3.2 Ταξινόμηση

Οι τιμές ταξινόμησης για κάθε σταθμό δειγματοληψίας παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα.

Σχήμα 3.51: Τιμές ταξινόμησης κατά μήκος της κύριας κοίτης

Από την καμπύλη του σχήματος προκύπτει πως η τιμή της ταξινόμησης είναι πολύ φτωχή σε όλο το μήκος της κοίτης του ρεύματος (μέσος όρος τιμών ταξινόμησης: 2.811).

3.5.3.3 Ασυμμετρία

Στο παρακάτω σχήμα δίνονται οι μεταβολές της ασυμμετρίας κατά μήκος της κοίτης του ρεύματος.

Σχήμα 3.52: Τιμές ασυμμετρίας κατά μήκος της κύριας κοίτης

Έτσι, η ασυμμετρία είναι πολύ θετική σε όλο το μήκος της ποτάμιας αύλακας (μέσος όρος τιμών ασυμμετρίας: 0.557).

3.5.3.4 Κύρτωση

Οι τιμές της κύρτωσης κατά μήκος της κύριας κοίτης του ρεύματος παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα.

Σχήμα 3.53: Τιμές κύρτωσης κατά μήκος της κύριας κοίτης

Από την καμπύλη του σχήματος προκύπτει πως η καμπύλη είναι μεσόκυρτη σε όλο το μήκος του ρεύματος (μέσος όρος τιμών κύρτωσης: 1.028).

3.6 Συμπεράσματα Ιζηματολογικών Αναλύσεων

Από τις αναλύσεις που έγιναν προκύπτει ότι, οι ασβεστολιθικές κροκάλες κυριαρχούν, ποσοτικά, και στους τρεις χείμαρρους σε όλες τις θέσεις δειγματοληψίας (65-80%). Στους χείμαρρους Σέλεμνο και Ξυλοκέρα οι ψαμμίτες εμφανίζουν τη μικρότερη παρουσία (3-6%), ενώ στο χείμαρρο Βολιναίο τη μικρότερη παρουσία έχουν οι κερατόλιθοι (9%). Αυτό πιθανά οφείλεται στη διπλάσια επιφανειακή εμφάνιση του φλύσχη (στον άνω ρουν) στη λειάνη του Βολιναίου σε σχέση με τις άλλες δύο λειάνες.

Η μεταβολή της ποσοτικής παρουσίας των λιθολογιών που μελετήθηκαν σε σχέση με την απόσταση μεταφοράς σε όλους τους σταθμούς δειγματοληψίας σχετίζεται τόσο με την εισροή νέου υλικού, ως αποτέλεσμα της φυσικής 'μόλυνσης' του χείμαρρου από παράπλευρους κλάδους στο ανώτερο και μέσο ρουν του υδρογραφικού δικτύου, όσο και με τις ανθρωπογενείς παρεμβάσεις που λαμβάνουν χώρα στους δύο χαμηλότερους σταθμούς δειγματοληψίας για τον Σέλεμνο και Βολιναίο και στους τρεις τελευταίους για τον Ξυλοκέρα. Επίσης, παρατηρήθηκε και στους τρεις χείμαρρους της περιοχής μελέτης πως τα ποσοστά των ασβεστόλιθων μεταβάλλονται αντίστροφα με τα ποσοστά των κερατόλιθων.

Όσον αφορά τον αριθμητικό μέσο των κόκκων, προκύπτει πως και αυτός επηρεάζεται άμεσα από την εισροή νέου υλικού και τις ανθρωπογενείς παρεμβάσεις.

Από τη μελέτη των δειγμάτων του Σέλεμνου και του Βολιναίου παρατηρήθηκε ότι η μεταβολή της στρωγγυλότητας σχετίζεται με την εισροή νέου υλικού, ενώ στον Ξυλοκέρα, πέραν της εισροής νέου υλικού, έχει μικρή συμμετοχή και ο ανθρωπογενής παράγοντας.

Στα δείγματα του Σέλεμνου η σφαιρικότητα επηρεάζεται κυρίως από την εισροή νέου υλικού και δευτερευόντως από τις ανθρωπογενείς παρεμβάσεις. Η σφαιρικότητα στους κόκκους του Ξυλοκέρα επηρεάζεται από την εισροή νέου υλικού. Τέλος, στα δείγματα του Βολιναίου η σφαιρικότητα εξαρτάται

κυρίως από την εισροή νέου υλικού και δευτερευόντως από την εκλεκτική ταξινόμηση και την ανθρώπινη παρέμβαση. Στο Βολιναίο φαίνεται γενικά μία αύξηση της σφαιρικότητας με την απόσταση μεταφοράς.

Όσον αφορά τη μεταβολή του σχήματος σε σχέση με την απόσταση μεταφοράς, στην περίπτωση του Σέλεμνου, ελέγχεται από τη φυσική μόλυνση και την ανθρωπογενή παρέμβαση, ενώ στην περίπτωση του Βολιναίου προστίθεται και η εκλεκτική ταξινόμηση. Και για τους δύο χείμαρρους, η φυσική 'μόλυνση' έχει τον κύριο έλεγχο του σχήματος. Ο Ξυλοκέρας χαρακτηρίζεται από απουσία μεταβολής του σχήματος με την απόσταση μεταφοράς.

Οι τρεις χείμαρροι παράγουν πεπλατυσμένους κόκκους σε ποσοστό περίπου 8-10% και κυλινδρικούς σε ποσοστό περίπου 20%. Ο Σέλεμνος παράγει περίπου 44% σφαιρικούς κόκκους και 29% δισκοειδείς κόκκους. Αντίθετα, ο Βολιναίος παράγει περίπου 29% σφαιρικούς κόκκους και περίπου 42% δισκοειδείς. Τέλος, ο Ξυλοκέρας παράγει ισάριθμο ποσοστό κόκκων σφαιρικού και δισκοειδούς σχήματος της τάξης περίπου του 34%.

Από την παραγοντική ανάλυση που εφαρμόστηκε στα επιφανειακά ιζήματα προέκυψαν τα εξής: α. η αύξηση του ποσοστού των ασβεστόλιθων δηλώνει ταυτόχρονη μείωση του ποσοστού των κερατόλιθων, β. η μείωση του αριθμητικού μέσου ευνοεί την αύξηση της σφαιρικότητας και της στρογγυλότητας, γ. η αύξηση της σφαιρικότητας ευνοεί τη δημιουργία του σφαιρικού και κυλινδρικού σχήματος και αντιτίθεται στη δημιουργία δισκοειδούς και πεπλατυσμένου σχήματος κόκκων, δ. οι σφαιρικοί κόκκοι δημιουργούνται σε βάρος των κυλινδρικών κόκκων, η αύξηση του ποσοστού των ψαμμιτών υποδηλώνει ταυτόχρονη μείωση του ποσοστού των πεπλατυσμένων κόκκων, ε. η αύξηση του ποσοστού των ασβεστόλιθων σημαίνει αύξηση του ποσοστού των πεπλατυσμένων κόκκων και στ. η αύξηση της στρογγυλότητας σημαίνει αύξηση του ποσοστού των κερατόλιθων και ταυτόχρονη μείωση των ψαμμιτών.

Όσον αφορά τα υποεπιφανειακά ιζήματα, από τις αναλύσεις προκύπτει πως τα δείγματα και των τριών χείμαρρων χαρακτηρίζονται από πολύ πτωχή ταξινόμηση. Η πολύ πτωχή ταξινόμηση υποδηλώνει, ως μέσο μεταφοράς, μία 'υπερσυγκεντρωτική ροή' (hyperconcentrated flow).

Τα δείγματα του Σέλεμνου παρουσιάζουν θετική έως πολύ θετική ασυμμετρία και τα δείγματα των Ξυλοκέρα και Βολιναίου χαρακτηρίζονται από πολύ θετική ασυμμετρία.

Όσον αφορά την κύρτωση, τα περισσότερα δείγματα του Σέλεμνου και του Ξυλοκέρα χαρακτηρίζονται από λεπτόκυρτη έως μεσόκυρτη καμπύλη, ενώ όλα τα δείγματα του Βολιναίου παρουσιάζουν μεσόκυρτη καμπύλη. Αυτό σημαίνει πως, κατά κανόνα τα δείγματα παρουσιάζουν μεγαλύτερη διασπορά των τιμών στο κέντρο παρά στα άκρα. Επιπλέον, κατά τη διάρκεια της απόθεσης, η ταχύτητα του ρεύματος παραμένει σχεδόν σταθερή. Αντίθετα, στα δείγματα Σ1, Σ2, Σ3 και Σ7 του Σέλεμνου, καθώς και στα δείγματα Ξ1 και Ξ5 του Ξυλοκέρα που παρουσιάζουν πλατύκυρτη καμπύλη, δηλαδή καλύτερη ταξινόμηση στα άκρα παρά στο κέντρο της καμπύλης, η ταχύτητα του ρεύματος δείχνει αυξομειώσεις.

4 ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ

Με βάση τον χάρτη χρήσεων γης (ΟΚΧΕ, 2000), που προέρχεται από το Corine Land Cover, η περιοχή έρευνας καλύπτεται από 16 κατηγορίες χρήσεων γης, η κατανομή των οποίων παρουσιάζεται στον πίνακα 4.1, στο χάρτη της εικόνας 4.1 και στο διάγραμμα του σχήματος 4.1. Από την ομαδοποίηση των κατηγοριών αυτών σε 6 κύριες κατηγορίες, προκύπτουν τα στοιχεία που παρουσιάζονται στον πίνακα 4.2, στο συνοπτικό χάρτη χρήσεων γης της εικόνας 4.2 και στο διάγραμμα του σχήματος 4.2.

Πίνακας 4.1: Αναλυτική κατανομή των χρήσεων γης για την περιοχή έρευνας (ΟΚΧΕ, 2000)

ΚΩΔΙΚΟΣ	ΕΙΔΟΣ ΧΡΗΣΗΣ ΓΗΣ	ΕΚΤΑΣΗ (km ²)	ΕΚΤΑΣΗ (%)
112	Διασκευασμένη αστική δόμηση	1.459	2.13
121	Βιομηχανικές ή εμπορικές ζώνες	1.857	2.71
211	Μη αρδεύσιμη αρόσιμη γη	0.172	0.25
222	Οπωροφόρα δέντρα και φυτείες με σαρκώδεις καρπούς	2.543	3.71
223	Ελαιώνες	1.970	2.87
242	Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας	8.362	12.18
243	Γη που καλύπτεται κυρίως από τη γεωργία με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης	13.110	19.10
311	Δάσος πλατύφυλλων	0.485	0.71
312	Δάσος κωνοφόρων	2.409	3.51
313	Μικτό δάσος	9.634	14.04
321	Φυσικοί βοσκοτόποι	4.685	6.83
322	Θάμνοι και χερσότοποι	0.774	1.13
323	Σκληροφυλλική βλάστηση	4.128	6.01
324	Μεταβατικές δασώδεις θαμνώδεις εκτάσεις	13.830	20.15
331	Παράλεις, αμμόλοφοι, αμμουδιές	0.346	0.50
333	Εκτάσεις με αραιή βλάστηση	2.862	4.17

Πίνακας 4.2: Συνοπτική κατανομή των χρήσεων γης στην περιοχή έρευνας

Α/Α	ΕΙΔΟΣ ΧΡΗΣΗΣ ΓΗΣ	ΕΚΤΑΣΗ (km ²)	ΕΚΤΑΣΗ (%)
1	Βιομηχανικές ή εμπορικές ζώνες	3.316	4.83
2	Εκτάσεις με θαμνώδη – σκληροφυλλική βλάστηση	21.593	31.46
3	Καλλιέργειες	26.158	38.12
4	Δάσος	12.528	18.26
5	Φυσικοί βοσκοτόποι	4.685	6.83
6	Παράλεις, αμμόλοφοι, αμμουδιές	0.346	0.50

Από την ανάλυση των στοιχείων αυτών, προκύπτει ότι ένα μεγάλο μέρος της περιοχής έρευνας (περίπου 57%) καλύπτεται από φυσική βλάστηση (δάση, θαμνότοποι, φυσικοί βοσκοτόποι), ενώ όλο σχεδόν το υπόλοιπο μέρος (περίπου 38%) καλύπτεται από καλλιέργειες. Οι περιοχές που καλύπτονται από φυσική βλάστηση, όπως φαίνεται και στους παρακάτω χάρτες (Εικόνες 4.1 και 4.2), είναι κυρίως οι ορεινές και ημιορεινές ζώνες, ενώ το σύνολο των παρακτινών και πεδινών περιοχών, καθώς και μεγάλο μέρος των ημιορεινών περιοχών, καλύπτεται από καλλιέργειες. Τέλος, ένα πολύ μικρό ποσοστό (περίπου 5%) αποτελούν οι εμπορικές ή βιομηχανικές ζώνες οι οποίες συγκεντρώνονται στην παράκτια ζώνη.

Εικόνα 4.1: Χάρτης αναλυτικής κατανομής των χρήσεων γης για την περιοχή έρευνας (ΟΚΧΕ, 2000)

Το γεγονός ότι μεγάλο μέρος της περιοχής έρευνας καλύπτεται από καλλιέργειες, οδηγεί στο συμπέρασμα ότι, στις περιοχές αυτές αναμένεται σημαντική περιβαλλοντική πίεση εξαιτίας του ανθρώπινου παράγοντα (χρήση εντομοκτόνων, λιπασμάτων, φυτοφαρμάκων, κ.ά.) που θα έχει δυσμενή επίπτωση στην ποιότητα τόσο των διαθέσιμων επιφανειακών όσο και των υπόγειων υδάτων.

Εικόνα 4.2: Χάρτης συνοπτικής κατανομής των χρήσεων γης στην περιοχή έρευνας

Ως προς την απασχόληση των κατοίκων, ο κύριος τομέας απασχόλησης είναι ο πρωτογενής, δηλαδή η γεωργία, και κατά δεύτερο λόγο η κτηνοτροφία και η αλιεία. Ένα σημαντικό κομμάτι των κατοίκων ασχολείται με τον δευτερογενή τομέα, ενώ λειτουργεί και ένας σημαντικός αριθμός μικρών βιομηχανικών και βιοτεχνικών μονάδων, οι οποίες είναι συγκεντρωμένες κυρίως γύρω από τις αστικές περιοχές.

Σχήμα 4.1: Διάγραμμα αναλογικής κατανομής των χρήσεων γης για την περιοχή έρευνας (ΟΚΧΕ, 2000)

Σχήμα 4.2: Διάγραμμα συνοπτικής κατανομής των χρήσεων γης στην περιοχή έρευνας

4.1 Μεταβολή Χρήσεων Γης 1990-2000

Βάσει του χάρτη χρήσεων γης του 1990 (ΟΚΧΕ, 1990), στην περιοχή έρευνας παρατηρούνται σημαντικές μεταβολές στη φυτοκάλυψη (ποιοτικές και ποσοτικές). Η κατανομή των χρήσεων γης του 1990 παρουσιάζεται στον πίνακα 4.3, στο χάρτη της εικόνας 4.3 και στο διάγραμμα του σχήματος 4.3. Από την ομαδοποίηση των κατηγοριών αυτών σε 6 κύριες κατηγορίες, προκύπτουν τα στοιχεία που παρουσιάζονται στον πίνακα 4.4, στο συνοπτικό χάρτη χρήσεων γης της εικόνας 4.4 και στο διάγραμμα του σχήματος 4.4.

Πίνακας 4.3: Αναλυτική κατανομή των χρήσεων γης για την περιοχή έρευνας (ΟΚΧΕ, 1990)

ΚΩΔΙΚΟΣ	ΕΙΔΟΣ ΧΡΗΣΗΣ ΓΗΣ	ΕΚΤΑΣΗ (km ²)	ΕΚΤΑΣΗ (%)
121	Βιομηχανικές ή εμπορικές ζώνες	1.037	1.51
211	Μη αρδεύσιμη αρόσιμη γη	0.787	1.15
221	Αμπελώνες	0.293	0.43
222	Οπωροφόρα δέντρα και φυτείες με σαρκώδεις καρπούς	2.198	3.20
223	Ελαιώνες	0.399	0.58
242	Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας	13.451	19.60
243	Γη που καλύπτεται κυρίως από τη γεωργία με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης	10.317	15.03
244	Αγροτικές δασικές περιοχές	4.273	6.23
313	Μικτό δάσος	18.213	26.54
321	Φυσικοί βοσκότοποι	3.891	5.67
323	Σκληροφυλλική βλάστηση	7.530	10.97
324	Μεταβατικές δασώδεις θαμνώδεις εκτάσεις	5.392	7.86
331	Παραλίες, αμμόλοφοι, αμμουδιές	0.308	0.45
333	Εκτάσεις με αραιή βλάστηση	0.536	0.78

Πίνακας 4.4: Αναλυτική κατανομή των χρήσεων γης για την περιοχή έρευνας (ΟΚΧΕ, 1990)

Α/Α	ΕΙΔΟΣ ΧΡΗΣΗΣ ΓΗΣ	ΕΚΤΑΣΗ (km ²)	ΕΚΤΑΣΗ (%)
1	Βιομηχανικές ή εμπορικές ζώνες	1.037	1.51
2	Εκτάσεις με θαμνώδη – σκληροφυλλική βλάστηση	13.458	19.61
3	Καλλιέργειες	31.765	46.29
4	Δάσος	18.213	26.54
5	Φυσικοί βοσκότοποι	3.891	5.67
6	Παραλίες, αμμόλοφοι, αμμουδιές	0.261	0.38

Εικόνα 4.3: Χάρτης αναλυτικής κατανομής των χρήσεων γης για την περιοχή έρευνας (ΟΚΧΕ, 1990)

Εικόνα 4.4: Χάρτης συνοπτικής κατανομής των χρήσεων γης στην περιοχή έρευνας

Σχήμα 4.3: Διάγραμμα αναλυτικής κατανομής των χρήσεων γης για την περιοχή έρευνας (OKXE, 1990)

Σχήμα 4.4: Διάγραμμα συνοπτικής κατανομής των χρήσεων γης στην περιοχή έρευνας

Στους παρακάτω πίνακες δίνονται οι διαφορές των χρήσεων γης και των συνοπτικών χρήσεων γης κατά τα έτη 1990-2000. Σημαντική μείωση παρουσιάζουν οι εκτάσεις με καλλιέργειες (-8.17%) και οι δασώδεις εκτάσεις (-8.28%), τμήματα των οποίων έχουν μετατραπεί σε εκτάσεις με θαμνώδη – σκληροφυλλική βλάστηση (+11.85%).

Πίνακας 4.5: Μεταβολή χρήσεων γης κατά τα έτη 1990-2000

ΚΩΔΙΚΟΣ	ΕΙΔΟΣ ΧΡΗΣΗΣ ΓΗΣ	ΕΚΤΑΣΗ (km ²)	ΕΚΤΑΣΗ (%)
112	Διακεκομμένη αστική δόμηση	1.459	2.13
121	Βιομηχανικές ή εμπορικές ζώνες	0.82	1.2
211	Μη αρδεύσιμη αρώσιμη γη	-0.615	-0.9
221	Αμπελώνες	-0.293	-0.43
222	Οπωροφόρα δέντρα και φυτείες με σαρκώδεις καρπούς	0.345	0.51
223	Ελαιώνες	1.571	2.29
242	Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας	-5.089	-7.42
243	Γη που καλύπτεται κυρίως από τη γεωργία με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης	2.793	4.07
244	Αγροτικές δασικές περιοχές	-4.273	-6.23
311	Δάσος πλατυφύλλων	0.485	0.71
312	Δάσος κωνοφόρων	2.409	3.51
313	Μικτό δάσος	-8.579	-12.5
321	Φυσικοί βοσκότοποι	0.794	1.16
322	Θάμνοι και χερσότοποι	0.774	1.13
323	Σκληροφυλλική βλάστηση	-3.402	-4.96
324	Μεταβατικές δασώδεις θαμνώδεις εκτάσεις	8.438	12.29
331	Παράλεις, αμμόλοφοι, αμμουδιές	0.038	0.05
333	Εκτάσεις με αραιή βλάστηση	2.326	3.39

Πίνακας 4.6: Μεταβολή συνοπτικών χρήσεων γης κατά τα έτη 1990-2000

A/A	ΕΙΔΟΣ ΧΡΗΣΗΣ ΓΗΣ	ΕΚΤΑΣΗ (km ²)	ΕΚΤΑΣΗ (%)
1	Βιομηχανικές ή εμπορικές ζώνες	2.279	3.32
2	Εκτάσεις με θαμνώδη - σκληροφυλλική βλάστηση	8.135	11.85
3	Καλλιέργειες	-5.607	-8.17
4	Δάσος	-5.686	-8.28
5	Φυσικοί βοσκότοποι	0.794	1.16
6	Παράλεις, αμμόλοφοι, αμμουδιές	0.084	0.12

Σχήμα 4.5: Διαφορές χρήσεων γης κατά τα έτη 1990-2000

Σχήμα 4.6: Μεταβολή χρήσεων γης κατά τα έτη 1990-2000

Σχήμα 4.7: Διαφορές συνοπτικών χρήσεων γης κατά τα έτη 1990-2000

Σχήμα 4.8: Μεταβολή συνοπτικών χρήσεων γης κατά τα έτη 1990-2000

5 ΥΔΡΟΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑ, ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑ

Η σωστή μέτρηση και επεξεργασία των κλιματικών στοιχείων μιας περιοχής θεωρείται απαραίτητη προϋπόθεση για τη διαμόρφωση ενός αξιόπιστου υδρολογικού ισοζυγίου. Στο πλαίσιο της παρούσας διδακτορικής διατριβής συγκεντρώθηκαν στοιχεία που αφορούν τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, τη θερμοκρασία, την ηλιακή ακτινοβολία, την ηλιοφάνεια και τους ανέμους για την ευρύτερη περιοχή έρευνας, τα οποία επεξεργάστηκαν ως προς τη χρονική και χωρική τους κατανομή με τη χρήση στατιστικών μεθόδων και γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών αντίστοιχα.

5.1 Στατιστικές Παράμετροι

Οι στατιστικές παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν είναι οι εξής:

- *Κεντρική τάση* (central tendency)

Ο γνωστός αριθμητικός μέσος (mean ή average) είναι το ευρύτερα χρησιμοποιούμενο μέτρο της κεντρικής τάσης που προκύπτει από τη σχέση:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (5.1)$$

όπου:

$x_1, x_2, \dots, x_n$, οι τιμές της μεταβλητής X

Ένα επιπλέον μέτρο της κεντρικής τάσης είναι η διάμεσος (median), δηλαδή η μεσαία τιμή των παρατηρούμενων δεδομένων, που διαχωρίζει την κατανομή σε ίσες περιοχές.

- *Μεταβλητότητα* (variability)

Η διασπορά αντιπροσωπεύεται είτε από τη συνολική κύμανση των τιμών, είτε από τη μέση απόκλιση από το μέσο όρο. Εντούτοις, η παράμετρος στατιστικής σημασίας είναι η μέση απόκλιση τετραγώνου, που ορίζεται ως διακύμανση (variance) και προκύπτει από τη σχέση:

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2 \quad (5.2)$$

Όταν ο μέσος όρος του πληθυσμού μ δεν είναι γνωστός με ακρίβεια, τότε χρησιμοποιείται η σχέση:

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (5.3)$$

Η τυπική απόκλιση σ ή s (standard deviation) είναι η τετραγωνική ρίζα της διακύμανσης, δηλαδή:

$$s = \sqrt{s^2} \quad \text{ή} \quad \sigma = \sqrt{\sigma^2} \quad (5.4)$$

και εκφράζει τη μεταβλητότητα των τιμών της μεταβλητής γύρω από τη μέση τιμή της. Μικρές τιμές της τυπικής απόκλισης σημαίνει ότι οι παρατηρήσεις είναι συγκεντρωμένες γύρω από τη μέση τιμή τους.

ο *Ασυμμετρία* (skewness)

Η ασυμμετρία μιας κατανομής υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\alpha = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (5.5)$$

Ο συντελεστής ασυμμετρίας (coefficient of skewness) είναι ο λόγος $\frac{\alpha}{\sigma^3}$ και υπολογίζεται από τη σχέση:

$$C_s = \frac{\alpha}{\sigma^3} \quad (5.6)$$

Για συμμετρικές κατανομές $C_s = 0$, για θετική ασυμμετρία ($C_s > 0$) το μακρύ σκέλος της κατανομής κλίνει προς τη δεξιά πλευρά, ενώ το αντίθετο συμβαίνει στην περίπτωση της αρνητικής ασυμμετρίας ($C_s < 0$). Η ιδιότητα της ασυμμετρίας θεωρείται αμφιβόλου στατιστικής σημασίας, όταν αυτή εκτιμάται από λιγότερες των 50 παρατηρήσεις (Viessman & Lewis, 1996).

ο *Κύρτωση* (kurtosis)

Η κύρτωση ορίζεται από τη σχέση:

$$k = \left[\frac{n(n+1)}{(n-1)(n-2)(n-3)} \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i - \bar{x}}{s} \right)^4 \right] - \frac{3(n-1)^2}{(n-2)(n-3)} \quad (5.7)$$

Η κύρτωση χαρακτηρίζει τη σχετική οξύτητα ή ομαλότητα μιας κατανομής, σε σύγκριση με την κανονική κατανομή. Θετική κύρτωση υποδηλώνει κατανομή με σχετικές οξύνσεις, ενώ αρνητική κύρτωση υποδηλώνει σχετικά ομαλή κατανομή.

5.2 Ατμοσφαιρικά Κατακρημνίσματα

Με τον όρο *ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα* περιγράφονται γενικά οι διάφορες μορφές (βροχή, χαλάζι, χιόνι, κ.ά.) με τις οποίες το νερό φθάνει στην επιφάνεια του εδάφους. Στην περιοχή έρευνας ενδιαφέρει κυρίως η βροχή και το χιόνι. Η χιονόπτωση στους ορεινούς όγκους του Παναχαϊκού είναι συχνή και διαρκεί συνήθως από το τέλος Οκτωβρίου έως τον μήνα Μάιο.

Επειδή οι βροχοπτώσεις αποτελούν την κυριότερη παράμετρο του υδρολογικού ισοζυγίου, παρακάτω πραγματοποιείται λεπτομερής ανάλυσή τους. Τα διαθέσιμα στοιχεία για τις βροχοπτώσεις προέρχονται από τις παρατηρήσεις τεσσάρων βροχομετρικών σταθμών που βρίσκονται στην ευρύτερη περιοχή έρευνας (Πίνακας 5.1) και αφορούν την περίοδο 1975-2004. Η περίοδος αυτή θεωρείται ικανοποιητική και κατά τη διάρκεια της λειτουργούσαν όλοι οι σταθμοί. Πρέπει επίσης να αναφερθεί ότι,

η πυκνότητα των βροχομετρικών σταθμών στην ευρύτερη περιοχή ικανοποιεί την ελάχιστη πυκνότητα που θέτει ο Παγκόσμιος Οργανισμός Μετεωρολογίας (WMO, 1976), που για τις μεσογειακές χώρες είναι ένας σταθμός ανά 600-850 km² για τις πεδινές περιοχές και ένας σταθμός ανά 100-250 km² για τις ορεινές.

Ως υδρολογικό έτος χαρακτηρίζεται μία χρονική περίοδος ίση με το ημερολογιακό έτος, η έναρξη της οποίας, όμως, συμπίπτει με την αρχή της υγρής περιόδου. Στην περιοχή έρευνας, το υδρολογικό έτος αρχίζει την 1^η Οκτωβρίου και λήγει στις 30 Σεπτεμβρίου του επόμενου ημερολογιακού έτους.

Πίνακας 5.1: Βροχομετρικοί σταθμοί ευρύτερης περιοχής έρευνας

A/A	ΣΤΑΘΜΟΣ	ΥΨΟΜΕΤΡΟ (m)	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΠΟΥ ΛΗΦΘΗΚΕ ΥΠΟΨΗ	ΦΟΡΕΑΣ
1	ΛΗΠΙΟ	64	1975-2004	ΕΜΥ ¹
2	ΛΕΟΝΤΙΟ	740	1975-2004	ΔΕΗ ²
3	ΜΕΛΙΣΣΙΑ	290	1975-2004	ΔΕΗ
4	ΠΑΤΡΑ	1	1975-2004	ΕΜΥ

5.2.1 Εκτίμηση των Ελλιπών Παρατηρήσεων

Η εκτίμηση των ελλιπών παρατηρήσεων των βροχομετρικών σταθμών με χρήση της μεθόδου κανονικού λόγου (normal ratio method), κατά την οποία η εκτίμηση της ελλείπουσας παρατήρησης ενός σταθμού X βασίζεται στις ταυτόχρονες παρατηρήσεις των σταθμών αναφοράς (1, 2, ..., n) και υπολογίζεται από τη σχέση:

$$P_x = \frac{\bar{P}_x}{(n-1)} \left(\frac{P_1}{\bar{P}_1} + \frac{P_2}{\bar{P}_2} + \dots + \frac{P_n}{\bar{P}_n} \right) \quad (5.8)$$

όπου:

P_x , η ελλείπουσα τιμή βροχόπτωσης στο σταθμό X,

$P_1, P_2, \dots, P_n$, η βροχόπτωση στους σταθμούς αναφοράς για την ίδια περίοδο,

$\bar{P}_x$, το μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης στο σταθμό X,

$\bar{P}_1, \bar{P}_2, \dots, \bar{P}_n$, το μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης στους σταθμούς αναφοράς, και

n , το πλήθος όλων των σταθμών

Μετά την εκτίμηση των ελλιπών παρατηρήσεων, ακολούθησε ο προσδιορισμός του συντελεστή συσχέτισης των ετήσιων υψών βροχόπτωσης όλων των βροχομετρικών σταθμών (Πίνακας 5.2), σύμφωνα με τη σχέση:

¹ Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία

² Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού

$$r_{x,y} = \frac{Cov(x,y)}{\sigma_x \cdot \sigma_y} \quad (5.9), \text{ όπου}$$

$$-1 \leq r_{x,y} \leq 1 \text{ και}$$

$$Cov(X,Y) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu_x)(y_i - \mu_y) \quad (5.10)$$

Πίνακας 5.2: Έλεγχος συσχέτισης των βροχομετρικών σταθμών

	ΛΙΓΙΟ	ΛΕΟΝΤΙΟ	ΜΕΛΙΣΣΙΑ	ΠΑΤΡΑ
ΛΙΓΙΟ	1			
ΛΕΟΝΤΙΟ	0.49	1		
ΜΕΛΙΣΣΙΑ	0.41	0.65	1	
ΠΑΤΡΑ	0.52	0.19	0.20	1

Από τον παραπάνω πίνακα προκύπτει ότι, όλοι οι σταθμοί παρουσιάζουν ένα μέτριο βαθμό συσχέτισης. Ωστόσο, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό των παραμέτρων του υδρολογικού ισοζυγίου της περιοχής μελέτης.

Όσον αφορά τα στατιστικά χαρακτηριστικά των ετήσιων υψών βροχόπτωσης (Πίνακας 5.3), οι τιμές της τυπικής απόκλισης κυμαίνονται από 171.3 mm (σταθμός Λιγίου) έως 368.2 mm (σταθμός Λεοντίου). Η ασυμμετρία λαμβάνει ελαφρά θετικές τιμές σε όλους τους βροχομετρικούς σταθμούς. Τέλος, τα ετήσια ύψη βροχόπτωσης σε όλους τους βροχομετρικούς σταθμούς παρουσιάζουν κατανομές με ισχυρές οξύνσεις.

Πίνακας 5.3: Στατιστικά χαρακτηριστικά των ετήσιων υψών βροχόπτωσης

	ΛΙΓΙΟ	ΛΕΟΝΤΙΟ	ΜΕΛΙΣΣΙΑ	ΠΑΤΡΑ
ΜΕΓΙΣΤΟ (mm)	1188.3	2178.1	1623.8	1365.6
ΕΛΑΧΙΣΤΟ (mm)	499.9	698.1	644.2	331.2
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ (mm)	804.5	1323.8	1048.1	660.0
ΔΙΑΜΕΣΟΣ (mm)	814.3	1308.8	1022.9	643.7
ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ (mm)	171.3	368.2	259.2	189.9
ΑΣΥΜΜΕΤΡΙΑ	0.1	0.4	0.5	1.6
ΚΥΡΤΩΣΗ	-0.6	-0.3	-0.2	5.9

5.2.2 Έλεγχος της Ομοιογένειας των Βροχομετρικών Δεδομένων

Μεταβολές στη θέση των βροχομετρικών σταθμών ή παρεμβολές εμποδίων μπορούν να προκαλέσουν μία συστηματική μεταβολή στις παρατηρήσεις, οι οποίες πλέον χάνουν την ομοιογένειά τους και χρειάζονται επεξεργασία. Ο έλεγχος της ομοιογένειας των βροχομετρικών δεδομένων πραγματοποιήθηκε με την ανάλυση της διπλής μάζας (double mass analysis). Κατά την ανάλυση αυτή, οι αθροιστικές ετήσιες τιμές βροχόπτωσης ($\sum P_x$) του σταθμού X, του οποίου θέλουμε να ελέγξουμε την ομοιογένεια, συγκρίνονται με τη μέση αθροιστική βροχόπτωση μίας ομάδας γειτονικών σταθμών, οι οποίοι είναι μεταξύ τους ομοιογενείς. Ειδικότερα, χρησιμοποιείται η αθροιστική τιμή του μέσου όρου των μέσων ετήσιων υψών βροχόπτωσης των βασικών σταθμών ($\sum P_B$). Εάν τα δεδομένα του σταθμού

είναι ομοιογενή, τότε αυτά προβάλλονται σε μία ευθεία γραμμή. Σε αντίθετη περίπτωση, παρατηρείται μία αλλαγή στην κλίση της ευθείας. Μεταβολές στις μετεωρολογικές συνθήκες επηρεάζουν ισοδύναμα τους σταθμούς αναφοράς και δε μεταβάλουν το γράφημα της διπλής μάζας.

Η εφαρμογή της ανάλυσης της διπλής μάζας στους βροχομετρικούς σταθμούς της περιοχής μελέτης (Σχήμα 5.1) έδειξε ότι όλοι οι σταθμοί είναι ομοιογενείς, αφού τα σημεία όλων των γραφημάτων προβάλλονται σε μία ευθεία.

Σχήμα 5.1: Διαγράμματα διπλής μάζας των βροχομετρικών σταθμών της περιοχής έρευνας

5.2.3 Σχέση Υψόμετρου – Ύψους Βροχόπτωσης

Η κατανομή των βροχοπτώσεων καθορίζεται από διάφορους παράγοντες, σημαντικότερος των οποίων είναι το υψόμετρο της περιοχής. Οι δύο παράμετροι, απόλυτο υψόμετρο – ύψος βροχής, συνδέονται με μία γραμμική μαθηματική σχέση, της μορφής $y = ax + b$, με ανεξάρτητη μεταβλητή το απόλυτο υψόμετρο των σταθμών (x) και εξαρτημένη μεταβλητή το μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης. Η σχέση αυτή ονομάζεται εξίσωση βροχοβαθμίδας και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή του βροχομετρικού χάρτη της περιοχής. Ο έλεγχος της αξιοπιστίας της σχέσης αυτής γίνεται με τον υπολογισμό του συντελεστή συσχέτισης των δύο μεγεθών, εφαρμόζοντας τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων. Η σχέση αυτή θεωρείται ικανοποιητική εφόσον ο συντελεστής συσχέτισης είναι μεγαλύτερος από 0.70.

Σε τοπική κλίμακα, είναι δυνατόν να παρατηρηθούν διαφοροποιήσεις που έχουν να κάνουν με δευτερεύοντες παράγοντες που επηρεάζουν την κατανομή των βροχοπτώσεων, όπως το ανάγλυφο, ο προσανατολισμός, η κατεύθυνση των τοπικών ορεογραφικών αξόνων, κ.ά., αλλά για την περιοχή έρευνας, οι πιθανές τοπικές αυτές διαφοροποιήσεις δεν επηρεάζουν τη σχέση, όπως φαίνεται και από την τιμή τους.

Πίνακας 5.4: Υψόμετρα και μέσα ετήσια ύψη βροχόπτωσης των σταθμών της περιοχής έρευνας

ΣΤΑΘΜΟΣ	ΥΨΟΜΕΤΡΟ (m)	ΥΨΟΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ (mm)
ΛΙΓΙΟ	64	804.5
ΛΕΟΝΤΙΟ	740	1323.8
ΜΕΛΙΣΣΙΑ	290	1048.1
ΠΑΤΡΑ	1	660.0

Από την εφαρμογή της μεθόδου στην περιοχή μελέτης (Πίνακας 5.4, Σχήμα 5.2), προέκυψε ότι η βροχοβαθμίδα δίνεται από τη σχέση:

$$y = 0.8496x + 726.53 \quad (5.11)$$

όπου:

x , είναι το υψόμετρο (m), και

y , το μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης (mm)

Σχήμα 5.2: Γραφική απεικόνιση της σχέσης ύψους βροχόπτωσης - υψόμετρου

Από την παραπάνω εξίσωση προκύπτει ότι η βροχόπτωση αυξάνει με το υψόμετρο. Συγκεκριμένα, η βροχοβαθμίδα υπολογίστηκε στα 85 mm ανά 100 μέτρα αύξησης του υψόμετρου, ενώ το μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης στο επίπεδο της θάλασσας είναι 726.53 mm. Ο συντελεστής συσχέτισης ανέρχεται σε 0.95, που σημαίνει ότι το ετήσιο ύψος βροχόπτωσης επηρεάζεται σχεδόν αποκλειστικά από το υψόμετρο. Παρόμοια εξίσωση της βροχοβαθμίδας για την περιοχή έρευνας αναφέρεται και από τον Νίκα (2004) που υπολόγισε ότι, για το δυτικό τμήμα του νομού Αχαΐας, το ύψος βροχόπτωσης αυξάνεται κατά 63 mm ανά 100 μέτρα ύψους, ενώ στο ύψος της θάλασσας αντιστοιχούν 87.6 mm βροχόπτωσης.

Εφαρμόζοντας τη μαθηματική σχέση 5.11 στο ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DEM), κατασκευάστηκε ο βροχομετρικός χάρτης της περιοχής μελέτης (Εικόνα 5.1).

Εικόνα 5.1: Βροχομετρικός χάρτης της περιοχής έρευνας

5.2.4 Κατανομή των Βροχοπτώσεων

5.2.4.1 Ετήσια Πορεία

Τα ετήσια ύψη βροχόπτωσης των σταθμών, μετά τη συμπλήρωση και διόρθωσή τους, δίνονται στον πίνακα 5.5 και η γραφική παρουσίασή τους στο σχήμα 5.3.

Πίνακας 5.5: Συγκριτικά ετήσια ύψη βροχόπτωσης

ΕΤΟΣ	ΑΙΓΙΟ	ΛΕΟΝΤΙΟ	ΜΕΛΙΣΣΙΑ	ΠΑΤΡΑ
1975-76	738	1388.4	1018.9	645.3
1976-77	669.7	1308.8	1051.7	643.7
1977-78	1188.3	1956.3	1537	837.7
1978-79	935.1	1503.3	1174.7	788.7
1979-80	879.6	1620.4	1623.8	847.4
1980-81	1031.7	1942.2	1387.2	791.1
1981-82	999.8	2178.1	1517.8	799.6
1982-83	759.2	1656.9	999.9	565.9
1983-84	926	1670.8	1315.6	673.9
1984-85	857.3	1093.9	1236.4	522.8
1985-86	820.2	1623.4	1059	763.2
1986-87	870.6	1217	1146.1	622
1987-88	971.2	1476.6	1173.2	601.7
1988-89	631.2	1030.1	923.9	536.8
1989-90	499.9	698.1	644.2	331.2
1990-91	985.2	1651.8	1108.1	685.7
1991-92	564.2	896.3	840.2	393.8
1992-93	595.9	1191.5	951.4	477.3
1993-94	735.9	934.3	770	589.9
1994-95	782.4	1399.1	1036.8	614.2
1995-96	665.8	1340.8	1235.3	714.6
1996-97	565.3	911.4	878.6	519.3
1997-98	568.6	974.5	857.9	506.5
1998-99	814.3	1511.3	865.7	788.3
1999-00	670.8	1030.0	693	462.1
2000-01	916.0	1179.5	723.3	716
2001-02	846.0	1121.8	911	727.4
2002-03	1052.0	1080.9	1022.9	1365.6
2003-04	790.0	801.4	692.5	607

Σχήμα 5.3: Ετήσια πορεία βροχοπτώσεων για την περίοδο 1975-2004

5.2.4.2 Μηνιαία Πορεία

Στον πίνακα 5.6 δίνονται οι μέσες μηνιαίες τιμές βροχόπτωσης των σταθμών αναφοράς, όπως αυτές προέκυψαν μετά τη συμπλήρωση και ομογενοποίησή τους.

Πίνακας 5.6: Μέσες μηνιαίες τιμές βροχοπτώσεως για την περίοδο 1975-2004

	Οκτ	Νοε	Δεκ	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαϊ	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ
ΑΙΓΙΟ	82.8	150.3	140.9	110.0	98.4	78.2	65.0	30.0	8.4	5.5	9.9	25.0
ΛΕΟΝΤΙΟ	123.6	222.0	249.6	174.2	157.9	114.2	127.8	61.2	22.9	9.5	12.6	48.4
ΜΕΛΙΣΣΙΑ	94.9	162.6	185.0	154.8	139.6	124.3	88.3	39.5	10.2	9.5	8.3	31.1
ΠΑΤΡΑ	67.4	126.1	110.5	78.9	89.3	56.6	55.9	25.9	7.5	7.9	7.6	26.5

Σχήμα 5.4: Μηνιαία πορεία βροχοπτώσεων για την περίοδο 1975-2004

Από το παραπάνω διάγραμμα προκύπτει ότι, οι πλέον ξηροί μήνες είναι οι Ιούνιος, Ιούλιος και Αύγουστος, ενώ οι μέγιστες βροχοπτώσεις εμφανίζονται κατά τους μήνες Νοέμβριο και Δεκέμβριο.

5.2.4.3 Ανάλυση Χρονοσειράς Βροχομετρικών Δεδομένων – Ξηρές Περίοδοι

Με βάση τα δεδομένα όλων των βροχομετρικών σταθμών, έγινε μελέτη των διακυμάνσεων των ετήσιων τιμών βροχοπτώσεως, αφού προηγήθηκε εξομάλυνση των αρχικών τιμών με τη μέθοδο του κυλιόμενου μέσου. Επειδή η χρονοσειρά είναι σχετικά μικρή (30 έτη), χρησιμοποιήθηκε ο κυλιόμενος μέσος 3 ετών για να αποφευχθεί η παράληψη σημαντικών αλλαγών της βροχοπτώσεως. Η ευθεία της τάσεως των χρονοσειρών προσδιορίστηκε με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων. Οι αντίστοιχες κατανομές και ευθείες τάσεων παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα.

(συνέχεια)

Σχήμα 5.5: Χρονική κατανομή και ευθεία τάσεις των ετήσιων τιμών βροχόπτωσης για τους σταθμούς αναφοράς

Από τη μελέτη του σχήματος 5.5 προκύπτει ότι για τον σταθμό του Λιγίου, το ετήσιο ύψος βροχόπτωσης ελαττώνεται γραμμικά με το χρόνο με ρυθμό 5.43 mm ανά έτος, για τον σταθμό του Λεοντίου ο ρυθμός μείωσης ανέρχεται στα 26.21 mm ανά έτος, για τον σταθμό των Μελισσιών ο ρυθμός μείωσης είναι 20.32 mm ανά έτος, ενώ για τον σταθμό της Πάτρας είναι μόλις 0.25 mm ανά έτος. Εξαιτίας του σχετικά μικρού χρόνου παρατηρήσεων, οι τάσεις μείωσης των βροχοπτώσεων με το χρόνο

ενέχουν ένα μικρό ποσοστό ανασφάλειας. Αυτό σημαίνει ότι μπορεί να μην υφίσταται τάση αλλά, αυτό που παρατηρείται να είναι ένα τμήμα μίας διακύμανσης μεγάλου εύρους. Ωστόσο, μπορούν να θεωρηθούν πραγματικές αφού έχουν διαπιστωθεί και από άλλους ερευνητές, τόσο για την περιοχή έρευνας (Βουδούρης, 1995; Νίκας, 2004) όσο και για άλλες περιοχές της Ελλάδας (Δημητράκοπουλος κ.ά., 1993; Μαυρουδής & Πανώρας, 1992; Παναγόπουλος, 2004).

Από τα διαγράμματα, προκύπτει χαρακτηριστικά μία ξηρή περίοδος για όλους τους σταθμούς της περιοχής έρευνας, κατά την οποία το ετήσιο ύψος βροχόπτωσης ήταν χαμηλότερο του μέσου όρου. Αυτή παρατηρείται κατά τα έτη 1989-2001 για τον σταθμό του Αιγίου, κατά τα έτη 1988-2004 για τον σταθμό του Λεοντίου, κατά τα έτη 1996-2004 για τον σταθμό των Μελισσιών και κατά τα έτη 1987-2002 για τον σταθμό της Πάτρας.

Στους σταθμούς Λεόντιο και Μελίσσια διαπιστώνεται μία μείωση των βροχοπτώσεων τα τελευταία 15 χρόνια. Για την αναγνώριση των περιόδων ξηρασίας, καθώς και για την ποσοτικοποίηση αυτών, χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης ανηγμένης τυπικής απόκλισης των τιμών ετήσιου ύψους βροχόπτωσης, δείκτης Z (Beran et al., 1985) (Σχήμα 5.6):

$$Z = \frac{(x_i - \mu)}{\sigma} \quad (5.12)$$

όπου:

x_i , ετήσιο ύψος βροχόπτωσης του σταθμού κατά το έτος i ,

μ , μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης, και

σ , τυπική απόκλιση τετραγώνου

Βάσει του χαρακτηριστικού του μέσου ετήσιου ύψους βροχόπτωσης, οι περίοδοι ξηρασίας συμπίπτουν με τις ξηρές περιόδους που προαναφέρθηκαν.

(συνέχεια)

Σχήμα 5.6: Κατανομή του δείκτη Z για τους σταθμούς Λεόντιο και Μελίσσια για την περίοδο 1975-2004

Με την εφαρμογή το δείκτη Z, στο σταθμό του Λεοντίου παρατηρούνται 14 θετικές και 15 αρνητικές τιμές. Κατά την περίοδο ξηρασίας 1988-2004, το έτος ισχυρότερης ξηρασίας ήταν το 1989-90 με ετήσιο ύψος βροχής 698,1 mm ($Z=-1.70$). Στο σταθμό των Μελισσιών παρατηρούνται 13 θετικές και 16 αρνητικές τιμές, ενώ το έτος ισχυρότερης ξηρασίας κατά την περίοδο 1989-2004 ήταν επίσης το έτος 1989-1990 με ετήσιο ύψος βροχής 644.2 mm ($Z=-1.56$).

5.3 Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία του αέρα θεωρείται ένα από τα κυριότερα κλιματολογικά στοιχεία, αφού παίζει πρωταρχικό ρόλο στον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής και στη διαμόρφωση του υδρολογικού ισοζυγίου μιας περιοχής. Η ημερήσια μεταβολή της θερμοκρασίας του αέρα, ακολουθεί με κάποια καθυστέρηση, την αντίστοιχη μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας.

Χρησιμοποιήθηκαν τα διαθέσιμα στοιχεία των πλησιέστερων στην περιοχή έρευνας σταθμών Αιγίου, Αράξου (ΕΜΥ), Καλαβρύτων (ΔΕΗ) και Πάτρας για την περίοδο 1975-1996.

5.3.1 Κατανομή των Θερμοκρασιών

5.3.1.1 Ετήσια Πορεία

Οι ετήσιες τιμές θερμοκρασίας δίνονται στον πίνακα 5.7 και η γραφική παρουσίασή τους στο σχήμα 5.7.

Πίνακας 5.7: Μέσες ετήσιες τιμές θερμοκρασίας για την περίοδο 1975-1996 σε °C

ΕΤΟΣ	ΛΗΤΙΟ	ΑΡΑΞΟΣ	ΚΑΛΑΒΡΥΤΑ	ΠΑΤΡΑ
1975-76	17.2	17.2	12.0	15.9
1976-77	18.3	18.1	13.6	17.6
1977-78	17.6	17.5	12.6	17.7
1978-79	17.9	17.9	12.6	18.0
1979-80	18.1	17.0	12.1	17.3
1980-81	19.5	17.4	12.9	17.8
1981-82	17.7	17.6	12.8	18.1
1982-83	17.7	17.4	12.6	17.8

ΕΤΟΣ	ΛΙΓΙΟ	ΑΡΑΞΟΣ	ΚΑΛΑΒΡΥΤΑ	ΠΑΤΡΑ
1983-84	17.5	17.2	12.4	17.6
1984-85	18.3	18.1	12.8	18.4
1985-86	18.4	18.2	12.8	18.5
1986-87	17.7	17.5	12.0	17.8
1987-88	18.4	18.5	13.0	18.9
1988-89	18.0	17.5	12.2	18.1
1989-90	18.6	17.8	12.7	18.5
1990-91	17.9	17.5	12.5	18.2
1991-92	17.9	18.2	11.7	17.9
1992-93	18.4	17.7	12.6	18.2
1993-94	19.7	19.0	13.4	19.3
1994-95	18.1	17.9	12.7	18.5
1995-96	18.4	17.6	12.5	17.9

Σχήμα 5.7: Ετήσια πορεία θερμοκρασιών για την περίοδο 1975-1996

5.3.1.2 Μηνιαία Πορεία

Στον πίνακα 5.8 δίνονται οι μέσες μηνιαίες τιμές θερμοκρασίας για τους σταθμούς αναφοράς.

Πίνακας 5.8: Μέσες μηνιαίες τιμές θερμοκρασίας για την περίοδο 1975-1996 σε °C

ΣΤΑΘΜΟΣ	Οκτ	Νοε	Δεκ	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαϊ	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ
ΛΙΓΙΟ	19.7	14.7	11.3	10.3	10.3	12.4	15.8	20.2	24.6	27.0	27.2	24.3
ΑΡΑΞΟΣ	19.1	14.2	11.2	10.0	10.3	12.2	15.1	19.6	24.0	26.6	26.6	23.3
ΚΑΛΑΒΡΥΤΑ	13.4	8.3	5.5	4.0	4.8	7.2	10.9	15.3	19.9	22.1	21.7	18.0
ΠΑΤΡΑ	19.4	14.2	11.4	10.1	10.7	12.6	15.6	20.1	24.4	26.7	26.9	23.8

Σχήμα 5.8: Μηνιαία πορεία θερμοκρασιών για την περίοδο 1975-1996

Από το διάγραμμα του σχήματος 5.8 διαπιστώνεται η θερμοκρασιακή διαφοροποίηση του σταθμού των Καλαβρύτων από τους υπόλοιπους σταθμούς της περιοχής. Το φαινόμενο αυτό αιτιολογείται από το γεγονός ότι ο σταθμός αυτός βρίσκεται σε αρκετά μεγαλύτερο υψόμετρο από τους άλλους σταθμούς και ως γνωστό η θερμοκρασία ελαττώνεται σχεδόν γραμμικά με την αύξηση του υψόμετρου, με ένα ρυθμό μεταβολή σχεδόν $0.65\text{ }^{\circ}\text{C}$ ανά 100 m (Σακκάς, 1985). Οι χαμηλότερες θερμοκρασίες σημειώνονται τους μήνες Ιανουάριο και Φεβρουάριο ($8-9\text{ }^{\circ}\text{C}$), ενώ οι υψηλότερες τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο ($25-26\text{ }^{\circ}\text{C}$).

5.3.2 Σχέση Υψόμετρου – Θερμοκρασίας

Η μέση ετήσια θερμοκρασία του αέρα ελαττώνεται σχεδόν γραμμικά με τη μεταβολή του υψόμετρου, με ένα ρυθμό μεταβολής σχεδόν $0.65\text{ }^{\circ}\text{C}$ ανά 100 m ύψους για την τροπόσφαιρα και ποικίλει ανάλογα με το ύψος, την εποχή του έτους και τις επικρατούσες μετεωρολογικές συνθήκες (Σακκάς, 1985). Η ταχύτητα μεταβολής της θερμοκρασίας ονομάζεται θερμοβαθμίδα και δίνεται από μία συνάρτηση πρώτου βαθμού της μορφής $y = ax + b$, με ανεξάρτητη μεταβλητή το απόλυτο υψόμετρο των σταθμών (x) και εξαρτημένη μεταβλητή τη μέση ετήσια θερμοκρασία. Ο έλεγχος της αξιοπιστίας της σχέσης αυτής γίνεται με τον υπολογισμό του συντελεστή συσχέτισης των δύο μεγεθών, εφαρμόζοντας τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων. Η σχέση αυτή θεωρείται ικανοποιητική εφόσον ο συντελεστής συσχέτισης είναι μεγαλύτερος από 0.70 . Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι μέσες ετήσιες θερμοκρασίες και τα υψόμετρα για τους σταθμούς αναφοράς.

Πίνακας 5.9: Υψόμετρα και μέσες ετήσιες θερμοκρασίες των σταθμών αναφοράς

ΣΤΑΘΜΟΣ	ΥΨΟΜΕΤΡΟ (m)	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ($^{\circ}\text{C}$)
ΑΙΓΙΟ	64	18.14
ΑΡΑΞΟΣ	15	17.75
ΚΑΛΑΒΡΥΤΑ	731	12.60
ΠΑΤΡΑ	1	18.01

Από την εφαρμογή της μεθόδου στην περιοχή μελέτης (Πίνακας 5.9, Σχήμα 5.9), προέκυψε ότι η θερμοβαθμίδα δίνεται από τη σχέση:

$$y = -0.0076x + 18.151 \quad (5.13)$$

όπου:

x , είναι το υψόμετρο (m), και

y , η μέση ετήσια θερμοκρασία ($^{\circ}\text{C}$)

Σχήμα 5.9: Γραφική απεικόνιση της σχέσης θερμοκρασίας - υψομέτρου

Από την παραπάνω εξίσωση προκύπτει ότι, για την περιοχή μελέτης, η μέση ετήσια θερμοκρασία ελαττώνεται με το υψόμετρο με έναν ρυθμό της τάξεως των 0.75°C ανά 100 m αύξησης του υψομέτρου, ενώ στο επίπεδο της θάλασσας είναι 18.121°C . Ο συντελεστής συσχέτισης ανέρχεται σε 0.985, που σημαίνει ότι η εξίσωση 5.13 μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση της θερμοκρασίας στην περιοχή μελέτης.

Παρόμοια εξίσωση της θερμοβαθμίδας για την περιοχή έρευνας αναφέρεται και από τους Νίκα (2004) ($y = -0.0072x + 17.839$) και Βουδούρη (1995) ($y = -0.0066x + 18.17$).

Η εφαρμογή της εξίσωσης 5.13 στο ψηφιακό μοντέλο εδάφους της περιοχής έρευνας έδωσε τον χάρτη της εικόνας 5.2.

Εικόνα 5.2: Χάρτης κατανομής της θερμοκρασίας στην περιοχή έρευνας

5.4 Σχετική Υγρασία του Αέρα

Σχετική υγρασία είναι η επί τοις % αναλογία της ποσότητας των υδρατμών που υπάρχουν σε κάποιο χώρο, προς την ποσότητα υδρατμών που ο χώρος αυτός θα μπορούσε να συγκρατήσει σε συνθήκες κορεσμού στην ίδια θερμοκρασία.

Ο ατμοσφαιρικός αέρας περιέχει πάντα κάποια ποσότητα υδρατμών οι οποίες αποτελούν την ατμοσφαιρική υγρασία. Αυτή ασκεί αποφασιστική επίδραση στην πορεία του υδρολογικού κύκλου, γιατί αποτελεί την πηγή τροφοδοσίας όλων των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων. Επιπλέον, επιδρά στην εξάτμιση και διαπνοή των φυτών.

5.4.1 Ετήσια Πορεία

Στον παρακάτω πίνακα δίνονται οι μέσες ετήσιες τιμές σχετικής υγρασίας για τους σταθμούς Αίγιο και Πάτρα και στο σχήμα 5.10 δίνεται η γραφική απεικόνιση της ετήσιας πορείας τους.

Πίνακας 5.10: Μέσες ετήσιες τιμές σχετικής υγρασίας για την περίοδο 1974-1996

ΕΤΟΣ	ΑΙΓΙΟ	ΠΑΤΡΑ
1974-75	63.4	67.4
1975-76	67.2	70.0
1976-77	67.0	66.4
1977-78	70.8	63.4
1978-79	71.2	62.9
1979-80	75.9	68.5
1980-81	74.9	70.5
1981-82	76.1	69.3
1982-83	86.2	67.7
1983-84	80.7	69.7
1984-85	78.6	69.7
1985-86	83.4	71.5
1986-87	84.5	72.1
1987-88	80.8	66.1
1988-89	84.5	60.4
1989-90	84.9	60.7
1990-91	86.3	65.6
1991-92	80.4	62.9
1992-93	87.8	63.8
1993-94	80.7	64.6
1994-95	85.9	65.1
1995-96	88.6	63.8

Σχήμα 5.10: Ετήσια πορεία σχετικής υγρασίας για την περίοδο 1974-1996

5.4.2 Μηνιαία Πορεία

Στον παρακάτω πίνακα δίνονται οι μέσες μηνιαίες τιμές της σχετικής υγρασίας και στο σχήμα 5.11 απεικονίζεται η μηνιαία πορεία για τους σταθμούς του Αιγίου και της Πάτρας, καθώς και η συγκριτική πορεία της παραμέτρου με αυτές των βροχοπτώσεων και της θερμοκρασίας (Σχήματα 5.12 και 5.13 αντίστοιχα).

Πίνακας 5.11: Μέσες μηνιαίες τιμές σχετικής υγρασίας για την περίοδο 1974-1996

	Οκτ	Νοε	Δεκ	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαΐ	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ
ΑΙΓΙΟ	80.6	84.7	85.6	85.1	83.2	81.9	80.6	77.7	71.4	69.6	72.7	76.1
ΠΑΤΡΑ	67.0	71.5	70.9	68.3	66.1	67.8	68.0	66.8	63.3	61.9	61.6	64.2

Σχήμα 5.11: Μηνιαία πορεία της σχετικής υγρασίας για τα έτη 1974-1996

(συνέχεια)

Σχήμα 5.12: Συγκριτική κατανομή της μέσης μηνιαίας σχετικής υγρασίας και των βροχοπτώσεων για τους σταθμούς αναφοράς για την περίοδο 1975-1996

Σχήμα 5.13: Συγκριτική κατανομή της μέσης μηνιαίας σχετικής υγρασίας και της θερμοκρασίας για τους σταθμούς αναφοράς για την περίοδο 1975-1996

Από τα διαγράμματα του σχήματος 5.12 φαίνεται ότι, η σχετική υγρασία παρουσιάζει παρόμοια πορεία με αυτή των βροχοπτώσεων και για τους δύο σταθμούς αναφοράς. Αντίθετα, η πορεία της σε σχέση με την πορεία των θερμοκρασιών φαίνεται να είναι αντίστροφη (Σχήμα 5.13). Αυτό σημαίνει

αύξηση της υγρασίας με ταυτόχρονη αύξηση των βροχοπτώσεων και μείωσή της με την αύξηση της θερμοκρασίας.

5.5 Άνεμος

Ως άνεμος χαρακτηρίζεται η οριζόντια κίνηση των αερίων μαζών που οφείλεται στις διαφορές της ατμοσφαιρικής πίεσης μεταξύ δύο περιοχών.

Οι άνεμοι επηρεάζουν σημαντικά την εξάτμιση του νερού από την επιφάνεια του εδάφους, συμβάλλοντας έτσι στη διαμόρφωση του υδρολογικού ισοζυγίου. Για την περιοχή έρευνας συλλέχθηκαν στοιχεία για την ένταση και την κατεύθυνση των ανέμων για τους σταθμούς Αίγιο και Πάτρας. Στους πίνακες και στα διαγράμματα που ακολουθούν, παρουσιάζονται οι κατανομές κατευθύνσεων και ταχυτήτων των ανέμων για τους παραπάνω σταθμούς.

Πίνακας 5.12: Ποσοστιαία κατανομή (%) της μηνιαίας διεύθυνσης των ανέμων στο σταθμό του Αιγίου για την περίοδο 1974-1997

ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΑΝΕΜΟΥ	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαΐ	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
Βόρειος	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Βορειοανατολικός	1.3	2.4	1.8	0.5	0.5	0.3	0.2	0.2	0.6	0.1	0.2	1.8
Ανατολικός	0.2	0.3	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3
Νοτιοανατολικός	17.2	11.8	13.0	17.9	17.2	25.2	13.7	11.8	12.9	7.9	12.7	17.0
Νότιος	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Νοτιοδυτικός	1.1	0.7	0.6	0.9	1.3	0.8	0.5	0.8	0.8	1.4	0.6	0.5
Δυτικός	0.7	0.5	0.4	0.4	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Βορειοδυτικός	29.8	34.1	27.8	16.0	15.6	10.7	12.7	18.4	18.9	23.2	22.2	25.1
ΝΗΝΕΜΙΑ	49.8	50.2	56.4	64.3	65.1	63.0	72.8	68.8	66.8	67.4	64.3	55.4

Πίνακας 5.13: Ποσοστιαία κατανομή (%) της μηνιαίας διεύθυνσης των ανέμων στο σταθμό της Πάτρας για την περίοδο 1955-1997

ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΑΝΕΜΟΥ	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαΐ	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
Βόρειος	9.3	8.6	11.0	9.7	8.1	7.4	8.5	10.0	11.6	10.5	9.3	9.0
Βορειοανατολικός	16.5	16.7	16.5	10.0	8.0	6.2	7.5	9.8	11.7	16.0	14.5	14.5
Ανατολικός	10.8	9.3	6.2	3.8	2.6	2.1	2.5	3.7	6.7	9.2	9.8	10.8
Νοτιοανατολικός	8.9	9.7	8.5	7.7	4.2	3.9	3.8	3.9	6.3	9.2	9.7	10.1
Νότιος	5.8	5.8	4.9	6.2	4.6	3.9	4.0	3.6	2.9	3.7	6.0	8.0
Νοτιοδυτικός	12.9	14.5	12.8	18.0	20.0	22.6	19.8	15.6	12.2	10.9	12.6	14.0
Δυτικός	3.8	5.1	6.3	9.8	12.1	15.5	13.6	11.2	8.8	5.9	4.3	3.8
Βορειοδυτικός	6.8	6.5	9.3	9.2	12.2	11.4	10.2	10.0	9.7	6.8	7.4	6.4
ΝΗΝΕΜΙΑ	25.2	23.9	24.4	25.5	28.3	27.0	30.1	32.3	30.2	27.8	26.4	23.3

Σχήμα 5.14: Αραχνοδιαγράμματα κατανομής των συχνότητων εμφάνισης (%) των διευθύνσεων των ανέμων

Στα διαγράμματα των σχημάτων 5.14 και 5.15 απεικονίζονται οι επικρατούσες διευθύνσεις ανέμων για τους δύο σταθμούς. Για το σταθμό του Αιγίου παρατηρείται ότι, κατά τη χειμερινή περίοδο Ιανουαρίου – Φεβρουαρίου – Μαρτίου επικρατούν άνεμοι ΒΔ διευθύνσεως, ενώ κατά την άνοιξη και τις αρχές της καλοκαιρινής περιόδου επικρατούν οι ΝΑ διευθύνσεως άνεμοι. Για το σταθμό της Πάτρας, κατά την ανοιξιάτικη και καλοκαιρινή περίοδο επικρατούν ΝΔ άνεμοι, ενώ κατά τη φθινοπωρινή και χειμερινή περίοδο οι επικρατούσες διευθύνσεις ανέμων είναι ΒΑ.

Σχήμα 5.15: Μηνιαία κατανομή της συχνότητας (%) των κύριων διευθύνσεων των ανέμων

Συνήθως στην περιοχή πνέουν άνεμοι ταχύτητας 1, 2 και 3 Beaufort, με συχνότερες τιμές τα 1 και 2 Beaufort, ενώ σπάνια παρατηρούνται άνεμοι ταχύτητας μεγαλύτερης των 5 Beaufort. Καταγραφές για ταχύτητες ανέμου μεγαλύτερες των 7 Beaufort είναι μεμονωμένες. Χαρακτηριστικό και των δύο σταθμών αναφοράς είναι η μεγάλη συχνότητα εμφάνισης περιόδων νηνεμίας. Τα στοιχεία αυτά αναγράφονται αναλυτικά στους πίνακες 5.14 και 5.15 και στα ιστογράμματα του σχήματος 5.16.

Πίνακας 5.14: Ποσοστιαία κατανομή (%) της μηνιαίας ταχύτητας των ανέμων στο σταθμό του Αγίου

TAXYTHTA ANEMOY (Beaufort)	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαϊ	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
0	49.8	50.2	56.4	64.3	65.1	63.0	72.8	68.8	66.8	67.4	64.3	55.4
1	23.4	22.4	20.5	16.2	16.5	16.5	14.0	16.7	17.1	17.4	19.5	21.1
2	15.6	14.9	12.6	11.0	9.4	10.2	7.1	9.0	8.8	9.7	11.8	14.3
3	5.9	7.6	5.7	5.5	4.7	5.2	3.4	3.0	4.2	3.5	2.9	6.0
4	3.3	3.0	3.0	2.4	2.9	3.9	1.8	1.8	2.3	1.6	1.4	2.3
5	1.6	1.6	1.6	0.6	1.1	1.0	0.6	0.7	0.7	0.3	0.2	0.6
6	0.2	0.4	0.1	0.1	0.2	0.3	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2
7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Πίνακας 5.15: Ποσοστιαία κατανομή (%) της μηνιαίας ταχύτητας των ανέμων στο σταθμό της Πάτρας

TAXYTHTA ANEMOY (Beaufort)	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαϊ	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
0	25.2	23.9	24.4	25.5	28.3	27.0	30.1	32.3	30.2	27.8	26.4	23.3
1	26.9	24.7	24.7	25.2	25.4	24.8	26.3	24.5	27.3	29.7	29.1	26.8
2	23.5	25.3	24.5	23.7	24.6	25.0	23.3	21.7	22.2	23.9	24.2	26.5
3	13.5	15.2	15.6	14.6	14.1	14.8	12.3	13.2	12.0	10.9	12.0	14.3
4	6.2	7.6	7.5	7.6	5.4	5.9	5.7	5.9	5.5	5.3	5.7	6.2
5	3.0	2.1	2.5	2.3	1.8	1.9	1.9	1.8	2.2	1.9	1.7	1.9
6	1.6	0.9	0.8	0.9	0.3	0.5	0.5	0.6	0.6	0.4	0.6	0.8
7	0.1	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1
8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
11	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0

Αίγιο

(συνέχεια)

Σχήμα 5.16: Ιστόγραμμα κατανομής συχνοτήτων (%) για την ταχύτητα των ανέμων

5.6 Ηλιοφάνεια

Η ηλιοφάνεια είναι ένας σημαντικός παράγοντας θερμότητας της ατμόσφαιρας και του εδάφους, επηρεάζοντας την εξάτμιση του νερού. Έτσι, η εξάτμιση αυτή ευνοείται σε συνθήκες ηλιοφάνειας γιατί η ηλιακή ακτινοβολία φτάνει στην επιφάνεια της γης προσφέροντας την ενέργεια που χρειάζονται τα σωματίδια του νερού για να μεταβούν στην αέρια φάση.

Τα στοιχεία της ηλιοφάνειας προέρχονται από μετρήσεις στο σταθμό του Άραξου κατά την περίοδο 1977-1998. Στον παρακάτω πίνακα και στο σχήμα 5.17 παρουσιάζονται οι τιμές διάρκειας ηλιοφάνειας ανά μήνα.

Πίνακας 5.16: Μέση μηνιαία ηλιοφάνεια (ώρες) στο σταθμό του Άραξου (1977-1998)

Οκτ	Νοε	Δεκ	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαϊ	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	ΕΤΗΣΙΑ
202.2	143.0	125.2	134.1	144.5	188.7	217.2	278.0	312.7	349.3	328.5	263.6	2687.2

Σχήμα 5.17: Συγκριτική κατανομή της μέσης μηνιαίας ηλιοφάνειας και της θερμοκρασίας για το σταθμό του Άραξου

Ο μέγιστος αριθμός ωρών ηλιοφάνειας παρατηρείται το μήνα Ιούλιο και ο ελάχιστος το μήνα Δεκέμβριο, ενώ η ετήσια τιμή ηλιοφάνειας στο σταθμό του Άραξου ανέρχεται στις 2687.2 ώρες. Επίσης,

παρατηρείται ότι η ηλιοφάνεια ακολουθεί την ίδια κατανομή με τη θερμοκρασία παρουσιάζοντας μέγιστα το μήνα Ιούλιο και ελάχιστα το μήνα Δεκέμβριο.

5.7 Κλίμα

Βάσει της κλιματικής υποδιαίρεσης του Köppen (Εικόνα 5.3), το κλίμα της περιοχής έρευνας ανήκει στον τύπο Csa που δηλώνει εύκρατο κλίμα με ξηρό καλοκαίρι, με ύψος βροχόπτωσης για τον ξηρότερο μήνα λιγότερο από 30 mm και μέση θερμοκρασία του θερμότερου μήνα υψηλότερη από 22 °C.

Στα παρακάτω διαγράμματα δίνεται η κατανομή της σχετικής υγρασίας και της βροχόπτωσης σε σχέση με τη θερμοκρασία. Παρατηρείται ότι, κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, οι μήνες VII (Ιούλιος) (για το σταθμό του Αιγίου) και VIII (Αύγουστος) (για το σταθμό της Πάτρας), που είναι οι ξηρότεροι, παρουσιάζουν τιμές βροχόπτωσης 5.1 και 7.9 mm αντίστοιχα (<30 mm), ενώ ο μήνας VIII (Αύγουστος) (και για τους δύο σταθμούς), που είναι ο θερμότερος, παρουσιάζει θερμοκρασίες περίπου 27 °C (>22 °C).

Σχήμα 5.18: Κλιμοδιαγράμματα θερμοκρασίας – σχετικής υγρασίας και θερμοκρασίας – βροχόπτωσης για τους σταθμούς Αίγιο και Πάτρα για την περίοδο 1975-1996

Παγκόσμιος χάρτης κλιματικής ταξινόμησης κατά Köppen - Geiger

DATA SOURCE : GHCN v2.0 station data
 Temperature (N = 4,844) and
 Precipitation (N = 12,396)

PERIOD OF RECORD : All available

MIN LENGTH : ≥30 for each month.

RESOLUTION : 0.1 degree lat/long

Af	BWh	Csa	Cwa	Cfa	Dsa	Dwa	Dfa	ET
Am	BWk	Csb	Cwb	Cfb	Dsb	Dwb	Dfb	EF
Aw	BSk		Cwc	Cfc	Dsc	Dwc	Dfc	
					Dsd	Dwd	Dfd	

Εικόνα 5.3: Κλιματική ταξινόμηση κατά Köppen (1936)

5.8 Συμπεράσματα

Από την ανάλυση των υδρομετεωρολογικών δεδομένων προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα:

Η μηνιαία κατανομή των βροχοπτώσεων παρουσιάζει μέγιστο τον Νοέμβριο και Δεκέμβριο και ελάχιστο τους μήνες Ιούνιο, Ιούλιο και Αύγουστο.

Το ύψος βροχής αυξάνεται με το υψόμετρο με γραμμική σχέση. Η σχέση που συνδέει τα δύο μεγέθη είναι $y = 0.8496x + 726.53$ και η βροχοβαθμίδα υπολογίστηκε στα 85 mm ανά 100 m αύξησης του υψομέτρου.

Η μηνιαία κατανομή των θερμοκρασιών ακολουθεί κανονική κατανομή με μέγιστα τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο και ελάχιστα τους μήνες Ιανουάριο και Φεβρουάριο.

Η θερμοκρασία ελαττώνεται με το υψόμετρο με τη γραμμική σχέση $y = -0.0076x + 18.151$ και η θερμοβαθμίδα υπολογίστηκε στους 0.75 °C ανά 100 m αύξησης του υψομέτρου.

Η σχετική υγρασία παρουσιάζει παραπλήσια πορεία με αυτή των βροχοπτώσεων, ενώ το αντίθετο παρατηρείται με την πορεία της σχετικής υγρασίας και της θερμοκρασίας.

Οι άνεμοι είναι γενικώς ασθενείς με επικρατούσες διευθύνσεις που κυμαίνονται για κάθε σταθμό. Κατά τη χειμερινή περίοδο επικρατούν ΒΑ και ΒΔ άνεμοι, ενώ κατά την ανοιξιάτικη και καλοκαιρινή περίοδο επικρατούν ΝΑ και ΝΔ άνεμοι.

Η ηλιοφάνεια παρουσιάζει παραπλήσια πορεία με αυτή της θερμοκρασίας, παρουσιάζοντας μέγιστο το μήνα Ιούλιο και ελάχιστο το μήνα Δεκέμβριο.

Το κλίμα της περιοχής έρευνας είναι εύκρατο με ξηρό θέρος.

6 ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΥΔΡΟΛΟΓΙΑ

Για την κατανόηση των υδρολογικών συνθηκών που επικρατούν στην περιοχή έρευνας, θεωρήθηκε σκόπιμη η δημιουργία ενός υδρολογικού μοντέλου βροχής – απορροής.

Το υδρολογικό μοντέλο ορίζεται σαν ένα σύνολο μαθηματικών εξισώσεων οι οποίες απεικονίζουν, κατά προσέγγιση, το σύνολο των αλληλοσχετιζόμενων φαινομένων που υπεισέρχονται στη διαδικασία μετατροπής της βροχής σε απορροή (Τσακίρης, 1995). Σχηματικά, ένα υδρολογικό μοντέλο αναπαρίσταται ως εξής:

Σχήμα 6.1: Γενική αναπαράσταση μοντέλου

όπου:

Είσοδος, μετεωρολογικές μεταβλητές (κατακρημνίσεις, θερμοκρασία, άνεμος, κ.ά.),

Εξισώσεις συστήματος, σύνολο μαθηματικών εξισώσεων που απεικονίζουν τις φυσικές διαδικασίες μετατροπής της βροχής σε απορροή (κατακράτηση, εξατμισοδιαπνοή, διήθηση, κατείσδυση, επιφανειακή απορροή, ενδιάμεση απορροή, εδαφική υγρασία, αποθήκευση εδαφικού οριζοντα),

Έξοδος, απορροή.

6.1 Γενική Ταξινόμηση Μοντέλων

Τα μοντέλα βροχής – απορροής ταξινομούνται σε διάφορες κατηγορίες (Τσακίρης, 1995), ανάλογα με το είδος των εξισώσεων που περιλαμβάνουν, το χρονικό τους βήμα, τη λειτουργία τους σε πραγματικό χρόνο, κ.ά. Ο πλέον συνήθης διαχωρισμός των μοντέλων είναι: 1) σε *μοντέλα μεμονωμένου υδρολογικού γεγονότος* και *συνεχή μοντέλα* και 2) σε *ενιαία (lumped)* και *κατανεμημένα (discrete)* μοντέλα. Συγκεκριμένα:

1. Το μοντέλο ενός μεμονωμένου υδρολογικού γεγονότος περιλαμβάνει ως είσοδο ένα μεμονωμένο γεγονός βροχής και ως έξοδο ένα υδρογράφημα πλημμύρας.

Σχήμα 6.2: Μοντέλο μεμονωμένου υδρολογικού γεγονότος

2. Το συνεχές μοντέλο περιλαμβάνει ως είσοδο μία ή περισσότερες σειρές παρατηρήσεων στο χρόνο (χρονοσειρές) μίας ή περισσότερων μετεωρολογικών μεταβλητών.

Σχήμα 6.3: Συνεχές μοντέλο

3. Τα ενιαία ή αδρομερή μοντέλα βασίζονται στην υπόθεση της ομοιόμορφης κατανομής στην επιφάνεια της λεκάνης απορροής των μεγεθών εισόδου (βροχή, κ.ά.) και εξόδου (απορροή).

Σχήμα 6.4: Ενιαίο μοντέλο

4. Τα κατανεμημένα μοντέλα, σε αντίθεση με τα ενιαία, βασίζονται στην υπόθεση της χωρικής κατανομής των μεγεθών εισόδου και εξόδου στη λεκάνη απορροής. Τα μοντέλα αυτά περιλαμβάνουν το διαχωρισμό της λεκάνης σε τμήματα με ανομοιόμορφα τοπογραφικά ή άλλα χαρακτηριστικά.

Σχήμα 6.5: Κατανεμημένο μοντέλο

Στο πλαίσιο της παρούσας διατριβής, χρησιμοποιήθηκαν χρονοσειρές συγκεκριμένων μετεωρολογικών μεταβλητών (ύψος βροχής, θερμοκρασία, υγρασία, άνεμος, κ.ά.), οι οποίες

υπέστησαν επεξεργασία και ερμηνεύτηκαν σε χωρική κλίμακα, προκειμένου να προκύψει ένα κατανεμημένο μοντέλο.

6.2 Αναλυτική Παρουσίαση Μοντέλου

6.2.1 Υδρολογικό Ισοζύγιο

Το συνολικό φαινόμενο της κυκλοφορίας και κατανομής του νερού στην ατμόσφαιρα και τη γη μπορεί να εκφραστεί μαθηματικά από τη σχέση Castany (1963):

$$P = R + E + I + \Delta W + dq + q \quad (6.1)$$

όπου:

P , τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα,

R , η επιφανειακή απορροή,

E , η πραγματική εξατμισοδιαπνοή,

I , η κατείσδυση,

ΔW , η διαφορική αποθήκευση νερού στη γη,

dq , προσφορές και απολείψεις νερού από ανθρωπογενείς παρεμβάσεις, και

q , η εξωτερική τροφοδοσία του υδρολογικού συστήματος.

Με την προϋπόθεση ότι οι υδρολογικές λειάνες αποτελούν αυτοτελή συστήματα και ότι οι ανθρωπίνες παρεμβάσεις και οι μεταβολές στα υπόγεια συστήματα είναι αμελητέες, οι παράγοντες ΔW , dq και q της εξίσωσης 6.1 παραλείπονται και παίρνει τη μορφή:

$$P = R + E + I \quad (6.2)$$

Τα παραπάνω μεγέθη μπορούν να εκφραστούν σε ύψος νερού (mm) ή σε όγκο νερού (m^3) ή σε συντελεστή επί τοις %.

Οι παραπάνω υδρολογικές μεταβλητές συνδέονται μεταξύ τους με μία σχέση αιτίας – αποτελέσματος, που είναι πολύπλοκη, μη μονοσήμαντη και αμφίδρομη (Μιμίκου, 1990).

Για τον υπολογισμό ενός αξιόπιστου υδρολογικού ισοζυγίου μιας περιοχής είναι απαραίτητη η γνώση του ύψους της ετήσιας βροχόπτωσης, της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής, καθώς και των ποσοτήτων νερού που εξέρχονται υπόγεια ή με τη μορφή πηγών και των απολήψεων ή εισροών επιφανειακού και υπόγειου νερού.

6.2.2 Όγκος Νερού από Βροχόπτωση

Για τον υπολογισμό του όγκου νερού που δέχεται η περιοχή έρευνας, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών. Πιο συγκεκριμένα, αφού προσδιορίσθηκε η σχέση μεταξύ

υψομέτρου και ύψους βροχής (§5.2.3, Εξίσωση 5.11), προέκυψε ο βροχομετρικός χάρτης της περιοχής (§5.2.3, Εικόνα 5.1). Στη συνέχεια, η επιφάνεια κάθε ψηφιδωτού τμήματος ($\text{grid cell}=15 \times 15 \text{m}^2$) του ψηφιακού μοντέλου εδάφους πολλαπλασιάστηκε με το αντίστοιχο ύψος βροχής και αθροίστηκαν τα επί μέρους γινόμενα για όλη την έκταση της κάθε υδρολογικής λεκάνης, καθώς και για κάθε γεωλογικό σχηματισμό της περιοχής. Τα αποτελέσματα της μεθοδολογίας αυτής είναι περισσότερο ακριβή, από τα αντίστοιχα της παραδοσιακής μεθόδου των ισοϋετών καμπύλων, αφού ο υπολογισμός γίνεται ξεχωριστά για κάθε κελί του ψηφιακού μοντέλου εδάφους. Η κατανομή του όγκου νερού από βροχόπτωση, για κάθε υδρολογική λεκάνη και κάθε γεωλογικό σχηματισμό, παρουσιάζεται στους πίνακες 6.1 και 6.2 αντίστοιχα.

Πίνακας 6.1: Κατανομή του όγκου νερού από βροχόπτωση για κάθε υδρολογική λεκάνη

ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ	ΕΚΤΑΣΗ ΛΕΚΑΝΗΣ (km^2)	ΜΕΣΟ ΕΤΗΣΙΟ ΥΨΟΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ (mm)	ΟΓΚΟΣ ΒΡΟΧΗΣ ($\times 10^6 \text{m}^3$)
ΣΕΛΕΜΝΟΣ	17.584	1100.47	19.352
ΞΥΛΟΚΕΡΑΣ	11.896	1243.41	14.788
ΒΟΛΙΝΑΙΟΣ	32.359	1162.63	37.509
ΣΥΝΟΛΟ	61.839	1168.84	71.649

Από τον πίνακα 6.1 προκύπτει ότι, ο μέσος ετήσιος όγκος νερού που δέχεται η περιοχή έρευνας για την περίοδο 1975-2004 ανέρχεται σε 71.649×10^6 κυβικά μέτρα, που αντιστοιχεί σε μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης ίσο με 1168.84 mm. Το ύψος βροχής είναι αρκετά υψηλό, αφού για τον Ελλαδικό χώρο το μέσο ετήσιο ύψος βροχής φτάνει τα 823 mm (Φλόκας, 1992).

Πίνακας 6.2: Κατανομή του όγκου νερού από βροχόπτωση για τους γεωλογικούς σχηματισμούς κάθε υδρολογικής λεκάνης

ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ	ΕΚΤΑΣΗ (km^2)	ΣΕΛΕΜΝΟΣ ($\times 10^6 \text{m}^3$)	ΞΥΛΟΚΕΡΑΣ ($\times 10^6 \text{m}^3$)	ΒΟΛΙΝΑΙΟΣ ($\times 10^6 \text{m}^3$)	ΣΥΝΟΛΟ ($\times 10^6 \text{m}^3$)	ΣΥΝΟΛΟ (%)
ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΠΡΟΣΧΩΣΕΙΣ	12.935	4.434	1.807	4.987	11.228	15.67
ΠΛΕΙΟΚΑΙΝΙΚΕΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ	32.565	9.340	6.003	18.751	34.094	47.57
ΦΛΥΣΧΗΣ	3.155	0.019	0.834	3.417	4.270	5.96
ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ	10.866	3.732	4.932	9.596	18.260	25.48
ΡΑΔΙΟΛΑΡΙΤΕΣ	2.216	1.831	1.234	0.752	3.817	5.32

6.2.3 Εξατμισοδιαπνοή

Η εξατμισοδιαπνοή αποτελεί βασική παράμετρο του υδρολογικού ισοζυγίου και αντιπροσωπεύει τις ποσότητες του νερού που επανέρχονται στην ατμόσφαιρα με τη συνδυασμένη δράση της εξάτμισης και της διαπνοής. Εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως: θερμοκρασία εδάφους – αέρα, υγρασία εδάφους – αέρα, ταχύτητα ανέμου, βαρομετρική πίεση, ηλιακή ακτινοβολία, είδος χλωρίδας, πορώδες, κοκκομετρία, κ.ά.

Πολλές μέθοδοι έχουν αναπτυχθεί για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής (δυναμικής και πραγματικής) και πολυάριθμοι εμπειρικοί τύποι έχουν προταθεί, χωρίς κανέναν από αυτούς να έχει καθολική αποδοχή.

6.2.3.1 Δυνητική Εξατμισοδιαπνοή

Η δυνητική (potential) εξατμισοδιαπνοή αντιπροσωπεύει την ποσότητα του νερού που θα εξατμιζόταν ή θα χρησιμοποιούταν από τα φυτά για τη διεργασία της διαπνοής, αν τα αποθέματα σε νερό ήταν αρκετά για να αντισταθμίσουν τις μέγιστες απώλειες. Είναι, δηλαδή, ένας κλιματικός δείκτης που δείχνει τη μέγιστη εξατμισοδιαπνοή σε μία συγκεκριμένη περιοχή, αν η προσφορά νερού κάλυπτε τις απώλειες από εξάτμιση και διαπνοή.

Ο Penman (1948) προτείνει, για τον υπολογισμό της εξάτμισης από ελεύθερη επιφάνεια νερού, την εξίσωση:

$$E = \frac{D \cdot I_g}{(D + c)L} + \frac{c \cdot e}{D + c} \quad (6.3)$$

όπου:

E , η εξάτμιση,

D , η κλίση της καμπύλης της τάσης των κορεσμένων υδρατμών συναρτήσει της θερμοκρασίας, στη θερμοκρασία T του αέρα, που δίνεται από τη σχέση:

$$D = (0.00815T + 0.8912)^7 \quad (6.4)$$

c , η ψυχομετρική σταθερά που εξαρτάται από την ατμοσφαιρική πίεση P και δίνεται από τη σχέση:

$$c = \frac{0.66P}{1000} \quad (6.5)$$

η ατμοσφαιρική πίεση δίνεται σε mbar και μεταβάλλεται με το ύψος σύμφωνα με τη σχέση:

$$P = 1013.3 - 0.122Z + 5.47 \cdot 10^{-6} Z^2 \quad (6.6)$$

όπου Z , το υψόμετρο σε m

I_g , η εισερχόμενη ενέργεια υπό μορφή ακτινοβολίας, σε $\text{cal}/(\text{cm}^2 \cdot \text{day})$,

L , η λανθάνουσα θερμότητα εξαέρωσης (cal/gr ύδατος) που μεταβάλλεται με τη θερμοκρασία σύμφωνα με τη σχέση:

$$L = 59.73 - 0.0564T \quad (6.7)$$

e , συντελεστής που δείχνει τη δυνατότητα εξάτμισης από τον άνεμο.

Οι Priestly – Teylor (1972) χρησιμοποίησαν μία τροποποιημένη μορφή της εξίσωσης του Penman για τον υπολογισμό της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής E_p :

$$E_p = 1.26 \frac{D \cdot I_g}{(D + c)L} \quad (6.8)$$

Ο Turc (1951) προτείνει έναν μαθηματικό τύπο που δίνει αποδεκτά αποτελέσματα για τη χώρα μας και έχει τη μορφή:

$$E_p = 0.4 \frac{T}{T+15} (I_g + 50) \quad (6.9)$$

όπου:

E_p , η μέση μηνιαία εξατμισοδιαπνοή (mm),

T , η μέση μηνιαία θερμοκρασία (°C), και

I_g , η μέση ολική μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία (cal/(cm²·day)).

Ο Thornthwaite (1944) προτείνει μία εμπειρική σχέση μεταξύ της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής και της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας του αέρα:

$$E_p = 16 \left(\frac{10T}{I} \right)^\alpha, \quad (6.10)$$

όπου:

E_p , η μέση μηνιαία τιμή της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής (mm),

T , η μέση μηνιαία θερμοκρασία (°C),

I , ο ετήσιος θερμικός δείκτης (annual heat index) και δίνεται από το άθροισμα των 12 μηνιαίων θερμικών δεικτών:

$$I = \sum \left(\frac{T}{5} \right)^{1.514} \quad (6.11)$$

α , συντελεστής που υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\alpha = 6.75 \cdot 10^{-7} \cdot I^3 - 7.71 \cdot 10^{-5} \cdot I^2 + 0.01792 \cdot I + 0.49239 \quad (6.12)$$

Ο Sera (1954) έχει προτείνει για τον συντελεστή α τη σχέση:

$$\alpha = 0.016 \cdot I + 0.5 \quad (6.13)$$

Για τον υπολογισμό της E_p από τη σχέση 6.10 έχει εισαχθεί και ένας διορθωτικός παράγοντας που εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος του σταθμού. Η σχέση του Thornthwaite παρέχει ικανοποιητικά αποτελέσματα σε υγρές περιοχές με επαρκή βλάστηση.

Για τον υπολογισμό της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής με τις μεθόδους των Penman, Priestly – Teylor και Turc, απαραίτητη είναι χρήση της ηλιακής ακτινοβολίας. Επειδή, όμως, δεδομένα για την ηλιακή ακτινοβολία υπάρχουν διαθέσιμα μόνο για τον βροχομετρικό σταθμό του Πανεπιστημίου Πατρών (και όχι για τους σταθμούς αναφοράς), για τον υπολογισμό της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής έγινε χρήση της μεθόδου του Thornthwaite, για την οποία είναι διαθέσιμα όλα τα απαραίτητα δεδομένα

για τους σταθμούς αναφοράς. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την εφαρμογή της μεθόδου του Thornthwaite στους σταθμούς της περιοχής μελέτης.

Πίνακας 6.3: Μέση μηνιαία δυνητική εξατμισοδιαπνοή (σε mm) κατά Thornthwaite

ΣΤΑΘΜΟΣ	Οκτ	Νοε	Δεκ	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαϊ	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ
ΛΙΓΙΟ	75.45	43.04	25.79	21.34	21.57	31.00	49.33	79.47	116.56	139.86	141.49	113.65
ΑΡΑΞΟΣ	72.93	41.93	26.85	21.62	22.96	31.32	47.07	76.25	111.27	135.05	134.96	105.60
ΚΑΛΑΒΡΥΤΑ	54.75	28.67	16.53	10.82	13.98	23.60	41.45	65.45	92.48	106.58	104.03	81.36
ΠΑΤΡΑ	74.18	40.98	26.70	21.19	23.83	32.66	48.93	79.73	115.04	137.50	139.44	110.29

6.2.3.2 Πραγματική Εξατμισοδιαπνοή

Για την κατάρτιση του υδρολογικού ισοζυγίου και τη ρύθμιση της υδροοικονομίας μιας περιοχής, απαιτείται η γνώση της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής (E_r).

Η πραγματική εξατμισοδιαπνοή αντιστοιχεί στην ποσότητα νερού που πραγματικά μεταφέρεται από το έδαφος στην ατμόσφαιρα και ρυθμίζεται από την περιεχόμενη στο έδαφος υγρασία.

Ο Turc (1951) προτείνει τη σχέση:

$$E_r = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \left(\frac{P}{L}\right)^2}} \quad (6.14)$$

όπου:

E_r , η πραγματική ετήσια εξατμισοδιαπνοή (mm),

P , το μέσο ετήσιο ύψος βροχής (mm),

T , η μέση ετήσια θερμοκρασία (°C), και

$$L = 300 + 25 \cdot T + 0.05 \cdot T^2.$$

Στη σχέση 6.14, για τον υπολογισμό της E_r δεν λαμβάνεται υπόψη η βλάστηση που αποτελεί σημαντικό παράγοντα. Έτσι, η εφαρμογή της δίνει μεγάλες τιμές εξατμισοδιαπνοής. Τα αποτελέσματα δίνονται στον πίνακα 6.4.

Πίνακας 6.4: Μέση ετήσια πραγματική εξατμισοδιαπνοή κατά Turc

ΣΤΑΘΜΟΣ	ΜΕΣΟ ΕΤΗΣΙΟ ΥΨΟΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ (mm)	ΜΕΣΗ ΕΤΗΣΙΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)	ΜΕΣΗ ΕΤΗΣΙΑ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗ (mm)	ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΠΙ ΤΗΣ ΒΡΟΧΟ- ΠΤΩΣΗΣ (%)
ΛΙΓΙΟ	814.63	18.15	573.40	70.39
ΑΡΑΞΟΣ	848.20	17.75	578.79	68.24
ΚΑΛΑΒΡΥΤΑ	781.81	12.60	496.88	63.55
ΠΑΤΡΑ	640.31	18.00	506.48	79.1

6.2.3.2.1 Ισοζύγιο κατά Thornthwaite – Mather

Για τον υπολογισμό της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής (E_r) από τη δυνητική (E_p), εφαρμόζεται το ισοζύγιο κατά Thornthwaite – Mather (1955), σύμφωνα με το οποίο: «Αν η βροχόπτωση (P)

υπερβαίνει τη δυνητική εξατμισοδιαπνοή (E_p), τότε η πραγματική εξατμισοδιαπνοή (E_r) ισούται με τη δυνητική: $E_r = E_p$. Η διαφορά $P - E_p$ αποθηκεύεται στο έδαφος μέχρις ότου συμπληρωθεί η εδαφική υγρασία. Η ικανότητα κατακράτησης νερού στο έδαφος εξαρτάται από τη φύση του και τη βλάστηση.

Ο Παπούλιας (1973) δέχεται μία μέση αποθηκευτική ικανότητα του εδάφους 100 mm, για εδάφη μέσης κοκκομετρικής σύστασης σε βάθος 60 cm.

Ο Λαμπράκης (1991) εκτιμά ότι, η ικανότητα κατακράτησης νερού στο έδαφος γύρω από τις ρίζες των φυτών είναι 100 mm, για τις αποκαρστωμένες περιοχές, και 150 mm για τις περιοχές όπου επικρατούν τα νεογενή ιζήματα.

Ο Βουδούρης (1995) εκτιμά μία μέγιστη αποθηκευτική ικανότητα του εδάφους 135 mm για τα εδάφη της ΒΔ Αχαΐας, ενώ ο Νίκας (2004) κάνει την ίδια εκτίμηση για τα εδάφη της ΒΑ Αχαΐας.

Για την περιοχή έρευνας, έγινε εκτίμηση της ικανότητας κατακράτησης νερού από το έδαφος (St), που μεταβάλλεται από μήνα σε μήνα σύμφωνα με τη σχέση των Thornthwaite – Mather (1955):

$$St = St_o \cdot e^{\frac{APWL}{St_o}} \quad (6.15)$$

όπου:

St , η ικανότητα κατακράτησης κάθε μήνα, που εξαρτάται από τη φύση του εδάφους και τη βλάστηση,

St_o , η τιμή μέγιστης ικανότητας κατακράτησης, και

$APWL$, η συσσωρευμένη δυνητική απώλεια νερού, που ισούται με μηδέν όταν η βροχόπτωση είναι μεγαλύτερη από τη δυνητική εξατμισοδιαπνοή ($P \geq E_p$), ενώ όταν $P < E_p$, η τιμή της ισούται με το άθροισμα της διαφοράς $P - E_p$ του συγκεκριμένου μήνα και της διαφοράς $P - E_p$ των προηγούμενων μηνών.

Στην περιοχή μελέτης, θεωρήθηκε αντιπροσωπευτική η τιμή μέγιστης ικανότητας κατακράτησης (St_o) που προτείνει ο Βουδούρης (1995). Ακολουθώντας, σύμφωνα με τη σχέση 6.15, υπολογίζεται η ικανότητα κατακράτησης κάθε μήνα.

Η μεταβολή στην περιεχόμενη υγρασία (ΔSt_m) κάθε μήνα m προκύπτει ως εξής:

$$\Delta St_m = St_m - St_{m-1} \quad (6.16)$$

όπου:

St_m , η περιεχόμενη υγρασία του μήνα m , και

St_{m-1} , η περιεχόμενη υγρασία του προηγούμενου μήνα.

Η πραγματική εξατμισοδιαπνοή ισούται με τη δυνητική στην περίπτωση που $P - E_p \geq 0$. Στην αντίθετη περίπτωση, η πραγματική εξατμισοδιαπνοή ισούται με το άθροισμα του ύψους βροχόπτωσης και της απόλυτης τιμής της μεταβολής της περιεχόμενης υγρασίας του εδάφους.

Όταν η πραγματική εξατμισοδιαπνοή ισούται με τη δυνητική, τότε δεν υφίσταται έλλειμμα υγρασίας ($D = 0$). Όταν η δυνητική εξατμισοδιαπνοή είναι μεγαλύτερη της πραγματικής, τότε το έλλειμμα υγρασίας ισούται με τη διαφορά τους, δηλαδή $D = E_r - E_p$.

Τέλος, όταν το ύψος βροχόπτωσης είναι μικρότερο από τη δυνητική εξατμισοδιαπνοή ($P < E_p$), τότε δεν υπάρχει πλεόνασμα υγρασίας ($S = 0$). Στην αντίθετη περίπτωση ($P \geq E_p$), το πλεόνασμα υγρασίας ισούται με τη διαφορά του ύψους βροχόπτωσης από τη δυνητική εξατμισοδιαπνοή και την απόλυτη τιμή της μεταβολής στην εδαφική υγρασία του εδάφους, δηλαδή $S = P - E_p - |\Delta St|$.

Εφαρμόζοντας τους παραπάνω υπολογισμούς στα δεδομένα των σταθμών της περιοχής, προσδιορίστηκε η μέση μηνιαία και μέση ετήσια πραγματική εξατμισοδιαπνοή και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται αναλυτικά στους παρακάτω πίνακες. Οι υπολογισμοί αρχίζουν από το μήνα Ιανουάριο, κατά τον οποίο η εδαφική υγρασία είναι συμπληρωμένη.

Πίνακας 6.5: Μέση μηνιαία πραγματική εξατμισοδιαπνοή (σε mm) κατά Thornthwaite – Mather

ΣΤΑΘΜΟΣ	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαί	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ	Σύνολο
ΛΙΓΙΟ	19.21	19.41	31.00	54.26	82.71	61.28	27.55	16.96	21.87	75.45	38.74	23.21	471.63
ΑΡΑΞΟΣ	19.45	20.67	31.32	51.78	79.08	63.23	33.11	16.56	34.61	72.93	37.73	24.17	484.63
ΚΑΛΑΒΡΥΤΑ	9.74	12.58	23.60	45.59	71.55	63.30	47.03	28.39	26.87	54.75	25.80	14.88	424.09
ΠΑΤΡΑ	19.07	21.45	32.66	53.82	81.04	58.66	28.51	13.67	27.14	67.77	36.88	24.03	464.70

Πίνακας 6.6: Συνοπτικός πίνακας της μέσης ετήσιας πραγματικής εξατμισοδιαπνοής για τους σταθμούς της περιοχής

ΣΤΑΘΜΟΣ	ΛΙΓΙΟ	ΑΡΑΞΟΣ	ΚΑΛΑΒΡΥΤΑ	ΠΑΤΡΑ
ΜΕΣΟ ΕΤΗΣΙΟ ΥΨΟΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ (mm)	804.30	848.20	781.81	660.00
ΜΕΣΗ ΕΤΗΣΙΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)	18.15	17.75	12.60	18.00
Turc	573.40	578.79	496.88	506.48
Turc (%)	71.27	68.24	63.55	76.74
Thornthwaite	471.63	484.63	424.09	464.70
Thornthwaite (%)	58.62	57.14	54.24	70.41

Από τον πίνακα 6.6 φαίνεται ότι η μέθοδος Turc δίνει τις υψηλότερες τιμές για την πραγματική εξατμισοδιαπνοή, ενώ η μέθοδος Thornthwaite δίνει τις μικρότερες.

Μετά τον προσδιορισμό της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής για τους σταθμούς της περιοχής έρευνας, κατασκευάστηκε το ετήσιο ισοζύγιο ύδατος των μέσων μηνιαίων τιμών για κάθε σταθμό. Για την κατασκευή του ισοζυγίου, χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές E_p και E_r που υπολογίστηκαν με τη μέθοδο Thornthwaite, αφού για τις άλλες μεθόδους δεν υπάρχουν τα απαραίτητα στοιχεία (ηλιακή ακτινοβολία).

Σχήμα 6.6: Μέσο υδατικό ισοζύγιο της περιόδου 1975-1996 (α) και 1975-2004 (β)

Από τα διαγράμματα του παραπάνω σχήματος φαίνεται ότι στην περιοχή μελέτης υπάρχει έλλειμμα νερού που ξεκινάει από τον Απρίλιο μέχρι και τον μήνα Σεπτέμβριο, ενώ κατά τους μήνες Οκτώβριο και Νοέμβριο γίνεται αναπλήρωση της εδαφικής υγρασίας. Τέλος, κατά τους μήνες Δεκέμβριο μέχρι και Μάρτιο εμφανίζεται πλεόνασμα νερού.

6.2.3.3 Σχέση Υψομέτρου – Πραγματικής Εξατμισοδιαπνοής

Προκειμένου να υπολογιστεί ο μέσος ετήσιος όγκος νερού που χάνεται λόγω εξατμισοδιαπνοής στην περιοχή, κατασκευάστηκε το διάγραμμα μεταβολής της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής με τη μεταβολή του υψομέτρου. Η σχέση που συνδέει τα δύο αυτά μεγέθη, όπως και στην περίπτωση της βροχοβαθμίδας και της θερμοβαθμίδας, είναι μία εξίσωση πρώτου βαθμού της μορφής $y = ax + b$ και θεωρείται ικανοποιητική εφόσον ο συντελεστής συσχέτισης είναι μεγαλύτερος από 0.70. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι μέσες ετήσιες τιμές πραγματικής εξατμισοδιαπνοής και τα υψόμετρα για τους σταθμούς αναφοράς.

Πίνακας 6.7: Υψόμετρα και μέσες ετήσιες τιμές πραγματικής εξατμισοδιαπνοής για του σταθμούς της περιοχής έρευνας

ΣΤΑΘΜΟΣ	ΥΨΟΜΕΤΡΟ (m)	ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗ (mm)
ΛΙΠΙΟ	64	471.63
ΑΡΑΞΟΣ	15	484.63
ΚΑΛΑΒΡΥΤΑ	731	424.09
ΠΑΤΡΑ	1	464.70

Από την εφαρμογή της μεθόδου στην περιοχή μελέτης (Πίνακας 6.7, Σχήμα 6.2), προέκυψε ότι η μεταβολή της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής δίνεται από τη σχέση:

$$y = -0.0699x + 475.43 \quad (6.17)$$

όπου:

x , το υψόμετρο (m), και

y , η πραγματική εξατμισοδιαπνοή (mm)

Σχήμα 6.7: Γραφική απεικόνιση της σχέσης πραγματικής εξατμισοδιαπνοής – υψόμετρου

Από την παραπάνω εξίσωση προκύπτει ότι η πραγματική εξατμισοδιαπνοή μειώνεται με την αύξηση του υψόμετρου. Συγκεκριμένα, υπολογίστηκε ότι μειώνεται κατά 6.99 mm ανά 100 μέτρα αύξησης ύψους, ενώ η μέση ετήσια πραγματική εξατμισοδιαπνοή στο ύψος της θάλασσας ανέρχεται στα 475.43 mm. Ο συντελεστής συσχέτισης είναι 0.89 που σημαίνει ότι η πραγματική εξατμισοδιαπνοή επηρεάζεται σημαντικά από τη μεταβολή του υψόμετρου.

Εφαρμόζοντας την εξίσωση 6.17 στο ψηφιακό μοντέλο εδάφους της περιοχής έρευνας, προέκυψε ο χάρτης κατανομής της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής (Εικόνα 6.1). Με τη βοήθεια του χάρτη και μεθοδολογία ανάλογη με εκείνη του υπολογισμού του ετήσιου όγκου νερού από βροχόπτωση, υπολογίστηκε η μέση ετήσια εξατμισοδιαπνοή και ο αντίστοιχος ισοδύναμος όγκος νερού για τις υδρολογικές λειάνες και τους γεωλογικούς σχηματισμούς της περιοχής έρευνας (Πίνακες 6.8 και 6.9).

Εικόνα 6.1: Χάρτης κατανομής της εξατμισοδιαπνοής στην περιοχή έρευνας

Πίνακας 6.8: Μέση ετήσια απώλεια νερού, λόγω εξατμισοδιαπνοής, για κάθε υδρολογική λεκάνη

ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ	ΕΚΤΑΣΗ ΛΕΚΑΝΗΣ (km ²)	ΜΕΣΗ ΕΤΗΣΙΑ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗ (mm)	ΟΓΚΟΣ ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗΣ (x10 ⁶ m ³)	ΜΕΣΟ ΕΤΗΣΙΟ ΥΨΟΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ (mm)	ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΠΙ ΤΗΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ (%)
ΣΕΛΕΜΝΟΣ	17.584	444.69	7.820	1100.47	40.41
ΞΥΛΟΚΕΡΑΣ	11.896	432.91	5.149	1243.41	34.82
ΒΟΛΙΝΑΙΟΣ	32.359	439.54	14.180	1162.63	37.81
ΣΥΝΟΛΟ	61.839	439.05	27.149	1168.84	37.56

Πίνακας 6.9: Μέση ετήσια απώλεια νερού, λόγω εξατμισοδιαπνοής, για τους γεωλογικούς σχηματισμούς κάθε υδρολογικής λεκάνης

ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ	ΣΕΛΕΜΝΟΣ (x10 ⁶ m ³)	ΞΥΛΟΚΕΡΑΣ (x10 ⁶ m ³)	ΒΟΛΙΝΑΙΟΣ (x10 ⁶ m ³)	ΣΥΝΟΛΟ (x10 ⁶ m ³)	ΣΥΝΟΛΟ (%)
ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΠΡΟΣΧΩΣΕΙΣ	2.261	1.093	2.648	6.003	22.11
ΠΛΕΙΟΚΑΙΝΙΚΕΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ	4.164	2.423	8.036	14.623	53.87
ΦΛΥΣΧΗΣ	0.004	0.194	1.139	1.337	4.93
ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ	0.971	1.159	2.183	4.312	15.88
ΡΑΔΙΟΛΛΑΡΙΤΕΣ	0.419	0.280	0.173	0.872	3.21

Από τον πίνακα 6.8 προκύπτει ότι, ο μέσος ετήσιος όγκος νερού από εξατμισοδιαπνοή ανέρχεται σε 27.149×10^6 κυβικά μέτρα, που αντιστοιχεί στο 37.56% της ετήσιας βροχόπτωσης και αντιστοιχεί σε μέση ετήσια πραγματική εξατμισοδιαπνοή 439.05 mm. Το ποσοστό αυτό εξαρτάται κυρίως από τα τοπογραφικά χαρακτηριστικά της περιοχής, δηλαδή όσο εντονότερος (πρηνή με μεγάλες κλίσεις) είναι ο χαρακτήρας μιας λεκάνης απορροής, τόσο μικρότερο είναι το ποσοστό της εξατμισοδιαπνοής επί των βροχοπτώσεων, ενώ το αντίθετο συμβαίνει όσο εντονότερα πεδινός (πρηνή με πολύ ήπιες κλίσεις έως και πεδινές εντάσεις) είναι ο χαρακτήρας αυτός.

Στον πίνακα 6.9 παρατηρείται ότι, το μεγαλύτερο ποσοστό εξατμισοδιαπνοής (53.87%) αντιστοιχεί στις Πλειοκαινικές αποθέσεις, ακολουθούν οι σύγχρονες προσχώσεις (22.11%), οι ασβεστολιθικοί σχηματισμοί (15.88%), ο φλύσχης (4.93%) και οι ραδιολαρίτες (3.21%).

6.2.4 Υπολογισμός του Όγκου του Νερού Κατείσδυσης

Η κατείσδυση αποτελεί τη σημαντικότερη διεργασία για την υδροοικονομία μιας περιοχής αφού αναφέρεται στην ανανέωση των αποθεμάτων των υπόγειων νερών.

Η ικανότητα κατείσδυσης (infiltration capacity) εξαρτάται από την υγρασία του εδάφους, τη λιθολογία, την κλίση του εδάφους, τη βλάστηση, την ένταση και κατανομή των βροχοπτώσεων, κ.ά. Μέτρο της κατείσδυσης είναι ο συντελεστής κατείσδυσης (infiltration coefficient) που εκφράζει το ποσοστό του νερού που κατείσδύει σε κάθε γεωλογικό σχηματισμό. Για τον υπολογισμό του συντελεστή κατείσδυσης στους διάφορους γεωλογικούς σχηματισμούς που απαντούν στην περιοχή έρευνας, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από τη βιβλιογραφία.

Ο Μάστορης (1967), για την ασβεστολιθική περιοχή Ν. Γκιώνας, υπολογίζει την κατείσδυση με εφαρμογή της μεθόδου Kessler, ίση με 60% των βροχοπτώσεων.

Οι Καλλέργης & Χριστοδούλου (1972) υπολογίζουν, με τη χρήση λυσιμέτρου, τιμές 16-21% στις αλλουβιακές αποθέσεις της περιοχής Καλαμπάκας.

Ο Μαρίνος (1975) εκτιμά, για τους ασβεστόλιθους της πηγής Κρύας στο Μιτσιέλι Ιωαννίνων της ζώνης Πίνδου, συντελεστή κατείσδυσης 55%.

Ο Σούλιος (1975) εκτιμά το συντελεστή κατείσδυσης των προσχωσιγενών περιοχών μεταξύ 10-25%.

Οι Κάντας & Τηνιακός (1988) μετρούν συντελεστή κατείδυσης 21% στο σχηματισμό των κροκαλοπαγών της Δυτικής Τριφυλίας.

Ο Λαμπράκης (1989) δέχεται την κατείδυση, στα αλλούβια της περιοχής Ιεράπετρας Κρήτης, ίση με 13.35% της βροχόπτωσης.

Ο Σταυρόπουλος (1992) εκτιμά τιμές 16% για τις σύγχρονες και χαλαρές αποθέσεις της πεδινής ζώνης, στην περιοχή Κάτω Αχαΐας - Μανωλάδας με μέτρια φυτοκάλυψη.

Ο Βουδούρης (1995) υιοθετεί, βάσει βιβλιογραφικών δεδομένων, συντελεστές κατείδυσης 7% για τις μάργες του Νεογενούς και 15% για τα Πλειο-Πλειστοκαινικά ιζήματα της Βορειοδυτικής Αχαΐας.

Ο Κακαβάς (1995) υπολόγισε κατείδυση, με άμεσες μετρήσεις παροχών, στους Τριαδικο-Ιουρασιικούς ασβεστόλιθους της Υποπελαγονικής 53.6%, στους Άνω-Κρητιδικούς ασβεστόλιθους της ζώνης Ανατολικής Ελλάδος 50.4% και στους Άνω-Κρητιδικούς ασβεστόλιθους της ζώνης Παρνασσού - Γκιώνας 49.9%.

Ο Γιαννάτος (1999) υπολογίζει, με βάση τη δίαιτα καρστικής πηγής στον άνω ρου του Βουραϊκού, συντελεστή κατείδυσης για τους Άνω-Κρητιδικούς ασβεστόλιθους της ζώνης Ωλονού - Πίνδου 47%.

Στον παρακάτω πίνακα συνοψίζονται οι συντελεστές κατείδυσης που υιοθετήθηκαν για τους γεωλογικούς σχηματισμούς που απαντώνται στην περιοχή έρευνας.

Πίνακας 6.10: Συντελεστές κατείδυσης για τους γεωλογικούς σχηματισμούς της περιοχής μελέτης

ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΚΑΤΕΙΔΥΣΗΣ (%)
ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΠΡΟΣΧΩΣΕΙΣ	20
ΠΛΕΙΟΚΑΙΝΙΚΕΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ	7
ΦΛΥΣΧΗΣ	5
ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ	47
ΡΑΔΙΟΛΑΡΙΤΕΣ	2

Με δεδομένο τον όγκο βροχής που δέχεται κάθε γεωλογικός σχηματισμός (Πίνακας 6.2) ανά λειάνη απορροής και τους συντελεστές κατείδυσης που εκτιμήθηκαν σε κάθε γεωλογικό σχηματισμό (Πίνακας 6.10) της περιοχής έρευνας, υπολογίσθηκε ο μέσος ετήσιος όγκος νερού που κατειδύει ανά λειάνη απορροής (Πίνακας 6.11) και ανά γεωλογικό σχηματισμό (Πίνακας 6.12).

Στον παρακάτω χάρτη παρουσιάζεται η γεωγραφική κατανομή της κατείδυσης για την περιοχή μελέτης.

Από τον πίνακα 6.11 προκύπτει ότι, ο μέσος ετήσιος όγκος νερού από κατείδυση, για την περίοδο 1975-1996, ανέρχεται σε 13.487×10^6 κυβικά μέτρα, που αντιστοιχεί στο 18.82% της ετήσιας βροχόπτωσης και αντιστοιχεί σε μέση ετήσια κατείδυση 223.94 mm.

Πίνακας 6.12: Μέση ετήσια κατείδυση για τους γεωλογικούς σχηματισμούς κάθε υδρολογικής λεκάνης

ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ	ΣΕΛΕΜΝΟΣ ($\times 10^6 \text{ m}^3$)	ΕΥΛΟΚΕΡΑΣ ($\times 10^6 \text{ m}^3$)	ΒΟΛΙΝΑΙΟΣ ($\times 10^6 \text{ m}^3$)	ΣΥΝΟΛΟ ($\times 10^6 \text{ m}^3$)	ΣΥΝΟΛΟ (%)
ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΠΡΟΣΧΩΣΕΙΣ	0.885	0.361	0.994	2.240	16.64
ΠΛΕΙΟΚΑΙΝΙΚΕΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ	0.655	0.425	1.314	2.394	17.79
ΦΛΥΣΧΗΣ	0.001	0.054	0.177	0.232	1.72
ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ	1.742	2.289	4.494	8.525	63.34
ΡΑΔΙΟΛΑΡΙΤΕΣ	0.044	0.005	0.020	0.068	0.51

Στον πίνακα 6.12 παρατηρείται ότι, το μεγαλύτερο ποσοστό κατείδυσης (63.34%) αντιστοιχεί στους ασβεστόλιθους, ακολουθούν οι πλειοκαινικές αποθέσεις (17.79%), οι σύγχρονες προσχώσεις (16.64%), ο φλύσχης (1.72%) και οι ραδιολαρίτες (0.51%).

Ο Νίκας (2004) έχει υπολογίσει για τους ασβεστόλιθους της ΒΑ Αχαΐας ποσοστό κατείδυσης 47.12% και ο Παναγόπουλος (2004) 45% στην Τριφυλία.

6.2.5 Επιφανειακή Απορροή

Η επιφανειακή απορροή αντιπροσωπεύει το μέρος των κατακρημνισμάτων που, αφού φτάσει στην επιφάνεια της γης, απορρέει επιφανειακά και μέσω των ποταμών και των χειμάρρων οδηγείται στους τελικούς αποδέκτες (θάλασσα, λίμνες).

Κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν την επιφανειακή απορροή είναι κλιματικοί (ένταση βροχοπτώσεων, υγρασία αέρα, άνεμοι, εξάτμιση), γεωμορφολογικοί (κλίση λεκάνης απορροής, υδρογραφική πυκνότητα), λιθολογικοί (είδος πετρωμάτων, περατότητα του εδάφους) καθώς και το είδος της φυτοκάλυψης.

Για τον υπολογισμό της επιφανειακής απορροής χρησιμοποιήθηκε η επίλυση της εξίσωσης 6.2 ως προς R . Τα αποτελέσματα δίνονται στους πίνακες 6.13 και 6.14 και στην εικόνα 6.3.

Πίνακας 6.13: Μέση ετήσια απώλεια νερού, λόγω απορροής, για κάθε υδρολογική λεκάνη

ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ	ΕΚΤΑΣΗ ΛΕΚΑΝΗΣ (km^2)	ΜΕΣΗ ΕΤΗΣΙΑ ΑΠΟΡΡΟΗ (mm)	ΟΓΚΟΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ($\times 10^6 \text{ m}^3$)	ΜΕΣΟ ΕΤΗΣΙΟ ΥΨΟΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ (mm)	ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΠΙ ΤΗΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ (%)
ΣΕΛΕΜΝΟΣ	17.584	466.30	8.205	1100.47	42.4
ΕΥΛΟΚΕΡΑΣ	11.896	544.78	6.480	1243.41	43.82
ΒΟΛΙΝΑΙΟΣ	32.359	506.21	16.328	1162.63	43.53
ΣΥΝΟΛΟ	61.839	505.76	31.013	1168.84	43.28

Ο Νίκας (2004) υπολόγισε μέσο ετήσιο ποσοστό επιφανειακής απορροής 34.32% για τη ΒΑ Αχαΐα.

Εικόνα 6.3: Χάρτης κατανομής της απορροής στην περιοχή έρευνας

Από τον πίνακα 6.13 προκύπτει ότι, ο μέσος ετήσιος όγκος νερού από απορροή ανέρχεται σε 31.010×10^6 κυβικά μέτρα, που αντιστοιχεί στο 43.27% της ετήσιας βροχοπτώσης και αντιστοιχεί σε μέση ετήσια απορροή 505.76 mm.

Πίνακας 6.14: Μέση ετήσια απώλεια νερού, λόγω απορροής, για τους γεωλογικούς σχηματισμούς κάθε υδρολογικής λεκάνης

ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ	ΣΕΛΕΜΝΟΣ ($\times 10^6 \text{ m}^3$)	ΕΥΛΟΚΕΡΑΣ ($\times 10^6 \text{ m}^3$)	ΒΟΛΙΝΑΙΟΣ ($\times 10^6 \text{ m}^3$)	ΣΥΝΟΛΟ ($\times 10^6 \text{ m}^3$)	ΣΥΝΟΛΟ (%)
ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΠΡΟΣΧΩΣΕΙΣ	1.287	0.353	1.345	2.985	9.62
ΠΛΕΙΟΚΑΙΝΙΚΕΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ	4.519	3.154	9.401	17.074	55.05
ΦΛΥΣΧΗΣ	0.014	0.586	2.102	2.702	8.71

ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ	ΣΕΛΕΜΝΟΣ ($\times 10^6 \text{ m}^3$)	ΞΥΛΟΚΕΡΑΣ ($\times 10^6 \text{ m}^3$)	ΒΟΛΙΝΑΙΟΣ ($\times 10^6 \text{ m}^3$)	ΣΥΝΟΛΟ ($\times 10^6 \text{ m}^3$)	ΣΥΝΟΛΟ (%)
ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ	1.017	1.485	2.922	5.424	17.49
ΡΑΔΙΟΛΑΡΙΤΕΣ	1.368	0.905	0.559	2.832	9.13

Στον πίνακα 6.14 παρατηρείται ότι, το μεγαλύτερο ποσοστό απορροής (55.05%) αντιστοιχεί στις πλειοκαινικές αποθέσεις, ακολουθούν οι ασβεστόλιθοι (17.49%), οι σύγχρονες προσχώσεις (9.62%), οι ραδιολαρίτες (9.13%) και ο φλύσχος (8.71%).

6.2.6 Προσεγγιστικό Υδατικό Ισοζύγιο της Περιοχής

Με βάση τις τιμές των παραγόντων της εξίσωσης 6.2, όπως αυτοί υπολογίστηκαν παραπάνω, υπολογίστηκε το υδρολογικό ισοζύγιο της περιοχής ανά λεκάνη απορροής (Πίνακας 6.15) και ανά γεωλογικό σχηματισμό (Πίνακας 6.16).

Πίνακας 6.15: Προσεγγιστικό ισοζύγιο ύδατος ανά λεκάνη απορροής στην περιοχή έρευνας

ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ	ΣΕΛΕΜΝΟΣ	ΞΥΛΟΚΕΡΑΣ	ΒΟΛΙΝΑΙΟΣ
ΕΚΤΑΣΗ ΛΕΚΑΝΗΣ (km^2)	17.584	11.896	32.359
ΜΕΣΟ ΕΤΗΣΙΟ ΥΨΟΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ (mm)	1100.47	1243.41	1162.63
ΟΓΚΟΣ ΒΡΟΧΗΣ ($\times 10^6 \text{ m}^3$)	19.352	14.788	37.509
ΜΕΣΗ ΕΤΗΣΙΑ ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗ (mm)	444.69	432.91	439.54
ΟΓΚΟΣ ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗΣ ($\times 10^6 \text{ m}^3$)	7.820	5.149	14.180
ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗ (%)	40.41	34.82	37.81
ΜΕΣΗ ΕΤΗΣΙΑ ΚΑΤΕΙΣΔΥΣΗ (mm)	189.21	265.60	217.00
ΟΓΚΟΣ ΚΑΤΕΙΣΔΥΣΗΣ ($\times 10^6 \text{ m}^3$)	3.327	3.159	7.001
ΚΑΤΕΙΣΔΥΣΗ (%)	17.19	21.36	18.66
ΜΕΣΗ ΕΤΗΣΙΑ ΑΠΟΡΡΟΗ (mm)	466.30	544.78	506.21
ΟΓΚΟΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ($\times 10^6 \text{ m}^3$)	8.205	6.480	16.328
ΑΠΟΡΡΟΗ (%)	42.40	43.82	43.53

Πίνακας 6.16: Προσεγγιστικό ισοζύγιο ύδατος ανά γεωλογικό σχηματισμό για την περιοχή έρευνας

ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ	ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΠΡΟΣΧΩΣΕΙΣ	ΠΛΕΙΟΚΑΙΝΙΚΕΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ	ΦΛΥΣΧΗΣ	ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ	ΡΑΔΙΟΛΑΡΙΤΕΣ
ΕΚΤΑΣΗ (km^2)	12.935	32.565	3.155	10.866	2.216
ΜΕΣΟ ΕΤΗΣΙΟ ΥΨΟΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ (mm)	867.41	1046.75	1353.23	1679.84	1722.03
ΟΓΚΟΣ ΒΡΟΧΗΣ ($\times 10^6 \text{ m}^3$)	11.228	34.094	4.27	18.26	3.817
ΜΕΣΗ ΕΤΗΣΙΑ ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗ (mm)	463.84	449.09	423.85	396.99	393.57
ΟΓΚΟΣ ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗΣ ($\times 10^6 \text{ m}^3$)	6.002	14.623	1.337	4.313	0.872
ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗ (%)	22.11	53.87	4.93	15.88	3.21
ΜΕΣΗ ΕΤΗΣΙΑ ΚΑΤΕΙΣΔΥΣΗ (mm)	172.9	73.45	72.56	784.66	46.85
ΟΓΚΟΣ ΚΑΤΕΙΣΔΥΣΗΣ ($\times 10^6 \text{ m}^3$)	2.24	2.394	0.232	8.525	0.069
ΚΑΤΕΙΣΔΥΣΗ (%)	16.64	17.79	1.72	63.34	0.51
ΜΕΣΗ ΕΤΗΣΙΑ ΑΠΟΡΡΟΗ (mm)	230.63	524.13	857.04	498.31	1281.11
ΟΓΚΟΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ($\times 10^6 \text{ m}^3$)	2.985	17.077	2.701	5.423	2.877
ΑΠΟΡΡΟΗ (%)	61.25	28.34	93.35	20.78	96.28

7 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ

Η γεωλογική δομή μιας περιοχής, σε συνδυασμό με τις υδρομετεωρολογικές συνθήκες, καθορίζουν την ύπαρξη και τη λειτουργία των υδροφόρων οριζόντων.

Στην περιοχή έρευνας, η παρουσία του ορεινού όγκου του Παναχαϊκού με σχετικά μεγάλο ύψος βροχής, σε συνδυασμό με την επικράτηση υδροπερατών σχηματισμών (ασβεστόλιθων), εξασφαλίζει πλούσια υδροφορία και ύπαρξη πηγών σημαντικής παροχής.

7.1 Υδρολιθολογική Ταξινόμηση των Γεωλογικών Σχηματισμών

Ένα βασικό μέγεθος για την ταξινόμηση των γεωλογικών σχηματισμών είναι η *υδροπερατότητα ή υδραυλική αγωγιμότητα* (k). Η υδροπερατότητα των υδρογεωλογικών σχηματισμών εξαρτάται από μια σειρά φυσικών παραγόντων μεταξύ των οποίων είναι το πορώδες, το μέγεθος, το σχήμα, η διάταξη, η κατανομή των κόκκων, κ.ά.

Στον πίνακα 7.1 δίνεται η ταξινόμηση της υδροπερατότητας βάσει του κοκκομετρικού μεγέθους (Καλλέργης, 2001) και στον πίνακα 7.2 ο χαρακτηρισμός των πετρωμάτων βάσει της υδροπερατότητας (Καλλέργης, 2001).

Πίνακας 7.1: Τιμές υδροπερατότητας βάσει κοκκομετρικού μεγέθους (Καλλέργης, 2001)

ΥΔΡΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ	k (m/s)	ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΟ ΜΕΓΕΘΟΣ
πολύ μεγάλη	$>10^{-2}$	χαλίκια
μεγάλη	$10^{-2} > k > 10^{-5}$	καθαροί άμμοι με χαλίκια
μέτρια	$10^{-5} > k > 10^{-8}$	λεπτόκοκκοι άμμοι
μικρή	$10^{-8} > k > 10^{-10}$	ιλύχος άργιλος
πολύ μικρή	$<10^{-10}$	καθαρή άργιλος, πρακτικά στεγανά πετρώματα

Πίνακας 7.2: Χαρακτηρισμός πετρωμάτων βάσει υδροπερατότητας (Καλλέργης, 2001)

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ	k (m/s)
πολύ υδροπερατά	$>10^{-1}$
υδροπερατά	$10^{-1} > k > 10^{-6}$
λίγο υδροπερατά	$10^{-6} > k > 10^{-9}$
πρακτικά στεγανά	$<10^{-9}$

Στα πλαίσια της παρούσας διδακτορικής διατριβής επιχειρήθηκε η υδρολιθολογική ταξινόμηση των γεωλογικών σχηματισμών προκειμένου να διακριθούν οι σχηματισμοί σε υδροπερατούς, ημιπερατούς και υδροστεγανούς σχηματισμούς και να κατασκευαστεί ο υδρολιθολογικός χάρτης της περιοχής έρευνας. Για την ταξινόμηση αυτή υιοθετήθηκε η πρόταση της Διεθνούς Ένωσης Υδρογεωλόγων (IAH) και της UNESCO (Struckmeier & Margat, 1995).

1. Πορώδη (μη συνενκτικά) πετρώματα	1Α. Εκτεταμένοι και με υψηλή απόδοση υδροφόροι	1Β. Τοπικοί ή μέτριου πάχους υδροφόροι με υψηλή απόδοση ή εκτεταμένοι αλλά μέτριας απόδοσης υδροφόροι
2. Συνενκτικά πετρώματα με δευτερογενή υδροπερατότητα	2Α. Εκτεταμένοι και με υψηλή απόδοση υδροφόροι	2Β. Τοπικοί ή μικρού πάχους υδροφόροι με υψηλή απόδοση ή εκτεταμένοι αλλά μέτριας απόδοσης υδροφόροι
3. Συνενκτικά και πορώδη πετρώματα με περιορισμένη ή μη συγκέντρωση υπόγειων υδάτων - άνευ πρακτικής σημασίας	3Α. Τοπικής σημασίας υπόγεια νερά κυρίως σε ζώνες διάρρηξης και αποσάθρωσης συνενκτικών πετρωμάτων	3Β. Υδροφόροι χωρίς πρακτική σημασία ή μη υδροφόροι σχηματισμοί

Σχήμα 7.1: Υδρολιθολογική ταξινόμηση των γεωλογικών σχηματισμών, σύμφωνα με την πρόταση της Διεθνούς Ένωσης Υδρογεωλόγων

Με βάση το παραπάνω πρότυπο ταξινόμησης, οι γεωλογικοί σχηματισμοί που απαντούν στην περιοχή έρευνας κατατάχθηκαν σε κατηγορίες υδρογεωλογικών ενοτήτων και κατασκευάστηκε ο υδρολιθολογικός χάρτης της περιοχής (Εικόνα 7.1). Αναλυτικότερα:

7.1.1 Κατηγορία 1: Πορώδη (μη Συνενκτικά) Πετρώματα

7.1.1.1 Υποκατηγορία 1^α: Εκτεταμένοι και με Υψηλή Απόδοση Υδροφόροι

➤ *Qal*: σύγχρονες προσχώσεις (Τεταρτογενές)

Πρόκειται για τυπικούς, από πλευράς ιζηματολογικής σύστασης και γεωμορφολογίας, αλλουβιακούς κώνους που αναπτύσσονται στην έξοδο των ποταμών της περιοχής έρευνας, από την ορεινή-ημιορεινή ζώνη και καταλαμβάνουν μεγάλο τμήμα της πεδινής και παρακτινίας ζώνης της περιοχής έρευνας.

Στην κατηγορία αυτή εντάσσονται και οι σύγχρονες αποθέσεις κοίτης που αναπτύσσονται εκατέρωθεν της κοίτης των ποταμών, όσο αυτοί διαρρέουν την ορεινή ζώνη της περιοχής έρευνας.

Πρόκειται για υλικά με μεγάλη ετερογένεια, στα οποία συμμετέχουν όλα τα κοκκομετρικά μεγέθη, από άργιλο έως λιθάρια, με επικράτηση, όμως, κατά κανόνα των άμμων, χαλίκων και κροκάλων, με ποικίλη ορυκτολογική σύσταση.

Αποτελούν υδροφόρα στρώματα με μέτριες έως υψηλές ειδικές αποδόσεις. Εντός των στρωμάτων αυτών αναπτύσσονται κατά κανόνα ελεύθεροι υδροφόροι, με πάχος που κυμαίνεται, από μερικά, έως αρκετές δεκάδες μέτρα (Νίκας, 2004).

7.1.2 Κατηγορία 2: Συνεκτικά Πετρώματα με Δευτερογενή Υδροπερατότητα

7.1.2.1 Υποκατηγορία 2^α: Εκτεταμένοι και με Υψηλή Απόδοση Υδροφόροι

➤ *Ks: ασβεστόλιθοι με λεπτές ενστρώσεις κερατόλιθων (Κρητιδικό)*

Πρόκειται για διαδοχικές ανθρακικές, πυριτολιθικές και λιγότερο πηλινικές στρώσεις. Στους σχηματισμούς αυτούς, λόγω του δικτύου ασυνεχειών που έχει σχηματιστεί στην τεκτονισμένη μάζα, αναπτύσσεται ένας ετερογενής υδροφόρος ορίζοντας. Το δίκτυο των ασυνεχειών και η διεύρυνση που λαμβάνει χώρα λόγω διάλυσης, αυξάνουν την μεταβιβασιμότητα και την αποθηκευτικότητα του υδροφόρου.

Η παρεμβολή των κερατολιθικών και πηλινικών διαστρώσεων εντός του σχηματισμού των Άνω-Κρητιδικών ασβεστόλιθων, αλλά και η συχνή κανονική ή τεκτονική αλληλουχία τους με τους υποκείμενους ραδιολαρίτες, αλλά και τον υπερκείμενο Ηώκαινικό φλύσχη, δημιουργούν πολλαπλά επίπεδα βάσεως, εκδήλωση των οποίων είναι οι πολυάριθμες, με κατά κανόνα μικρή έως μέτρια παροχή, πηγές.

7.1.3 Κατηγορία 3: Συνεκτικά και Πορώδη Πετρώματα με Περιορισμένη ή μη Συγκέντρωση Υπόγειων Υδάτων – Άνευ Πρακτικής Σημασίας

7.1.3.1 Υποκατηγορία 3^β: Υδροφόροι Χωρίς Πρακτική Σημασία ή μη Υδροφόροι Σχηματισμοί

➤ *Pt: θαλάσσιες, υφάλμυρες και λιμναίες αποθέσεις (Πλειόκαινο – Πλειστόκαινο)*

Πρόκειται για εναλλαγές αργίλων, πηλών, άμμων, κροκαλοπαγών και μαργών με επικράτηση γενικά του λεπτομερούς κλάσματος. Στους σχηματισμούς αυτούς δεν αναμένεται υδροφορία. Έτσι, μπορεί να θεωρηθούν εν γένει πρακτικά στεγανοί σχηματισμοί. Στις περισσότερες περιπτώσεις αποτελούν το στεγανό υπόβαθρο των προσχωματικών υδροφόρων του Ολοκαίνου, αλλά και των μικρότερης δυναμικότητας υδροφόρων των κροκαλοπαγών του Πλειστοκαίνου.

➤ *Fo: φλύσχης (Αν. Κρητιδικό – Ηώκαινο)*

Τα κλαστικά πετρώματα αυτά, παρά το πρωτογενές πορώδες και τον τεκτονισμό που τα χαρακτηρίζει, ουσιαστικά συμπεριφέρονται ως υδατοστεγανά. Στο σχηματισμό συμμετέχουν σε μεγάλο ποσοστό αργιλικές στρώσεις, ενώ οι ψαμμιτικές στρώσεις είναι κατά κανόνα υδραυλικά απομονωμένες. Οι ψαμμιτοπηλινικές μάζες των κλαστικών σχηματισμών (φλύσχης, κλαστικά ιζήματα Κρητιδικού, κλαστικά ιζήματα Τριαδικού), διαμορφώνουν τελικά, σε όλες τις εμφανίσεις τους, ένα ιδιαίτερα υδατοστεγανό σύνολο που προκαλεί ανάσχεση της υπόγειας.

➤ *J: ραδιολαρίτες (Ιουρασικό – Κατ. Κρητιδικό)*

Ο Ιουρασικός σχηματισμός των ραδιολαριτών λειτουργεί, στο σύνολο, ως εν δυνάμει υδατοστεγανός, κατά θέσεις όμως, που στις εμφανίσεις του επικρατούν οι κερατολιθικές στρώσεις, αναπτύσσονται

ευνοϊκές συνθήκες διακίνησης υπόγειου νερού και ενδεχομένως ανάπτυξης υπόγειας υδροφορίας. Στις περισσότερες, όμως, εμφανίσεις τους οι κερατόλιθοι εναλλάσσονται με πηλτινικές ενστρώσεις οι οποίες ή πληρώνουν με αργιλικό υλικό τις ασυνέχειες, ή δεν επιτρέπουν την υδραυλική επικοινωνία των κερατολιθικών στρωμάτων μεταξύ τους.

Εικόνα 7.1: Υδρολιθολογικός χάρτης της περιοχής μελέτης

7.2 Υδροφόρα Στρώματα

7.2.1 Καρστικά Υδροφόρα

Τα ανθρακικά ιζήματα της περιοχής της ζώνης Πίνδου είναι διεργημένα με αποτέλεσμα να αποτελούν σημαντικούς υδροφόρους με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά την ανισοτροποία και την ετερογένεια. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι τα πετρώματα της ζώνης Πίνδου είναι διατεταγμένα σε επάλληλα τεκτονικά λείπια.

Τα κυριότερα χαρακτηριστικά των καρστικών υδροφόρων της περιοχής έρευνας, όπως αναφέρονται από τον Βουδούρη (1995), είναι:

1. Η παρουσία πολυάριθμων πηγών, μικρών και μεσάιων, σε όλες τις υψομετρικές βαθμίδες. Οι πηγές αυτές συντηρούν τη ροή των υδρορευμάτων της περιοχής στη μεγαλύτερη διάρκεια του έτους.
2. Το γεγονός ότι εγριβιζονται συνήθως μεταξύ λιγότερο υδροπερατών στρωμάτων έχει ως συνέπεια την ανύψωση της στάθμης τους και τη δυνατότητα εκμετάλλευσης με γεωτρήσεις μικρού σχετικά βάθους, χωρίς να χρειάζεται να φτάσουν στο γενικό επίπεδο βάσης.
3. Η εμφάνιση πολλών 'ορόφων υδροφορίας' σε γεωτρήσεις. Συχνά οι πρώτες ενδείξεις υδροφορίας υπάρχουν ήδη στο βάθος των 20-25 μέτρων.
4. Η συχνή παρουσία τεχνικών προβλημάτων στις γεωτρήσεις, από τη διόγκωση αργιλικών υλικών, κατάπτωση τεμαχίων πετρωμάτων και συναικόλουθη μεταβολή της απόδοσης της γεώτρησης.

7.2.2 Πλειοκαινικά Υδροφόρα

Τα πλειοκαινικά υδροφόρα αναπτύσσονται στις υδροπερατές φάσεις (άμμοι, χαλίγια, κροκαλοπαγή) των λιμναίων – θαλάσσιων και χερσαίων ποταμοχειμάρριων αποθέσεων του Πλειοκαίνου που καταλαμβάνουν σημαντική έκταση της περιοχής μελέτης. Οι σχηματισμοί αυτοί περιλαμβάνουν, σε μεγάλο ποσοστό της στρωματογραφικής τους στήλης, λεπτόκοικα υλικά (μάργες, πηλοί, άργιλοι). Για το λόγο αυτό παρουσιάζουν μικρό υδρογεωλογικό ενδιαφέρον.

Η τροφοδοσία των ανωτέρω υδροφόρων οριζόντων γίνεται είτε με απευθείας κατείσδυση του νερού των βροχοπτώσεων, είτε με κατείσδυση διαμέσου των υπερκειμένων Τεταρτογενών αποθέσεων, καθώς και με πλευρική μετάγγιση από τα ανθρακικά υδροφόρα των Άνω Κρητιδικών Ασβεστόλιθων της ορεινής ζώνης.

7.2.3 Τεταρτογενή Υδροφόρα

Πρόκειται για τις ποταμοχειμαρρώδεις αποθέσεις των υδρορευμάτων της περιοχής έρευνας που έχουν αποθέσει στην πεδινή ζώνη σχηματισμούς ριπιδίων, αναβαθμίδων, δελταϊκές αποθέσεις και αποθέσεις κοιλάδων.

Η αδρομερής φάση των παραπάνω σχηματισμών συνίσταται κυρίως από χάλικες, κροκάλες, λατύπες και αργιλομιγή άμμο (σε μικτές κυρίως φάσεις). Στα αλλουβιακά ριπίδια, η παρουσία λεπτομερούς υλικού εμφανίζεται με τη μορφή φακοειδών οριζόντων αργιλοϊλύος ή μάργας. Οι τεταρτογενείς αποθέσεις χαρακτηρίζονται από λιθολογική ανομοιομορφία κατά την οριζόντια και κατακόρυφη διεύθυνση. Στην παράκτια ζώνη επικρατούν οι λεπτομερείς σχηματισμοί αργιλικής σύστασης. Το πάχος των σχηματισμών αυτών είναι μεγαλύτερο στο κατάντη, συμβάλλοντας, έτσι, στη δημιουργία φαινομένων αρτεσιανισμού (Βουδούρης, 1995).

Η υδρογεωλογική συμπεριφορά των Τεταρτογενών αποθέσεων εξαρτάται από την κοκιομετρία, το πάχος και τη στρωματογραφική τους διάταξη.

Η τροφοδοσία του νερού των Τεταρτογενών αποθέσεων γίνεται κυρίως με δύο τρόπους:

- Με διήθηση από την κοίτη των υδρορευμάτων. Τα έργα των δασοτεχνικών έργων ανάσχεσης φερτών υλικών που κατασκεύασε το Δασαρχείο τις δεκαετίες '50, '60 και '70 διαδραμάτισαν θετικό ρόλο και εξασφάλισαν βελτιωμένες συνθήκες διήθησης.
- Με άμεση κατέισδυση του νερού της βροχής διαμέσου των επιφανειακών υδροπερατών στρωμάτων.

Οι σύγχρονες ποταμοχειμαρώδεις αποθέσεις αποτελούν τα καλύτερα υδροφόρα στρώματα και έχουν αξιόλογες αποδόσεις ($>10 \text{ m}^3/\text{h}$). Τα σύγχρονα αλλουβιακά ριπίδια συνίστανται από κλαστικά υλικά διαφόρων διαμέτρων με ασήμαντη διαγένεση και έχουν σημαντικό υδρογεωλογικό ενδιαφέρον. Οι αποδόσεις τους κυμαίνονται έως και $13 \text{ m}^3/\text{h}$ (περιοχή Αραχωβίτικα) (Βουδούρης, 1995).

7.3 Πιεζομετρία του Προσχωματικού Υδροφόρου

Η μελέτη της μορφής της πιεζομετρικής επιφάνειας επιτρέπει τη γνώση των συνθηκών κίνησης των υπόγειων νερών. Οι διακυμάνσεις της πιεζομετρικής επιφάνειας κατά τη διάρκεια ενός υδρολογικού έτους καθορίζουν τα ρυθμιστικά αποθέματα. Στην εικόνα 7.2 παρουσιάζεται ο χάρτης με το σύνολο των γεωτρήσεων στις οποίες διενεργήθηκε πιεζομετρία κατά τα έτη 2007-2008.

Εικόνα 7.2: Χάρτης με το δίκτυο των γεωτρήσεων στις οποίες διενεργήθηκε πιεζομετρία

Εικόνα 7.3: Πιεζομετρικός χάρτης (σε *m*) του προσχωματικού υδροφόρου για την ξηρή περίοδο, όπου διακρίνονται οι γραμμές της υπόγειας ροής (βέλη)

Εικόνα 7.4: Πιεζομετρικός χάρτης (σε *m*) του προσχωματικού υδροφόρου για την υγρή περίοδο, όπου διακρίνονται οι γραμμές της υπόγειας ροής (βέλη)

Από τη μελέτη των πιεζομετρικών καμπύλων (Εικόνες 7.3 και 7.4) προκύπτουν τα εξής:

- Η γενική διεύθυνση ροής είναι Β έως ΒΔ προς τη θαλάσσια περιοχή του Πατραϊκού Κόλπου,
- Η μορφή των ισοπιεζομετρικών γραμμών είναι παρόμοια και κατά την υγρή περίοδο μετατοπίζεται προς την ακτογραμμή,
- Οι μεταβολές στάθμης μεταξύ ξηρής – υγρής περιόδου κυμαίνονται από 0 έως 4.7 μέτρα,
- Η μέση διακύμανση της στάθμης ανέρχεται σε 2.05 μέτρα,
- Η υδραυλική κλίση στην περιοχή των λεκανών Σέλεμνου και Ξυλοκέρα είναι περίπου 2.5‰, ενώ στη λεκάνη του Βολιναίου κυμαίνεται μεταξύ 5-8‰.

7.4 Υπόγεια Αποθέματα

Για τον υπολογισμό των υπόγειων υδατικών αποθεμάτων στους προσχωσιγενείς υδροφόρους της περιοχής έρευνας χρησιμοποιήθηκε ο όρος *ρυθμιστικά αποθέματα* (Καλλέργης, 1986). Τα ρυθμιστικά αποθέματα (R_r) αντιπροσωπεύουν τον όγκο νερού που αντιστοιχεί στην ετήσια μεταβολή της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα (ξηρή – υγρή περίοδος) και υπολογίζονται από τη σχέση:

$$R_r = E \cdot \Delta h \cdot S \quad (7.1)$$

όπου:

E , η επιφάνεια του υδροφόρου (σε m^2),

Δh , η μέση διακύμανση της στάθμης (σε m), και

S , συντελεστής υδροχωρητικότητας

Ο συντελεστής S εκτιμήθηκε με βάση τη βιβλιογραφία αντίστοιχων γεωλογικών σχηματισμών και κυμαίνεται μεταξύ 12% και 13% (Σούλιος, 1985). Έτσι, τα ρυθμιστικά αποθέματα του προσχωσιγενή υδροφόρου εκτιμώνται σε $3.25 \times 10^6 m^3$.

Όσον αφορά τα αποθέματα των καρστικών συστημάτων, αυτά αντιστοιχούν στο συνολικό νερό που κατεισδύει στους σχηματισμούς αυτούς. Ο συνολικός μέσος ετήσιος όγκος νερού που κατεισδύει στους ασβεστόλιθους είναι $8.525 \times 10^6 m^3$ (Κεφάλαιο 6, §6.2.6, Πίνακας 6.16). Το γεγονός δε ότι τα καρστικά υδροφόρα εγκιβωτίζονται συνήθως μεταξύ λιγότερο υδροπερατών στρωμάτων, έχει ως συνέπεια την ανύψωση της στάθμης τους και τη δυνατότητα εκμετάλλευσής τους με γεωτρήσεις μικρού, σχετικά, βάθους.

8 ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

Η υδροχημική έρευνα έχει ως στόχο να συμβάλει στην καλύτερη κατανόηση των υδρογεωλογικών συνθηκών της περιοχής έρευνας και στον εντοπισμό περιβαλλοντικών προβλημάτων που συνδέονται με την ποιοτική υποβάθμιση τόσο του επιφανειακού όσο και του υπόγειου νερού. Η υποβάθμιση αυτή μπορεί να οφείλεται τόσο σε φυσικά όσο και σε ανθρωπογενή αίτια.

8.1 Δίκτυο Παρακολούθησης Ποιοτικών Παραμέτρων

Στο πλαίσιο της υδροχημικής έρευνας, εξετάζονται τα αποτελέσματα δειγματοληψίας που έγινε σε 14 σημεία επιφανειακού ύδατος (από 5 στους χείμαρρους Σέλεμνο και Βολιναίο και 4 στο χείμαρρο Ξυλοκέρα), που κατανέμονται κατά μήκος της κύριας κοίτης των υπό μελέτη χείμαρρων και σε 6 γεωτρήσεις που κατανέμονται στο παράκτιο τμήμα της περιοχής έρευνας καλύπτοντας τον προσχωματικό υδροφόρο ορίζοντα.

Η δειγματοληψία στην περιοχή έρευνας πραγματοποιήθηκε σε δύο διαφορετικές περιόδους, κατά τα έτη 2005 και 2006 για τα επιφανειακά ύδατα (δειγματοληψία σε μηνιαία βάση) και κατά το υδρολογικό έτος 2007-2008 για τον προσχωματικό υδροφόρο (δειγματοληψία την ξηρή και υγρή περίοδο). Συνολικά ελήφθησαν 233 δείγματα νερού, εκ των οποίων 85 δείγματα στο χείμαρρο Σέλεμνο, 64 δείγματα στο χείμαρρο Ξυλοκέρα, 70 δείγματα στο χείμαρρο Βολιναίο και 12 δείγματα στον προσχωματικό υδροφόρο.

8.2 Μεθοδολογία

8.2.1 Εργασία Υπαίθρου

Η δειγματοληψία έγινε σύμφωνα με τους κανόνες που ορίζει η Υπηρεσία Περιβαλλοντικής Προστασίας των ΗΠΑ (USEPA, 1976), ώστε να εξαχθούν ορθά συμπεράσματα για τον υδροχημικό χαρακτήρα των υδάτων. Έτσι, τα δείγματα του νερού συλλέχθηκαν μετά από άντληση τουλάχιστον 1 ώρας (για τα δείγματα από τις γεωτρήσεις), έτσι ώστε να έχει ανανεωθεί το νερό της γεώτρησης ή του φρέατος. Οι φιάλες της δειγματοληψίας είχαν προηγουμένως πλυθεί καλά με υδροχλωρικό οξύ (HCl) 5% κ.β., ενώ πριν τη λήψη του δείγματος ξεπλένονταν με το νερό της δειγματοληψίας. Τα δείγματα αποθηκεύονταν σε δύο φιάλες πολυαιθυλενίου. Η πρώτη φιάλη, όγκου 1 lt, χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση των ανιόντων και περιείχε δείγμα χωρίς καμία περαιτέρω επεξεργασία. Αντίθετα, η δεύτερη φιάλη, όγκου 100 ml, περιείχε νερό που είχε επί τόπου διηθηθεί και οξινιστεί και προοριζόταν για την ανάλυση των κατιόντων. Για τη διήθηση των δειγμάτων χρησιμοποιήθηκαν φίλτρα μεμβράνης των 0.45 μm (Millipore®) και κατάλληλη αντλία κενού. Η οξίνιση των δειγμάτων έγινε με προσθήκη 0.5 ml υπεράθραου (suprapure) νιτρικού

Η θερμοκρασία του νερού (T_v), το pH, ηλεκτρική αγωγιμότητα, τα ολικά διαλυμένα στερεά και η αλμυρότητα μετρήθηκαν με φορητή συσκευή Hach (Sension 5).

Η θερμοκρασία του αέρα (T_α) και το διαλυμένο O₂ μετρήθηκε με φορητή συσκευή Syland TM.

8.2.2 Εργαστηριακές Αναλύσεις

Στο εργαστήριο προσδιορίστηκαν τα θρεπτικά συστατικά (σε mg/l), τα κύρια στοιχεία (σε mg/l) και τα ιχνοστοιχεία (σε ppb). Πιο συγκεκριμένα, τα νιτρικά (NO₃⁻), νιτρώδη (NO₂⁻), αμμωνιακά (NH₄⁺), θειικά (SO₄²⁻) και ολικός φωσφόρος (P-tot) προσδιορίστηκαν με τη μέθοδο της φασματοφωτομετρικής μοριακής απορρόφησης, σε φασματοφωτόμετρο της Hach®, το DR/2000.

Για τη μέτρηση των χλωριόντων (Cl⁻) χρησιμοποιήθηκε η ογκομετρική μέθοδος του νιτρικού υδραργύρου.

Τα ιόντα K⁺, Na⁺, Ca²⁺ και Mg²⁺ μετρήθηκαν με τη μέθοδο της φασματοφωτομετρίας ατομικής απορρόφησης, σε φασματοφωτόμετρο GBC AVANTA®.

Οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων και των βαρέων μετάλλων του νερού προσδιορίστηκαν με τη μέθοδο της φασματοφωτομετρίας μάζας με επαγωγικά συζευγμένο πλάσμα, σε φασματοφωτόμετρο ELAN 6100 της Perkin Elmer®.

Για τον έλεγχο της αξιοπιστίας των χημικών αναλύσεων έγινε υπολογισμός του σφάλματος του ισοζυγίου ανιόντων – κατιόντων από τη σχέση (Λαμπράκης, 1991):

$$\text{Σφάλμα}_{\text{ισοζυγίου}} = \frac{\sum \text{κατιόντων} - \sum \text{ανιόντων}}{\sum \text{κατιόντων} + \sum \text{ανιόντων}} \cdot 100 \quad (8.1)$$

8.3 Υδροχημική Σύσταση των Δειγμάτων

8.3.1 Επιφανειακά Ύδατα

8.3.1.1 Χείμαρρος Σέλεμνος

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι περιγραφικές στατιστικές παράμετροι των φυσικοχημικών παραμέτρων, των θρεπτικών συστατικών και των ιχνοστοιχείων για τα δείγματα που συλλέχθηκαν από την κύρια κοίτη του χείμαρρου Σέλεμνου.

Πίνακας 8.1: Κυριότερα στατιστικά στοιχεία των χημικών αναλύσεων των επιφανειακών υδάτων της κοίτης

	ΜΕΓΙΣΤΟ	ΕΛΑΧΙΣΤΟ	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ
Ta	32.00	4.00	20.33	5.93
Tw	27.40	2.30	15.84	5.10
pH	9.09	7.64	8.23	0.24
E.C.	2000.00	196.80	389.10	233.73
sal	1.00	0.10	0.22	0.11
TDS	948.00	148.10	221.31	104.76
D.O.	8.70	3.80	5.16	0.84
NH ₃	0.22	0.00	0.02	0.04

	ΜΕΓΙΣΤΟ	ΕΛΑΧΙΣΤΟ	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ
P-tot	0.16	0.00	0.02	0.03
NO ₃ ⁻	9.24	0.88	5.00	1.78
NO ₂ ⁻	0.80	0.00	0.03	0.10
Ag	0.00	0.00	0.00	0.00
As	0.48	0.10	0.24	0.11
B	34.67	9.60	20.41	8.23
Ba	65.20	13.90	34.98	17.69
Be	0.00	0.00	0.00	0.00
Cd	0.20	0.00	0.02	0.06
Co	0.30	0.10	0.12	0.06
Cr	4.00	0.20	2.07	1.43
Cu	3.30	0.30	0.99	0.77
Ga	2.20	0.10	1.02	0.74
Li	5.71	2.70	4.66	1.09
Mn	4.40	0.30	1.83	1.33
Mo	1.00	0.40	0.66	0.23
Ni	1.60	0.14	0.45	0.44
Pb	6.40	0.00	0.82	1.73
Rb	0.40	0.10	0.25	0.10
Se	0.90	0.20	0.38	0.20
Sr	339.64	123.00	234.56	82.03
U	0.50	0.10	0.31	0.12
V	2.40	0.10	0.55	0.61
Hg	1.38	0.00	0.39	0.60
Sn	0.00	0.00	0.00	0.00
Zn	2741.50	0.60	322.75	787.56
Fe	59.50	0.00	6.11	16.96

Γενικά, τα νερά της λεκάνης παρουσιάζουν κανονικές τιμές (για επιφανειακά νερά) ηλεκτρικής αγωγιμότητας (μέση τιμή 389.10 $\mu\text{S}/\text{cm}$), ως αποτέλεσμα της χαμηλής συγκέντρωσης των διαλυμένων στερεών στα επιφανειακά ύδατα (μέση τιμή 221.31 mg/l).

Η θερμοκρασία των υδάτων κυμαίνεται από 2.30 έως 27.40 °C, στην οποία οφείλεται και η μεγάλη διακύμανση της περιεκτικότητας του διαλυμένου οξυγόνου (από 3.80 έως 8.70 ppm), ενώ το pH φτάνει μέχρι και την τιμή 9.09 (με μέση τιμή 8.23, η οποία είναι φυσιολογική για επιφανειακά νερά).

8.3.1.1.1 Χωρική Κατανομή

Παρακάτω, δίνονται οι κατανομές των φυσικοχημικών παραμέτρων και των θρεπτικών συστατικών κατά μήκος της κύριας κοίτης του χείμαρρου και στον πίνακα 8.2 οι συντελεστές συσχέτισης μεταξύ τους.

(συνέχεια)

Σχήμα 8.1: Διακύμανση και μέσος όρος των φυσικοχημικών παραμέτρων και των θρεπτικών συστατικών

Πίνακας 8.2: Έλεγχος συσχέτισης φυσικοχημικών παραμέτρων και θρεπτικών συστατικών

	pH	E.C.	TDS	D.O.	NH ₃	P-tot	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻
pH	1.00							
E.C.	0.03	1.00						
TDS	0.05	0.99	1.00					
D.O.	0.08	0.66	0.67	1.00				
NH ₃	0.11	0.06	0.06	0.15	1.00			
P-tot	0.51	0.61	0.67	0.20	0.01	1.00		
NO ₃ ⁻	0.13	0.36	0.39	0.73	0.62	0.11	1.00	
NO ₂ ⁻	0.26	0.86	0.86	0.33	0.00	0.79	0.08	1.00

Οι αυξημένες τιμές που εμφανίζουν τα E.C., TDS και NO₂⁻ στο σταθμό Σ4 εξηγούνται από το γεγονός ότι, ο σταθμός βρίσκεται μέσα σε κατοικημένη περιοχή όπου και παρατηρείται διάθεση

αποχετεύσεων στο χείμαρρο. Επίσης, οι υψηλές τιμές NH_3 στον πρώτο σταθμό δειγματοληψίας αποδίδονται στην απόπλυση και απορροή υπολειμμάτων πτηνών από παρκαείμενη στάνη.

8.3.1.1.2 Χρονική Κατανομή

Παρακάτω δίνονται οι μέσες μηνιαίες τιμές των φυσικοχημικών παραμέτρων και των θρεπτικών συστατικών για τα έτη 2005-2006, ενώ στον πίνακα 8.3 δίνονται οι συντελεστές συσχέτισης μεταξύ τους.

Σχήμα 8.2: Μηνιαία κατανομή των φυσικοχημικών παραμέτρων και των θρεπτικών συστατικών

Πίνακας 8.3: Έλεγχος συσχέτισης φυσικοχημικών παραμέτρων και θρεπτικών συστατικών

	pH	E.C.	sal.	TDS	D.O.	NH ₃	P-tot	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻
pH	1.00								
E.C.	0.00	1.00							
sal.	0.03	0.90	1.00						
TDS	0.02	0.96	0.96	1.00					
D.O.	0.06	0.45	0.22	0.29	1.00				
NH ₃	0.12	0.01	0.02	0.02	0.01	1.00			
P-tot	0.21	0.24	0.29	0.31	0.04	0.66	1.00		
NO ₃ ⁻	0.00	0.03	0.02	0.02	0.03	0.14	0.02	1.00	
NO ₂ ⁻	0.00	0.14	0.18	0.20	0.02	0.19	0.38	0.01	1.00

8.3.1.2 Χείμαρρος Ξυλοκέρας

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι περιγραφικές στατιστικές παράμετροι των φυσικοχημικών παραμέτρων, των θρεπτικών συστατικών και των ιχνοστοιχείων για τα δείγματα που συλλέχθηκαν από την κύρια κοιτή του χείμαρρου Ξυλοκέρα.

Πίνακας 8.4: Κυριότερα στατιστικά στοιχεία των χημικών αναλύσεων των επιφανειακών υδάτων της κοίτης

	ΜΕΓΙΣΤΟ	ΕΛΑΧΙΣΤΟ	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ
Ta	32.00	4.30	18.67	5.93
Tw	24.10	4.70	13.50	4.19
pH	8.81	7.77	8.27	0.19
E.C.	293.00	248.00	208.37	39.18
sal	0.10	0.10	0.10	0.00
TDS	147.50	107.90	128.75	11.53
D.O.	7.90	4.10	5.44	0.87
NH ₃	0.09	0.00	0.01	0.02
P-tot	0.13	0.00	0.01	0.02
NO ₃ ⁻	7.48	2.20	3.72	1.19
NO ₂ ⁻	0.03	0.00	0.01	0.01
Ag	0.00	0.00	0.00	0.00
As	0.34	0.10	0.20	0.08
B	16.02	0.50	7.71	5.20
Ba	132.33	65.90	97.58	22.25
Be	0.20	0.00	0.02	0.06
Cd	0.30	0.00	0.05	0.11
Co	0.30	0.07	0.11	0.07
Cr	3.30	0.20	1.89	1.12
Cu	3.00	0.00	0.72	0.92
Ga	4.39	0.80	2.79	1.22
Li	4.10	2.20	3.14	0.65
Mn	2.50	0.10	0.73	0.84
Mo	1.60	0.82	1.11	0.27
Ni	0.90	0.05	0.26	0.25
Pb	8.20	0.00	1.51	2.93
Rb	0.22	0.10	0.17	0.05
Se	1.00	0.50	0.72	0.16
Sr	401.80	192.60	302.36	64.71
U	0.70	0.20	0.32	0.20
V	0.70	0.00	0.35	0.25
Hg	1.38	0.00	0.49	0.64
Sn	0.10	0.00	0.01	0.03
Zn	3513.50	0.00	532.19	1145.84
Fe	6.80	0.00	0.68	2.15

Γενικά, τα νερά της λεκάνης παρουσιάζουν κανονικές (για επιφανειακά νερά) τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας που κυμαίνονται μεταξύ 248 και 293 $\mu\text{S}/\text{cm}$, ως αποτέλεσμα της χαμηλής συγκέντρωσης των διαλυμένων στερεών στα επιφανειακά ύδατα (μέση τιμή 107.90 mg/l).

Η θερμοκρασία των υδάτων κυμαίνεται από 4.70 έως 24.10 $^{\circ}\text{C}$, στην οποία οφείλεται και η μεγάλη διακύμανση της περιεκτικότητας του διαλυμένου οξυγόνου (από 4.10 έως 7.90 ppm), ενώ το pH φτάνει μέχρι και την τιμή 8.81 (με μέση τιμή 8.27).

8.3.1.2.1 Χωρική Κατανομή

Παρακάτω, δίνονται οι κατανομές των φυσικοχημικών παραμέτρων και των θρεπτικών συστατικών κατά μήκος της κύριας κοίτης του χειμάρρου και στον πίνακα 8.5 οι συντελεστές συσχέτισης μεταξύ τους.

(συνέχεια)

Σχήμα 8.3: Διακύμανση και μέσος όρος των φυσικοχημικών παραμέτρων και των θρεπτικών συστατικών

Πίνακας 8.5: Έλεγχος συσχέτισης φυσικοχημικών παραμέτρων και θρεπτικών συστατικών

	pH	E.C.	TDS	D.O.	NH ₃	P-tot	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻
pH	1.00							
E.C.	0.61	1.00						
TDS	0.23	0.65	1.00					
D.O.	0.99	0.57	0.17	1.00				
NH ₃	0.62	0.06	0.01	0.68	1.00			
P-tot	0.05	0.28	0.86	0.02	0.08	1.00		
NO ₃ ⁻	0.02	0.12	0.65	0.04	0.41	0.84	1.00	
NO ₂ ⁻	0.03	0.51	0.34	0.02	0.15	0.12	0.23	1.00

Οι υψηλές τιμές των NH₃ και P στον πρώτο σταθμό δειγματοληψίας οφείλονται στη μόλυνση από υπολείμματα και περιττώματα ζώων, αφού στην ευρύτερη περιοχή υπάρχουν στάνες.

8.3.1.2.2 Χρονική Κατανομή

Παρακάτω δίνονται οι μέσες μηνιαίες τιμές των φυσικοχημικών παραμέτρων και των θρεπτικών συστατικών για τα έτη 2005-2006, ενώ στον πίνακα 8.6 δίνονται οι συντελεστές συσχέτισης μεταξύ τους.

(συνέχεια)

Σχήμα 8.4: Μηνιαία κατανομή των φυσικοχημικών παραμέτρων και των θρεπτικών συστατικών

Πίνακας 8.6: Έλεγχος συσχέτισης φυσικοχημικών παραμέτρων και θρεπτικών συστατικών

	pH	E.C.	sal	TDS	D.O.	NH ₃	P-tot	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻
pH	1.00								
E.C.	0.01	1.00							
sal	0.00	0.00	1.00						
TDS	0.00	0.05	0.00	1.00					
D.O.	0.00	0.17	0.00	0.12	1.00				
NH ₃	0.11	0.01	0.00	0.00	0.08	1.00			
P-tot	0.03	0.14	0.00	0.00	0.04	0.01	1.00		
NO ₃ ⁻	0.00	0.04	0.00	0.02	0.21	0.01	0.01	1.00	
NO ₂ ⁻	0.15	0.04	0.00	0.09	0.01	0.01	0.15	0.00	1.00

8.3.1.3 Χείμαρρος Βολινάιος

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι περιγραφικές στατιστικές παράμετροι των φυσικοχημικών παραμέτρων, των θρεπτικών συστατικών και των ιχνοστοιχείων για τα δείγματα που συλλέχθηκαν από την κύρια κοίτη του χείμαρρου Βολιναίου.

Πίνακας 8.7: Κυριότερα στατιστικά στοιχεία των χημικών αναλύσεων των επιφανειακών υδάτων της κοίτης

	ΜΕΓΙΣΤΟ	ΕΛΑΧΙΣΤΟ	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ
Ta	35.40	5.80	18.64	5.85
Tw	25.30	7.00	14.76	4.73

	ΜΕΓΙΣΤΟ	ΕΛΑΧΙΣΤΟ	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ
pH	8.65	7.28	8.16	0.26
E.C.	476.00	168.00	304.00	54.48
sal	0.20	0.10	0.18	0.04
TDS	231.00	126.60	179.03	22.28
D.O.	6.70	3.50	5.19	0.73
NH ₃	0.09	0.00	0.01	0.02
P-tot	0.31	0.00	0.02	0.06
NO ₃ ⁻	8.36	0.44	3.30	1.70
NO ₂ ⁻	0.02	0.00	0.01	0.00
Ag	0.10	0.00	0.01	0.03
As	0.71	0.00	0.20	0.21
B	33.23	10.70	19.63	7.40
Ba	132.50	58.50	97.22	23.83
Be	0.00	0.00	0.00	0.00
Cd	0.50	0.00	0.15	0.18
Co	0.40	0.10	0.21	0.11
Cr	4.40	0.30	2.64	1.17
Cu	8.20	0.20	3.43	2.60
Ga	4.50	1.00	3.00	1.09
Li	6.50	2.56	4.14	1.15
Mn	4.50	0.52	1.98	1.31
Mo	1.00	0.48	0.75	0.18
Ni	1.10	0.17	0.62	0.33
Pb	9.70	0.00	3.93	3.89
Rb	1.63	0.20	0.45	0.46
Se	2.00	0.30	0.69	0.57
Sr	467.50	244.60	350.83	70.85
U	0.50	0.20	0.32	0.11
V	1.84	0.00	0.45	0.58
Hg	1.32	0.00	0.38	0.57
Sn	0.00	0.00	0.00	0.00
Zn	4833.20	0.50	1795.28	1885.52
Fe	36.10	0.00	9.79	13.52

Γενικά, τα νερά της λειάνης παρουσιάζουν κανονικές (για επιφανειακά νερά) τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας που κυμαίνονται μεταξύ 168 και 476 $\mu\text{S}/\text{cm}$, ως αποτέλεσμα της χαμηλής συγκέντρωσης των διαλυμένων στερεών στα επιφανειακά ύδατα (μέση τιμή 126.60 mg/l).

Η θερμοκρασία των υδάτων κυμαίνεται από 7 έως 25.60 °C, στην οποία οφείλεται και η μεγάλη διακύμανση της περιεκτικότητας του διαλυμένου οξυγόνου (από 3.50 έως 6.70 ppm), ενώ το pH φτάνει μέχρι και την τιμή 8.65 (με μέση τιμή 8.16).

8.3.1.3.1 Χωρική Κατανομή

Στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζονται οι κατανομές των φυσικοχημικών παραμέτρων και των θρεπτικών συστατικών κατά μήκος της κύριας κοίτης του χειμάρρου και στον πίνακα 8.8 δίνονται οι συντελεστές συσχέτισης μεταξύ τους.

Σχήμα 8.5: Διακύμανση και μέσος όρος των φυσικοχημικών παραμέτρων και των θρεπτικών συστατικών

Πίνακας 8.8: Έλεγχος συσχέτισης φυσικοχημικών παραμέτρων και θρεπτικών συστατικών

	pH	E.C.	TDS	D.O.	NH ₃	P-tot	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻
pH	1.00							
E.C.	0.71	1.00						
TDS	0.51	0.61	1.00					
D.O.	0.38	0.55	0.03	1.00				
NH ₃	0.88	0.82	0.43	0.52	1.00			
P-tot	0.54	0.27	0.18	0.10	0.65	1.00		
NO ₃ ⁻	0.08	0.26	0.01	0.86	0.17	0.00	1.00	
NO ₂ ⁻	0.19	0.22	0.12	0.06	0.43	0.74	0.00	1.00

Οι εντατικές καλλιέργειες στην ευρύτερη περιοχή του σταθμού δειγματοληψίας B2 προκαλούν αυξημένες τιμές σε NH₃, ενώ παρακείμενο, στην κοίτη, ελαιοτριβείο στο σταθμό B3 προκαλεί αυξημένες τιμές του P.

8.3.1.3.2 Χρονική Κατανομή

Παρακάτω δίνονται οι μέσες μηνιαίες τιμές των φυσικοχημικών παραμέτρων και των θρεπτικών συστατικών για τα έτη 2005-2006, ενώ στον πίνακα 8.9 δίνονται οι συντελεστές συσχέτισης μεταξύ τους.

(συνέχεια)

Σχήμα 8.6: Μηνιαία κατανομή των φυσικοχημικών παραμέτρων και των θρεπτικών συστατικών

Πίνακας 8.9: Έλεγχος συσχέτισης φυσικοχημικών παραμέτρων και θρεπτικών συστατικών

	pH	E.C.	sal	TDS	D.O.	NH ₃	P-tot	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻
pH	1.00								
E.C.	0.19	1.00							
sal	0.00	0.00	1.00						
TDS	0.38	0.60	0.01	1.00					
D.O.	0.04	0.38	0.00	0.05	1.00				
NH ₃	0.01	0.01	0.03	0.04	0.21	1.00			
P-tot	0.28	0.03	0.06	0.02	0.09	0.01	1.00		
NO ₃ ⁻	0.11	0.21	0.01	0.05	0.29	0.01	0.05	1.00	
NO ₂ ⁻	0.03	0.01	0.15	0.09	0.00	0.07	0.08	0.06	1.00

8.3.1.4 Περιβαλλοντική Επιβάρυνση στην Ποιότητα των Επιφανειακών Υδάτων

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τις χρήσεις γης στην περιοχή διερευνήθηκαν με τη βοήθεια των νιτρικών ιόντων, των νιτρωδών, της αμμωνίας και του ολικού φωσφόρου καθώς επίσης και από τις συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων που προσδιορίστηκαν στα δείγματα των υδάτων. Σαν σημείο αναφοράς θεωρήθηκαν τα όρια ανίχνευσης που επιβάλλει η Οδηγία 75/440/EC της Ευρωπαϊκής Ένωσης «Περί της απαιτούμενης ποιότητας των υδάτων επιφάνειας που προορίζονται για την παραγωγή ποσίμου ύδατος στα Κράτη μέλη» (Κατηγορία Α1: απλή φυσική επεξεργασία και απολύμανση, Κατηγορία Α2: ομαλή φυσική επεξεργασία, χημική επεξεργασία και απολύμανση).

Η αμμωνία λαμβάνει τιμές μέχρι και 0.22 mg/l, ως αποτέλεσμα της μόλυνσης των νερών πιθανά από τα απορρίμματα στάβλων σε ορισμένα σημεία κοντά στην κοιτή των χειμάρρων. Η τιμή αυτή δεν ξεπερνά τα όρια της Οδηγίας (1 mg/l NH₄⁺, Κατηγορία Α2).

Το εύρος των συγκεντρώσεων των νιτρωδών κυμαίνεται από 0 έως 0.80 mg/l, ενώ των νιτρικών ιόντων κυμαίνονται από 0.44 έως 9.24 mg/l, τιμές που δεν ξεπερνούν τα όρια της Οδηγίας (25 mg/l, Κατηγορία Α1). Οι τιμές αυτές μπορεί να αποδοθούν κυρίως στις εντατικές καλλιέργειες που αναπτύσσονται στην περιοχή, σαν αποτέλεσμα της απόπλυσης και της απορροής λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων, καθώς και στη μόλυνση από υπολείμματα και περιττώματα ζώων (κυρίως από στάνες). Το ίδιο συμβαίνει και με τα φωσφορικά ιόντα τα οποία κυμαίνονται μεταξύ 0 και 0.31 mg/l.

Από τα ιχνοστοιχεία που προσδιορίστηκαν στα δείγματα των επιφανειακών υδάτων, τις υψηλότερες συγκεντρώσεις παρουσιάζουν τα στοιχεία B, Ba, Sr, Zn και Fe. Η παρουσία των περισσότερων ιχνοστοιχείων οφείλεται τόσο σε φυσικούς όσο και σε ανθρωπογενείς παράγοντες.

Οι τιμές του B που μετρήθηκαν στην περιοχή φθάνουν έως 0.04 mg/l, τιμή κατά πολύ χαμηλότερη του ορίου της Οδηγίας (1 mg/l, Κατηγορία A1) και η παρουσία του οφείλεται στην απόρριψη αποχετεύσεων στις κοίτες των χειμάρρων (ρύπανση κυρίως από απορρυπαντικά).

Ο Fe, που είναι το πιο άφθονο συστατικό του φλοιού της γης, εμφανίζεται σε συγκεντρώσεις μέχρι και 0.06 mg/l.

Οι συγκεντρώσεις του Ba φθάνουν έως και τα 0.13 mg/l, τιμές που δεν ξεπερνούν τα όρια της Οδηγίας (1 mg/l, Κατηγορία A2). Η παρουσία του στα επιφανειακά ύδατα οφείλεται στις φυσικές συνθήκες του περιβάλλοντος, αφού είναι κύριο συστατικό των ιζηματογενών πετρωμάτων τα οποία και συνθέτουν το σύνολο των λεκανών απορροής.

Οι τιμές του Sr που μετρήθηκαν στην περιοχή κυμαίνονται μεταξύ 0.12 και 0.47 mg/l.

Οι συγκεντρώσεις του Zn φθάνουν έως και τα 4.83 mg/l, τιμή που δεν ξεπερνά τα όρια της Οδηγίας (5 mg/l, Κατηγορία A2).

8.3.2 Υπόγεια Ύδατα

8.3.2.1 Υδροχημικά Χαρακτηριστικά

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι περιγραφικές στατιστικές παράμετροι των φυσικοχημικών παραμέτρων, των θρεπτικών συστατικών και των κύριων στοιχείων για τα δείγματα που συλλέχθηκαν από τον προσχωματικό υδροφόρο.

Πίνακας 8.10: Φυσικοχημικές παράμετροι, θρεπτικά συστατικά και κύρια στοιχεία στα δείγματα του προσχωματικού υδροφόρου

	ΜΕΓΙΣΤΟ	ΕΛΑΧΙΣΤΟ	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ
E.C.	771.50	433.00	577.00	137.31
TDS	385.00	204.00	291.50	69.36
pH	7.64	7.19	7.38	0.15
K ⁺	2.23	1.12	1.48	0.40
Na ⁺	18.37	9.02	14.14	3.77
Ca ⁺⁺	145.00	74.00	110.29	28.39
Mg ⁺⁺	14.63	5.42	8.46	3.28
Cl ⁻	46.98	17.30	31.17	12.66
HCO ₃ ⁻	419.68	218.99	322.39	76.90
NO ₂ ⁼	0.02	0.01	0.02	0.00
NO ₃ ⁻	36.28	6.24	15.98	10.79
P	0.02	0.01	0.02	0.01
SO ₄ ⁼	56.40	26.50	37.31	13.66
NH ₄ ⁺	0.02	0.00	0.00	0.01

Γενικά, τα νερά της περιοχής παρουσιάζουν τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας που κυμαίνονται μεταξύ 433 έως 771.5 $\mu\text{S}/\text{cm}$, με τη μέση συγκέντρωση των διαλυμένων στερεών να είναι 291.5 mg/l. Το pH παίρνει κανονικές τιμές, με μέσο όρο κοντά στο ουδέτερο 7.38.

Από τις χημικές αναλύσεις προκύπτει ότι επικρατούν κατιόν είναι το Ca^{++} με μέση τιμή 110.29 mg/l, ενώ από τα ανιόντα επικρατεί το HCO_3^- με μέση τιμή 322.39 mg/l. Τα νερά, δηλαδή, έχουν φιλοξενηθεί σε ασβεστολιθικό υδροφόρο, με σχετικά μικρό χρόνο παραμονής, ο οποίος χαρακτηρίζεται από καλή τροφοδοσία και κυκλοφορία (Σούλιος, 1979).

Στο σχήμα 8.7 παρατίθενται τα διαγράμματα Piper και Durov, από τα οποία προκύπτει ότι όλα τα δείγματα των υπόγειων υδάτων κατατάσσονται στην κατηγορία CaHCO_3 .

Σχήμα 8.7: Διαγράμματα Durov (αριστερά) και Piper (δεξιά)

Οι συγκεντρώσεις του Cl^- είναι πολύ χαμηλές, αφού κυμαίνονται από 17 έως 47 mg/l, και σε συνδυασμό με τις χαμηλές συγκεντρώσεις του Na^+ , δεν υποδεικνύουν ενδεχόμενη υφαλμύριση.

Οι συγκεντρώσεις των ιόντων $\text{SO}_4^{=}$ δε συνοδεύονται από σημαντική αύξηση των νιτρικών ιόντων, γεγονός που θα φανέρωνε ανθρωπογενή ρύπανση από χρήση λιπασμάτων ή οικιακών αποβλήτων.

Από την εξέταση των τιμών των παραπάνω ενώσεων προκύπτει ότι, οι συγκεντρώσεις τους κυμαίνονται σε επίπεδα μικρότερα των ανώτερων επιτρεπτών, σύμφωνα με την Οδηγία 98/83/EC της Ευρωπαϊκής Ένωσης «Σχετικά με την ποιότητα των νερών που προορίζονται για την ανθρώπινη κατανάλωση», που σημαίνει ότι τα υπόγεια ύδατα είναι κατάλληλα για πόση.

Από την επεξεργασία των αναλύσεων προκύπτει ότι τα δείγματα είναι ακόρεστα σε ανυδρίτη, δολομίτη και γύψο (Σχήμα 8.8).

Σχήμα 8.8: Ιστογράμματα συχνότητας των δεικτών κορεσμού

Στο παρακάτω σχήμα δίνονται ακτινωτά διαγράμματα για τα δείγματα των υπόγειων υδάτων του προσχωσιγενή υδροφόρου.

Σχήμα 8.9: Ακτινωτά διαγράμματα δειγμάτων υπόγειων υδάτων

Προκειμένου να ελεγχθεί η καταλληλότητα των υπόγειων υδάτων για άρδευση, χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης *SAR* σύμφωνα με την παρακάτω σχέση:

$$SAR = \frac{Na^{+}_{meq/l}}{\sqrt{\left(\frac{Ca^{++}_{meq/l} + Mg^{++}_{meq/l}}{2}\right)}} \quad (8.2)$$

Όπως προκύπτει από το παρακάτω διάγραμμα, τα υπόγεια ύδατα του προσχωματικού υδροφόρου κατατάσσονται στην κλάση S1-C2 και S1-C3, που σημαίνει ότι έχουν πολύ χαμηλή επικινδυνότητα νατρίου και μέση επικινδυνότητα αλατότητας. Αυτό σημαίνει ότι είναι κατάλληλα για άρδευση.

Σχήμα 8.10: Διάγραμμα ταξινόμησης αρδευτικών νερών (Richards, 1954)

8.3.2.2 Παραγοντική Ανάλυση R-Τύπου

Στα δείγματα των υδάτων του προσχωματικού υδροφόρου εφαρμόστηκε παραγοντική ανάλυση R-τύπου. Παρακάτω δίνεται ο αρχικός πίνακας των δεδομένων καθώς και τα αποτελέσματα της παραγοντικής ανάλυσης, η οποία εφαρμόστηκε για τις φυσικοχημικές παραμέτρους και τις συγκεντρώσεις των θρεπτικών συστατικών και των κύριων στοιχείων των υπόγειων υδάτων.

Πίνακας 8.11: Αρχικός πίνακας δεδομένων

Σ/Δ	E.C.	pH	K ⁺	Na ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₂ ⁼	NO ₃ ⁻	P	SO ₄ ⁼
Γ1	433.00	7.64	1.12	9.02	74.00	5.42	17.30	218.99	0.02	6.24	0.02	26.50
Γ7	460.00	7.45	1.24	13.57	87.75	7.27	20.70	284.87	0.02	8.88	0.01	28.15
Γ9	535.00	7.32	1.26	10.49	107.75	6.95	22.13	311.10	0.02	17.64	0.02	27.50
Γ11	546.50	7.34	1.52	16.51	105.75	7.06	42.50	293.41	0.01	15.48	0.01	32.30
Γ14	716.00	7.35	1.51	16.91	145.00	9.42	37.42	406.26	0.02	36.28	0.01	56.40
Γ15	771.50	7.19	2.23	18.37	141.50	14.63	46.98	419.68	0.02	11.34	0.01	53.00

Πίνακας 8.12: Πίνακας ιδιοτιμών

ΠΑΡΑΓΩΝ	ΙΔΙΟΤΙΜΗ	ΟΛΙΚΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ (%)	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ (%)
1	8.40	70.02	70.02
2	1.69	14.09	84.11
3	1.16	9.66	93.77
4	0.56	4.63	98.40
5	0.19	1.60	100.00
6	0.00	0.00	100.00
7	0.00	0.00	100.00
8	0.00	0.00	100.00

ΠΑΡΑΓΩΝ	ΙΔΙΟΤΙΜΗ	ΟΛΙΚΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ (%)	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ (%)
9	0.00	0.00	100.00
10	0.00	0.00	100.00
11	0.00	0.00	100.00
12	0.00	0.00	100.00

Σύμφωνα με το κριτήριο επιλογής του αριθμού των παραγόντων, με δεδομένο ότι διατηρούνται οι παράγοντες με ιδιοτιμές μεγαλύτερες της μονάδας, καταλήγουμε σε ένα τριπλό μοντέλο το οποίο εκφράζει το 93.77% της συνολικής διακύμανσης. Ο αριθμός των παραγόντων φαίνεται και στο διάγραμμα αλλαγής κλίσης του Cattell (Σχήμα 8.11).

Σχήμα 8.11: Διάγραμμα αλλαγής κλίσης του Cattell

Πίνακας 8.13: Παραγοντικές φορτίσεις

	1	2	3
E.C.	0.876	0.148	0.443
pH	-0.788	-0.204	-0.247
K ⁺	0.939	0.307	-0.034
Na ⁺	0.684	0.659	0.285
Ca ⁺⁺	0.785	0.136	0.602
Mg ⁺⁺	0.990	0.118	0.018
Cl ⁻	0.692	0.625	0.253
HCO ₃ ⁻	0.856	0.098	0.494
NO ₂ ⁼	0.068	-0.980	-0.086
NO ₃ ⁻	0.126	0.053	0.989
P	-0.540	-0.714	0.094
SO ₄ ⁼	0.759	0.189	0.530

Ο πρώτος παράγοντας εκφράζει το 70.02% της συνολικής διακύμανσης, είναι διπολικός και χαρακτηρίζεται από υψηλές θετικές φορτίσεις των E.C., K⁺, Na⁺, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Cl⁻, HCO₃⁻ και SO₄⁼ και αρνητικές των pH και P. Επομένως, μπορεί να θεωρηθεί ως *παράγοντας αλατότητας* (Εικόνα 8.2).

Ο δεύτερος παράγοντας εκφράζει το 14.09% της ολικής διακύμανσης, είναι διπολικός και χαρακτηρίζεται από θετικές φορτίσεις των Na^+ και Cl^- και αρνητικές των NO_2^- και P. Έτσι, μπορεί να θεωρηθεί ως παράγοντας υφαλμύρινσης (Εικόνα 8.3).

Ο τρίτος παράγοντας εκφράζει το 9.66% της ολικής διακύμανσης, είναι μονοπολικός και χαρακτηρίζεται από θετικές φορτίσεις των Ca^{++} και NO_3^- . Υποδηλώνει την επίδραση του CaCO_3 στη σύσταση του υπόγειου νερού καθώς και πιθανές ζώνες τροφοδοσίας του υδροφόρου από τους χείμαρρους (Εικόνα 8.4).

Παρακάτω, δίνονται οι τιμές των τριών παραγόντων, όπως αυτές προέκυψαν από την παραγοντική ανάλυση, καθώς και η κατανομή τους στην περιοχή έρευνας. Οι τρεις παράγοντες εμφανίζουν αντίστοιχες κατανομές με τα στοιχεία (§8.3.2.3) που παρουσιάζουν υψηλές φορτίσεις σε αυτούς.

Πίνακας 8.14: Τιμές των 3 παραγόντων

Σ/Δ	1	2	3
Γ1	-0.912	-0.596	-0.751
Γ7	-0.422	0.148	-0.721
Γ9	-0.200	-1.365	0.310
Γ11	-0.554	1.657	-0.003
Γ14	0.188	0.077	1.836
Γ15	1.900	0.079	-0.671

Εικόνα 8.2: Κατανομή 1^{ου} παράγοντα (αλατότητα)

Εικόνα 8.3: Κατανομή 2^{ου} παράγοντα (υφαλμύριση)

Εικόνα 8.4: Κατανομή 3^{ου} παράγοντα

8.3.2.3 Χωρο-Χρονική Κατανομή

Από τις κατανομές των στοιχείων, παρατηρείται μείωση των τιμών τους (εκτός του HCO_3^-) κατά την υγρή περίοδο (Απρίλιο), ως αποτέλεσμα εμπλουτισμού του υδροφόρου από τα νερά των βροχοπτώσεων.

Εικόνα 8.5: Κατανομή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στα υπόγεια ύδατα

Εικόνα 8.6: Κατανομή του pH στα υπόγεια ύδατα

Εικόνα 8.7: Κατανομή του καλίου στα υπόγεια ύδατα

Εικόνα 8.8: Κατανομή του νατρίου στα υπόγεια ύδατα

Εικόνα 8.9: Κατανομή του ασβεστίου στα υπόγεια ύδατα

Εικόνα 8.10: Κατανομή του μαγνησίου στα υπόγεια ύδατα

Εικόνα 8.11: Κατανομή των χλωριόντων στα υπόγεια ύδατα

Εικόνα 8.12: Κατανομή των όξινων ανθρακικών ιόντων στα υπόγεια ύδατα

Εικόνα 8.13: Κατανομή των νιτρωδών ιόντων στα υπόγεια ύδατα

Εικόνα 8.15: Κατανομή του ολικού φωσφόρου στα υπόγεια ύδατα

Εικόνα 8.16: Κατανομή των θετικών ιόντων στα υπόγεια ύδατα

9 ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΕΔΑΦΩΝ ΚΑΙ ΣΤΕΡΕΟΠΑΡΟΧΗ

Η ανάγκη της κατά το δυνατόν ακριβούς προβλέψεως και εκτιμήσεως φερτών υλών σε υδρολογικές λειάνες, 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 (π.χ. προσχώσεις σε ταμιευτήρες φραγμάτων), όσο και από την απαίτηση για τον εντοπισμό περιοχών για λήψη μέτρων αντιδιαβρωτικής προστασίας, ανάλογα με την επικινδυνότητα στη διάβρωση. Όπως είναι γνωστό, η αποτελεσματική προστασία του εδάφους από τη διάβρωση, εξασφαλίζεται από τη φυτοκάλυψη και γενικότερα από τη βλάστηση στην επιφάνειά του, που αναστέλλει σημαντικά το ρυθμό της διάβρωσης, αφού ενεργεί σαν φέρον σκελετός του εδάφους ενάντια στις διαβρωτικές δυνάμεις. Η μείωση του ρυθμού της διάβρωσης με την κατάλληλη φυτοκάλυψη, μπορεί να φτάσει μέχρι και στο 1% του ρυθμού που παρατηρείται στο γυμνό έδαφος. Η βλάστηση στην επιφάνεια συμβάλλει πολλαπλά στην αντιδιαβρωτική προστασία και συγκεκριμένα, οδηγεί στην αύξηση της διηθητικής ικανότητας του εδάφους που συνεπάγεται μείωση της απορροής, καθώς επίσης και στην αύξηση της τραχύτητας της επιφάνειας (μείωση ταχύτητας ροής), όπως και στην απορρόφηση της κινητικής ενέργειας της βροχής από τα φυλλώματα των φυτών και των δέντρων.

Ανάλογα με το ζητούμενο αποτέλεσμα, καθώς και από την επιθυμητή ακρίβεια, τα μοντέλα διαβρώσεως χωρίζονται κύρια σε δύο κατηγορίες: τα *εμπειρικά (empirical)*, μέσω των οποίων εκτιμάται η μέση εδαφική απώλεια (soil loss), ανά μονάδα επιφάνειας εδάφους και ανά μονάδα χρόνου (π.χ. t/ha/έτος ή t/km²/έτος). Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα μοντέλα του Musgrave (1974), το USLE (Παγκόσμια Εξίσωση Εδαφικής Απώλειας) των Wischmeier και Smith (1978), κ.ά.

Η δεύτερη κατηγορία μοντέλων είναι τα *γενικής συνθέσεως (conceptual)*, που στηρίζονται στην περιγραφή του συνόλου σχεδόν των συνιστωσών του φυσικού προβλήματος, (αποκόλληση και μεταφορά στερεών σωματιδίων από τη βροχή και την επιφανειακή απορροή, κ.ά.). Τα μοντέλα αυτά συνήθως χρησιμοποιούνται για την προσομοίωση των συνεπειών ενός γεγονότος βροχής, στην επιφάνεια του εδάφους μιας περιοχής (αγρός, υδρολογική λειάνη), περιλαμβάνουν δε το μετασχηματισμό της βροχόπτωσης σε επιφανειακή απορροή. Η συνήθης μορφή των αποτελεσμάτων περιλαμβάνει τα υδρογραφήματα συνολικής απορροής και στερεοπαροχής στην έξοδο της εξεταζόμενης έκτασης, που αντιστοιχούν σε μεμονωμένο επεισόδιο βροχής (συνήθως μεγάλης έντασης και μικρής διάρκειας). Στην κατηγορία αυτή υπάγονται τα μοντέλα ANSWERS, MODANSW, SEM, EUROSEM, κ.ά. Υπάρχει και μία τρίτη κατηγορία μοντέλων που ανήκουν μεν στα γενικής συνθέσεως, πλην όμως αναφέρονται σε μέση χρονική κλίμακα (μήνα, έτος), όπως τα εμπειρικά και όχι σε στιγμιαίες χρονικές συνθήκες (πρώτα, λεπτά,

ώρες). Ένα τέτοιο μοντέλο είναι το MO-SEM (Γιακουμάκης & Τσακίρης, 1992), που ουσιαστικά αποτελεί μια τροποποιημένη μορφή του SEM για μέσες χρονικές συνθήκες (μήνας, έτος).

Στην παρούσα διατριβή, επιλέχθηκε και χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο της Παγκόσμιας Εξίσωσης Εδαφικής Απώλειας (ΠΕΕΑ) που περιγράφεται αναλυτικά παρακάτω.

9.1 Παγκόσμια Εξίσωση Εδαφικής Απώλειας (ΠΕΕΑ)

Η πρώτη απόπειρα ανάπτυξης μιας εξίσωσης για τον υπολογισμό της εδαφικής απώλειας, έγινε από τον Zingg (1940) που συνδύασε τη διάβρωση με την κλίση και το μήκος του πρανούς:

$$E \approx \tan(\theta L^{0.6})^{1.4} \quad (9.1)$$

όπου:

E , η εδαφική απώλεια ανά μονάδα επιφάνειας,

θ , η γωνία κλίσης του πρανούς, και

L , το μήκος του πρανούς

Η περαιτέρω εξέλιξη της παραπάνω εξίσωσης οδήγησε στην προσθήκη ενός κλιματικού παράγοντα που βασίζεται στη μέγιστη 30-λεπτη βροχόπτωση, με περίοδο επαναφοράς δύο ετών (Musgrave, 1947), ενός παράγοντα φυτοκάλυψης, για τον συνυπολογισμό της προστασίας – επίδρασης διαφορετικών τύπων σοδειάς (Smith, 1958), έναν παράγοντα προστασίας του περιβάλλοντος και έναν συντελεστή εδαφικής διαβρωσιμότητας. Μετατρέποντας τον κλιματικό παράγοντα σε δείκτη διαβρωτικότητας της βροχόπτωσης (R), δημιουργήθηκε η τελική μορφή της Παγκόσμιας Εξίσωσης Εδαφικής Απώλειας (ΠΕΕΑ; Wischmeier & Smith, 1978). Η εξίσωση είναι η εξής:

$$E = R \times K \times L \times S \times C \times P \quad (9.2)$$

όπου:

E , η εδαφική απώλεια ανά μονάδα επιφάνειας (t/ha),

R , ο δείκτης διαβρωτικότητας της βροχόπτωσης ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$),

K , ο συντελεστής εδαφικής διαβρωσιμότητας ($\text{t h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$),

L , ο συντελεστής μήκους κλιτύος (-),

S , ο συντελεστής κλίσης κλιτύος (-),

C , ο συντελεστής φυτοκάλυψης (-), και

P , ο συντελεστής ελέγχου της διάβρωσης (-)

Το R εκφράζει την αποτελεσματικότητα της βροχής ως προς τη διάβρωση. Η τιμή του είναι το άθροισμα όλων των συντελεστών EI_{30} για όλες τις ισχυρές βροχοπτώσεις κατά τη διάρκεια ενός

υδρολογικού έτους, όπου E είναι η κινητική ενέργεια της βροχοπτώσης και I_{30} η μέγιστη 30-λεπτη ένταση βροχοπτώσης σε κάθε καταιγίδα.

Το K ορίζεται ως η μέση ετήσια εδαφική απώλεια ανά μονάδα του R , σε πρότυπες συνθήκες αποφιλωμένου εδάφους, πρόσφατα οργωμένου, χωρίς μέτρα αντιμετώπισης της διάβρωσης και για μία κλιτύ μήκους 22 μέτρων και κλίσεως 5° . Εξαρτάται από την κοκκομετρική καμπύλη, την περιεκτικότητα σε άμμο, ιλύ, άργιλο και οργανικό υλικό καθώς και τη διαπερατότητα του εδάφους. Στη βιβλιογραφία αναφέρονται διάφοροι εμπειρικοί τύποι υπολογισμού της τιμής του K , που περιέχουν παραμέτρους αντιπροσωπευτικές της εδαφικής δομής και των υδραυλικών χαρακτηριστικών. Στην πράξη χρησιμοποιούνται περισσότερο πίνακες και νομογραφήματα (Σχήμα 9.1).

Σχήμα 9.1: Υπολογισμός του συντελεστή διαβρωσιμότητας K (Wischmeier et al., 1971)

Οι συντελεστές του μήκους κλιτύος (L) και της κλίσης κλιτύος (S) μπορούν να συνδυαστούν σε ένα δείκτη (τοπογραφικός συντελεστής, LS), που εκφράζει την αναλογία της εδαφικής απώλειας σε δοσμένες συνθήκες μήκους και κλίσης κλιτύος με τις πρότυπες συνθήκες των 5° κλίσης και μήκους 22 μέτρων, στις οποίες ο δείκτης LS παίρνει τιμή ίση με τη μονάδα. Οι κατάλληλες τιμές του δείκτη μπορούν να προκύψουν από νομογραφήματα (Wischmeier & Smith, 1978), ή από τον τύπο:

$$LS = \left(\frac{x}{22.13} \right)^n (0.065 + 0.045s + 0.0065s^2) \quad (9.3)$$

όπου:

x , το μήκος κλιτύος (m),

s , η κλίση κλιτύος εκφρασμένη σε ποσοστό %, και

n , συντελεστής που ισούται με 0.1 για κλίσεις μικρότερες από 1° , με 0.2 για κλίσεις 1° , με 0.3 για κλίσεις 2° και με 0.4 για κλίσεις 3° . Για τον υπολογισμό του συντελεστή LS, μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί και το νομογράφημα του σχήματος 9.2. Σύμφωνα με το σχήμα αυτό, η τιμή του LS προκύπτει εάν είναι γνωστά η κλίση s (%) και το μήκος κλιτύος x (m).

Σχήμα 9.2: Υπολογισμός του συντελεστή LS

Πρέπει να σημειωθεί ότι, τόσο η εξίσωση 9.3 όσο και το νομογράφημα του σχήματος 9.2, ισχύουν μόνο στην περίπτωση που το συνολικό μήκος κλιτύος x , αντιστοιχεί σε ενιαία κλίση. Σε περίπτωση που αυτό δεν ισχύει, γίνεται χωρισμός του συνολικού μήκους x σε ισομήκη τμήματα ενιαίας κλίσεως το καθένα και ο προσδιορισμός της συνολικής τιμής του LS επιτυγχάνεται με τη βοήθεια του σχήματος 9.2 και του πίνακα 9.1, όταν είναι γνωστή η κλίση για το κάθε τμήμα. Ο πίνακας 9.1 δίνει, (ανάλογα με τον αριθμό των ισομηκών τμημάτων και την τιμή του n), τους διορθωτικούς συντελεστές με τους οποίους πολλαπλασιάζονται οι τιμές LS όπως προκύπτουν από το σχήμα 9.2, για ενιαίο μήκος κλιτύος με διαφορετική όμως κλίση. Στο σχήμα 9.2, για άλλους συνδυασμούς μήκους κλιτύος και κλίσεων πέραν αυτών που αναφέρονται, χρησιμοποιείται η μέθοδος γραμμικής παρεμβολής.

Πίνακας 9.1: Διορθωτικοί συντελεστές του LS

ΑΡΙΘΜΟΣ ΤΜΗΜΑΤΩΝ	ΣΕΙΡΑ ΤΜΗΜΑΤΟΣ	ΕΚΘΕΤΗΣ (n)		
2	1	0.5	0.4	0.3
	2	0.35	0.38	0.41
	3	0.65	0.62	0.59
3	1	0.19	0.22	0.24
	2	0.35	0.35	0.35
	3	0.46	0.43	0.41
4	1	0.12	0.14	0.17
	2	0.23	0.24	0.24
	3	0.30	0.29	0.28
	4	0.35	0.33	0.31
5	1	0.09	0.11	0.12
	2	0.16	0.17	0.18
	3	0.21	0.21	0.21
	4	0.25	0.24	0.23
	5	0.28	0.27	0.25

Ο συντελεστής φυτοκάλυψης (C) αντιπροσωπεύει την αναλογία της εδαφικής απώλειας για δοσμένο είδος καλλιέργειας με αυτή για αποφιλωμένο έδαφος. Ο συντελεστής αυτός εκφράζει το μέτρο της μείωσης της εδαφικής απώλειας, που οφείλεται στη βλάστηση (φυσική ή καλλιέργειες), και μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια του έτους ανάλογα με την ανάπτυξη του φυλλώματος των φυτών. Στους πίνακες 9.2, 9.3 και 9.4 δίνονται τυπικές τιμές για διάφορα ήδη καλλιέργειας και φυσικής βλάστησης.

Πίνακας 9.2: Τιμές του C για διάφορα είδη καλλιέργειας (Wischmeier & Smith, 1978; Roose, 1977; Singh et al., 1981; El-Swaify et al., 1982; Hurni, 1987; Hashim & Wong, 1988)

ΕΙΔΟΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ C
Απογυμνωμένο έδαφος	1.00
Δάσος ή πυκνοί θάμνοι	0.001
Έκταση με πτώδη βλάστηση ή λιβάδια με γρασίδι	0.01
Βοσκότοποι ή λιβάδια με γρασίδι	0.10
Καλαμπόκι, κεχρί, χωράφι υψηλής παραγωγής, συχνά καλλιεργούμενο	0.20 – 0.55
Καλαμπόκι, κεχρί, χωράφι χαμηλής παραγωγής, συχνά καλλιεργούμενο	0.50 – 0.90
Καλαμπόκι, κεχρί, υψηλής παραγωγής σκαλισμένο χωράφι	0.12 – 0.20
Καλαμπόκι, κεχρί, χαμηλής παραγωγής σκαλισμένο χωράφι	0.30 – 0.45
Καλαμπόκι, κεχρί, υψηλής παραγωγής, περιστασιακά ή καθόλου καλλιεργούμενο	0.02 – 0.10
Βαμβάκι	0.40 – 0.70
Λιβάδι με γρασίδι	0.01 – 0.025
Σπόροι σόγιας	0.20 – 0.50
Σιτάρι	0.10 – 0.40
Ρύζι	0.10 – 0.20
Αράπικο φιστίκι	0.30 – 0.80
Φοινικόδεντρα, καφές, κακάο	0.10 – 0.30
Ανανάς καλλιεργημένος παράλληλα στις ισοϋψείς, χωρίς υπολείμματα ιζήματος	0.10 – 0.40
Ανανάς καλλιεργημένος παράλληλα στις ισοϋψείς, με υπολείμματα ιζήματος	0.01
Πατάτες καλλιεργημένες παράλληλα στην κλίση του εδάφους	0.20 – 0.50
Πατάτες καλλιεργημένες κάθετα στην κλίση του εδάφους	0.10 – 0.40
Αρακάς	0.30 – 0.40
Φράουλες με αγριόχορτα	0.27
Ροδιές με αγριόχορτα	0.08
Ροδιές χωρίς αγριόχορτα	0.56
Ζαχαροκάλαμα	0.13 – 0.40
Γλυκοπατάτες	0.40 – 0.50
Κόκκινες πιπεριές	0.33
Καφές, μετά την πρώτη συγκομιδή	0.05
Παπάγια	0.21

Πίνακας 9.3: Τιμές του C για αγρολεμβαδικές εκτάσεις (G : η φυτοκάλυψη της επιφάνειας αποτελείται κυρίως από γρασίδι, W : η φυτοκάλυψη της επιφάνειας είναι κύρια ποώδη φυτά, όπως αγριόχορτα με αβαθές ριζικό σύστημα)

ΘΑΜΝΩΔΗΣ ΚΑΙ ΔΕΝΔΡΩΔΗΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗ		ΧΑΜΗΛΗ ΒΛΑΣΤΗΣΗ ΧΩΡΙΣ ΦΥΛΛΩΜΑ						
ΕΙΔΟΣ ΚΑΙ ΥΨΟΣ	ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΑΛΥΨΗΣ ΣΕ ΚΑΘΕΤΗ ΠΡΟΒΟΛΗ (%)	ΕΙΔΟΣ	ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΑΛΥΨΗΣ (%)					
			0	20	40	60	80	95
ΧΩΡΙΣ ΛΕΙΟΛΟΓΗ ΒΛΑΣΤΗΣΗ	-	G	0.45	0.20	0.10	0.042	0.013	0.003
		W	0.45	0.24	0.15	0.091	0.043	0.011
ΘΑΜΝΟΙ ΜΕ ΜΕΣΟ ΥΨΟΣ 0.5 m	25	G	0.36	0.17	0.09	0.038	0.013	0.003
		W	0.36	0.20	0.13	0.083	0.041	0.011
	50	G	0.26	0.13	0.07	0.035	0.012	0.003
		W	0.26	0.16	0.11	0.076	0.039	0.011
	75	G	0.17	0.10	0.06	0.032	0.011	0.003
		W	0.17	0.12	0.09	0.068	0.038	0.011
ΣΗΜΑΝΤΙΚΗ ΘΑΜΝΩΔΗΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗ ΜΕ ΜΕΣΟ ΥΨΟΣ ΠΕΡΙΠΟΥ 2 m	25	G	0.40	0.18	0.09	0.040	0.013	0.003
		W	0.40	0.22	0.14	0.087	0.042	0.011
	50	G	0.34	0.16	0.08	0.038	0.012	0.003
		W	0.34	0.19	0.13	0.082	0.041	0.011
	75	G	0.28	0.14	0.08	0.036	0.012	0.003
		W	0.28	0.17	0.12	0.078	0.040	0.011
ΔΕΝΤΡΟ ΜΕ ΜΕΣΟ ΥΨΟΣ ΠΕΡΙΠΟΥ 4 m, ΧΩΡΙΣ ΛΕΙΟΛΟΓΗ ΘΑΜΝΩΔΗ ΒΛΑΣΤΗΣΗ	25	G	0.42	0.19	0.10	0.041	0.013	0.003
		W	0.42	0.23	0.14	0.089	0.042	0.011
	50	G	0.39	0.18	0.09	0.040	0.013	0.003
		W	0.39	0.21	0.14	0.087	0.042	0.011
	75	G	0.36	0.17	0.09	0.039	0.012	0.003
		W	0.36	0.20	0.13	0.084	0.041	0.011

Πίνακας 9.4: Τιμές του C για δασικές εκτάσεις

ΠΟΣΟΣΤΟ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΚΑΛΥΜΜΕΝΗΣ ΑΠΟ ΦΥΛΛΩΜΑ ΔΕΝΤΡΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΒΛΑΣΤΗΣΗ (ΘΑΜΝΟΙ, ΧΑΜΟΚΛΑΔΑ) (%)	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ C
100 - 75	0.0001 - 0.001
70 - 45	0.002 - 0.004
40 - 20	0.003 - 0.009

Ο συντελεστής ελέγχου της διάβρωσης (P), εκφράζει το μέτρο της ανθρώπινης παρέμβασης για την προστασία από τη διάβρωση (κατασκευή αναβαθμών κάθετα στη διεύθυνση της κλίσης του εδάφους, φύτευση δέντρων σε γραμμές παράλληλες προς τις ισοϋψείς, κ.ά.). Για περιοχές όπου δεν υπάρχουν μέτρα αντιμετώπισης της διάβρωσης, ο συντελεστής παίρνει τιμή ίση με τη μονάδα. Στον πίνακα 9.5 δίνονται τυπικές τιμές του P ανάλογα με την κλίση της επιφάνειας του εδάφους και την εφαρμοζόμενη τεχνική ενίσχυσης.

Πίνακας 9.5: Τυπικές τιμές του P (*όταν γίνεται διαχωρισμός της γης σε λωρίδες, με διαφορετική καλλιέργεια στην καθεμία, τότε η τιμή του P είναι ίση με το 50% της δοσμένης) (Wischmeier & Smith, 1978; Roose, 1977; Chan, 1981)

ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΚΑΤΑ ΤΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ P
Όργωμα κατά τις ισοϋψείς: κλίση 0-1	0.60*
Όργωμα κατά τις ισοϋψείς: κλίση 2-5	0.50*
Όργωμα κατά τις ισοϋψείς: κλίση 6-7	0.60*
Όργωμα κατά τις ισοϋψείς: κλίση 8-9	0.70*
Όργωμα κατά τις ισοϋψείς: κλίση 10-11	0.80*
Όργωμα κατά τις ισοϋψείς: κλίση 12-14	0.90*
Επίπεδη αναβαθμίδα	0.14
Αναβαθμίδα με αντίθετη κλίση από το πρηνές	0.05
Αναβαθμίδα με παράλληλη κλίση με το πρηνές	0.035

Η εξίσωση αυτή έχει προκύψει από βάσεις δεδομένων μικρών υδρολογικών λεκανών απορροής των ΗΠΑ, που ίσως αποτελεί μειονέκτημα της μεθόδου. Ωστόσο, έχει γίνει εκτεταμένη έρευνα για την ισχύ και την εφαρμογή της μεθόδου και εκτός των ΗΠΑ, με αποτέλεσμα τη συλλογή πλήθους δεδομένων για τους συντελεστές R, K, C και P και τη χρήση της μεθόδου στην Αφρική (Roose, 1975) και στις Ινδίες (Singh et al., 1981). Επίσης, έχουν γίνει τροποποιήσεις στις τιμές του δείκτη R, καθώς και στη συλλογή δεδομένων για τις τιμές του συντελεστή C, για τη χρήση της μεθόδου στη Βαυαρία της Γερμανίας (Schwertmann et al., 1987), όπου σε συνδυασμό με μελέτες διάβρωσης, έχει χρησιμοποιηθεί για τον ποσοτικό προσδιορισμό της εδαφικής διάβρωσης (Auerswald & Schmidt, 1986). Τέλος, πρόσφατες έρευνες έχουν πραγματοποιηθεί και για τις ελληνικές συνθήκες από τους Χρυσάνθου & Πυλιώτη (1995) και τους Ζαρκή κ.ά. (2001).

9.1.1 Υπολογισμός των Συντελεστών στην ΠΕΕΑ

Για τη διαχείριση και υλοποίηση των παραπάνω δεδομένων και των αποτελεσμάτων έγινε χρήση Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών (ΓΠΣ). Η τοπική εδαφική διάβρωση υπολογίζεται για κάθε ψηφιδωτό τμήμα (grid cell) της λεκάνης απορροής.

9.1.1.1 Δείκτης Διαβρωτικότητας της Βροχόπτωσης (R)

Ο υπολογισμός του συντελεστή της διαβρωτικότητας της βροχόπτωσης είναι ο σημαντικότερος παράγοντας για τη σωστή και αποτελεσματική χρήση της εξίσωσης. Η τιμή του συντελεστή είναι το άθροισμα όλων των EI_{30} για όλες τις ισχυρές βροχοπτώσεις κατά τη διάρκεια ενός υδρολογικού έτους. Επειδή, όμως, η πληροφορία αυτή δεν είναι διαθέσιμη, γίνεται χρήση απλών σχέσεων γραμμικής παλινδρόμησης που δίνουν τον συντελεστή R σε συνάρτηση με τη μέση ετήσια βροχόπτωση N. Μια τέτοια σχέση, που έχει χρησιμοποιηθεί και για τις ελληνικές συνθήκες (Χρυσάνθου & Πυλιώτης, 1995; Ζαρκής κ.ά., 2001), αναπτύχθηκε στη Γερμανία (Schwertmann et al., 1990) και είναι:

$$R = 0.83N - 17.7 \quad (9.4)$$

όπου:

R , ο συντελεστής διαβρωτικότητας της βροχόπτωσης, και

N , η μέση ετήσια βροχόπτωση (mm).

Η κατανομή της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης έχει υπολογιστεί στο κεφάλαιο 5 (§5.2.3, Εικόνα 5.1). Εφαρμόζοντας την εξίσωση 9.4 στον χάρτη κατανομής της βροχόπτωσης, προκύπτει ο χάρτης της παρακάτω εικόνας, που δείχνει τη χωρική κατανομή του συντελεστή R.

Πίνακας 9.6: Τιμές του συντελεστή K με βάση τους γεωλογικούς σχηματισμούς

ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ K
Ασβεστόλιθοι Πίνδου	0.004
Φλύσχης Πίνδου	0.01
Πλειοκαινικές - Πλειστοκαινικές αποθέσεις	0.028
Ολοκαινικές αποθέσεις	0.03

Εικόνα 9.2: Χάρτης κατανομής της εδαφικής διαβρωσιμότητας βάσει των γεωλογικών σχηματισμών της περιοχής έρευνας

9.1.1.3 Τοπογραφικός Συντελεστής (LS)

Ο τοπογραφικός συντελεστής είναι ο συνδυασμός δύο παραγόντων, του συντελεστή μήκους κλιτύος L και του συντελεστή της κλίσης κλιτύος S . Μια αύξηση της τιμής των δύο συντελεστών L και S , επιφέρει σημαντική αύξηση της εδαφικής διάβρωσης, αφού οι πιο απότομες κλίσεις (S) παράγουν τις υψηλότερες ταχύτητες ροής και οι μακρύτερες κλίσεις (L) συσσωρεύουν επιφανειακή απορροή από μεγαλύτερες περιοχές, με αποτέλεσμα την αύξηση πάλι της ταχύτητας ροής.

Ο υπολογισμός του τοπογραφικού συντελεστή έγινε με τη χρήση του Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους (Κεφάλαιο 2, §2.1), μετά από απαραίτητη επεξεργασία, και παρουσιάζεται στην εικόνα 9.3.

Εικόνα 9.3: Χάρτης κατανομής του τοπογραφικού συντελεστή

9.1.1.4 Συντελεστής Φυτοκάλυψης (C)

Ο συντελεστής φυτοκάλυψης προκύπτει από το διάγραμμα των χρήσεων γης (Κεφάλαιο 4, Εικόνα 4.1, Πίνακας 4.1). Για κάθε χρήση γης που απαντάται στην περιοχή, αντιστοιχίζεται μία τιμή του συντελεστή C, που προκύπτει από τη διεθνή και ελληνική βιβλιογραφία (Wischmeier & Smith, 1978; Schwertmann et al., 1990; Χρυσάνθου & Πυλιώτης, 1995; Ζαρκής κ.ά., 2001) και είναι προσαρμοσμένη στην περιγραφή των συγκεκριμένων χρήσεων γης. Στον πίνακα 9.7 δίνονται οι τιμές του συντελεστή C, με τους αντίστοιχους κωδικούς CORINE, για τις υπάρχουσες χρήσεις γης.

Πίνακας 9.7: Συντελεστής C με βάση τις χρήσεις γης κατά CORINE

ΚΩΔΙΚΟΣ	ΕΙΔΟΣ ΧΡΗΣΗΣ ΓΗΣ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ C
112	Διακεκομμένη αστική δόμηση	0.001
121	Βιομηχανικές ή εμπορικές ζώνες	0.001
211	Μη αρδεύσιμη αρόσιμη γη	0.3
222	Οπωροφόρα δέντρα και φυτείες με σαρκώδεις καρπούς	0.2
223	Ελαιώνες	0.1
242	Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας	0.18
243	Γη που καλύπτεται κυρίως από τη γεωργία με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης	0.1
311	Δάσος πλατύφυλλων	0.001
312	Δάσος κωνοφόρων	0.001
313	Μικτό δάσος	0.001
321	Φυσικοί βοσκότοποι	0.3
322	Θάμνοι και χερσότοποι	0.45
323	Σκληροφυλλική βλάστηση	0.03
324	Μεταβατικές δασώδεις θαμνώδεις εκτάσεις	0.02
331	Παράλεις, αμμόλοφοι, αμμουδιές	0.6
333	Εκτάσεις με αραιή βλάστηση	0.45

Εικόνα 9.4: Χάρτης κατανομής του συντελεστή φυτοκάλυψης με βάση τις χρήσεις γης

9.1.1.5 Συντελεστής Ελέγχου της Διάβρωσης (P)

Η τιμή του συντελεστή P κυμαίνεται από 0-1, ανάλογα με τα έργα που έχουν γίνει για την αντιμετώπιση της διάβρωσης (π.χ. δημιουργία αναβαθμών, καλλιέργεια κατά μήκος ισοϋψών καμπύλων, κ.ά.). Στη συγκεκριμένη περίπτωση, εξαιτίας της έλλειψης μέτρων αντιμετώπισης της διάβρωσης, ο συντελεστής P έχει τιμή 1 σε όλη την περιοχή μελέτης.

9.1.2 Αποτελέσματα – Συμπεράσματα

Στο χάρτη της εικόνας 9.5 διακρίνονται οι περιοχές υψηλού κινδύνου εδαφικής απώλειας. Τέτοιες περιοχές είναι γύρω από τους οικισμούς Αργυρά και Σελλά, που βρίσκονται στο νότιο τμήμα της λεκάνης απορροής του χείμαρρου Βολιναίου, καθώς και Πιτίτσα (νότιο άκρο).

Εικόνα 9.5: Χάρτης κατανομής της εδαφικής απώλειας στην περιοχή έρευνας

Για την υψηλή εδαφική απώλεια στις περιοχές αυτές ευθύνονται κυρίως οι ενδιάμεσες τιμές των συντελεστών K (Πλειοκαινικές – Πλειστοκαινικές και Τεταρτογενείς αποθέσεις) και C (γη που καλύπτεται

κυρίως από τη γεωργία - σύνθετα συστήματα καλλιέργειας), σε συνδυασμό με τις ενδιάμεσες κλίσεις που επικρατούν στις περιοχές αυτές ($15 < LS < 610$). Το ίδιο συμβαίνει και στα κεντρικά τμήματα των λεκανών απορροής των χειμάρρων Σέλεμνου και Ξυλοκέρα όπου οι τιμές των συντελεστών K (Πλειοκαινικές – Πλειστοκαινικές αποθέσεις), LS και C (μικτό δάσος - γη που καλύπτεται κυρίως από τη γεωργία – σύνθετα συστήματα καλλιέργειας) είναι εξίσου υψηλές.

Επίσης, στο νότιο τμήμα των λεκανών και των τριών χειμάρρων, παρά το γεγονός ότι οι τιμές του συντελεστή K (ασβεστόλιθοι-φλύσχης Πίνδου) είναι αρκετά χαμηλές, οι συντελεστές C (θάμνοι και χερσότοποι – φυσικοί βοσκοτόποι – εκτάσεις με αραιή βλάστηση) και LS (15-420) παίρνουν υψηλές τιμές και σε συνδυασμό με το μεγάλο ύψος βροχής ($R > 1400$), παρατηρούνται πολύ υψηλές τιμές εδαφικής απώλειας.

Η μέση ετήσια τιμή εδαφικής διάβρωσης υπολογίστηκε ίση με 24.44 t/ha για τη λεκάνη απορροής του Σέλεμνου, 25.63 t/ha για τη λεκάνη απορροής του Ξυλοκέρα και 35.20 t/ha για τη λεκάνη απορροής του Βολιναίου. Στη λεκάνη απορροής του Ευρώτα (Πρόγραμμα ‘Θαλής’, 2001) υπολογίστηκε σε 17 t/ha, στη νήσο Κεφαλληνία (Λυκούδη & Ζαρκής, 2002) σε 39 t/ha και στη λεκάνη απορροής του Αχελώου (Ζαρκής κ.ά., 2001) σε 47.26 t/ha.

Ο ετήσιος όγκος που διαβρώνεται υπολογίστηκε ίσος με 42,958.35 t για τη λεκάνη απορροής του Σέλεμνου, 30,463.43 t για τη λεκάνη του Ξυλοκέρα και 113,502.47 t για τη λεκάνη Βολιναίο.

Οι χρήσεις γης, η τοπογραφία καθώς και η έλλειψη διαχείρισης των εδαφών, συνδέονται άμεσα με την εδαφική διάβρωση. Η έρευνα πρέπει να επικεντρωθεί στις χρήσεις γης, αφού η βροχόπτωση, η γεωλογία και η τοπογραφία είναι αστάθμητοι παράγοντες. Επιτακτική, επίσης, είναι η ανάγκη σωστής διαχείρισης των εδαφών, με τη λήψη μέτρων προστασίας κατά της διάβρωσης.

Οι τιμές της εδαφικής απώλειας είναι τιμές ανά έτος και αντιστοιχούν στον όγκο του εδάφους που διαβρώνεται και όχι στον όγκο που μεταφέρεται. Επίσης, ο εντοπισμός περιοχών με υψηλές τιμές διάβρωσης μπορεί να οδηγήσει στον εντοπισμό περιοχών υψηλού ρυθμού ιζηματογένεσης. Τέτοιες περιοχές είναι συνήθως οι περιοχές χαμηλών κλίσεων που βρίσκονται κάτω από τις περιοχές υψηλής εδαφικής διάβρωσης.

9.2 Στερεοπαροχή από τη Διάβρωση της Λεκάνης Απορροής

Όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο, το μοντέλο της ΠΕΕΑ υπολογίζει την εδαφική απώλεια, αλλά δεν υπολογίζει τον όγκο του υλικού που μεταφέρεται. Για το σκοπό αυτό, αναπτύσσεται παρακάτω μία μέθοδος υπολογισμού των φερτών υλικών από τη διάβρωση του εδάφους, που προκαλείται από τη βροχόπτωση.

Οι Julien & Simons (1984) παρήγαγαν μία γενική σχέση που μπορεί να γραφτεί σαν δυναμική λειτουργία της κλίσης και της παροχής. Η στερεοπαροχή που προέρχεται από τη διάβρωση της λειάνης απορροής δίνεται από τη σχέση:

$$q_s = \alpha \cdot S_o^\beta \cdot q^\gamma \quad (9.5)$$

όπου:

q_s , η στερεοπαροχή ($m^3/m/s$),

S_o , η κλίση πρανούς (m/m),

q , η παροχή (m^2/s), και

α, β, γ , συντελεστές

Οι τιμές των β και γ κυμαίνονται μεταξύ $1.2 < \beta < 1.9$ και $1.4 < \gamma < 2.4$.

Ο Kilinc (1972) μελέτησε, πειραματικά και αναλυτικά, τους μηχανισμούς της εδαφικής διάβρωσης που οφείλονται στη βροχόπτωση. Βασικοί στόχοι της έρευνάς του ήταν να μελετήσει τους σημαντικότερους παράγοντες που επηρεάζουν την εδαφική διάβρωση και να αναπτύξει μία σχέση πρόγνωσης της εδαφικής απώλειας.

Για το σκοπό αυτό, συλλέχθηκαν στοιχεία για τη συγκέντρωση των ιζημάτων, την επιφανειακή ταχύτητα, την παροχή του νερού, τη θερμοκρασία του νερού, την κατείσδυση, την πυκνότητα του επιφανειακού εδάφους, την κλίση, την ένταση της βροχόπτωσης και τη γεωμετρία των χειμάρρων. Κάποια από τα συμπεράσματα της έρευνας ήταν: α) ο αριθμός Reynolds και η κλίση ήταν οι σημαντικότεροι παράγοντες για την ανάπτυξη σχέσεων πρόγνωσης της στερεοπαροχής, β) ο αριθμός Reynolds, το περίσσειμα βροχής και η παροχή του νερού είχαν την ίδια σπουδαιότητα και επιρροή στη στερεοπαροχή, και γ) η στερεοπαροχή αυξάνεται με το τετράγωνο της παροχής νερού και με την αύξηση της κλίσης κατά 5/3. Το μοντέλο αυτό είναι ανάλογο με αυτό που χρησιμοποίησαν οι Meyer & Wischmeier (1969).

Οι Kilinc & Richardson (1973) ανέπτυξαν μία εξίσωση για τον υπολογισμό της διάβρωσης του εδάφους από την δράση των χειμάρρων. Κάποιες τροποποιήσεις που έγιναν στην εξίσωση 9.5, συμπεριλαμβάνουν και την επίδραση του τύπου του εδάφους, της φυτοκάλυψης και του ελέγχου της διάβρωσης, χρησιμοποιώντας τους συντελεστές K , C και P , όπως χρησιμοποιήθηκαν στην ΠΕΕΑ (Julien, 1995):

$$q_s = 23210 \cdot S_o^{1.664} \cdot q^{2.035} \cdot \frac{K}{0.15} \cdot C \cdot P \quad (9.6)$$

όπου:

q_s , η στερεοπαροχή ($t/m/s$),

S_o , η κλίση κλιτύος (m/m),

q , η παροχή νερού (m^2/s ή $m^3/m/s$),

K , ο συντελεστής εδαφικής διαβρωσιμότητας (-),

C , ο συντελεστής φυτοκάλυψης (-), και

P , ο συντελεστής ελέγχου της διάβρωσης (-)

Για τον υπολογισμό του συνολικού όγκου V_t (m^3) του ιζήματος που προέρχεται από ένα κελί μεγέθους Dx (grid cell) για χρονικό διάστημα Dt , χρησιμοποιείται ο τύπος:

$$V_t = 58390 \cdot S_o^{1.664} \cdot q^{2.035} \cdot K \cdot C \cdot P \cdot Dx \cdot Dt \quad (9.7)$$

Από την εφαρμογή της εξίσωσης 9.7, προκύπτει ο χάρτης της εικόνας 9.6.

Εικόνα 9.6: Κατανομή των φερτών υλικών στις λεκάνες απορροής

Για τον υπολογισμό της παροχής, χρησιμοποιήθηκε ο χάρτης κατανομής της επιφανειακής απορροής, όπως υπολογίστηκε στο κεφάλαιο 6 (§6.2.5, Εικόνα 6.3). Για τη μετατροπή της επιφανειακής απορροής σε όγκο απορροής, η επιφάνεια κάθε ψηφιδωτού τμήματος ($\text{grid cell}=15 \times 15 \text{ m}^2$) του ψηφιακού μοντέλου εδάφους πολλαπλασιάστηκε με το αντίστοιχο ύψος απορροής. Οι τιμές που προκύπτουν είναι τιμές παροχής νερού σε ετήσια βάση.

Στον παραπάνω χάρτη παρατηρείται ότι, οι περιοχές που παρουσιάζουν τις υψηλότερες τιμές φερτών υλικών περιορίζονται, κυρίως, στο κεντρικό και νότιο τμήμα της περιοχής, όπου και οι τιμές της επιφανειακής απορροής είναι πολύ υψηλές (Κεφάλαιο 6, §6.2.5, Εικόνα 6.3), η τιμή του συντελεστή φυτοκάλυψης είναι υψηλή (όσο μεγαλύτερη τιμή παίρνει ο συντελεστής, τόσο πιο εύκολα διαβρώνεται το έδαφος και αντίστροφα) και οι μορφολογικές κλίσεις είναι εξίσου υψηλές.

Αντίθετα, στην ημιορεινή και πεδινή ζώνη, η επιφανειακή απορροή μειώνεται με αποτέλεσμα να ελαττώνεται και η ποσότητα των φερτών υλικών που απορρέουν.

Η μέσος ετήσιος όγκος φερτών υλικών υπολογίστηκε ίσος με $9.65 \text{ m}^3/\text{ha}$ για τη λεκάνη απορροής του Σέλεμνου, $15.07 \text{ m}^3/\text{ha}$ για τη λεκάνη απορροής του Ξυλοκέρα και $12.21 \text{ m}^3/\text{ha}$ για τη λεκάνη απορροής του Βολιναίου. Ο ετήσιος όγκος φερτών υλικών στο στόμιο κάθε χειμάρρου υπολογίστηκε ίσος με $16,942.48 \text{ m}^3$ για τον Σέλεμνο, $17,905.93 \text{ m}^3$ για τον Ξυλοκέρα και $39,344.4 \text{ m}^3$ για τον Βολιναίο.

9.3 Στερεοπαροχή από τη Διάβρωση της Κοίτης

Εκτός από την επιφανειακή διάβρωση της λεκάνης απορροής, υπάρχουν και τα φερτά υλικά που προέρχονται από την πλευρική και την σε βάθος διάβρωση των οχθών και της κοίτης των χειμάρρων, αντίστοιχα. Παρακάτω, δίνονται στοιχεία υδροδυναμικής καθώς και των μηχανισμών μεταφοράς των ιζημάτων, η γνώση των οποίων είναι απαραίτητη για τον υπολογισμό της στερεοπαροχής των χειμάρρων.

9.3.1 Ιδιότητες Ιζημάτων

9.3.1.1 Πυκνότητα

Η πυκνότητα των φυσικών ιζημάτων (ρ_s) ισούται με 2650 kg/m^3 . Γι' αυτό, η σχετική πυκνότητα δίνεται

από τη σχέση: $s = \frac{\rho_s}{\rho} = 2.65$, όπου ρ είναι η πυκνότητα του νερού (1000 kg/m^3).

9.3.1.2 Ταχύτητα Καθίζησης (Settling Velocity)

Όταν ένας κόκκος πέφτει μέσα σε στάσιμο νερό, αναπτύσσει μία σταθερή ταχύτητα όταν η ανοδική δύναμη αντίστασης (drag force) του υγρού είναι ίση με την καθοδική δύναμη βαρύτητας (submerged weight) του κόκκου. Αυτή η ταχύτητα ονομάζεται ταχύτητα καθίζησης (settling velocity) του κόκκου.

Σχήμα 9.3: Καθίζηση κόκκου σε στάσιμο νερό

Η εξίσωση ισορροπίας μεταξύ των δύο δυνάμεων δίνεται από τη σχέση:

$$\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_D \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \omega_s^2 = (\rho_s - \rho) \cdot g \cdot \frac{\pi \cdot d^3}{6} \quad (9.8)$$

Επομένως, η ταχύτητα καθίζησης δίνεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$\omega_s = \sqrt{\frac{4 \cdot (s-1) \cdot g \cdot d}{3 \cdot C_D}} \quad (9.9)$$

όπου, C_D είναι ο συντελεστής αντίστασης που εξαρτάται από τον αριθμό Reynolds ($Re = \omega_s \cdot \frac{d}{\nu}$):

$$\text{Στρωτή (Laminar) } (Re < 0.5) \rightarrow C_D = \frac{24}{Re} \text{ (θεωρητικά)} \rightarrow \omega_s = \frac{1}{18} \cdot (s-1) \cdot \frac{g \cdot d^2}{\nu}$$

$$\text{Τυρβώδης (Turbulent) } (Re > 10^3) \rightarrow C_D \approx 0.4 \text{ (πειραματικά)} \rightarrow \omega_s = \sqrt{3 \cdot (s-1) \cdot g \cdot d}$$

Για φυσικούς κόκκους, οι Fredse et al. (1992) δίνουν μία πειραματική έκφραση του C_D :

$$C_D = 1.4 + \frac{36}{Re} \quad (9.10)$$

Έτσι, προκύπτει ότι:

$$\omega_s = \frac{\sqrt{\left(\frac{36 \cdot \nu}{d_n}\right)^2 + 7.5 \cdot (s-1) \cdot g \cdot d_n} - \frac{36 \cdot \nu}{d_n}}{2.8} \quad (9.11)$$

όπου, ν το κινηματικό ιξώδες

9.3.2 Κρίσιμη Τιμή Ιζήματος (Threshold of Sediment)

Έστω μία σταθερή ροή πάνω από στρώμα που αποτελείται από μη συνεκτικούς κόκκους. Οι δυνάμεις που ασκούνται σε ένα κόκκο φαίνονται στο παρακάτω σχήμα:

Σχήμα 9.4: Δυνάμεις που ασκούνται σε ένα κόκκο που κείται στον πυθμένα

Η κινητήρια δύναμη είναι η δύναμη αντίστασης του υγρού που ασκείται στον κόκκο:

$$F_D = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_D \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot (\alpha \cdot u_*)^2 \quad (9.12)$$

όπου, u_* είναι η διατμητική ταχύτητα (shear velocity) και α είναι συντελεστής αναλογίας μεταξύ U και u_*

Αν $u_{*,c}$ είναι η κρίσιμη διατμητική ταχύτητα (critical shear velocity), πέραν της οποίας ο κόκκος αρχίζει να κινείται, τότε η ελκτική δύναμη ισούται με τη δύναμη της τριβής:

$$\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_D \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot (\alpha \cdot u_{*,c})^2 = f \left((\rho_s - \rho) \cdot g \cdot \frac{\pi \cdot d^3}{6} - \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_L \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot (\alpha \cdot u_{*,c})^2 \right)$$

$$\text{ή } \frac{u_{*,c}^2}{(s-1) \cdot g \cdot d} = \frac{f}{\alpha^2 \cdot C_D + f \cdot \alpha^2 \cdot C_L} \cdot \frac{4}{3 \cdot \alpha^2} \quad (9.13)$$

η παράμετρος του Shields δίνεται από τον τύπο:

$$\theta = \frac{u_*^2}{(s-1) \cdot g \cdot d} \quad (9.14)$$

Ένας κόκκος αρχίζει να κινείται όταν:

$u_* > u_{*,c}$, οριακή τριβή $u_{*,c}$

ή $\tau_b > \tau_{b,c}$, οριακή διατμητική τάση $\tau_{b,c} = \rho \cdot u_{*,c}^2$

ή $\theta > \theta_c$, οριακή τιμή του Shields $\theta_c = \frac{u_{*,c}^2}{(s-1) \cdot g \cdot d}$

Στο σχήμα 9.5 παρουσιάζονται τα πειραματικά δεδομένα του Shields που συνδέουν το θ_c με τον αριθμό Reynolds του κόκκου, ως εξής:

$$Re = \frac{u_* \cdot d_n}{\nu} \quad (9.15)$$

Στο σχήμα υπάρχουν τρεις ζώνες που αντιστοιχούν σε τρεις συνθήκες ροής:

1. Στρωτή ροή, για $Re = \frac{u_* \cdot d_n}{\nu} \leq 2$. Το d_n είναι πολύ μικρότερο από το πάχος του ιζώδους υποστρώματος. Οι κόκκοι είναι προσκολλημένοι σε αυτό το στρώμα και έτσι, το θ_c εξαρτάται από τη διάμετρο του κόκκου. Από πειραματικές μετρήσεις βρέθηκε ότι $\theta_c = \frac{0.1}{Re}$
2. Τυρβώδης ροή, για $Re \geq 500$. Το ιζώδες υπόστρωμα δεν υπάρχει και το θ_c εξαρτάται από το ιζώδες του νερού. Το θ_c παίρνει την τιμή 0.06
3. Μεταβατική ροή, για $2 \leq Re \leq 500$. Ο κόκκος έχει το ίδιο μέγεθος με το πάχος του ιζώδους υποστρώματος. Μία ελάχιστη τιμή του $\theta_c = 0.032$ αντιστοιχεί σε $Re = 10$

Σχήμα 9.5: Το διάγραμμα του Shields που δείχνει το θ_c συναρτήσει του Re ¹

Η εφαρμογή του παραπάνω διαγράμματος δεν είναι εύκολη, αφού η διατμητική ταχύτητα εμφανίζεται και στους δύο άξονες. Οι Madsen et al. (1976) τροποποίησαν το διάγραμμα του Shields ώστε να δείχνει τη σχέση ανάμεσα στην κρίσιμη τιμή του Shields θ_c και στην παράμετρο υγρού – ιζήματος S_* (sediment fluid parameter):

$$S_* = \frac{d \cdot \sqrt{(s-1) \cdot g \cdot d}}{4 \cdot \nu} \quad (9.16)$$

¹ Η κρίσιμη τιμή του Shields για τη στεγνή άμμο ισούται με $0.01 \leq \theta_c \leq 0.02$

Σχήμα 9.6: Το διάγραμμα του Shields που δείχνει το θ_c συναρτήσει του S_* .

9.3.3 Ιδιότητες του Πυθμένα της Κοίτης

9.3.3.1 Μορφές Πυθμένα

Από τη στιγμή που ο κόκκος αρχίζει να κινείται, διάφορες μορφές δημιουργούνται στον πυθμένα. Από εργαστηριακές μελέτες και με αυξανόμενη την ταχύτητα ροής, έχει προκύψει η εξής σειρά δημιουργίας:

Λεία επιφάνεια $\rightarrow$ Ρυτιδώσεις $\rightarrow$ Θίνες (Αμμόλοφοι) $\rightarrow$

Επίπεδο στρώμα υψηλού υδραυλικού καθεστώτος $\rightarrow$ Αντιθίνες

- Ρυτιδώσεις (ripples): είναι το αποτέλεσμα χαμηλής ροής και σχετίζονται με λεπτόκοκκα υλικά, με $d_{50} < 0.7mm$. Το μέγεθός τους εξαρτάται από το μέγεθος των κόκκων. Από παρατηρήσεις έχει προκύψει για το τυπικό ύψος και μήκος τους:

$$H_r \approx 100 \cdot d_{50} \text{ και } L_r \approx 1000 \cdot d_{50}$$

Σε συνθήκες χαμηλής ροής, έχουν ένα τυπικό σχήμα με κλίση 6° προς τα ανάντη και 32° προς τα κατάντη. Με την αύξηση της ροής αποκτούν τρισδιάστατο σχήμα.

- Θίνες (dunes): το σχήμα τους μοιάζει πολύ με το σχήμα των ρυτιδώσεων, αλλά είναι πολύ μεγαλύτερο. Το μέγεθός τους εξαρτάται από το βάθος ροής. Οι θίνες συνδέονται με χονδροκόκκα υλικά, με $d_{50} > 0.6mm$.

Με την αύξηση της ροής, οι θίνες μεγαλώνουν και το βάθος στην κορυφή τους μειώνεται. Η αύξηση της ταχύτητας ροής στην κορυφή τους οδηγεί στη διάβρωσή τους και στη δημιουργία ενός επίπεδου στρώματος υψηλού υδραυλικού καθεστώτος (high stage flat bed).

- Αντιθίνες (antidunes): όταν ο αριθμός Froude ξεπερνιέται (Σχήμα 9.8), τότε δημιουργούνται αντιθίνες. Το ύψος επιφανειακών κυματισμών του νερού ισούνται με το ύψος που έχουν οι αντιθίνες. Οι επιφανειακοί κυματισμοί είναι ασταθείς και μπορούν να αναπτύσσονται ή να μειώνονται προς τα ανάντη, με αποτέλεσμα οι αντιθίνες να κινούνται προς τα ανάντη.

Σχήμα 9.7: Απεικόνιση των μορφών πυθμένα σε σχέση με τη ροή (από Lin, 2001)

Γνωρίζοντας τη μέγιστη ταχύτητα ροής του ρεύματος, το βάθος ροής και το μέγεθος του ιζήματος, οι μορφές πυθμένα μπορούν να υπολογιστούν από εμπειρικά διαγράμματα, ένα από τα οποία είναι το διάγραμμα της Znamenskaya (1969) (Σχήμα 9.8), όπου το ιζήμα απεικονίζεται από την ταχύτητα καθίζησης (ω_s).

Σχήμα 9.8: Μορφές πυθμένα της Znamenskaya (από τον Raudkivi, 1976)

9.3.3.2 Τραχύτητα Πυθμένα (Bed Roughness)

Η τραχύτητα πυθμένα k_s μπορεί να υπολογιστεί έμμεσα από την ταχύτητα. Από ένα πλήθος τιμών της τραχύτητας του πυθμένα, που υπολογίστηκαν βάσει της ταχύτητας και που καλύπτουν ένα εύρος τιμών ροής και μεγέθους κόκκων, προκύπτει ότι:

$$k_s \approx (1-10) \cdot d_{50}, \text{ για επίπεδο πυθμένα, και}$$

$$K_s = 100 \cdot d_{50} \approx H_r, \text{ για πυθμένα με ρυτιδώσεις}$$

9.3.3.3 Ενεργός Διατμητική Τάση (Effective Shear Stress)

Με την παρουσία ρυτιδώσεων, η αντίσταση στη ροή συνίσταται από δύο μέρη, από την επιφανειακή διατμητική τάση και από τη διατμητική τάση που προκαλείται από τη δομή:

$$\tau_b = \tau'_b + \tau''_b \quad (9.17)$$

όπου, το τ'_b καλείται και ενεργός διατμητική τάση

Σχήμα 9.9: Η αντίσταση στη ροή σε πυθμένα με ρυτιδώσεις

Στην περίπτωση λείας επιφάνειας, τότε $\tau''_b = 0$ και η τραχύτητα του πυθμένα ισούται με $2.5 \cdot d_{50}$, οπότε η ενεργός διατμητική τάση² δίνεται από τον τύπο:

$$\tau'_b = \tau_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot f \cdot U^2 = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \left(\frac{0.06}{\left(\log \left(\frac{12 \cdot h}{2.5 \cdot d_{50}} \right) \right)^2} \right) \cdot U^2 \quad (9.18)$$

όπου:

h , το βάθος ροής, και

U , η μέγιστη ταχύτητα ροής του ρεύματος

Στην περίπτωση πυθμένα με ρυτιδώσεις, το τ'_b είναι όπως και παραπάνω, αλλά σε αυτή την περίπτωση η ολική τάση είναι μεγαλύτερη εξαιτίας της τάσης που προκαλείται από τη δομή:

$$\tau_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \left(\frac{0.06}{\left(\log \left(\frac{12 \cdot h}{H_r} \right) \right)^2} \right) \cdot U^2 \quad (9.19)$$

όπου, η τραχύτητα του πυθμένα ισούται με το ύψος των ρυτιδώσεων (H_r)

9.3.4 Τρόποι Μεταφοράς Ιζήματος

Υπάρχουν τρεις τρόποι μεταφοράς ιζήματος:

1. Φορτίο απόπλυσης (Wash load): είναι πολύ λεπτόκοικα σωματίδια που μεταφέρονται με το νερό, τα οποία όμως δεν υπάρχουν στην κοίτη. Επομένως, η γνώση του επιφανειακού υλικού της

² Με την υπόθεση ότι η ροή είναι πάντα τυρβώδης

κοίτης δεν επιτρέπει τον υπολογισμό αυτού του φορτίου. Γι' αυτό το λόγο, στην παρούσα διατριβή δε θα γίνει αναφορά σ' αυτό το φορτίο.

2. Φορτίο σύρσης (Bed load): είναι το μέρος του συνολικού φορτίου που έχει συνεχή επαφή με την κοίτη. Για το λόγο αυτό, για τον υπολογισμό αυτού του φορτίου πρέπει να ληφθεί υπόψη η διατμητική τάση που επιδρά στην επιφάνεια των κόκκων.
3. Φορτίο σε αιώρηση (Suspended load): είναι το μέρος του συνολικού φορτίου που κινείται χωρίς συνεχή επαφή με την κοίτη, σαν αποτέλεσμα της τυρβώδους ροής του νερού. Η εμφάνιση ρυτιδώσεων (ripples) αυξάνει τη διατμητική τάση.

Επειδή κατά τη μεταφορά ιζήματος λειτουργούν δύο διαφορετικοί μηχανισμοί, γι' αυτό το λόγο το μεταφερόμενο ιζημα διαχωρίζεται σε φορτίο σύρσης και σε φορτίο σε αιώρηση.

Όσον αφορά το ύψος στο οποίο το ιζημα διαχωρίζεται σε σύρση και σε αιώρηση, υπάρχουν ακόμα διαφωνίες. Ωστόσο, ο Einstein (1950) πρότεινε ως όριο κάποιες διαμέτρους κόκκων, συνήθως, $2d_{50}$, πάνω από την επιφάνεια της κοίτης. Στην περίπτωση, όμως, που η κοίτη έχει ρυτιδώσεις (που είναι και το πιο σύνηθες), το όριο αυτό δεν είναι αντιπροσωπευτικό. Γι' αυτό, ο Bijker (1971) πρότεινε ότι το φορτίο σύρσης λαμβάνει χώρα σε ένα στρώμα πάχους ίσου με το ύψος των ρυτιδώσεων.

Εάν κόκκοι ορισμένου μεγέθους κινούνται πάνω στην κοίτη με σύρση ή σε αιώρηση, εξαρτάται από τις στιγμιαίες υδραυλικές συνθήκες (πχ ταχύτητα νερού) που επικρατούν στο υδατόρευμα. Ένα κριτήριο διάκρισης ανάμεσα στο φορτίο κοίτης με σύρση και στο φορτίο σε αιώρηση βασίζεται στον αριθμό Froude (Kresser, 1964):

$$F_r^2 = \frac{V_m^2}{g \cdot d} = 360 \quad (9.20)$$

Από την παραπάνω σχέση μπορεί να υπολογιστεί η μέγιστη διάμετρος d κόκκων σε αιώρηση για δεδομένη μέση ταχύτητα νερού V_m .

Ένα άλλο κριτήριο διάκρισης βασίζεται στο λόγο της ταχύτητας καθίζησης των κόκκων (ω_s) προς την διατμητική ταχύτητας (u_*) (Engelund, 1965):

$$\frac{\omega_s}{\kappa \cdot u_*} = 10 \quad (9.21)$$

όπου, κ είναι η σταθερά Von. Kármán ($\kappa \cong 0.4$)

9.3.4.1 Φορτίο Σύρσης

Το φορτίο σύρσης δίνεται, συνήθως, από τη σχέση:

$$\Phi_B = \frac{q_B}{d \sqrt{(s-1) \cdot g \cdot d}} \quad (9.22)$$

Kalinske – Frijlink formula

Η εξίσωση Kalinske – Frijlink (1952) δίνεται από τη σχέση:

$$q_B = 2 \cdot d_{50} \sqrt{\frac{\tau_b}{\rho}} \cdot \exp\left(\frac{-0.27 \cdot (s-1) \cdot d_{50} \cdot \rho \cdot g}{\tau'_b}\right) \quad (9.23)$$

όπου, τ_b και τ'_b είναι η επιφανειακή διατμητική τάση και η ενεργός διατμητική τάση, αντίστοιχα.

Meyer-Peter formula

Από την προσαρμογή μεγάλου αριθμού πειραματικών δεδομένων (Meyer-Peter & Müller, 1948), προέκυψε:

$$\Phi_B = 8 \cdot (\theta' - \theta_c)^{1.5} \quad (9.24)$$

όπου:

$$\theta', \text{ ενεργός τιμή του Shields και δίνεται από τη σχέση: } \theta' = \frac{\frac{\tau'_b}{\rho}}{(s-1) \cdot g \cdot d}, \text{ και}$$

θ_c , κρίσιμη τιμή του Shields

Einstein – Brown formula

Η αρχή της ανάλυσης του Einstein είναι η εξής: το πλήθος των αποτιθέμενων κόκκων σε μία μονάδα επιφάνειας εξαρτάται από το πλήθος των κόκκων που βρίσκονται εν κινήσει και την πιθανότητα η υδροδυναμική να επιτρέψουν στους κόκκους να αποτεθούν. Το πλήθος των διαβρωμένων κόκκων στην ίδια μονάδα επιφάνειας εξαρτάται από το πλήθος των κόκκων που υπάρχουν στην επιφάνεια και την πιθανότητα η υδροδυναμική να είναι αρκετά ισχυρή ώστε να μετακινήσει αυτούς τους κόκκους. Σε συνθήκες ισορροπίας, το πλήθος των κόκκων που αποτίθενται ισούται με το πλήθος των κόκκων που διαβρώνονται. Έτσι, προκύπτει η παρακάτω σχέση:

$$\Phi_B = 40 \cdot K \cdot (\theta')^3 \quad (9.25)$$

$$\text{με } K = \sqrt{\frac{2}{3} + \frac{36 \cdot v^2}{(s-1) \cdot g \cdot d_{50}^3}} - \sqrt{\frac{36 \cdot v^2}{(s-1) \cdot g \cdot d_{50}^3}} \quad (9.26)$$

9.3.4.2 Φορτίο σε Αιώρηση**9.3.4.2.1 Συγκέντρωση Ιζήματος σε Σταθερό Ρεύμα**

Έστω ένα σταθερό ρεύμα. Το ιζήμα διατηρείται σε αιώρηση από τις τυρβώδεις ταλαντεύσεις. Η συγκέντρωση του ιζήματος παίρνει μονάδες m^3/m^3 (όγκος ιζήματος ανά κυβικό μέτρο νερού). Η κλασσική προσέγγιση της κατανομής του ιζήματος σε αιώρηση, είναι να εφαρμοστεί η θεωρία του Prandtl (mixing length theory):

Σχήμα 9.10: Αιωρούμενο ιζήμα σε σταθερή τυρβώδη ροή

Έστω μία ομοιόμορφη άμμος με ταχύτητα καθίζησης ω_s . Στη μονάδα του χρόνου και διαμέσου της μονάδας επιφάνειας που αντιστοιχεί στη γραμμή Α-Α, οι όγκοι του ιζήματος που κινούνται ανοδικά (q_u) και καθοδικά (q_d) δίνονται από τις σχέσεις:

$$q_u = (\omega' - \omega_s) \cdot \left(c - \frac{1}{2} \cdot l \cdot \frac{dc}{dz} \right) \quad (9.27)$$

$$\text{και } q_d = (\omega' - \omega_s) \cdot \left(c + \frac{1}{2} \cdot l \cdot \frac{dc}{dz} \right) \quad (9.28)$$

Σε κατάσταση ηρεμίας, οι ταχύτητες q_u και q_d πρέπει να είναι ίσες. Έτσι:

$$c \cdot \omega_s + \frac{1}{2} \cdot \omega' \cdot l \cdot \frac{dc}{dz} = 0$$

Υποθέτοντας ότι:

$$\frac{1}{2} \cdot \omega' \cdot l = \kappa \cdot u_* \cdot z \cdot \left(1 - \frac{z}{h} \right)$$

όπου: $\kappa = 0.4$ και u_* είναι η διατμητική ταχύτητα, προκύπτει (Rouse):

$$c \cdot \omega_s + \kappa \cdot u_* \cdot z \cdot \left(1 - \frac{z}{h} \right) \cdot \frac{dc}{dz} = 0$$

$$\text{και } c(z) = c_\alpha \cdot \left(\frac{h-z}{z} \cdot \frac{\alpha}{h-\alpha} \right)^{\left(\frac{\omega_s}{\kappa \cdot u_*} \right)}$$

$$\text{όπου: } c_\alpha = c|_{z=\alpha}$$

9.3.4.2.2 Ύψος Αναφοράς και Συγκέντρωση Αναφοράς Ιζήματος

Τα α και c_α ονομάζονται ύψος αναφοράς και συγκέντρωση αναφοράς ιζήματος, αντίστοιχα. Το ύψος αναφοράς α είναι το όριο μεταξύ του φορτίου σύρσης και του φορτίου αιώρησης. Ο Bijker (1992) προτείνει ότι το α πρέπει να ισούται με την τραχύτητα της κοίτης k_s και συσχετίζει το c_α με το φορτίο σύρσης q_b .

Θεωρήθηκε ότι η σύρση του ιζήματος λαμβάνει χώρα στο στρώμα σύρσης, που κυμαίνεται μεταξύ $z = 0$ και $z = a = k_s$, και στο στρώμα αυτό υπάρχει σταθερή ποσότητα ιζήματος c_a . Στο σχήμα 9.11 φαίνεται το προφίλ της ταχύτητας (Bijker). Υποστηρίζει ότι σε τυρβώδη ροή υπάρχει ένα ιξώδες υπόστρωμα (viscous sublayer), που κυμαίνεται μεταξύ $z = 0$ και $z = z_0 e$ και στο οποίο η κατανομή της ταχύτητας είναι γραμμική και εφάπτεται στο λογαριθμικό προφίλ. Σε αυτή την περίπτωση, το πάχος του ιξώδους υποστρώματος είναι πολύ μικρότερο απ' ό,τι σε μία στρωτή ροή.

Σχήμα 9.11: Ιξώδες υπόστρωμα σε μία τραχιά ροή

Από το λογαριθμικό προφίλ της ταχύτητας, προκύπτει:

$$u \Big|_{z=z_0 e} = \frac{u_*}{k}$$

Η μέγιστη ταχύτητα στο στρώμα σύρσης δίνεται από τη σχέση:

$$U_b = \frac{1}{K_s} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \frac{u_*}{k} \cdot Z_0 e + \int_{z_0 e}^{k_s} \frac{u_*}{k} \cdot \ln \left(\frac{z}{z_0} \right) dz \right) \approx 6.34 \cdot u_* \quad (9.29)$$

Επομένως, το φορτίο σύρσης δίνεται από τη σχέση:

$$q_B = U_b \cdot k_s \cdot c_u \quad (9.30)$$

και προκύπτει η συγκέντρωση αναφοράς ιζήματος:

$$c_a = \frac{q_B}{U_b \cdot k_s} = \frac{q_B}{6.34 \cdot u_* \cdot k_s} \quad (9.31)$$

9.3.4.2.3 Μεταφορά Αιωρούμενου Ιζήματος

Γνωρίζοντας την κατακόρυφη κατανομή του αιωρούμενου ιζήματος όσο και της ταχύτητας του ρευστού,

Σχήμα 9.12: Κατακόρυφη κατανομή των c και u

το φορτίο σε αιώρηση μπορεί να υπολογιστεί ως εξής:

$$q_s = \int_{\alpha}^h u(z) \cdot c(z) dz = \int_{\alpha}^h \left(\frac{u_*}{k} \cdot \ln \left(\frac{z}{z_o} \right) \right) \cdot c_{\alpha} \cdot \left(\frac{h-z}{z} \cdot \frac{\alpha}{h-\alpha} \right)^{\frac{\omega_s}{k \cdot u_*}} dz$$

$$= 11.6 \cdot u_* \cdot c_{\alpha} \cdot \alpha \cdot \left(I_1 \cdot \ln \left(\frac{h}{0.033 \cdot k_s} \right) + I_2 \right) \quad (9.32)$$

όπου:

$$I_1 = 0.216 \cdot \frac{A^{(z_*-1)}}{(1-A)^{z_*}} \cdot \int_A^1 \left(\frac{1-B}{B} \right)^{z_*} dB \quad (9.33)$$

$$I_2 = 0.216 \cdot \frac{A^{(z_*-1)}}{(1-A)^{z_*}} \cdot \int_A^1 \left(\frac{1-B}{B} \right)^{z_*} \cdot \ln B dB \quad (9.34)$$

$$\text{και } A = \frac{k_s}{h}, B = \frac{z}{h}, z_* = \frac{\omega_s}{k \cdot u_*}$$

Εφαρμόζοντας την υπόδειξη του Bijker για τα α και c_{α} , προκύπτει:

$$q_s = 1.83 \cdot q_B \cdot \left(I_1 \cdot \ln \left(\frac{h}{0.033 \cdot k_s} \right) + I_2 \right) \quad (9.35)$$

9.3.4.3 Ολικό Μεταφερόμενο Ίζημα

Υπάρχουν πολλές εξισώσεις για τον υπολογισμό του ολικού μεταφερόμενου ιζήματος. Οι πιο συνηθισμένες είναι:

➤ Εξίσωση Bijker:

$$q_T = q_B + q_s = q_B \cdot \left(1 + 1.83 \cdot \left(I_1 \cdot \ln \left(\frac{h}{0.033 \cdot k_s} \right) + I_2 \right) \right) \quad (9.36)$$

➤ Εξίσωση Englund:

$$q_T = 0.05 \cdot U^2 \cdot \sqrt{\frac{d_{50}}{(s-1) \cdot g}} \cdot \left(\frac{\tau_b}{(\rho_s - \rho) \cdot g \cdot d_{50}} \right)^{1.5} \quad (9.37)$$

9.3.5 Αποτελέσματα – Στερεοπαροχή

Για τον υπολογισμό της στερεοπαροχής χρησιμοποιήθηκαν οι σχέσεις 9.23 (φορτίο σύρσης) και 9.35 (φορτίο σε αιώρηση).

Ο υπολογισμός της στερεοπαροχής έγινε για τις θέσεις που αναλύθηκαν στο κεφάλαιο 3 (Εικόνα 3.1). Προκειμένου να υπολογιστεί η στερεοπαροχή, απαραίτητη ήταν η κοκκομετρική ανάλυση των επιφανειακών δειγμάτων. Για το σκοπό αυτό, τα μεγέθη των κόκκων μετατράπηκαν σε βάρη (Leopold, 1970) και κατασκευάστηκαν τα ιστογράμματα των σχημάτων 9.13, 9.16 και 9.19. Με βάση τα ιστογράμματα, κατασκευάστηκαν οι αθροιστικές κατά βάρος καμπύλες και υπολογίστηκε ο διάμεσος (d_{50}) για κάθε δείγμα (Σχήματα 9.14, 9.17, 9.20 και Πίνακες 9.8-9.10).

Προκειμένου να συμπεριληφθούν στον υπολογισμό του φορτίου όσο το δυνατόν περισσότερες συνθήκες ροής, έγινε προσομοίωση της ροής εφαρμόζοντας τις σχέσεις 9.23 και 9.35 για διαφορετικές τιμές βάθους ροής, με τη χρήση του προγράμματος Excel. Επειδή δεν υπάρχουν άμεσες μετρήσεις της ταχύτητας της ροής στις υπό μελέτη θέσεις, η ταχύτητα U εκτιμήθηκε προσεγγιστικά (για διαφορετικές τιμές βάθους ροής) με τη χρήση του τύπου του Manning, που για την παροχή γράφεται:

$$Q = U \cdot A = \frac{1}{n} \cdot A \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot i^{\frac{1}{2}} \quad (9.38)$$

όπου:

Q , η παροχή (m^3/s),

U , η ταχύτητα ροής (m/s),

A , το εμβαδόν της διατομής (m^2),

n , ο συντελεστής τραχύτητας της κοίτης (από πίνακες του Chow, 1959),

R , η υδραυλική ακτίνα σε m ($= \frac{A}{P}$, όπου P η υγρή διατομή σε m), και

i , η κλίση της γραμμής ενέργειας και του ρεύματος στην περιοχή μετρήσεων (m/m)

Για να εφαρμοστεί η μέθοδος, απαραίτητη ήταν η αποτύπωση της διατομής του ποταμού στις παραπάνω θέσεις.

Παρακάτω δίνονται τα διαγράμματα της στερεοπαροχής συναρτήσει του βάθους ροής καθώς και της στερεοπαροχής κατά μήκος της κύριας αύλακας (βάσει των τιμών της στερεοπαροχής για τους παραπάνω σταθμούς) συναρτήσει της ενεργούς κλίσης των σταθμών (Σχήματα 9.15, 9.18, 9.21).

9.3.5.1 Χείμαρρος Σέλεμος

Σχήμα 9.13: Ιστογράμματα για κάθε σταθμό δειγματοληψίας

Σχήμα 9.14: Αθροιστικές κατά βάρος καμπύλες για κάθε σταθμό δειγματοληψίας

Πίνακας 9.8: Τιμές διάμεσου για κάθε σταθμό δειγματοληψίας

ΣΤΑΘΜΟΣ	Σ1	Σ2	Σ3	Σ4	Σ5	Σ6	Σ7
ΔΙΑΜΕΣΟΣ (mm)	97.68	86.22	78.25	75.06	131.6	112.21	51.27
ΔΙΑΜΕΣΟΣ (ϕ)	-6.61	-6.43	-6.29	-6.23	-7.04	-6.81	-5.68

Σχήμα 9.15: Προσομοίωση ροής για το φορτίο σύρσης (αριστερά) και το φορτίο σε αώρηση (δεξιά)

9.3.5.2 Χείμαρρος Ξυλοκέρας

Σχήμα 9.16: Ιστογράμματα για κάθε σταθμό δειγματοληψίας

Σχήμα 9.17: Αθροιστικές κατά βάρος καμπύλες για κάθε σταθμό δειγματοληψίας

Πίνακας 9.9: Τιμές διάμεσου για κάθε σταθμό δειγματοληψίας

ΣΤΑΘΜΟΣ	Ξ1	Ξ2	Ξ3	Ξ4	Ξ5	Ξ6	Ξ7	Ξ8
ΔΙΑΜΕΣΟΣ (mm)	436.55	415.87	396.18	207.94	177.29	164.28	156.5	85.04
ΔΙΑΜΕΣΟΣ (ϕ)	-8.77	-8.7	-8.63	-7.7	-7.47	-7.36	-7.29	-6.41

Σχήμα 9.18: Προσομοίωση ροής για το φορτίο σύρσης (αριστερά) και το φορτίο σε αώρηση (δεξιά)

9.3.5.3 Χείμαρρος Βολιναίος

Σχήμα 9.19: Ιστογράμματα για κάθε σταθμό δειγματοληψίας

Σχήμα 9.20: Αθροιστικές κατά βάρος καμπύλες για κάθε σταθμό δειγματοληψίας

Πίνακας 9.10: Τιμές διάμεσου για κάθε σταθμό δειγματοληψίας

ΣΤΑΘΜΟΣ	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
ΔΙΑΜΕΣΟΣ (mm)	174.85	171.25	159.79	101.13	113.77	119.43	80.45
ΔΙΑΜΕΣΟΣ (ϕ)	-7.45	-7.42	-7.32	-6.66	-6.83	-6.9	-6.33

Σχήμα 9.21: Προσομοίωση ροής για το φορτίο σύρσης (αριστερά) και το φορτίο σε αώρηση (δεξιά)

9.3.6 Συμπεράσματα

Από τα παραπάνω διαγράμματα προκύπτει ότι, η συνεχής αύξηση του βάθους οδηγεί σε συνεχή αύξηση της στερεοπαροχής ροής (εξαιτίας της αύξησης της ταχύτητας ροής). Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι, η αύξηση της ταχύτητας ροής έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της κινητικής ενέργειας των χειμάρων και επομένως της ποσότητας του ιζήματος που μπορούν να διαβρώσουν και να μεταφέρουν. Ακόμα, παρατηρείται ότι η μεταβολή της στερεοπαροχής ταυτίζεται με τη μεταβολή της ενεργούς κλίσης.

Από τις τιμές της στερεοπαροχής παρατηρείται ότι, τις μεγαλύτερες τιμές παρουσιάζει το φορτίο του ιζήματος που μεταφέρεται σε σύρση, ενώ το φορτίο σε αιώρηση δίνει πάρα πολύ μικρές τιμές. Αυτό οφείλεται κυρίως στη σύσταση της κοίτης, αφού και στους τρεις χείμαρρους χαρακτηρίζεται από πολύ χονδρόκοικα ιζήματα ($51.27 \leq d_{50} \leq 436.55mm$). Η παρουσία, δηλαδή, του λεπτόκοικου υλικού είναι πολύ μικρή.

Ακόμα, προκύπτει ότι, ο χείμαρρος Σέλεμνος δίνει τις μικρότερες τιμές στερεοπαροχής, ο χείμαρρος Ξυλοκέρας τις υψηλότερες ενώ οι τιμές που δίνει ο Βολινάιος κυμαίνονται ανάμεσα στις δύο προηγούμενες. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί σαν αποτέλεσμα, κυρίως, του μεγέθους των κόκκων των ιζημάτων της κοίτης σε συνδυασμό με τη μέση κλίση της λειάνης απορροής. Η λειάνη απορροής του Σέλεμνου έχει μέση κλίση 36.34% (Κεφάλαιο 2, §2.1.1, Πίνακας 2.2) και $d_{50max} = 131.60mm$ (Σ5), του Ξυλοκέρα 43.56% και $d_{50max} = 436.55mm$ (Ξ1) και του Βολιναίου 44.46% και $d_{50max} = 174.85mm$ (Β1).

Επίσης, η απόληψη υλικού μπορεί να οδηγήσει στην αύξηση της ταχύτητας ροής του νερού, αφού απογυμνώνεται η κοίτη και μειώνεται ο συντελεστής τραχύτητας. Αύξηση της ταχύτητας ροής σημαίνει και αύξηση της διαβρωτικής ικανότητας του νερού, η οποία οδηγεί σε υψηλούς ρυθμούς διάβρωσης της κοίτης και των οχθών. Αυτό μπορεί να προκαλέσει την υποχώρηση παρόχθιων περιοχών, ενώ παράλληλα οδηγεί στην αύξηση του στερεοφορτίου (όπως προκύπτει και από την παραπάνω προσομοίωση).

Για το λόγο αυτό, η απόληψη υλικού από τις κοίτες των χειμάρων για αδρανή υλικά δεν πρέπει να γίνεται αυθαίρετα, αφού επηρεάζει άμεσα τις διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στην εκβολές τους, ενώ παράλληλα αυξάνει τη διαβρωτική ικανότητα των χειμάρων.

10 ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΕΣ ΑΠΟΡΡΟΕΣ

Οι πλημμύρες αποτελούν τη δεύτερη πιο συχνή φυσική καταστροφή, μετά τις δασικές πυρκαγιές. Πλημμύρα συμβαίνει λόγω ραγδαίων βροχοπτώσεων και ισχυρών καταιγίδων ή από το λιώσιμο χιονιού, που προκαλούν την άνοδο της στάθμης των ποταμών. Συμβαίνει επίσης από υποχώρηση φραγμάτων και στην περίπτωση αυτή οι συνέπειες είναι πολύ μεγάλες.

Η πλημμύρα από φυσικά αίτια είτε παρουσιάζει βραδεία εξέλιξη είτε ανήκει στην κατηγορία της ξαφνικής πλημμύρας, που είναι και το πιο συνηθισμένο φαινόμενο στην Ελλάδα. Στον Ελληνικό χώρο οι πλημμύρες οφείλονται σε καταρρακτώδεις βροχές, που συνοδεύουν τη διέλευση βαρομετρικών χαμηλών.

Η ξαφνική πλημμύρα (flash flood) είναι το αποτέλεσμα ατμοσφαιρικών διαταραχών, που συνοδεύονται από ραγδαίες βροχοπτώσεις, με μεγάλα ποσά βροχής σε σύντομο χρονικό διάστημα. Οι ξαφνικές πλημμύρες προκαλούνται από καταιγίδες που κινούνται αργά ή κινούνται πάνω από την ίδια περιοχή. Στη ζώνη των τροπικών προκαλούνται επίσης από τυφώνες ή τροπικούς κυκλώνες. Πολλοί παράγοντες συνηγορούν σε μία ξαφνική πλημμύρα, όπως: η ένταση της βροχής και η διάρκεια της, η τοπογραφία, οι συνθήκες του εδάφους, η φυτοκάλυψη, η καταστροφή των δασών καθώς και η αστικοποίηση.

Οι ξαφνικές πλημμύρες εμφανίζονται σε μικρό χρονικό διάστημα λίγων ωρών ή λιγότερο και έχουν σαν αποτέλεσμα ταχεία ανύψωση της στάθμης του νερού, που στο πέρασμα του μπορεί να προκαλέσει μεγάλες καταστροφές σε κατασκευές, όπως κτίρια, γέφυρες κ.ά., να παρασύρει αυτοκίνητα, να ξεριζώσει δέντρα κ.ά. Οι πλημμύρες, που έχουν σαν αίτιο τις βροχοπτώσεις, μπορεί να προκαλέσουν καταστροφικές κατολισθήσεις εδαφών (λασποροές – mud slides). **Τα περισσότερα θύματα εξαιτίας πλημμυρών προέρχονται από τις ξαφνικές πλημμύρες.**

Γενικά, τα αίτια των πλημμυρών είναι πολλά, τα σημαντικότερα των οποίων είναι:

- Η αστική ανάπτυξη έχει ως αποτέλεσμα τη στεγανοποίηση της επιφάνειας της γης,
- Η πλήρης κάλυψη των κοιτών των χειμάρρων,
- Ο εγκιβωτισμός της κοίτης,
- Οι διαστάσεις και το μικρό ύψος των γεφυρών,
- Η αποψίλωση των δασών από πυρκαγιές ή άλλα αίτια και η επακόλουθη διάβρωση,
- Η κατασκευή μεγάλων έργων, κυρίως οδικών, εγκάρσια προς την κοίτη, ιδιαίτερα σε περιοχές που δεν υπάρχει εμφανής διατομή της,
- Οι καθιζήσεις που παρατηρούνται σε πεδινές περιοχές, λόγω ανθρωπογενών παρεμβάσεων, π.χ. λόγω υπεραντλήσεων,

- Αλλαγή ή εκτροπή της κοίτης,
- Ανθρώπινες παρεμβάσεις (όπως ευθυγραμμίσεις κοίτης, απορρίψεις μπαζών και σκουπιδιών στις κοίτες, παράνομη επέκταση της καλλιεργούμενης γης προς τις κοίτες, αποκομιδή αδρανών υλικών με άναρχο και επικίνδυνο τρόπο, κ.ά.).

Στην παρούσα διατριβή, γίνεται μια προσπάθεια εντοπισμού των ευαίσθητων περιοχών, ώστε να αποτελέσει τη βάση για μελλοντική έρευνα καθορισμού των απαραίτητων έργων – παρεμβάσεων για την αντιμετώπιση του φαινομένου. Για το σκοπό αυτό, χρησιμοποιήθηκαν πραγματικά δεδομένα των μηχανισμών απορροής και κυρίως υδρομετεωρολογικά δεδομένα (βροχοπτώσεις, κ.ά.) επί μεγάλο χρονικό διάστημα, έτσι ώστε να ληφθούν υπόψη συνθήκες και ακραίες συνθήκες.

10.1 Ανάλυση Υδρολογικής Πληροφορίας

Η ανάλυση συχνότητας της υδρολογικής πληροφορίας συμβάλλει ουσιαστικά στον ορθολογικό σχεδιασμό των έργων που έχουν άμεση σχέση με το νερό. Τέτοια έργα είναι οι εικεμιστές ασφαλείας των φραγμάτων, οι γέφυρες, τα στραγγιστικά δίκτυα καθώς και οι αντιπλημμυρικές κατασκευές.

Η ανάλυση συχνότητας συσχετίζει το μέγεθος ακραίων γεγονότων με τη συχνότητα εμφάνισής τους μέσω κατανομών πιθανότητας. Η ανάλυση συχνότητας προϋποθέτει ότι οι παρατηρήσεις είναι τυχαίες, με τη στατιστική έννοια του όρου, και ομοιογενείς (χωρίς έχει συμβεί καμία μεταβολή κατά τη διάρκεια της περιόδου των παρατηρήσεων).

10.1.1 Χρονοσειρές Υδρολογικών Φαινομένων

Οι μετρήσεις ενός υδρολογικού φαινομένου, διαταγμένες κατά χρονολογική σειρά, αποτελούν μία *χρονοσειρά* του φαινομένου.

Οι παρατηρήσεις συνεχούς διάρκειας, όπως τα ημερήσια ύψη βροχής, οι ημερήσιες παροχές, οι μηνιαίες τιμές της εξατμισοδιαπνοής, αποτελούν τις *πλήρεις σειρές* των αντίστοιχων υδρολογικών μεγεθών. Οι πλήρεις σειρές επιδέχονται ανάλυση είτε στην αρχική τους μορφή ή με την επιλογή ορισμένων μεγεθών που έχουν σχέση με το πρόβλημα που εξετάζεται. Στην τελευταία περίπτωση είναι οι *μερικές* και οι *ετήσιες σειρές*. Οι μερικές σειρές αποτελούνται από τιμές του υδρολογικού φαινομένου πάνω ή κάτω από μια τιμή, ενώ οι ετήσιες σειρές είναι οι σειρές με ετήσιες τιμές ή ετήσιους μέσους όρους ή προκύπτουν από την επιλογή των ετήσιων μέγιστων ή ελάχιστων.

10.1.2 Περίοδος Επαναφοράς

Έστω η ετήσια σειρά μέγιστων x_i , $i = 1(1)N$ διατάσσεται κατά φθίνουσα σειρά μεγέθους. Δηλαδή $x_1 > x_2 > \dots > x_N$. Τότε, η συχνότητα υπερβάσεως του μεγέθους x είναι:

$$P(X \geq x) = \frac{m}{N} \quad (10.1)$$

όπου:

N , ο αριθμός των παρατηρήσεων και

m , είναι η σειρά του μεγέθους x στη φθίνουσα σειρά $x_1, x_2, \dots, x_N$

Η εξίσωση αυτή εφαρμόζεται ικανοποιητικά στις λεγόμενες κλειστές σειρές στις οποίες δεν υπάρχει πιθανότητα να εμφανιστεί κάποιο μέγεθος έξω από τα όρια της μεταβλητής του δείγματος σε ένα άλλο δείγμα ή στο μέλλον. Όμως, οι χρονοσειρές στην υδρολογία είναι συνήθως ανοικτές. Γι' αυτό, η εκτίμηση υπερβάσεως γίνεται με την ακόλουθη εξίσωση (Weibull, 1939):

$$P(X \geq x) = \frac{m}{N+1} \quad (10.2)$$

Άλλες εξισώσεις που επίσης χρησιμοποιούνται είναι:

➤ Εξίσωση Hazen (1930):

$$P(X \geq x) = \frac{2m-1}{2N} \quad (10.3)$$

➤ Εξίσωση Benard & Bos-Levenbach (1953):

$$P(X \geq x) = \frac{m-0.3}{N+0.4} \quad (10.4)$$

➤ Εξίσωση Tukey (1962):

$$P(X \geq x) = \frac{3m-1}{3N+1} \quad (10.5)$$

Περίοδος επαναφοράς δοθέντος ετήσιου μεγέθους ενός φαινομένου είναι το μέσο χρονικό διάστημα T_x (έτη) μέσα στο οποίο το θεωρούμενο υδρολογικό φαινόμενο θα εμφανιστεί μία μόνο φορά με τιμή ίση ή μεγαλύτερη της δοθείσας. Δηλαδή, όταν ένα γεγονός έχει περίοδο επαναφοράς 100 έτη, αυτό σημαίνει ότι κάθε χρόνο υπάρχει πιθανότητα 1% να συμβεί ένα τέτοιο γεγονός. Αυτό σημαίνει ότι το συγκεκριμένο γεγονός θα εμφανίζεται κατά μέσο όρο μία φορά κάθε 100 χρόνια, αλλά είναι επίσης πιθανό να εμφανιστεί και σε συντομότερα χρονικά διαστήματα, αφού υπάρχει, θεωρητικά, πιθανότητα να συμβεί κάθε χρόνο (η πιθανότητα είναι της τάξεως του 1%). Αν η σειρά που εξετάζεται είναι σειρά ετήσιων μέγιστων, η περίοδος επαναφοράς αναφέρεται στο μέγεθος του φαινομένου ως ετήσιο μέγιστο, πράγμα που δε συμβαίνει αν η σειρά είναι μερική.

Σύμφωνα με τον ορισμό, προκειμένου για ανάλυση των μέγιστων τιμών ενός φαινομένου:

$$P(X \geq x) = \frac{1}{T} \quad \text{ή} \quad T = \frac{1}{P(X \geq x)} \quad (10.6)$$

Στην περίπτωση των τιμών των ελαχίστων τιμών ενός φαινομένου, ισχύει:

$$P(X \leq x) = \frac{1}{T} \text{ ή } T = \frac{1}{P(X \leq x)} \quad (10.7)$$

Αν και υπάρχει μια μικρή διαφορά στο νόημα της περιόδου επαναφοράς μερικής σειράς (Tp), από την περίοδο επαναφοράς μιας ετήσιας σειράς (T), στην πράξη δε γίνεται διάκριση μια και τα αποτελέσματα δε διαφέρουν ουσιαστικά για περιόδους μεγαλύτερες των πέντε ετών. Γενικά, υπάρχει η ακόλουθη σχέση μεταξύ των δύο περιόδων επαναφοράς (Raudkivi, 1979):

$$Tp = \frac{1}{\ln T - \ln(1 - T)} \quad (10.8)$$

Όπως προκύπτει από τον ορισμό της περιόδου επαναφοράς για τα μέγιστα, η πιθανότητα υπέρβασης σε ένα έτος είναι $\frac{1}{T}$. Αν θεωρηθεί ότι το γεγονός υπέρβασης (ή μη υπέρβασης) είναι ανεξάρτητο για κάθε έτος, τότε η πιθανότητα μη υπέρβασης του μεγέθους x και στα n έτη ζωής του έργου είναι:

$$P(X \leq x)_n = (P(X \leq x))^n = (1 - P(X > x))^n \quad (10.9)$$

Η πιθανότητα υπέρβασης (έστω και μια φορά) στα n έτη, λόγω της εξίσωσης 10.9, είναι:

$$P(X \leq x)_n = 1 - P(X > x)_n = 1 - (1 - P(X > x))^n \quad (10.10)$$

Η εξίσωση 10.10, λόγω της εξίσωσης 10.6, γίνεται:

$$P(X \geq x)_n = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n \quad (10.11)$$

Περίοδος σχεδιασμού n είναι η περίοδος σε έτη κατά την οποία η πιθανότητα υπέρβασης του μεγέθους x του υδρολογικού φαινομένου (με περίοδο επαναφοράς T) δεν υπερβαίνει τη δοθείσα τιμή πιθανότητας. Από την τελευταία σχέση (10.11), που εκφράζει την πιθανότητα υπέρβασης στην περίοδο n ετών, μπορεί να προκύψει η περίοδος σχεδιασμού n :

$$n = \frac{\log(1 - P(X \geq x)_n)}{\log\left(\frac{T-1}{T}\right)} \quad (10.12)$$

10.1.3 Ανάλυση Συχνότητας με τη Χρήση Συναρτήσεων Κατανομής Πιθανότητας – Εκτίμηση Παραμέτρων

Το σύνθημα πρόβλημα στην ανάλυση συχνότητας υδρολογικών φαινομένων είναι ότι η περίοδος επαναφοράς είναι μεγαλύτερη (αν όχι πολλαπλάσια) από το μέγεθος του δείγματος. Γι' αυτό, κρίνεται σκόπιμη η χρήση των γνωστών συναρτήσεων κατανομής πιθανότητας. Όταν οι παράμετροι μιας τέτοιας

συνάρτησης κατανομής προσδιοριστούν από τις υπάρχουσες παρατηρήσεις, τότε είναι δυνατή η εκτίμηση της τιμής του φαινομένου για μεγάλες περιόδους επαναφοράς με τη χρήση της θεωρητικής κατανομής.

Υπάρχουν οι εξής αναλυτικές τεχνικές εκτιμήσεως των παραμέτρων των θεωρητικών κατανομών πιθανότητας:

1. Η μέθοδος των ροπών (method of moments),
2. Η μέθοδος του μέγιστου πιθανοφάνειας (method of maximum likelihood),
3. Η μέθοδος των ελαχίστων τετραγώνων (method of least squares),
4. Η μέθοδος του ελαχίστου x^2 (minimum x^2 method),
5. Η μέθοδος των έξι διαιρέσεων (method of sextiles), και
6. Η μέθοδος επιλογής ειδικών σημείων (method of matching selected points).

Στην υδρολογία, αντί των παραπάνω αναλυτικών μεθόδων, με εξαίρεση ίσως τη μέθοδο των ροπών, χρησιμοποιούνται κυρίως οι εξής μέθοδοι:

1. Η γραφική μέθοδος – χαρτί πιθανότητας και
2. Η μέθοδος του παράγοντα συχνότητας.

10.1.3.1 Μέθοδος Ροπών

Η μέθοδος των (στατιστικών) Ροπών στηρίζεται στο γεγονός ότι αν όλες οι ροπές της κατανομής είναι γνωστές, όλα τα χαρακτηριστικά της κατανομής είναι γνωστά. Με αυτή τη μέθοδο, εκτιμώνται από το δείγμα (αμερόληπτα) οι βασικές στατιστικές ποσότητες, όπως ο μέσος όρος ($\hat{\mu}$), η τυπική απόκλιση ($\hat{\sigma}$) και ο συντελεστής ασυμμετρίας ($\hat{g}$) ως εξής:

$$\hat{\mu} = \sum_{i=1}^N \frac{x_i}{N} \quad (10.13)$$

$$\hat{\sigma} = (\hat{\mu}_2)^{\frac{1}{2}} = \left[\sum_{i=1}^N \frac{(x_i - \bar{x})^2}{N-1} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (10.14)$$

$$\hat{g} = \frac{N}{(N-1)(N-2)} \cdot \sum_{i=1}^N \frac{(x_i - \bar{x})^3}{(\hat{\mu}_2)^{\frac{3}{2}}} \quad (10.15)$$

10.1.3.2 Μέθοδος του Παράγοντα Συχνότητας

Σύμφωνα με τον Chow (1951), για πολλές θεωρητικές κατανομές πιθανότητας, μπορεί να γραφεί η ακόλουθη σχέση:

$$x_T = \bar{x}(1 + c_v \cdot k_T) \quad (10.16)$$

όπου:

x_T , το μέγεθος του γεγονότος περιόδου επαναφοράς T ,

$\bar{x}$, ο μέσος όρος,

c_v , ο συντελεστής διακύμανσης ή μεταβλητότητας ($\frac{\hat{\sigma}}{\bar{x}}$), και

k_T , ο παράγοντας συχνότητας που εξαρτάται από την περίοδο επαναφοράς T και τα χαρακτηριστικά της κατανομής

Με την προϋπόθεση ότι οι τιμές του υδρολογικού φαινομένου είναι *τυχαίες και ανεξάρτητες*, η κατανομή πιθανότητας εμφανίσεως των μπορεί να περιγραφεί από τις θεωρητικές κατανομές πιθανότητας. Η ακραία τιμή από ένα δείγμα τυχαίων τιμών, είναι επίσης τυχαία. Για μεγάλο αριθμό αρχικών παρατηρήσεων, η κατανομή πυκνότητας πιθανότητας για τις ακραίες τιμές περιγράφεται από ασυμπτωτικές κατανομές (Gumbel, 1954; 1958). Τρεις τύποι ασυμπτωτικών κατανομών έχουν προταθεί:

Τύπος I: αρχική κατανομή χωρίς όριο προς την κατεύθυνση της ακραίας τιμής

Τύπος II: αρχική κατανομή χωρίς όριο και προς τις δύο κατευθύνσεις

Τύπος III: αρχική κατανομή με όριο προς την κατεύθυνση της ακραίας τιμής

Η κατανομή Τύπου I (ή Gumbel) ενδείκνυται να εφαρμόζεται συνήθως για ανάλυση μέγιστων τιμών αν η αρχική κατανομή είναι η Κανονική, Λογαριθμοκανονική, Εκθετική ή Γάμμα και για ελάχιστα αν η αρχική κατανομή είναι κανονική.

Η κατανομή Τύπου II (ή Cauchy) δεν έχει σημαντική εφαρμογή στην υδρολογία.

Τέλος, η κατανομή Τύπου III ενδείκνυται να εφαρμόζεται για ανάλυση μέγιστων τιμών αν η αρχική κατανομή είναι Βήτα και για ελάχιστα αν η αρχική κατανομή είναι Βήτα, Λογαριθμοκανονική, Γάμμα ή Εκθετική.

10.1.3.3 Κατανομή Ακραίων Τιμών Τύπου I (Gumbel)

Με τη μέθοδο του παράγοντα συχνότητας, για πολύ μεγάλο δείγμα ($N \rightarrow \infty$), έχει προκύψει αναλυτικά η σχέση μεταξύ παράγοντα συχνότητας και περιόδου επαναφοράς:

$$K_T = -0.7797 \left[0.5772 + \ln \left(\ln \left[\frac{T}{T-1} \right] \right) \right] \quad (10.17)$$

Για μικρά σχετικά δείγματα ($N < 100$) ο παράγοντας συχνότητας υπολογίζεται ως εξής:

$$K_T = \frac{- \left[\ln \left(\ln \left[\frac{T}{T-1} \right] \right) + \bar{y}_N \right]}{\sigma_N} \quad (10.18)$$

όπου: $\bar{y}_N$ και σ_N , μέσος όρος και τυπική απόκλιση της ανηγμένης μεταβλητής y (βρίσκονται από πίνακες με βάση τον αριθμό των παρατηρήσεων του δείγματος) (Τσακίρης, 1995)

10.1.3.4 Κατανομή Pearson III

Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας και η συνάρτηση αθροιστικής πιθανότητας είναι αντίστοιχα:

$$P(x) = \frac{(x - x_0)^{\gamma-1} \cdot \exp\left[-\frac{x - x_0}{\beta}\right]}{\beta^{\gamma} \cdot \Gamma(\gamma)} \quad (10.19)$$

$$P(x) = \int_{x_0}^x \frac{(x - x_0)^{\gamma-1} \cdot \exp\left[-\frac{x - x_0}{\beta}\right]}{\beta^{\gamma} \cdot \Gamma(\gamma)} dx \quad (10.20)$$

Με την αντικατάσταση $z = x - x_0$ προκύπτει η κατανομή Γάμμα με παραμέτρους β και γ . Δηλαδή η κατανομή Pearson III είναι η αντίστοιχη κατανομή Γάμμα αλλά με αρχικό όριο $x = x_0 \neq 0$.

Βασικές στατιστικές ποσότητες:

$$\text{Μέσος όρος: } E(X) = x_0 + \beta \cdot \gamma \quad (10.21)$$

$$\text{Διασπορά: } \text{Var}(X) = \beta^2 \cdot \gamma \quad (10.22)$$

$$\text{Συντελεστής ασυμμετρίας: } g = \frac{2}{\sqrt{\gamma}} \quad (10.23)$$

Η τυπική μεταβλητή $y = \frac{x - x_0}{\beta}$ αυτής της κατανομής είναι η ίδια με της Γάμμα για την ίδια τιμή της παραμέτρου γ .

Η χρήση των κατανομών Pearson διευκολύνεται με τη μέθοδο του παράγοντα συχνότητας. Ο παράγοντας συχνότητας δίνεται σε πίνακες (Harter, 1969) με βάση την αθροιστική πιθανότητα και το συντελεστή ασυμμετρίας. Για αρνητικές τιμές του συντελεστή ασυμμετρίας, η τιμή του παράγοντα συχνότητας βρίσκεται ως εξής: πρώτα επιλέγεται η τιμή που αντιστοιχεί στην αντίστοιχη θετική τιμή και στην αθροιστική πιθανότητα $1 - P(x)$. Στην τιμή του παράγοντα συχνότητας που προκύπτει από τον πίνακα αλλάζεται το πρόσημο.

10.1.3.5 Κατανομή Λογαριθμική Pearson III (Log Pearson III)

Λέγοντας ότι μια σειρά από παρατηρήσεις περιγράφεται ικανοποιητικά από την κατανομή Λογαριθμική Pearson III (Log Pearson III) σημαίνει ότι οι λογάριθμοι των παρατηρήσεων περιγράφονται από την κατανομή Pearson III. Επομένως, η διαδικασία που ακολουθείται περιλαμβάνει:

- ✓ Αντικατάσταση των τιμών παρατηρήσεων x_i από τους λογαρίθμους των ($y_i = \log x_i$),
- ✓ Υπολογισμό του μέσου όρου $\bar{y}$, της τυπικής απόκλισης $\hat{\sigma}_y$ και του συντελεστή ασυμμετρίας $\hat{g}_y$,

- ✓ Υπολογισμό του μεγέθους y_T περιόδου επαναφοράς T ετών με τη μέθοδο του παράγοντα συχνότητας K_T :

$$y_T = \bar{y} + \hat{\sigma}_y \cdot K_T \quad (10.24)$$

όπου: K_T , από πίνακες της κατανομής Pearson III (Γσακίρης, 1995), και

- ✓ Υπολογισμό του μεγέθους $x_T = \text{anti log } y_T$

10.2 Ανάλυση Συχνότητας Βροχομετρικών Δεδομένων του Σταθμού της Πάτρας

Η παραπάνω μεθοδολογία εφαρμόστηκε για την πραγματοποίηση ανάλυσης συχνότητας ακραίως μέγιστων τιμών υετού 24ώρου για βροχομετρικά δεδομένα του σταθμού της Πάτρας. Πρέπει να σημειωθεί ότι για τον εν λόγω σταθμό υπάρχει μία συνεχής χρονοσειρά βροχομετρικών δεδομένων μικρής διάρκειας 1/7/1992 – 31/12/2001, 3462 τιμές), ωστόσο χρησιμοποιήθηκε γιατί είναι ο πιο κοντινός βροχομετρικός σταθμός στην περιοχή μελέτης και συνεπώς θα προκύψουν πιο αντιπροσωπευτικά αποτελέσματα.

Αρχικά, προσδιορίστηκε η πιθανότητα εμφάνισης των ημερήσιων βροχοπτώσεων (όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα).

Σχήμα 10.1: Πιθανότητα των βροχοπτώσεων 24ώρου για το σταθμό της Πάτρας

Από το διάγραμμα παρατηρείται ότι υπάρχουν πολλές μηδενικές τιμές (3066 τιμές), οι οποίες αντιστοιχούν, κυρίως, στους καλοκαιρινούς μήνες. Έτσι, κρίθηκε σκόπιμο οι τιμές αυτές να εξαιρεθούν ώστε να φανεί το ποσοστό των ακραίων βροχοπτώσεων επί των πραγματικών μέγιστων (Σχήμα 10.2).

Σχήμα 10.2: Πιθανότητα των μη μηδενικών βροχοπτώσεων του σταθμού της Πάτρας

Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε ανάλυση συχνότητας τόσο με τη χρήση της κατανομής Log Pearson III, όσο και με την κατανομή των ακραίων τιμών τύπου I (Gumbel), ώστε να γίνει σύγκριση των αποτελεσμάτων και επιλογή της καλύτερης κατανομής. Παρακάτω παρουσιάζονται οι υπολογισμοί των παραμέτρων και τα αποτελέσματα των αναλύσεων:

Πίνακας 10.1: Κατανομή Log Pearson III

Υπολογισμός Παραμέτρων		
Μέσος όρος λογαριθμικών y_i	$\bar{y}$	0.985
Συντελεστής ασυμμετρίας	$\hat{g}_y$	-0.977
Τυπική απόκλιση λογαριθμικών y_i	$\hat{\sigma}_y$	0.544

Πίνακας 10.2: Κατανομή ακραίων τιμών Τύπου I (Gumbel), με τη μέθοδο του παράγοντα συχνότητας

Υπολογισμός Παραμέτρων		
Μέσος όρος x_i	$\bar{x}$	16.217
Τυπική απόκλιση x_i	$\hat{\sigma}_x$	13.165

Πίνακας 10.3: Μέγιστο ύψος νετού για διάφορες περιόδους επαναφοράς

Πιθανότητα εμφάνισης, P(%)	Περίοδος επαναφοράς, T	Log Pearson III ύψος βροχής (mm)	Gumbel ύψος βροχής (mm)
80	1.25	3.74	4.68
50	2	11.87	14.14
10	10	39.67	35.30
5	20	50.28	43.39
2	50	62.60	53.86
1	100	70.64	61.70
0.5	200	77.65	69.52
0.2	500	85.48	79.83

Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται ότι η κατανομή Gumbel έχει καλύτερη προσαρμογή από την κατανομή Log Pearson III.

Σχήμα 10.3: Ανάλυση συχνότητας ακραίων μεγίστων ημερήσιων βροχοπτώσεων

10.3 Οι Πλημμύρες στον Παρόντα Χρόνο

Προκειμένου να μελετηθεί το πρόβλημα των πλημμυρών, εφαρμόστηκαν τρεις μεθοδολογίες (Μαριολάκος κ.ά., 2007) με σκοπό να προσδιοριστούν οι ευαίσθητες, σε πλημμύρα, περιοχές καθώς και οι κρίσιμες περιοχές ανάντη των οποίων πρέπει να ληφθούν μέτρα αντιμετώπισης του φαινομένου. Η πρώτη μέθοδος στηρίζεται στην Υδρολογική Προσομοίωση των λεκανών απορροής, η δεύτερη στον υπολογισμό της Ενέργειας του Χειμάρρου (Stream Power) και η τρίτη στην Πολυπαραγοντική Ανάλυση του αναγλύφου. Οι πρώτες δύο μέθοδοι έχουν σκοπό να προσδιορίσουν τις ευαίσθητες περιοχές αλλά κυρίως τα κρίσιμα σημεία ανάντη των οποίων πρέπει να γίνουν παρεμβάσεις και έργα ανάσχεσης, ενώ η τρίτη μέθοδος αποσκοπεί στον προσδιορισμό της πλημμυρικής επικινδυνότητας, με στόχο την ιεράρχηση των περιοχών.

Για την επεξεργασία των δεδομένων και την εφαρμογή των παραπάνω μεθοδολογιών, χρησιμοποιήθηκαν τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών.

10.3.1 Υδρολογική Προσομοίωση των Λεκανών Απορροής

Με αυτή τη μέθοδο γίνεται προσπάθεια να αναπαρασταθεί η φυσική διαδικασία της βροχοπτώσης. Έτσι, επιχειρείται να αποδοθεί η φυσική κίνηση του νερού πάνω στην επιφάνεια του αναγλύφου και να βρεθούν τα σημεία του υδρογραφικού δικτύου στα οποία μπορεί να παρουσιαστεί ταυτόχρονη συσσώρευση νερού, κάτι που σε περίπτωση πλημμυρικών παροχών μπορεί να προκαλέσει πλημμύρες. Για το σκοπό αυτό, κατασκευάστηκαν τα υδρογραφήματα των λεκανών απορροής ώστε να προσδιοριστούν οι περιοχές που είναι ευάλωτες σε πλημμυρικά φαινόμενα.

10.3.1.1 Κατασκευή Υδρογραφήματων

Ως παροχή ενός υδρορεύματος σε μία συγκεκριμένη θέση ορίζεται η μεταβολή της ποσότητας του νερού στη μονάδα του χρόνου και μετριέται σε m^3/s (Μιμίκου & Μπαλάς, 2001). Το διάγραμμα όπου απεικονίζεται η μεταβολή της παροχής σε σχέση με το χρόνο, αποτελεί το *υδρογράφημα* (hydrograph).

Η μορφή του υδρογραφήματος που προκαλείται από μια βροχόπτωση μικρής σχετικά διάρκειας, που καλύπτει εξ' ολοκλήρου την υδρολογική λεκάνη, ακολουθεί ένα γενικό κωνοειδές πρότυπο. Αν πρόκειται για υδρογράφημα που συνδέεται με ένα συγκεκριμένο πλημμυρικό επεισόδιο, τότε καλείται *πλημμυρογράφημα*.

Η έννοια του *μοναδιαίου υδρογραφήματος* – Μ. Υ. (Unit Hydrograph – UH) εισήχθη για πρώτη φορά στην υδρολογική ανάλυση από τον Sherman (1932), με σκοπό την εκτίμηση της πλημμυρικής αιχμής κατά τη συσχέτιση ενός υδρογραφήματος με τη βροχόπτωση που το προκάλεσε. Το μοναδιαίο υδρογράφημα είναι το υδρογράφημα που προκαλείται από ενεργή βροχόπτωση ύψους ίσου με τη μονάδα (1 cm ή 1 in), που καλύπτει όλη την έκταση της υδρολογικής λεκάνης και έχει ομοιόμορφη ένταση.

Η τεχνική του Μ. Υ. κατά το ένα της μέρος είναι εμπειρική και κατά το άλλο θεωρητική. Επιδιώκεται πρακτικά η συσχέτιση μεταξύ ενεργής βροχόπτωσης και επιφανειακής απορροής. Αντλώντας στοιχεία από τα φυσικά υδρογραφήματα και καθορίζοντας τη διάρκεια μιας τυπικής βροχής, κατασκευάζεται το Μ. Υ. της λεκάνης, επιτρέποντας έτσι την προσαρμογή με διάφορες τεχνικές του Μ. Υ. σε άλλα επεισόδια βροχόπτωσης διαφορετικής διάρκειας και έντασης και τον υπολογισμό της αναμενόμενης απορροής.

Εξίσου ενδιαφέρουσα είναι η έννοια του *στιγμιαίου μοναδιαίου υδρογραφήματος* – Στ. Μ. Υ. (Instantaneous Unit Hydrograph – IUH). Αποτελεί επέκταση εκείνης του Μ. Υ. και αντιστοιχεί στο υδρογράφημα της απορροής από τη στιγμιαία εφαρμογή της μοναδιαίας ωφέλιμης βροχής σε μια λεκάνη. Το Στ. Μ. Υ. είναι το μοναδικό μέσο επίδειξης της αντίδρασης μιας λεκάνης σε ένα επεισόδιο βροχόπτωσης, ανεξάρτητα από την διάρκεια και την έντασή του, καθώς το Μ.Υ. είναι για την αντίδραση της λεκάνης σε μια βροχή ορισμένης διάρκειας. Επειδή δεν εξαρτάται από τον χρόνο, το Στ. Μ. Υ. είναι μια γραφική έκφραση της συνισταμένης όλων των παραμέτρων της λεκάνης όπως μήκος, σχήμα, ανάγλυφο, κ.ά., που καθορίζουν την παραπάνω αντίδραση.

Τα τελευταία χρόνια, με την ανάπτυξη των συστημάτων GIS, αλλά και πιο εξειδικευμένων λογισμικών, τα Μ. Υ. και οι παραλλαγές τους λαμβάνονται από την προσομοίωση της επιφανειακής απορροής στις υδρολογικές λεκάνες (Lee, 1998). Με αυτό τον τρόπο, αποφεύγεται η λήψη παραμέτρων οι τιμές των οποίων επηρεάζεται και με τη σειρά της από άλλες καθώς και μορφομετρικών δεικτών που πολλές φορές είναι ανεπαρκείς στο να εκφράσουν τα χαρακτηριστικά των λεκανών (εκείνων κυρίως με διαφόρων ειδών ασυμμετρίες).

Όποια τεχνική κι αν εφαρμόζεται, ο κύριος στόχος της είναι η διερεύνηση της σχέσης βροχής – απορροής που καθορίζεται από την αντίδραση μιας λεκάνης σε επεισόδια βροχοπτώσεων και η εκτίμηση, αν είναι εφικτό, του πλημμυρικού της δυναμικού.

10.3.1.2 Κατασκευή Στιγμιαίων Μοναδιαίων Υδρογραφημάτων

Για τη δημιουργία των συνθετικών Στ. Μ. Υ. στις λεκάνες απορροής, εφαρμόστηκε η μέθοδος του Clark (1945). Αναλυτικά, τα στάδια δημιουργίας τους περιλαμβάνουν:

- ✓ Κατασκευή διαγραμμάτων αριθμού ψηφίδων – μήκους ροής,
- ✓ Μετατροπή του αριθμού των ψηφίδων σε εμβαδό, πολλαπλασιάζοντάς τις με τις διαστάσεις των ψηφίδων στο πλέγμα (33x33m²),
- ✓ Μετατροπή του μήκους ροής σε χρόνο διαδρομών ροής, βάσει του χρόνου συγκέντρωσης,
- ✓ Αναγωγή των εμβαδών σε όγκους, εφαρμόζοντας στιγμιαία μοναδιαία βροχή (1cm) στις λεκάνες,
- ✓ Σύνθεση των Στ. Μ. Υ. επιλέγοντας μια συγκεκριμένη χρονική βάση για το υδρογράφημα και διαιρώντας τους όγκους, που αντιστοιχούν στα συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα, με την επιλεγμένη χρονική βάση.

10.3.1.3 Διεύθυνση Ροής

Το αρχικό στάδιο αφορά την πλήρωση του DEM, την απομάκρυνση δηλαδή κοιλωμάτων που εγριβωτίζουν μέρος της ροής. Η μέθοδος βασίζεται στην ανύψωση των τιμών υψομέτρου των ψηφίδων (pixels), εντός του κοιλώματος, μέχρι το υψόμετρο της γειτονικότερης ψηφίδας με διοχέτευση της ροής προς τις εκτός του κοιλώματος περιοχές (Jenson & Dominique, 1988). Αυτή η διαδικασία αποκαλείται και ‘πλημμυρική τεχνική’ (flooding technique) αφού είναι ανάλογη της προσθήκης ύδατος στο κοίλωμα μέχρι την υπερχείλισή του, ενώ το υψόμετρο του σημείου υπερχείλισης – εκροής ταυτίζεται με το υψόμετρο στο οποίο θα ανυψθούν αναλογικά τα υψόμετρα του κοιλώματος.

Στη συνέχεια, εκτιμήθηκε η διεύθυνση της ροής (κάθε υποτιθέμενης σταγόνας βροχής που πέφτει πάνω στο DEM) βάσει του πληρωμένου αναγλύφου, με τη μέθοδο d8 των Jenson & Domingue (1988). Ο χάρτης που προκύπτει (Εικόνα 10.1) απαρτίζεται από οκτώ χρωματικές που αντιστοιχούν στις οκτώ πιθανές διευθύνσεις ροής (1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 120 – BA, A, NA, N, ND, Δ, BΔ, B, αντίστοιχα).

10.3.1.4 Μήκος Απορροής – Μήκος Διαδρομών Ροής

Το μήκος της ροής αποτελεί μια από τις παραμέτρους της προσομοίωσης της επιφανειακής απορροής των υδρολογικών λεκανών. Σύμφωνα με τον ορισμό που δίνεται στην υδρολογία, το μήκος της ροής αντιστοιχεί στην απόσταση μεταξύ οποιουδήποτε σημείου εντός της λεκάνης και του στομίου της. Η απόσταση αυτή μετρείται κατά μήκος της διαδρομής που ακολουθεί το νερό. Στα συστήματα GIS ο παραπάνω ορισμός λαμβάνει πιο τεχνικές διαστάσεις και αναφέρεται στο μήκος ροής ενός τυχαίου σημείου μιας λεκάνης όπως αυτό καθορίζεται από το άθροισμα των επιμέρους αποστάσεων μεταξύ των

σύμφωνα με την τραχύτητά τους. Στην παρούσα διατριβή, θεωρήθηκε επαρκής η θεώρηση σταθερής της ταχύτητας της απορροής καθώς, από τη μία οι πολυπλοκότητα των υπολογισμών και από την άλλη οι απλοποιήσεις και παραδοχές που οφείλουν να γίνουν δεν επιτρέπουν την ορθή αξιολόγηση των αποτελεσμάτων.

10.3.1.5 Χρόνος Διαδρομών Ροής

Για τη μετατροπή του μήκους ροής σε χρόνο διαδρομών ροής, χρησιμοποιήθηκε ο χρόνος συγκέντρωσης t_C .

Ο χρόνος συγκέντρωσης αντιστοιχεί στον χρόνο που απαιτείται ώστε να διανύσει το νερό τη διαδρομή από το πιο απομακρυσμένο υδρολογικά σημείο της λεκάνης έως το στόμιό της. Μερικές από τις πιο συχνά χρησιμοποιούμενες εξισώσεις εκτίμησης του χρόνου συγκέντρωσης είναι:

➤ Εξίσωση Kirpich (1940):

$$t_C = 0.01947 \cdot L^{0.77} \cdot S^{-0.385} \quad (10.25)$$

όπου:

t_C , ο χρόνος συγκέντρωσης (min),

L , το μέγιστο μήκος διαδρομής του νερού πάνω στη λεκάνη (m), και

S , η κλίση, όπως προκύπτει από τον λόγο $\frac{H}{L}$, με H την υψομετρική διαφορά (σε m) ανάμεσα στο

πιο απομακρυσμένο σημείο της λεκάνης και του στομίου της

➤ Εξίσωση Giandotti:

$$t_C = \frac{4\sqrt{A} + 1.5 \cdot L}{0.8 \cdot \sqrt{\Delta H}} \quad (10.26)$$

όπου:

A , το εμβαδόν της λεκάνης απορροής (km²),

L , το μήκος του κύριου κλάδου (km), και

ΔH , η διαφορά του μέσου υψομέτρου της λεκάνης και του υψομέτρου στην έξοδο της (m)

Κάθε μία από τις παραπάνω εξισώσεις, καθώς εμπειρικές, έχουν ορισμένους περιορισμούς στην εφαρμογή τους. Οι περιορισμοί αναφέρονται κυρίως στην έκταση της εξεταζόμενης λεκάνης και στη μέση κλίση.

Σύμφωνα με τις παραδοχές της εξίσωσης Kirpich, οι τιμές που προκύπτουν είναι ενδεικτικές της επιφανειακής απορροής σε θέσεις χωρίς φυτική κάλυψη. Η βλάστηση εισάγει ένα παράγοντα χρονικής υστέρησης και επομένως για τις περιπτώσεις υδρολογικών λεκανών οι χρόνοι συγκέντρωσης οφείλουν να διπλασιαστούν, ώστε να προσεγγίζουν καλύτερα τις πραγματικές συνθήκες.

Γνωρίζοντας, πλέον, το χρόνο που αντιστοιχεί στο μέγιστο μήκος ροής των εξεταζόμενων λεκανών, υπολογίζονται αναγωγικά οι χρόνοι των διαδρομών ροής των υπόλοιπων ψηφίδων (pixel) σύμφωνα με την παρακάτω σχέση:

$$T_t = \frac{t_c}{\text{μέγιστο_μήκος_ροής}} \cdot \text{μήκος_ροής_ψηφίδας} \quad (10.27)$$

Στην παρούσα διατριβή, χρησιμοποιήθηκε ο τύπος του Kirpich και οι τιμές που βρέθηκαν διπλασιάστηκαν. Έτσι, προέκυψαν οι χρόνοι συγκέντρωσης για τις λειάνες απορροής, οι οποίοι και αποτελούν τη χρονική βάση των Στ. Μ. Υ.:

Πίνακας 10.4: Χρόνοι συγκέντρωσης των λεκανών απορροής

	Χρόνος συγκέντρωσης, t_c (min)	Χρόνος συγκέντρωσης (x2)
Σέλεμος	13.33	26.66
Ευλοκέρας	13.36	26.72
Βολινάιος	13.67	27.34

Τέλος, με την εφαρμογή της εξίσωσης 10.27, προσδιορίστηκαν οι χρόνοι των διαδρομών ροής και για τις υπόλοιπες ψηφίδες (pixels).

Εικόνα 10.2: Χρόνοι διαδρομών ροής κάθε ψηφίδας (pixel)

Από την εφαρμογή των παραπάνω σταδίων, προέκυψαν τα Στ. Μ. Υ. των λεκανών απορροής της περιοχής έρευνας.

Σχήμα 10.4: Στιγμαία Μοναδιαία Υδρογραφήματα των λεκανών απορροής

Από τα παραπάνω διαγράμματα παρατηρείται ότι, τα Στ. Μ. Υ. των χειμάρρων Σέλεμνου και Ξυλοκέρα δε σχηματίζουν κάποια πολύ απότομη κορυφή, αλλά αντίθετα μεγάλες καμπύλες που προφανώς αντιστοιχούν σε περιοχές μεγάλης έκτασης που αποφορτίζονται γραμμικά. Αυτό σημαίνει ότι οι δύο αυτές λεκάνες απορροής παρουσιάζουν μία γραμμικότητα, όσον αφορά την εκφόρτιση σε περίπτωση βροχής. Στην περίπτωση του Ξυλοκέρα, διακρίνονται και δύο μικρές περιοχές που αποφορτίζονται σε διαφορετικούς χρόνους και με λίγο μεγαλύτερες παροχές. Αυτό πιθανά οφείλεται στη δράση της ενεργούς τεκτονικής στην περιοχή που αλλάζει τα μορφολογικά χαρακτηριστικά.

Αντίθετα, το Στ. Μ. Υ. του χειμάρρου Βολιναίου παρουσιάζει δύο ευδιάκριτες και πιο έντονες κορυφές με πολύ υψηλές τιμές απορροής. Οι απότομες αυτές κορυφές ερμηνεύονται σαν περιοχές μεγάλης έκτασης (μέσα στη λεκάνη απορροής) οι οποίες, σε περίπτωση βροχής, αποφορτίζονται ταυτόχρονα. Επομένως, τα σημεία όπου απορρέουν οι κλάδοι των περιοχών αυτών (Εικόνα 10.6), μπορούν θεωρητικά να δημιουργήσουν πλημμυρικά φαινόμενα σε περίπτωση ισχυρής βροχόπτωσης.

10.3.2 Ρυθμός Μεταβολής της Δυναμικής Ενέργειας του Νερού των Χειμάρρων σε Κινητική (Stream Power)

Η δυναμική ενέργεια του νερού σε ένα χείμαρρο μετατρέπεται σε κινητική, εξαιτίας της μεταβολής του υψομέτρου. Το μεγαλύτερο ποσοστό αυτής της κινητικής ενέργειας καταναλώνεται στις τριβές που συναντά το νερό κατά τη ροή του στην κοίτη του χείμαρρου. Ωστόσο, το υπόλοιπο ποσοστό της

κινητικής ενέργειας μπορεί να διαβρώσει την κοίτη του χειμάρρου και να μεταφέρει ιζημα. Έτσι, ο McEwen (1994) όρισε ως *Stream Power* το ρυθμό της ενέργειας που είναι διαθέσιμη για την υπερνίκηση των τριβών και τη μεταφορά ιζήματος. Ως *Gross Stream Power* (Ω) ορίζεται ο ρυθμός κατανάλωσης της δυναμικής ενέργειας, ανά μονάδα μήκους του χειμάρρου, και δίνεται από τη σχέση:

$$\Omega = \rho \cdot g \cdot Q \cdot S \quad (10.28)$$

όπου:

ρ , η πυκνότητα του νερού (1 kg/lit),

g , η επιτάχυνση της βαρύτητας (9.81 m/s²),

Q , η παροχή στο εκάστοτε σημείο της κοίτης των χειμάρρων (m³/s), και

S , η ενεργός κλίση (m/m)

Αρχικά, κατασκευάστηκαν τα επιμήκη προφίλ αναγλύφου και ενεργούς κλίσης (όπως αυτή υπολογίστηκε στο Κεφάλαιο 2, §2.2, Εικόνα 2.2) για τους κλάδους 3^{ης}, 4^{ης} και 5^{ης} τάξης του υδρογραφικού δικτύου και στη συνέχεια υπολογίστηκε η μεταβολή της Ενέργειας του Χειμάρρου (Σχήμα 10.4).

Εικόνα 10.3: Κλάδοι υπολογισμού της Ενέργειας του Χειμάρρου

(συνέχεια)

(συνέχεια)

(συνέχεια)

(συνέχεια)

Σχήμα 10.5: Διαγράμματα επιμήκους προφίλ (μπλε) – ενεργούς κλίσης (κόκκινο) (αριστερά) και μήκους – Ενέργειας Χειμάρρου (δεξιά)

Για τον υπολογισμό της παροχής, επειδή δεν υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία, χρησιμοποιήθηκε η βροχόπτωση με περίοδο επαναφοράς τα 50 έτη, όπως προέκυψε από την ανάλυση συχνότητας των βροχομετρικών δεδομένων, και ισούται με 53.86 mm/day (Gumbel). Έτσι, $Q = E \cdot h$, όπου E είναι το εμβαδόν που αποστραγγίζεται στο εκάστοτε σημείο της κοίτης των χειμάρρων και h (53.86 mm/day) το ύψος βροχής που θεωρείται ότι απορρέει ολόκληρο (αφού εξετάζεται πλημμυρική απορροή μεγάλης έντασης).

Από τα παραπάνω διαγράμματα, μεγαλύτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι κλάδοι Σ3-2, Σ4-1, Ξ3-1, Ξ3-2, Ξ4-1, Β3-1, Β3-4, Β3-5, Β3-6, Β3-7, Β3-8, Β4-1, Β4-2 και Β5-1 γιατί εμφανίζουν πολύ υψηλές τιμές Ενέργειας Χειμάρρου. Οι υψηλές τιμές οφείλονται στις έντονες κλίσεις που παρουσιάζει η κοίτη τους στα σημεία αυτά. Αυτό σημαίνει ότι, σε περίπτωση σφοδρών βροχοπτώσεων, τα σημεία αυτά εκτονώνουν ένα μεγάλο μέρος από την ισχύ τους και επομένως αποστραγγίζεται ένα μεγάλο μέρος της επιφανειακής απορροής. Επομένως, στα σημεία αυτά (Εικόνα 10.6) και με τις παραπάνω συνθήκες, μπορεί να παρουσιαστούν πλημμυρικές απορροές.

10.3.3 Πολυπαραγοντική Μορφομετρική Ανάλυση Αναγλύφου

Με αυτή τη μέθοδο, γίνεται μια προσπάθεια προσέγγισης της γεωγραφικής κατανομής του πλημμυρικού κινδύνου της περιοχής, αξιοποιώντας μορφομετρικούς υπολογισμούς σχετικά με το ανάγλυφο της περιοχής και την ανάλυση των λεκανών.

Με βάση την υπόθεση ότι σε τεκτονικά ενεργές περιοχές, όπως η Ελλάδα, η ενέργεια του αναγλύφου παρουσιάζει έντονες διακυμάνσεις από θέση σε θέση, καθορίζει σε σημαντικό βαθμό τις περιοχές διάβρωσης και απόθεσης και κατά συνέπεια τις περιοχές που το φυσικό δυναμικό ευνοεί τη συγκέντρωση του νερού και του ιζήματος. Έτσι, έγινε προσπάθεια αξιοποίησης και συνεκτίμησης μορφομετρικών δεικτών που αποτυπώνουν αυτές τις διαφοροποιήσεις από λεκάνη σε λεκάνη.

Για το σκοπό αυτό, το στόμιο κάθε λεκάνης απορροής (1^{ης}, 2^{ης}, 3^{ης}, 4^{ης} και 5^{ης} τάξης) προσεγγίστηκε ως το σημείο που η δυναμική ενέργεια του νερού που πέφτει σε κάθε σημείο της λεκάνης, μετατρέπεται σε κινητική, με σκοπό να εξεταστεί η πλημμυρική επικινδυνότητα αρχικά στα σημεία αυτά και κατ' επέκταση στο σύνολο της περιοχής.

Γενικά, η δυναμική ενέργεια μεταβάλλεται ανάλογα με:

1. Τη συνολική μάζα του νερού που πέφτει στη λεκάνη,
2. Την έκταση της λεκάνης,
3. Το μέσο υψόμετρο της λεκάνης (εξαιτίας της μεταβολής της βροχόπτωσης με το υψόμετρο), και
4. Το ολικό ανάγλυφο της λεκάνης

και αντιστρόφως ανάλογα με:

1. Το χρόνο απόκρισης της λεκάνης (χρόνος διαδρομής ροής), και

2. Τις μορφολογικές κλίσεις του αναγλύφου, αφού τα πλημμυρικά φαινόμενα ευνοούνται σε περιοχές με απότομη αλλαγή κλίσης (από υψηλές σε χαμηλές κλίσεις).

Έτσι, αφού υπολογίστηκαν οι παραπάνω παράγοντες για κάθε υπολεικάνη της περιοχής, ενσωματώθηκαν σε ένα γινόμενο, προκειμένου να μεγιστοποιηθούν οι διαφορές μεταξύ των στομιών των λεκανών. Το γινόμενο αυτό δεν αποτελεί το μέτρο του ρυθμού εκτόνωσης της ενέργειας στο στόμιο κάθε λεκάνης, αλλά ένα πολύ καλά καθορισμένο μέτρο σύγκρισης μεταξύ τους.

Το γινόμενο αυτό εφαρμόστηκε ως τιμή στο στόμιο κάθε λεκάνης, έτσι ώστε να δημιουργηθεί ένας 'χάρτης χωρικής κατανομής του πλημμυρικού κινδύνου' για όλη την περιοχή (Εικόνα 10.4). Ο χάρτης αυτός παρουσιάζει τις περιοχές στις οποίες ο κίνδυνος εμφάνισης πλημμυρικών φαινομένων είναι αυξημένος, χωρίς ωστόσο να σημαίνει ότι θα εκδηλωθούν οπωσδήποτε τέτοια φαινόμενα.

Εικόνα 10.4: Χάρτης Πλημμυρικής Επικινδυνότητας

εκδηλωθούν πλημμυρικές απορροές, αλλά ούτε και ότι η εμφάνιση τέτοιων φαινομένων αποκλείεται στις υπόλοιπες θέσεις. Ειδικά στις παράκτιες περιοχές των εκβολών των χειμάρρων Σέλεμνου και Ξυλοκέρα, όπου παρατηρείται περιορισμός της κοίτης της κύριας αύλακας των χειμάρρων και εξαιτίας των ιδιαίτερων γεωμορφολογικών συνθηκών που επικρατούν (Κεφάλαιο 2, §2.3), ένα πλημμυρικό γεγονός θα μπορούσε να πλημμυρίσει την περιοχή εξαιτίας της αδυναμίας των χειμάρρων να παροχετεύσουν και να εκτονώσουν το δυναμικό νερού και στερεού υλικού.

11 ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ ΤΗΣ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΗΣ

Οι ακτογραμμές, σε παγκόσμια κλίμακα, είναι δυναμικές ζώνες αντιπαράθεσης όπου, η ξηρά και το νερό συναντιούνται. Μέσα από την διάβρωση και την δημιουργία, την μεταφορά και την απόθεση ιζήματος, το σχήμα μιας ακτής αλλάζει, συχνά αργά αλλά καμιά φορά απότομα. Οι διαβρωτικές δυνάμεις απομακρύνουν υλικό από την ξηρά, ενώ άλλες δυνάμεις κινούν και μεταφέρουν ιζημα και το οποίο προστίθεται στη ξηρά. Επειδή η αντιπαράθεση λειτουργεί στο διηνεκές, ελάχιστες ακτές επιτυγχάνουν μια πλήρη ισορροπία.

Η περισσότερη διάβρωση κατά μήκος μιας ακτογραμμής επιτυγχάνεται από τα κύματα που κινούνται προς την ξηρά. Η κυματική διάβρωση λαμβάνει χώρα όχι μόνο στη στάθμη της θάλασσας, στην κυματωγή (surf zone) (ζώνη απόσβεσης), αλλά επίσης και χαμηλότερα και στη διάρκεια θυελλών υψηλότερα της στάθμης της θάλασσας. Η περισσότερη διάβρωση περιορίζεται σε μία ζώνη η οποία βρίσκεται μεταξύ 10 m πάνω και 10 m κάτω από τη μέση στάθμη της θάλασσας. Τα ωκεάνια κύματα τυπικά θραύονται σε βάθη τα οποία κυμαίνονται μεταξύ του ύψους του κύματος και 1.5 φορές του ύψους του κύματος. Επειδή σπανίως τα κύματα έχουν ύψος μεγαλύτερο από 6 m, το βάθος ισχυρής διάβρωσης στην κυματωγή μπορεί να περιορίζεται σε 6×1.5 ή 9 m χαμηλότερα από τη στάθμη της θάλασσας. Το θεωρητικό αυτό όριο επιβεβαιώνεται από παρατήρηση των παράκτιων κατασκευών, όπως οι θαλάσσιοι τοίχοι, οι οποίοι μόνο σπάνια επηρεάζονται από τον κυματισμό σε βάθη μεγαλύτερα από 7 m.

Ένας σημαντικό είδος διάβρωσης στη ζώνη κυματωγής είναι η καταπόνηση πετρώματος από κόκκους που μεταφέρουν τα κύματα. Μέσα από την συνεχή τριβή και λείανση με τους κόκκους αυτούς, ο κυματισμός καταπονεί και βαθαίνει τον πυθμένα και κατατρώει την ξηρά. Την ίδια στιγμή, οι κόκκοι γίνονται λείοι και αποστρογγυλωμένοι και μικρότεροι. Επειδή ο κυματισμός είναι ένα δραστικό μέσο, η δραστηριότητα αυτή περιορίζεται σε ένα βάθος μόνο λίγων μέτρων κάτω από τη στάθμη της θάλασσας. Στην πραγματικότητα, ο κυματισμός είναι σαν ένα διαβρωσιγενές πριόνι κόβοντας οριζόντια την χέρσο.

Ίζημα που είτε παράγεται από τα κύματα που κτυπούν πάνω σε μια ακτή, είτε το φέρνουν στη θάλασσα οι ποταμοί, ανακατανέμεται από ρεύματα που κτιίζουν διακριτές αποθέσεις στην ακτογραμμή ή μετακινούν ιζημα προς την πλευρά της θάλασσας πάνω στις ηπειρωτικές υφαλοκρηπίδες. Η μεταφορά του ιζήματος συνοδεύεται από μερικές διαδικασίες που περιλαμβάνουν την παράκτια μεταφορά παράλληλα προς την ακτή και το 'beach drift'.

Τα περισσότερα ιζήματα συναντούν την ακτή υπό γωνία. Η τροχιά ενός κύματος που προσεγγίζει την ακτή μπορεί να αναλυθεί σε δυο συνιστώσες, μία παράλληλη προς την ακτή και μία κάθετη προς αυτήν.

Η κάθετη συνιστώσα παράγει τον θραυσμένο κυματισμό (crushing surf), ενώ η παράλληλη συνιστώσα παράγει ένα παράκτιο επίμηκες ρεύμα (longshore current) μέσα στη ζώνη της κυματωγής που κινείται παράλληλα προς την ακτή. Ενώ ο κυματισμός διαβρώνει ιζημα στην ακτή, το παράκτιο επίμηκες ρεύμα κινεί ιζημα κατά μήκος της παραλίας. Η διεύθυνση των παρακτιών επιμήκων ρευμάτων μπορεί να αλλάζει εποχιακά αν οι διευθύνσεις των επικρατούντων ανέμων αλλάζουν έτσι, δικαιολογώντας αλλαγές στην διεύθυνση των κυμάτων που φθάνουν.

Ταυτόχρονα, πάνω σε μια εκτιθέμενη ακτή τα κύματα που την προσεγγίζουν, παράγουν ένα ακανόνιστο σχήμα της κίνησης του νερού κατά μήκος της ακτής. Επειδή τα κύματα γενικώς θραύονται στην παραλία υπό γωνία, το ρεύμα ανόδου της διαβροχής (swash) ταξιδεύει υπό γωνία προς την παραλία πριν η βαρύτητα έλξει το νερό πίσω προς την ανοιχτή θάλασσα και κάθετα προς την ακτή. Αυτή η zig-zag κίνηση του νερού μεταφέρει άμμο και κροκάλες πρώτα προς τα ανάντη και κατόπιν προς τα κατόντη της παραλίας. Το καθαρό αποτέλεσμα των διαδοχικών αυτών κινήσεων αυτού του τύπου είναι η προοδευτική μεταφορά ιζήματος κατά μήκος της ακτής και ως διαδικασία αναφέρεται ως 'beach drift'. Όσο μεγαλύτερη είναι η γωνία των κυμάτων σε σχέση προς την ακτή, τόσο μεγαλύτερος είναι ο ρυθμός του 'beach drift'. Σημαδεμένες κροκάλες έχουν παρατηρηθεί να μετακινούνται κατά μήκος μιας παραλίας σε ένα ρυθμό περισσότερο από 800 m ανά ημέρα. Όταν ο όγκος της άμμου που κινείται ως 'beach drift' προστίθεται προς αυτόν των παρακτιών επιμήκων ρευμάτων, ο συνολικός όγκος μπορεί να είναι μεγάλος.

Οι παραλίες και οι ακτές βρίσκονται, από την ίδια την φύση τους, σε μια συνεχή αλλαγή. Υπάρχουν καθημερινές αλλαγές που προκαλούνται από τις υψηλές και χαμηλές παλίρροιες, από μηνιαίες αλλαγές λόγω των παλίρροιών συζυγιών και παλίρροιών τετραγωνισμών, εποχιακές αλλαγές σχετικές με τις αλλαγές στα ρεύματα, στη ροή ποταμών, στα φορτία ιζημάτων και εξαιρετικές αλλαγές λόγω των γεγονότων θύελλας, σεισμών, τσουνάμι, κ.ά.

Εντούτοις, παρά όλη την αλλαγή αυτή, οι παραλίες και οι ακτές τείνουν να είναι εκπληκτικά σταθερές κατά τη διάρκεια των μεγάλων περιόδων του χρόνου. Ακόμα κι αν μια παραλία μπορεί να δοκιμάσει τη σημαντική διάβρωση κατά τη διάρκεια μιας θύελλας και η άμμος λόγω της θύελλας μετακινείται για λίγο προς την υποπαρακτια ζώνη, η επόμενη δράση των κυμάτων μπορεί να επιστρέψει τη χαμένη άμμο πίσω στο μέτωπο των παραλιών κατά τη διάρκεια των επόμενων λίγων χρόνων.

Η παράκτια ισορροπία αναφέρεται σε ένα καθεστώς στο οποίο η άμμος και το ιζημα, που κινείται σε μια παράκτια ζώνη, φαίνονται να ισορροπούν με την άμμο και το ιζημα που απομακρύνεται. Οι παραλίες και οι ακτές που είναι σε παράκτια ισορροπία μπορούν να δοκιμάσουν βραχυπρόθεσμες αλλαγές, αλλά μέσα σε μεγάλη κλίμακα χρόνου τα επίπεδα των ιζημάτων και τα προφίλ των παραλιών τείνουν να παραμείνουν σχετικά σταθερά.

Οι παραλίες που δεν είναι στην ισορροπία συνήθως μεταναστεύουν είτε υποχωρώντας (διάβρωση) είτε προελαύνοντας. Οι γεωλόγοι προσπαθούν να επισημάνουν ποιοι παράγοντες μπορεί να διαταράξουν την ισορροπία. Ο συνηθισμένος ένοχος είναι οι σχετικές αλλαγές στα φορτία των ιζημάτων και στη ροή αυτών σε σχέση με τις ανθρώπινες παρεμβάσεις (εμβάθυνση της ποτάμιας άλυσσας, μείωση τη ροής των ποταμών, δόμηση ενός προβόλου, κ.ά.) και περιστασιακά σε φυσικές αιτίες (ολίσθηση στην παρακτίτιας ζώνη που προκαλεί αλλαγές στα παράκτια ρεύματα). Επίσης, υπάρχουν σημαντικοί τοπικοί και παγκόσμιοι παράγοντες που διαταράσσουν την ισορροπία όπως οι ευστατικές αλλαγές και οι ανοδικές και καθοδικές κινήσεις λόγω τεκτονικών αιτίων.

Η παραλίες οι οποίες υποχωρούν ως ευρισκόμενες σε καθεστώς διάβρωσης, εξαιτίας φυσικών ή ανθρωπογενών παρεμβάσεων που αναφέρθηκαν προηγούμενα, απαιτούν την λήψη μέτρων. Τα μέτρα αυτά για την προστασία των ακτών τοποθετούνται σε δύο μεγάλες κατηγορίες: α. στη ‘σκληρή’ σταθεροποίηση (hard stabilization) και β. στη ‘μαλακή’ σταθεροποίηση (soft stabilization). Η πρώτη κατηγορία στηρίζεται σε δομικές κατασκευές και η δεύτερη κατηγορία στηρίζεται σε μη δομικές προσεγγίσεις για την σταθεροποίηση των ακτών. Αναλυτικότερα:

‘Σκληρή’ Σταθεροποίηση: οι δομικές κατασκευές ανήκουν σε δύο τύπους: ο ένας τύπος ‘σπάζει’ την κυματική ενέργεια και ο δεύτερος εμποδίζει την ροή της άμμου κατά μήκος της ακτής. Παράδειγμα του πρώτου τύπου είναι οι θαλάσσιοι τοίχοι (seawall) και οι κυματοθραύστες (breakwater) (Εικόνα 11.1). Οι δομές αυτές, επειδή κατασκευάζονται παράλληλα προς την ακτή, εκτρέπουν την κυματική ενέργεια μακριά από την προστατευμένη ακτή – ιδιοκτησίες. Εντούτοις, οι δομές αυτές προκαλούν στην πράξη επιτάχυνση της απώλειας της παράκτιας άμμου προς την πλευρά της θάλασσας, κάνοντας την παραλία απότομη και στενή μέχρις ότου αυτή καταστραφεί.

Εικόνα 11.1: ‘Σκληρή’ σταθεροποίηση μιας ακτής: θαλάσσιοι τοίχοι και κυματοθραύστες που έχουν δομηθεί παράλληλα προς την ακτογραμμή για να διακοπεί η δύναμη των κυμάτων

Ο δεύτερος τύπος των δομών της ‘σκληρής’ σταθεροποίησης περιλαμβάνει τους προβόλους (groins & jetties) (Εικόνα 11.2). Οι δομές αυτές κατασκευάζονται κάθετα προς στις ακτές και προκαλούν διεύρυνση των προστατευμένων παραλιών παγιδεύοντας άμμο στην πλευρά των προβόλων προς στα ανάντη της διεύθυνσης κίνησης των παρακτίτων επιμήκων ρευμάτων (longshore currents). Εντούτοις, ταυτόχρονα οι πρόβολοι αυτοί μειώνουν τις γειτονικές παραλίες που βρίσκονται ακριβώς δίπλα τους

κατάντη στη διεύθυνση κίνησης των παρακτίων ρευμάτων. Όταν ο ιδιοκτήτης μιας ιδιοκτησίας έχει εγκαταστήσει έναν πρόβολο, οι ιδιοκτήτες των ιδιοκτησιών που βρίσκονται γειτονικά της πρώτης ιδιοκτησίας και κατάντη αυτής σε σχέση με την διεύθυνση κίνησης των παρακτίων ρευμάτων, θα στερηθούν της άμμου που προσφέρουν τα παρακτία ρεύματα και ίσως ωθηθούν να κατασκευάσουν και αυτοί με την σειρά τους ένα πεδίο προβόλων μπροστά στην δική τους παραλία.

Εικόνα 11.2: 'Σκληρή' σταθεροποίηση μιας ακτογραμμής: πρόβολοι τοποθετημένοι κάθετα στην ακτή για να διακοπεί η ροή του ιζήματος με τα παρακτία επιμήκη κύματα

Μαλακή Σταθεροποίηση: αναφέρεται, πρωτίστως, στον εμπλουτισμό της παραλίας με άμμο. Η άμμος παραλαμβάνεται από την υποπαρακτία ζώνη με βαθυκόρο και στέλνεται στην ακτή με τη βοήθεια αγωγών στη μορφή μιας υδαρούς άμμου. Ο εμπλουτισμός με άμμο ή με την χρήση άλλων μεθόδων 'μαλακής' σταθεροποίησης, όπως σταθεροποίηση των αμμοθινών με βλάστηση, θεωρούνται γενικώς ως μια περισσότερο επιθυμητή προσέγγιση από ότι οι δομικές προσεγγίσεις.

Όμως, ο εμπλουτισμός με άμμο έχει υψηλό κόστος και βέβαια κατά περιόδους θα πρέπει ο εμπλουτισμός αυτός να επαναλαμβάνεται. Το σκάψιμο και απόληψη εκατομμυρίων κυβικών μέτρων άμμου μπορεί επίσης να προκαλέσει εκτεταμένη κατάρρευση του οικοσυστήματος της παραλίας. Ορισμένα είδη, όπως η θαλάσσια χελώνα, είναι πολύ ευαίσθητα στις αλλαγές του χαρακτήρα της άμμου. Αν η άμμος είναι πολύ χονδρόκοικη τότε προκαλείται πρόβλημα στο φώλιασμα. Αν η άμμος είναι πολύ σκούρα τότε τα αυγά της χελώνας μπορεί να υπερθερμανθούν και να καταστραφούν στην φωλιά. Επίσης, παραμένει ασαφές σε τι βαθμό αυτός ο εμπλουτισμός θα αντισταθεί σε συνθήκες θυέλλης. Για παράδειγμα, το 1993 το Πολεμικό Σώμα των Μηχανικών των ΗΠΑ βρισκόταν σε διαδικασία αναπλήρωσης με άμμο της παραλίας Folly στην Βόρεια Καρολίνα, όταν χτύπησε ο τυφώνας Andrew (Murck et al., 1996). Σε μια ημέρα, σχεδόν όλη η άμμος που είχε χρησιμοποιηθεί για την αναπλήρωση βρέθηκε στα ρηχά (εσώτερα τμήματα) της υφαλοκρηπίδας.

11.1 Η Διάβρωση των Ακτών στην Ελλάδα

Η Ελλάδα, μαζί με την Πορτογαλία, κατέχει την τέταρτη θέση, με το επίπεδο διάβρωσης των ακτών της να φθάνει το 28.6% σε σχέση με τις άλλες χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Προηγούνται, για διαφορετικούς κατά περίπτωση λόγους, η Πολωνία, η Κύπρος και η Λετονία.

Ο ελλαδικός χώρος, με το πιο εκτεταμένο παραλιακό και νησιωτικό τοπίο (μήκος ακτών περίπου 15200 km), ιδιαίτερα ο νησιωτικός, εμφανίζει σημαντικά προβλήματα που οφείλονται στη συνύπαρξη και αρνητική αλληλεπίδραση φυσικών – περιβαλλοντικών, κυρίως δε ανθρωπογενών παραγόντων, όπως η κατασκευή αστικών, λιμενικών και τουριστικών εγκαταστάσεων και έργων στη ζώνη των ακτών.

Επιπρόσθετα, έχει παρατηρηθεί ότι η κατασκευή μεγάλων φραγμάτων που κατακρατούν στον ταμειωτήρα τους μεγάλες ποσότητες φερτών υλικών, μειώνουν τη στερεοπαροχή στο κατάντη τμήμα και τελικά στο δέλτα των ποταμών και δημιουργούν συνθήκες που ευνοούν τη θαλάσσια διάβρωση. Εξάλλου, κάθε χρόνο γίνεται απόληψη αρκετών εκατομμυρίων τόνων υλικών ως αδρανή υλικά τόσο από τις κοίτες των χειμάρρων, που σε αντίθετη περίπτωση θα κατέληγαν με φυσικές διαδικασίες στην παράκτια ζώνη, όσο και από τις ακτές για να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή μεγάλων τεχνικών έργων και παράκτιων έργων, ώστε να εξυπηρετηθούν οι ανάγκες της πληθυσμιακής πίεσης στις ακτές. Οι φυσικές περιοχές, που είναι σημεία εκτόνωσης για τη δύναμη της θάλασσας, όπως τα δέλτα και οι λιμνοθάλασσες, μειώνονται ποσοτικά με ταχείς ρυθμούς οδεύοντας αναπόφευκτα προς εξαφάνιση, ενώ η παρουσία τους δημιουργεί γεωμορφές (π.χ. αμμοθίνες) που παρέχουν άμεσα και έμμεσα, προστασία στην όπισθεν αυτών ενδοχώρα.

11.2 Διάβρωση – Προέλαση των Ακτών στη ΒΔ/κή Πελοπόννησο

Το φαινόμενο της διάβρωσης – απόθεσης των ακτών στη ΒΔ/κή Πελοπόννησο αφορά το τμήμα της ακτής μεταξύ του στομίου του χείμαρρου Χάραδρου και του άκρου του παράκτιου δυτικού τμήματος του χείμαρρου Βολιναίου. Το τμήμα αυτό χαρακτηρίζει μια πρωτογενή ακτή η οποία παράγεται προσχωσιγενώς από τη ποτάμια δραστηριότητα των χειμάρρων Χάραδρου, Σέλεμνου, Ξυλοκέρα και Βολιναίου. Οι τρεις πρώτοι χείμαρροι λειτουργούν ως ενεργές αύλακες τριών, αντίστοιχα, αλλουβιακών ριπιδίων, ενώ ο τέταρτος λειτουργεί ως ενεργή αύλακα σε ένα αλλουβιακό ριπιδιακό δέλτα.

Ως έχει ήδη εκτεθεί, ο κύριος όγκος του ιζήματος που κινείται στις αύλακες αυτές είναι χονδρόκοκκο υλικό, κυρίως της τάξεως της κροκάλας και του λιθαριού και τις οποίες και επιστρώνει. Το λεπτόκοκκο υλικό της άμμου, του πηλού και της αργίλου έχει ποσοτικά μικρή παρουσία και αποτίθεται στους νησιωτικούς φραγμούς (barrier island) ως κάλυμμα αυτών. Η κύρια ποσότητα του λεπτόκοκκου υλικού, που κατά κανόνα μεταφέρεται μαζί με χονδρόκοκκο υλικό ως υπερσυγκεντρωτική ροή, καταλήγει στην μορφή 'plume' στην παράκτια ζώνη και στην υφαλοκρηπίδα, ενώ ένα μικρό μέρος της άμμου κατανέμεται κατά μήκος της ακτογραμμής με τη δράση των παρακτίων επιμήκων κυμάτων. Είναι, κατά συνέπεια, σαφές ότι το μεγαλύτερο τμήμα της υπό μελέτη ακτής ποιοτικά θα συνίσταται από κροκάλες και δευτερευόντως από άμμο.

11.3 Μεθοδολογία

Για τη μελέτη της εξέλιξης της πορείας της ακτογραμμής στα τελευταία 64 έτη, χρησιμοποιήθηκε σειρά διαγραμμάτων της Γ. Υ. Σ., που καλύπτουν ολόκληρη την παράκτια ζώνη σε κλίμακα 1:5000, καθώς και σειρά αεροφωτογραφιών της περιοχής, λήψεων 1945-2002. Στη συνέχεια, έγινε αξιολόγηση της ποιότητας των αεροφωτογραφιών και των τοπογραφικών διαγραμμάτων, του κατάλληλου χρώματος σάρωσης (ασπρόμαυρο – 1 bit, gray scale – 8 bit, έγχρωμο – 8, 16 ή 24 bit), της κατάλληλης ανάλυσης σάρωσης ανάλογα με τη λεπτομέρεια του σχεδίου (συνήθως μεταξύ 200 και 400 dpi), καθώς και των στοιχείων γεωαναφοράς (π.χ. κάναβος, χαρακτηριστικά σημεία με γνωστές συντεταγμένες) και του συστήματος αναφοράς στο οποίο αναφέρονται αυτά (Hatt).

11.3.1 Σάρωση των Σχεδίων

Με βάση την ανωτέρω αξιολόγηση, σαρώθηκαν τα σχέδια σε σαρωτή μεγάλου μεγέθους με τα χαρακτηριστικά που ήδη έχουν επιλεγεί (ανάλυση, χρώμα) και ανάλογα με την ποιότητα των σχεδίων εφαρμόστηκαν διάφορες τεχνικές και μεθοδολογίες που διαθέτει ο σαρωτής για να επιτευχθεί το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα.

11.3.2 Γεωαναφορά

Η γεωαναφορά (μεταφορά στο επιθυμητό σύστημα συντεταγμένων) πραγματοποιήθηκε μέσω του λογισμικού Autodesk Raster Design και βασίστηκε στην επιλογή κοινών σημείων μεταξύ αεροφωτογραφιών και τοπογραφικού υποβάθρου, ώστε να υπάρχει όσο το δυνατό μεγαλύτερη ταύτιση. Χρησιμοποιήθηκαν 4-15 κοινά σημεία ταύτισης για κάθε αεροφωτογραφία. Τα στοιχεία γεωαναφοράς του αναλογικού σχεδίου μετατράπηκαν από το σύστημα συντεταγμένων Hatt στο σύστημα ΕΓΣΑ '87.

Βάσει των υπολειπομένων σφαλμάτων (residuals) που προκύπτουν για το κάθε σημείο και της αξιολόγησης αυτών, είναι δυνατόν να απορριφθούν σημεία ως μη αποδεικτά και να επαναληφθεί ο μετασχηματισμός. Επίσης, το συνολικό σφάλμα RMS του μετασχηματισμού, επιθυμητό είναι να μην ξεπερνά το $\frac{1}{4}$ του χιλιοστόμετρου επί του σχεδίου (π.χ. για το μετασχηματισμό ενός σχεδίου κλίμακας 1:5000 το σφάλμα δεν πρέπει να υπερβαίνει το 1.25 m δεδομένου ότι ένα χιλιοστόμετρο επί του σχεδίου ισούται με πέντε μέτρα στο έδαφος). Γενικά, η αποδοχή της ακρίβειας του μετασχηματισμού γεωαναφοράς κρίνεται ανάλογα και με την ποιότητα του σχεδίου.

11.3.3 Ψηφιοποίηση

Μετά τη διαδικασία της γεωαναφοράς, τα σαρωμένα σχέδια είναι αρχειοθετημένα σε ψηφιακή μορφή και διαθέσιμα στο επιθυμητό σύστημα αναφοράς σε περιβάλλον CAD (AutoCAD). Εκεί, μέσω των κατάλληλων εργαλείων είναι δυνατή η περαιτέρω αξιοποίηση και ανάλυση αυτών, καθώς και η ψηφιοποίηση διανυσματικών χαρακτηριστικών απ' αυτών, αν αυτό απαιτείται.

Από κάθε αεροφωτογραφία, με τις διορθωμένες πλέον διαστάσεις και με επιλεγμένο φαινομενικό μέγεθος, πραγματοποιήθηκε η ιχνογράφηση της ακτογραμμής για όλες τις λήψεις.

Με τη μεθοδολογία της αποτύπωσης της πορείας της ακτογραμμής στις διάφορες χρονολογίες, κατέστη εφικτή η σύγκριση των μεταβολών στη διάρκεια του χρόνου, η μετακίνηση προς συγκεκριμένες κατευθύνσεις, η μέτρηση των μετακινήσεων αυτών. Παρακάτω περιγράφονται τα αποτελέσματα της σύγκρισης των μεταβολών της ακτογραμμής, με ιδιαίτερη έμφαση σε θέσεις που οι μεταβολές αυτές είναι σημαντικές.

11.4 Διαχρονικές Μεταβολές της Ακτογραμμής

11.4.1 Παρατηρήσεις Πεδίου

Οι παρατηρήσεις πεδίου έγιναν κατά μήκος της υπό μελέτη ακτής (συμπεριλαμβανομένου και του τμήματος στις εκβολές του χείμαρρου Χάραδρου, δυτικά του χείμαρρου Σέλεμνου). Η ακτή χωρίστηκε σε επιμέρους τμήματα με βάση το γεωυλικό που απαντά σε αυτήν, την παρουσία ή απουσία λιμενικών ή άλλων εγκαταστάσεων, την κατασκευή έργων οδοποιίας, την παρουσία ή απουσία προβόλων και τη θέση εμφάνισης των ενεργών στομιών των χείμαρρων και των ιχνών παλαιών στομιών (Εικόνα 11.3).

Εικόνα 11.3: Θέσεις μελέτης κατά μήκος της ακτογραμμής

Θέση 1 (Στόμιο Χάραδρου – Εξέδρες κολύμβησης Ξενοδοχείου Achaia Beach): Στο στόμιο του Χάραδρου παρατηρείται σχηματισμός ενός λοβωτού δέλτα, η βάση του οποίου έχει ένα μήκος 200 m

και η κάθε πλευρά του 150 m. Αμέσως μετά το δελταϊκό λοβό ακολουθεί μια παράκτια ζώνη με μια παραλία σε σχήμα μιας εγκολπώσεως, περιορισμένου εύρους, της τάξεως των 10 περίπου m και μήκους περίπου 60 m, η οποία τελειώνει λίγο πριν των δύο μικρών εξεδρών κολύμβησης του Ξενοδοχείου Achaia Beach και συνίσταται από ψηφιδούχο άμμο (granule sand). Από το σχήμα της και το γεγονός της άμεσης σύνδεσής της με την επόμενη ζώνη που είναι προσχωματική, δηλώνει θέση διάβρωσης (Εικόνα 11.4α). Στο τέλος της προηγούμενης ζώνης και μέχρι την πρώτη εξέδρα κολύμβησης παρατηρείται πρόσχωση σε μια ορθογώνια τριγωνική μορφή με σύσταση ψηφιδούχου άμμου (granule sand). Η υποτεινούσα του τριγώνου που διαβρέχεται από τη θάλασσα έχει μήκος 110 m, ενώ η πλευρά του τριγώνου προ του ξενοδοχειακού συγκροτήματος έχει μήκος 115 m. Η άλλη πλευρά έχει το μήκος της κατασκευής και είναι περίπου 60 m. Επίσης, μεταξύ των εξεδρών απαντά μια ζώνη απόθεσης μήκους 100 m και πλάτους 30 m με σύσταση ψηφιδούχου άμμου (granule sand). Αμέσως μετά την δεύτερη εξέδρα, απαντά επίσης πρόσχωση με σύσταση ψηφιδούχου άμμου (granule sand) σε σχήμα ορθογωνίου τριγώνου, του οποίου η υποτεινούσα, η οποία διαβρέχεται από τη θάλασσα, έχει μήκος 80 m, ενώ η μία κάθετη πλευρά του έχει μήκος 30 m που αντιστοιχεί στο ήμισυ της κατασκευής. Η άλλη πλευρά έχει μήκος 60 m (Εικόνα 11.4β-δ).

Εικόνα 11.4: (α) Παραλία, σε σχήμα εγκολπώσεως, με καθεστώς διάβρωσης, (β) Ζώνη προέλασης μέχρι την πρώτη εξέδρα κολύμβησης του Ξενοδοχείου Achaia Beach, (γ) Ζώνη προέλασης μεταξύ της πρώτης και δεύτερης εξέδρας κολύμβησης του Ξενοδοχείου Achaia Beach, (δ) Ζώνη προέλασης μετά την δεύτερη εξέδρα κολύμβησης του Ξενοδοχείου Achaia Beach

Θέση 2 (Ξενοδοχειακό συγκρότημα Achaia Beach – Ξενοδοχειακό συγκρότημα Porto Rio): Μετά το Ξενοδοχειακό συγκρότημα Achaia Beach και αμέσως μετά την τελευταία πρόσκωση ακολουθεί μια παράκτια ζώνη 650 m, με ένα εύρος που κυμαίνεται μεταξύ 4 και 6 m και σύσταση ψηφιδούχου άμμου (granule sand). Κατά μήκος της ζώνης αυτής είναι σαφής η έντονη διάβρωση από την παρουσία περιφράξεων που έχουν καταστραφεί (Εικόνα 11.5α). Το τελικό άκρο αυτής της ζώνης ακολουθεί εκ νέου μία ζώνη πρόσκωσης μπροστά από το ξενοδοχειακό συγκρότημα Porto Rio (Εικόνα 11.5β). Η ζώνη αυτή αναπτύσσεται εκατέρωθεν της κολυμβητικής εξέδρας του Ξενοδοχείου και συγκροτείται από δύο επιμέρους τριγωνικούς προσκωσιγενείς σχηματισμούς με σύσταση ψηφιδούχου άμμου (granule sand). Ο πρώτος, ως συνέχεια της τελευταίας στενής ζώνης, έχει δυο πλευρές με μήκος περίπου 200 m για κάθε πλευρά, ενώ την τρίτη πλευρά συνιστά η κολυμβητική εξέδρα μήκους 60 m. Ο άλλος σχηματισμός έχει δυο πλευρές που η κάθε μία έχει ένα μήκος 100 m και η τρίτη πλευρά είναι, όπως προαναφέρθηκε, η κολυμβητική εξέδρα.

Εικόνα 11.5: Ζώνη έντονης διάβρωσης η οποία είναι σαφής από την παρουσία περιφράξεων που έχουν καταστραφεί κατά μήκος αυτής, αμέσως μετά το Ξενοδοχειακό συγκρότημα Achaia Beach, (β) Ζώνη προέλασης μπροστά από το ξενοδοχειακό συγκρότημα Porto Rio

Θέση 3 (Ξενοδοχειακό συγκρότημα Porto Rio – Κάστρο Ρίου): Από το Ξενοδοχειακό συγκρότημα Porto Rio και ειδικότερα από το τελικό άκρο της προαναφερθείσας πρόσκωσης που απαντά μπροστά από αυτό και για μία απόσταση επί της ακτής 800 m περίπου, μέρος της παλαιάς αμμώδους παραλίας έχει ασφαλτοστρωθεί, ενώ το προς τη θάλασσα υπόλοιπο αυτής πρακτικά απουσιάζει. Τα πρώτα 220 m της ασφαλτόστρωσης έχουν καταστραφεί πλήρως λόγω έντονης διάβρωσης (Εικόνα 11.6α). Συνέχεια της ασφαλτόστρωσης και επί της παράκτιας ζώνης και σε ένα μήκος 450 m έχει κατασκευαστεί η δυτική προβλήτα των Ferry boats Ρίου – Αντίρριου. Από το τέλος της προβλήτας και μέχρι το προς τη θάλασσα ακραίο σημείο του φρουριού, δηλαδή για ένα μήκος περίπου 230 m, απαντά μια σχετικά ευρεία παράκτια ζώνη πλάτους 25 m και χαρακτηρίζεται από την παρουσία μιας παραλίας με εύρος 5 m και με σύσταση κροκαλών (pebbles) και λιθαριών (cobbles), με μικρή παρουσία τροχμάλων (boulder) (Εικόνα 11.6β).

Εικόνα 11.6: (α) Ζώνη έντονης διάβρωσης μετά το ξενοδοχειακό συγκρότημα Porto Rio, (β) Παράκτια ζώνη, σχετικά ευρεία, που απαντά μετά το τέλος της δυτικής προβλήτας και μέχρι το προς τη θάλασσα ακραίο σημείο της

Θέση 4 (Κάστρο Ρίου – Στόμιο χείμαρρου Σέλεμνου): Από το προς τη θάλασσα ακραίο σημείο του φρουρίου και για μια απόσταση 170 m απαντά μία σχετικά ευρεία παράκτια ζώνη πλάτους 25 m και χαρακτηρίζεται από την παρουσία μιας παραλίας με εύρος 5 m και με σύσταση κροκαλών (pebbles) και λιθαριών (cobble), με μικρή παρουσία τροχμάλων (boulder) (Εικόνα 11.7). Ακολουθεί το τοιχίο του Κάστρου για μία απόσταση περίπου 200 m που διαβρέχεται απευθείας από τη θάλασσα. Από το πέρας του τοιχίου αυτού αρχίζει η ανατολική προβλήτα των Ferry boats Ρίου – Αντίρριου που εκτείνεται σε ένα μήκος 600 m. Μετά την προβλήτα ακολουθεί το αγκυροβόλιο των Ferry boats, σε ένα μήκος 250 m, κατά μήκος του οποίου υπάρχει μόνο ασφαλτόστρωση. Μεταξύ του τέλους του αγκυροβολίου και του άκρου του αγωγού τροφοδοσίας της εταιρείας της Shell, παρατηρείται ελαφρά πρόσχωση μήκους 100 m και πλάτους από 10 μέχρι 25 m, πιθανά ανθρωπογενούς γένεσης, με σύσταση λεπτόκοκκης κροκάλας, ψηφίδας και άμμου (fine pebbly/granule/sand). Από τον αγωγό της Shell και μέχρι το στόμιο του χείμαρρου Σέλεμνου, η παράκτια ζώνη με μήκος 70 m αποκτά ένα μικρότερο πλάτος περίπου 12 m με σύσταση ανάλογη με την προηγούμενη ζώνη και είναι, ίσως, ανθρωπογενούς γένεσης.

Εικόνα 11.7: Παράκτια ζώνη, σχετικά ευρεία, που απαντά από το προς τη θάλασσα ακραίο σημείο του Κάστρου μέχρι το μέσο του ανατολικού του τοιχίου

Θέση 5 (Στόμιο χείμαρρου Σέλεμνου – Στόμιο χείμαρρου Ξυλοκέρα): Δίπλα ακριβώς από το στόμιο του χείμαρρου Σέλεμνου και ανατολικά του απαντά μικρή προβλήτα 20x20 m της εταιρείας τσιμέντου ΤΙΤΑΝ και ακολουθεί μια παράκτια ζώνη πρόσχωσης, τριγωνικού σχήματος, με σύσταση λεπτόκοκκης κροκάλας, ψηφίδας και άμμου (fine pebbly/granule/sand). Η πλευρά της ζώνης αυτής που διαβρέχεται από τη θάλασσα έχει μήκος 150 m, ενώ η πλευρά της προς το εργοστάσιο ΤΙΤΑΝ έχει μήκος 130 m. Η τρίτη πλευρά που εφάπτεται της προβλήτας έχει μήκος 50 m. Ακολουθεί μία νέα πρόσχωση τριγωνικού ισοσκελούς σχήματος με τις δυο πλευρές να έχουν η κάθε μία μήκος 130 m, ενώ η βάση του τριγώνου που διαβρέχεται από την θάλασσα έχει μήκος 200 m και το μέγιστο εύρος της πρόσχωσης είναι 35 m με σύσταση ανάλογη με αυτή της προηγούμενης ζώνης. Μετά την προηγούμενη πρόσχωση, σημειώνεται η παρουσία μιας παράκτιας ζώνης με ένα πολύ ασθενές τριγωνικό σχήμα ανάλογης σύστασης με τις προηγούμενες ζώνες πρόσχωσης που εκτείνεται μέχρι το στόμιο του ποταμού Ξυλοκέρα. Παρατηρήθηκε στη ζώνη αυτή βαθμιαία αύξηση της χονδρόκοκκης κροκάλας (coarse pebble) προς το στόμιο του χείμαρρου. Το μήκος της ζώνης φθάνει περίπου τα 200 m, ενώ το πλάτος της κυμαίνεται από 15 m μέχρι και 25 m.

Θέση 6 (Στόμιο χείμαρρου Ξυλοκέρα – Κάβος Χαρίλενας): Ο χείμαρρος Ξυλοκέρας παράγει ένα λοβωτό δέλτα πολύ μικρό διαστάσεων, με μία βάση μήκους 150 m και πλευρές μήκους 80 m. Μετά το δέλτα, η ακτογραμμή, σε ένα μήκος 500 m, χαρακτηρίζεται πρακτικά από την απουσία μιας παραλίας στη θέση της οποίας, όμως, απαντά κρηπίδωμα το οποίο ακολουθείται από ασφαλτόστρωση. Ακολουθεί η παρουσία μιας παραλίας μήκους 100 m, με κυμαινόμενο πλάτος από 7 μέχρι 12 m, η οποία φαίνεται να έχει παραχθεί τεχνητά και η οποία υφίσταται διάβρωση (Εικόνα 11.8α). Ακολουθεί η παραλία Περιβολάκια μήκους 500 m με ένα εύρος περίπου 15 m. Η παραλία αυτή έχει σύσταση κροκάλα/λιθάρι (pebble/cobble) με μικρή παρουσία τροχμάλου (boulder) και κατόπιν, μέχρι τον Κάβο της Χαρίλενας και σε μήκος επίσης 500 m περιορίζεται σε ένα εύρος λιγότερο από 5 m, με σύσταση κροκαλώδη/ψηφιδούχο άμμο (pebbly/granule sand). Στα τελευταία αυτά 500 m, δείχνει έντονη διάβρωση με καταστροφή της ασφαλτοστρωμένης οδού που υπέρκειται της παραλίας (Εικόνα 11.8β-γ).

(συνέχεια)

Εικόνα 11.8: (α) Παραλία που δείχνει έντονα τα φαινόμενα διάβρωσης σε μια απόσταση 500 m από το στόμιο του χειμάρρου Ξυλοκέρα με κατεύθυνση προς την παραλία Περιβολάκια, (β) Καταστροφή της ασφαλτοστρωμένης οδού, πλησίον του Κάβου της Χαρίλενας, που υπέρκειται της παραλίας, (γ) Παραλία στα τελευταία 500 m πριν από τον Κάβο της Χαρίλενας που δείχνει έντονη διάβρωση

Θέση 7 (Κάβος Χαρίλενας – Πράσινα Λιμανάκια): Από τη θέση Κάβος Χαρίλενας ξεκινά η ακτή του Αγίου Βασιλείου και μέχρι τα Πράσινα Λιμανάκια η ακτή αυτή έχει μήκος περίπου 1280 m. Στα πρώτα 300 m απαντά μία παραλία με το εύρος της να κυμαίνεται μεταξύ 5 και 14 m με σύσταση κροκάλας (pebble) (Εικόνα 11.9α). Ακολουθεί μία κρασπέδωση για ένα μήκος 500 m με απουσία, πρακτικά, παραλίας (Εικόνα 11.9β) και κατόπιν σε ένα μήκος 150 m και μέχρι τη θέση Πράσινα Λιμανάκια απαντά μία παραλία με εύρος μικρότερο από 3 m, έχουσα σύσταση κροκάλα/λιθάρι (pebble/cobble) (Εικόνα 11.9γ). Η συνολική αυτή απόσταση των 650 m χαρακτηρίζεται από έντονη διάβρωση. Στη θέση Πράσινα Λιμανάκια αναπτύσσεται μία παραλία μήκους 300 m με ένα αυξημένο εύρος, σε σχέση προς το προηγούμενο τμήμα διάβρωσης της ακτής, της τάξεως των 8 m. Η παραλία αυτή έχει σύσταση κροκάλα/λιθάρι (pebble/cobble) με μικρή παρουσία τροχμάλου (boulder) πλησίον του στομίου του χειμάρρου Πανόρμου. Δείχνει την εικόνα ισχυρής εγκόλπωσης και φαίνεται να είναι και αυτή μία ζώνη διάβρωσης (Εικόνα 11.9δ).

(συνέχεια)

Εικόνα 11.9: (α) Η παραλία του Αγίου Βασιλείου αμέσως μετά τον Κάβο της Χαρίλενας, (β) Κρασπέδωση για ένα μήκος 500 m με απουσία, πρακτικά, παραλίας εξαιτίας της διάβρωσης μετά την παραλία του Αγίου Βασιλείου, (γ) Παραλία από την κρασπέδωση του Αγίου Βασιλείου μέχρι τη θέση Πράσινα Λιμανάκια που δείχνει φαινόμενα διάβρωσης, (δ) Παραλία στη θέση Πράσινα Λιμανάκια και πλησίον του στομίου του χείμαρρου Πάνορμου που δείχνει ισχυρή εγκόλπωση και είναι ζώνη διάβρωσης

Θέση 8 (Πράσινα Λιμανάκια – Πράσινα Λιβαδάκια): Η ακτή μεταξύ χείμαρρου Πανόρμου και Πράσινα Λιβαδάκια έχει μήκος 1 km και χαρακτηρίζεται από έναν αριθμό προβόλων (περίπου 14), ενώ η υπάρχουσα παραλία έχει ένα περιορισμένο εύρος που δεν ξεπερνά τα 3 m ή και απουσιάζει, εκτός από τις θέσεις των προβόλων όπου σε κάποιους από αυτούς παρατηρείται πρόσχωση και δημιουργία μικρού μήκους παραλία με εύρος μεταξύ 5 και 10 m με σύσταση κροκάλα/λιθάρι (pebble/cobble) και με μικρή παρουσία τροχμάλου (boulder) (Εικόνα 11.10). Η θέση αυτή είναι σε καθεστώς διάβρωσης.

Εικόνα 11.10: Παραλία μεταξύ του χείμαρρου Πανόρμου και τα Πράσινα Λιβαδάκια με παρουσία τοιχίων αντιστήριξης, προβόλων και μικρού μεγέθους προσχώσεων (καθεστώς διάβρωσης)

Θέση 9 (Πράσινα Λιβαδάκια – Εργοστάσιο ΤΙΤΑΝ): Το μήκος της ακτής που αντιστοιχεί στη θέση 9 είναι 1350 m. Στα πρώτα 280 m η παρουσία τεσσάρων προβόλων δημιουργεί παραλία με ένα εύρος που κυμαίνεται από 3 μέχρι 5 m μεταξύ του πρώτου και του δεύτερου προβόλου, καθώς και μεταξύ του τρίτου και τέταρτου προβόλου. Μεταξύ του δεύτερου και τρίτου προβόλου απουσιάζει η παραλία (Εικόνα 11.11α). Η σύσταση είναι κροκάλα/λιθάρι (pebble/cobble). Κατά μήκος της ακτής που καλύπτει τις θέσεις των τεσσάρων προβόλων απαντά έντονη διάβρωση (Εικόνα 11.11β-γ). Στα επόμενα 490 m η παραλία έχει ένα εύρος μικρότερο των 4 m με σύσταση κροκάλα/λιθάρι (pebble/cobble) και

παρουσία διάβρωσης, ενώ στα πρώτα 70 m απουσιάζει η παραλία και υπάρχει απόρριψη μπαζών (Εικόνα 11.11δ). Οι δύο αυτές παραλίες αποτελούν μέρος προϋπάρχουσας παραλίας, τμήμα της οποίας έχει ασφαλτοστρωθεί. Ακολουθεί μία μικρή μαρίνα των Αραχωβίτικων με μια τεχνητή πρόσχωση μήκους περίπου 80 m και κατόπιν, στα επόμενα 250 m, υπάρχει λιθορροπή. Από την προηγούμενη λιθορροπή μέχρι και το άκρο της προβλήτας του εργοστασίου ΤΙΤΑΝ και σε ένα μήκος 250 m, απαντά μία παραλία με εύρος από 5 μέχρι 6 m με σύσταση κροκάλα/λιθάρι (pebble/cobble).

Εικόνα 11.11: (α) Απουσία παραλίας μεταξύ των προβόλων στη θέση Πράσινα Λιβαδάκια, (β, γ) Υποτυπώδεις παραλίες μεταξύ των προβόλων στη θέση Πράσινα Λιβαδάκια, (δ) Παραλία των Αραχωβίτικων με παρουσία μπαζών τα οποία πληρούν τη ζώνη διάβρωσης

Θέση 10 (Εργοστάσιο ΤΙΤΑΝ – Γεωμορφή τύπου ‘Spit’): Αμέσως μετά το εργοστάσιο ΤΙΤΑΝ παρατηρείται η παρουσία μιας γεωμορφής τύπου ‘Spit’. Η περίπου τριγωνική στο σχήμα βάση της γεωμορφής έχει τις δύο πλευρές που βρέχονται από τη θάλασσα να έχουν μήκος 300 και 250 m αντίστοιχα και την τρίτη πλευρά 400 m. Η προεκβολή της γεωμορφής έχει μήκος 400 m. Το πλάτος της παραλίας στην ανατολική πλευρά κυμαίνεται από 20 μέχρι 25 m, ενώ στην δυτική πλευρά το πλάτος της παραλίας είναι μικρότερο και κυμαίνεται από 6 μέχρι 15 m. Στη θέση 10 απαντά ως σύσταση το σύστημα άμμος/κροκάλα (sand/pebble).

Θέση 11 (Γεωμορφή τύπου ‘Spit’ – Στόμιο ποταμού Βολιναίου): Η παράκτια ζώνη στη θέση αυτή έχει μήκος περίπου 1400 m. Από το στόμιο του ποταμού προς τη γεωμορφή ‘Spit’ και σε μια απόσταση 400

m αναπτύσσεται μία παραλία με εύρος 10 m, η οποία συνίσταται από κροκάλα/λιθάρι (pebble/cobble) και δείχνει μικρή παρουσία τρόχμαλου (boulder) και ακόμη μικρότερη παρουσία άμμου (sand). Μετά την παραλία αυτή, ακολουθεί ευρεία παράκτια ζώνη μήκους 250 m της οποίας το πλάτος κυμαίνεται μεταξύ 20 και 35 m. Στη ζώνη αυτή απαντά μια παραλία με ένα εύρος που κυμαίνεται μεταξύ 7 και 15 m και η οποία συνίσταται από κροκάλα/λιθάρι (pebble/cobble). Από το πέρας της προηγούμενης ευρείας ζώνης και σε μια απόσταση 130 m, η παράκτια ζώνη περιορίζεται σε μία ζώνη πλάτους 20 m πάνω στην οποία απαντά μία παραλία εύρους 6 m με σύσταση κροκάλα/λιθάρι (pebble/cobble). Από το τέλος της ζώνης αυτής και σε μία απόσταση 150 m απαντά μία παραλία με ένα εύρος που κυμαίνεται μεταξύ 3 και 7 m, με σύσταση κροκάλα/λιθάρι (pebble/cobble) και ακολουθεί μια παραλία μήκους 450 m με ανάλογη σύσταση, αλλά με ένα μικρότερο εύρος που κυμαίνεται μεταξύ 3 και 5 m. Στα τελευταία 100 m της τελευταίας αυτής παραλίας παρατηρείται η πλήρης καταστροφή της υπάρχουσας ασφαλτόστρωσης, η οποία επέτρεπε την διέλευση οχημάτων προς τον φάρο που είναι εγκαταστημένος στη γεωμορφή 'Spit' (Εικόνα 11.12).

Εικόνα 11.12: Καταστροφή της υπάρχουσας ασφαλτόστρωσης στην παραλία που οδηγεί προς στον φάρο που είναι εγκαταστημένος στη γεωμορφή 'Spit'

Θέση 12 (Στόμιο χείμαρρου Βολιναίου – Προβλήτα Ψαθοπύργου): Η ακτογραμμή στη θέση αυτή έχει μήκος περίπου 920 m. Από το στόμιο του χείμαρρου και προς την πλευρά του Ψαθοπύργου και σε μία απόσταση 200 m, απαντά μία παραλία με ένα εύρος 8 m. Η παραλία αυτή έχει σύσταση κροκάλα/λιθάρι (pebble/cobble) και δείχνει μικρή παρουσία τρόχμαλου (boulder) και άμμου (sand). Μετά την προηγούμενη παραλία, η ακτογραμμή ακολουθεί μια ασθενή εγκόλπωση επί της οποίας αναπτύσσεται μία παραλία μήκους 120 m. Αυτή η παραλία έχει μικρότερο εύρος που κυμαίνεται μεταξύ 2 και 4 m και σύσταση κροκάλα/λιθάρι (pebble/cobble). Ακολουθεί, μέχρι το βόρειο άκρο της προβλήτας του Ψαθοπύργου, παραλία μήκους 600 m, η οποία έχει κυμαινόμενο πλάτος μεταξύ 3 και 10 m και δείχνει σύσταση λιθαρριού (cobble) και δευτερευόντως κροκάλας (pebble) και τρόχμαλου (boulder), ενώ απουσιάζει η άμμος.

11.4.2 Μεταβολές της Ακτογραμμής με Βάση τη Σύγκριση Αεροφωτογραφιών Διαφορετικών Λήψεων

Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζονται οι μεταβολές που υπέστη η ακτογραμμή της περιοχής έρευνας από το έτος 1945 μέχρι σήμερα. Για το σκοπό αυτό, αποτυπώθηκε η ακτογραμμή με τη χρήση αεροφωτογραφιών ετών λήψης 1945 και 2002 και έγινε προσπάθεια ερμηνείας των παρατηρούμενων μεταβολών. Για την επίτευξη της καταγραφής αυτής λήφθηκαν υπόψη οι εργασίες των Wundt (1949), Leopold (1973), Lewin & Manton (1975), Mangelsdorf et al. (1989), Hooke & Redmond (1992), Macklin et al. (1992), Lajczak (1995), Mosselmann et al (1995), Christopoulos (1998), Knighton (1998) και Καρκιάνας (2006).

Θέση 1: Η παραλία πριν από τις κολυμβητικές εξέδρες του ξενοδοχείου Achaia Beach δείχνει μια διάβρωση της τάξεως των 5 m περίπου. Από το τέλος της ζώνης μέχρι την πρώτη κολυμβητική εξέδρα παρατηρείται ζώνη πρόσχωσης με μέγιστο πρόσχωσης 20 m. Μεταξύ της πρώτης και της δεύτερης κολυμβητικής εξέδρας παρατηρείται μία ζώνη πρόσχωσης μέγιστου πλάτους 6 m. Αμέσως μετά τη δεύτερη κολυμβητική εξέδρα υπάρχει μια ακόμη ζώνη πρόσχωσης μέγιστου πλάτους 20 m (Εικόνα 11.13).

Θέση 2: Από το τέλος της πρόσχωσης και στα επόμενα 650 m παρατηρείται μια ζώνη διάβρωσης. Η ζώνη αυτή στα πρώτα 550 m έχει ένα πλάτος διάβρωσης 5 m περίπου, ενώ στα επόμενα 100 m το πλάτος της διάβρωσης φθάνει τα 22 m. Στο τέλος της ζώνης διάβρωσης ακολουθεί μία ζώνη πρόσχωσης μέχρι την κολυμβητική εξέδρα του Ξενοδοχείου Porto Rio. Το μέγιστο πλάτος της ζώνης φθάνει τα 42 m. Αμέσως μετά την κολυμβητική εξέδρα ακολουθεί ζώνη πρόσχωσης με μέγιστο πλάτος, δίπλα ακριβώς στην κολυμβητική εξέδρα, προς τάξης των 7 m, ενώ στο μεγαλύτερο μέρος της η παρατηρούμενη πρόσχωση περιορίζεται σε ένα πλάτος 2.5 m (Εικόνα 11.13).

Θέση 3: Στο τέλος της προηγούμενης ζώνης πρόσχωσης ακολουθεί μια ζώνη διάβρωσης σε ένα μήκος 800 m, με πλάτος διάβρωσης που ξεκινά με ένα ελάχιστο 2.5 m, φθάνει σε μία μέγιστη τιμή των 15 m περίπου και προς το τέλος της ζώνης το πλάτος μειώνεται εκ νέου σε 2.5 m. Μετά τη ζώνη διάβρωσης εμφανίζεται μια, φαινομενικά, ζώνη πρόσχωσης σχεδόν μέχρι το προς τη θάλασσα άκρο του Κάστρου του Ρίου, που στη πραγματικότητα δεν αντιστοιχεί σε προέλαση, αλλά στην κατασκευή και παρουσία της δυτικής προβλήτας των Ferry boats Ρίου – Αντίρριου. Από το άκρο της προβλήτας μέχρι το προς τη θάλασσα άκρο του Κάστρου του Ρίου, εναλλάσσονται ζώνες προέλασης και διάβρωσης. Η πρώτη ζώνη είναι ζώνη προέλασης με μήκος 100 m και μέγιστο πλάτος 6 m. Η επόμενη ζώνη είναι ζώνη διάβρωσης με μήκος 140 m και μέγιστου πλάτους 20 m. Η τρίτη ζώνη είναι ζώνη προέλασης με μήκος 105 m και μέγιστο πλάτος 36 m. Η τελευταία ζώνη διάβρωσης έχει μήκος 47 m και πλάτος 30 m (Εικόνα 11.13).

Εικόνα 11.13: Απεικόνιση της μεταβολής της ακτογραμμής κατά το 2002 σε σχέση με το 1945

Θέση 4: Από το προς τη θάλασσα ακραίο σημείο του φρουρίου και για μια απόσταση 170 m, απαντά μία σχετικά ευρεία ζώνη πρόσχωσης με μέγιστο πλάτος 25 m. Η ανατολική προβλήτα των Ferry boats Πλου – Αντίρριου που ακολουθεί και εκτείνεται σε ένα μήκος 600 m, φαινομενικά εμφανίζεται ως χώρος πρόσχωσης, ενώ πρόκειται για ανθρώπινη κατασκευή, ενώ το αγκυροβόλιο των Ferry Boats που ακολουθεί και για μια απόσταση 250 m εμφανίζεται ως ζώνη διάβρωσης πλάτους 10 m. Μεταξύ του αγκυροβολίου των Ferry boats και του αγωγού προς Shell εμφανίζεται μια ζώνη πρόσχωσης με μέγιστο πλάτος 5 m που, όπως έχει προαναφερθεί, είναι μάλλον ανθρωπογενούς παρέμβασης. Μετά τον αγωγό της Shell και μέχρι το στόμιο του χείμαρρου Σέλεμνου και σε ένα μήκος 70 m, εμφανίζεται ζώνη απόθεσης που, όπως έχει προαναφερθεί, είναι μάλλον ανθρωπογενούς παρέμβασης (Εικόνα 11.13).

Θέση 5: Από το στόμιο του χείμαρρου Σέλεμνου προς το στόμιο του χείμαρρου Ξυλοκέρα απαντά μια ζώνη πρόσχωσης μήκους 400 m, με πλάτος επαύξησης μεταξύ 5 και 10 m, ενώ ακολουθεί μια ζώνη διάβρωσης μέχρι το στόμιο του χείμαρρου Ξυλοκέρα με μέγιστο πλάτος διάβρωσης 20 m (Εικόνα 11.14).

Θέση 6: Στο στόμιο του, ο χείμαρρος Ξυλοκέρας έχει προεκτείνει την αύλακά του κατά 27 m και έχει παράγει ένα λοβωτό δέλτα, όπως έχει προαναφερθεί. Μετά το δέλτα, η ακτογραμμή σε μήκος 500 m χαρακτηρίζεται από μία ζώνη διάβρωσης με πλάτος που κυμαίνεται από 10 μέχρι 45 m. Ακολουθεί η παρουσία μιας παραλίας μήκους 100 m με ζώνη πρόσχωσης πλάτους 10 m, η οποία φαίνεται να έχει παραχθεί τεχνητά και η οποία υφίσταται διάβρωση. Ακολουθεί η παραλία Περιβολάνια μήκους 500 m που χαρακτηρίζεται από μια ζώνη διάβρωσης με εύρος που κυμαίνεται από 3 μέχρι 22 m και κατόπιν η παραλία αυτή, μέχρι τον Κάβο Χαρίλενας και σε μήκος επίσης 500 m, δείχνει μία ζώνη διάβρωσης με εύρος που κυμαίνεται από 5 μέχρι 22 m (Εικόνα 11.14).

Θέση 7: Από τη θέση Κάβος Χαρίλενας ξεκινά η ακτή του Αγίου Βασιλείου και μέχρι τα Πράσινα Λιμανάκια η ακτή αυτή έχει μήκος περίπου 1280 m. Στα πρώτα 300 m απαντά μια ζώνη πρόσχωσης με εύρος 25 m. Ακολουθεί μια ζώνη διάβρωσης σε ένα μήκος 850 m, με μέγιστο εύρος 22 m και κατόπιν σε ένα μήκος 130 m και μέχρι του στομίου του χείμαρρου Πανόρμου, μια ζώνη πρόσχωσης πλάτους περίπου 3 m (Εικόνα 11.14).

Θέση 8: Η ακτή μεταξύ του χείμαρρου Πανόρμου και Πράσινα Λιβαδάκια έχει μήκος 1 km και χαρακτηρίζεται από μία ζώνη διάβρωσης που έχει μέγιστο πλάτος 22 m (Εικόνα 11.14).

Θέση 9: Το μήκος της ακτής που αντιστοιχεί στη θέση 9 είναι 1350 m. Στα πρώτα 400 m απαντά μια ζώνη διάβρωσης με μέγιστο πλάτος της τάξεως των 16 m και ακολουθεί μία ζώνη προέλασης με πλάτος 6 m για μια απόσταση 130 m. Κατόπιν, ακολουθεί μια ζώνη διάβρωσης για μήκος 230 m με μέγιστο εύρος της τάξεως των 4 m. Ακολουθεί η ζώνη της μαρίνας μήκους 80 m, που όμως εμφανίζεται ψευδώς ως ζώνη προέλασης, αφού στη πράξη είναι προϊόν ανθρωπογενούς παρέμβασης. Μετά τη λιμενική δομή και σε μήκος 250 m, υπάρχει επίσης ψευδώς ζώνη προέλασης, αφού εκεί έχει κατασκευαστεί λιθορροπή

για τη λιμενική δομή. Στα τελευταία 250 m της θέσης αυτής παρατηρείται ζώνη προέλασης με μέγιστο εύρος της τάξεως των 16 m (Εικόνα 11.15).

Εικόνα 11.14: Απεικόνιση της μεταβολής της ακτογραμμής κατά το 2002 σε σχέση με το 1945

Εικόνα 11.15: Απεικόνιση της μεταβολής της ακτογραμμής κατά το 2002 σε σχέση με το 1945

Θέση 10: Η δυτική πλευρά της προεκβολής της γεωμορφής 'Spit' δείχνει μια ζώνη προέλασης με μέγιστο πλάτος της τάξεως των 20 m, ενώ η ανατολική πλευρά δείχνει διάβρωση με μέγιστο πλάτος της τάξεως των 10 m (Εικόνα 11.15).

Θέση 11: Η ακτογραμμή μεταξύ της γεωμορφής τύπου Τόμπολο και του λοβωτού δέλτα που σχηματίζει στο στόμιο του ο χείμαρρος Βολινάιος δείχνει μια συνολική ζώνη διάβρωσης και υποχώρησης της ακτής κατά 22 m (Εικόνα 11.15).

Θέση 12: Η ακτογραμμή μεταξύ του στομίου του χείμαρρου Βολινάιου και του βορείου άκρου της προβλήτας Ψαθόπυργου εμφανίζει καθεστώς προέλασης, με μέγιστο πλάτος της τάξεως των 33 m. Εξαιρέση αποτελεί μια ζώνη μήκους 100 m που απαντά σε μία απόσταση 250 m μακριά από το στόμιο του χείμαρρου και δείχνει μια ζώνη υποχώρησης μέγιστου πλάτους περίπου 5 m (Εικόνα 11.15).

11.5 Συμπεράσματα

Το σύνολο της ακτογραμμής από το στόμιο του χείμαρρου Χάραδρου μέχρι την προβλήτα του Ψαθόπυργου βρίσκεται σε καθεστώς τόσο διάβρωσης όσο και απόθεσης. Τα αίτια που οδήγησαν σε αυτό το καθεστώς οφείλονται, κυρίως, στον ανθρώπινο παράγοντα.

Τα έργα εγκιβωτισμού του χείμαρρου Χαράδρου οδήγησαν τη συγκέντρωση των ιζημάτων του σε σημειακή θέση και στην απονέκρωση πλήθους αβαθών ρευμάτων, τα οποία απαντούσαν στην κατώτερη ριπιδιακή ζώνη. Τα ρεύματα αυτά έχουν τώρα οικοπεδοποιηθεί, ενώ προηγούμενα διευκόλυναν την διασπορά ιζήματος σε όλη την έκταση της ακτής. Επιπλέον, η ανεξέλεγκτη λήψη και παραγωγή αδρανών υλικών στην ανώτερη ριπιδιακή ζώνη του χείμαρρου, στερεί σε ίζημα τις εκβολές του και κατά συνέπεια και την γειτονική, προς αυτόν, ακτή.

Οι δύο εξέδρες μπροστά από το Ξενοδοχείο Achaia Beach λειτουργούν ως πρόβολοι που παράγουν μεν απόθεση στη θέση που απαντούν, αλλά μεταφέρουν το καθεστώς της διάβρωσης στα κατάντη των παράκτιων επιμήκων ρευμάτων, παράγοντας διάβρωση στην ακτογραμμή που μεσολαβεί μεταξύ των εξεδρών του Ξενοδοχείου Achaia Beach και της εξέδρας του Ξενοδοχείου Porto Rio, που επίσης προκαλεί (ως πρόβολος) σημειακή θέση απόθεσης. Μετά την εξέδρα αυτή, ακολουθεί ζώνη διάβρωσης, αφού η εξέδρα λειτουργεί ως πρόβολος, αλλά και γιατί απονεκρώθηκε και οικοπεδοποιήθηκε μία κύρια αύλακα του χείμαρρου Σέλεμνου που είχε τις εκβολές της αμέσως μετά το Ξενοδοχείο Porto Rio και δίπλα στο Ξενοδοχείο Rio Beach. Επιπλέον, ασφαλοστρώθηκε η παραλία καταστρέφοντας το προφίλ της ισορροπίας της και στη θέσης του προφίλ ανυψώθηκε τοίχιο για την κατασκευή του παραλιακού δρόμου. Η κατασκευή αυτή διευκόλυνε την διάβρωση του υπόλοιπου της παραλίας που βρίσκονταν μπροστά από το τοίχιο.

Η κατασκευή και παρουσία της δυτικής προβλήτας είχε σοβαρές επιπτώσεις στη διαδικασία κίνησης των παράκτιων επιμήκων ρευμάτων στη δυτική πλευρά της γεωμορφής τύπου 'cusped foreland', στο

άκρο της οποίας είναι κτισμένο το Κάστρο του Ρίου, με αποτέλεσμα την παραγωγή σύντομων και διαδοχικών ζωνών προέλασης και διάβρωσης της ακτογραμμής. Βεβαίως, η δημιουργία της ανατολικής προβλήτας, σε συνδυασμό με τη δημιουργία αγκυροβολίου, επηρεάζει την κίνηση των επιμήκων παράκτιων ρευμάτων στην ανατολική πλευρά της γεωμορφής. Η γεωμορφή αυτή είναι ασύμμετρη και είναι το αποτέλεσμα της παρουσίας δύο αντίθετα κινουμένων επιμήκων παράκτιων ρευμάτων, η δράση των οποίων έχει πλέον τροποποιηθεί σε μεγάλο βαθμό. Τα ρεύματα αυτά έχουν προκύψει από την παρουσία επικρατούντων ισχυρών νοτιοδυτικών και ανατολικών ανέμων που συγκροτούν ένα χαρακτηριστικό 'bimodal pattern'. Από το προς τη θάλασσα ακραίο σημείο του Κάστρου και προς την ανατολική πλευρά της γεωμορφής τύπου 'cusplate foreland', η παρουσία της προέλασης της ακτής θα πρέπει να αποδοθεί στην δράση των επιμήκων παράκτιων ρευμάτων, όπως έχει προαναφερθεί, και ειδικότερα από το προϊόν διάβρωσης της τελευταίας ακραίας ζώνης της δυτικής πλευράς.

Ο χείμαρρος Σέλεμνος έχει επίσης εγριβωτισθεί, ενώ στο παρελθόν οι επί μέρους αλύακες του προσέφεραν ίζημα σε σημαντική απόσταση εκατέρωθεν του σημερινού στομίου. Επιπλέον, γίνεται καθαρισμός της κοίτης πλησίον του στομίου με αποτέλεσμα της στέρησης ιζήματος στην εκβολή του. Η παρουσία μικρής αποβάθρας ακριβώς δίπλα και ανατολικά του στομίου λειτουργεί ως πρόβολος και παράγει στη θέση αυτή πρόσχωση από τα ιζήματα που φέρονται από τα ανατολικά από το στόμιο του χείμαρρου Ξυλοκέρα, με τη βοήθεια των επιμήκων παράκτιων ρευμάτων. Αντιθέτως, αμέσως δυτικά του στομίου του χείμαρρου Ξυλοκέρα, παρατηρείται διάβρωση επειδή η παρουσία της μικρής αποβάθρας που προαναφέρθηκε, εμποδίζει την μεταφορά ιζήματος από το στόμιο του χείμαρρου Σελέμνου, με τη βοήθεια των επιμήκων παράκτιων ρευμάτων, προς τη θέση αυτή.

Η ζώνη διάβρωσης που παρατηρείται από το στόμιο του χείμαρρου Ξυλοκέρα μέχρι τον Κάβο της Χαρίλενας οφείλεται στον εγριβωτισμό του χείμαρρου Ξυλοκέρα και στην εξαφάνιση και οικοπεδοποίηση του συνόλου του πλέγματος των επί μέρους αλύακων που απαντούσαν στην κατώτερη ριπιδιακή ζώνη του και η οποία εξελίσσονταν με αυτές τις αλύακες σε ριπιδιακό δέλτα (Fan delta). Η παρουσία χονδρόκοκκου υλικού στην παραλία Περιβολάκια αποτελεί την αδιάψευστη μαρτυρία καναλιών διανομής (distributary channels) διχτυωτού τύπου (braided type), που έφεραν στην παραλία κροιάλες (pebbles), λιθάρια (cobbles) και τροχμάλους (boulders). Επιπλέον, η δημιουργία τοιχίου και η δημιουργία ασφαλτόδρομου για μια απόσταση 500 m που ξεκινά από το στόμιο του χείμαρρου Ξυλοκέρα, οδήγησε στην καταστροφή του προφίλ της παραλίας στη θέση αυτή και στη δημιουργία προϋποθέσεων για διάβρωση.

Η παρουσία της παραλίας του Αγίου Βασιλείου που απαντά στα πρώτα 300 m μετά από τον Κάβο της Χαρίλενας, οφείλεται στο υλικό που αποθέτουν τα παράκτια επιμήκη ρεύματα τα οποία μεταφέρουν ίζημα από τη ζώνη διάβρωσης που απαντά, όπως έχει προαναφερθεί, κατά μήκος της θέσης 6.

Η ζώνη διάβρωσης από την παραλία του Αγίου Βασιλείου μέχρι της εγκαταστάσεις του εργοστασίου ΤΙΤΑΝ οφείλεται στις ακόλουθες αιτίες:

- στον εγκιβωτισμό του χείμαρρου Ξυλοκέρα που στερεί ιζημα προς την πλευρά της παραλίας του Αγίου Βασιλείου,
- στην ασφαλτόστρωση και κρασπέδωση, παρά την ακτή στην προηγούμενη παραλία, και στην καταστροφή του προφίλ ισορροπίας της παραλίας,
- στον εγκιβωτισμό του χείμαρρου Βολιναίου που στερεί ιζημα προς την πλευρά της παραλίας των Αραχωβίτικων,
- στην ανάπτυξη σειράς προβόλων στην παραλία των Αραχωβίτικων, που ξεκινά από το στόμιο του χείμαρρου Πανόρμου και φθάνει μέχρι το εργοστάσιο TITAN, που παράγει αλυσιδωτές διαβρώσεις,
- στη δημιουργία μαρίνας και στις εκτεταμένες εγκαταστάσεις του εργοστασίου TITAN στο ακρωτήριο Δρέπανο,
- στη δημιουργία τοιχίων αντιστήριξης στο ανάγλυφο που αναπτύσσεται πλησίον της ακτής και αμέσως μετά από το στόμιο του χείμαρρου Πανόρμου, που δεν επιτρέπει την διάβρωση του αναγλύφου που συνίσταται από χονδρόκοκκο, σχετικά χαλαρό, υλικό με τη δράση των κυμάτων.

Η ζώνη διάβρωσης που παρατηρείται μετά το στόμιο του χείμαρρου Βολιναίου οφείλεται στον εγκιβωτισμό της κοίτης του και στις εγκαταστάσεις του εργοστασίου TITAN που δεν επιτρέπουν την παροχή ιζήματος κατά μήκος αυτής της ζώνης.

Η ζώνη προέλασης μεταξύ του στομίου του χείμαρρου Βολιναίου και του βορείου άκρου της προβλήτας του Ψαθόπυργου, οφείλεται, κύρια, στη δράση των παράκτιων επιμήκων ρευμάτων τα οποία διαβρώνουν μια ζώνη που αναπτύσσεται μεταξύ της ζώνης προέλασης του ενεργού στομίου του χείμαρρου Βολιναίου και της ζώνης προέλασης προς την πλευρά της προβλήτας του Ψαθόπυργου. Ειδικότερα, η ζώνη διάβρωσης παράγει τη ζώνη προέλασης προς τη πλευρά του Ψαθόπυργου, ενώ το ενεργό στόμιο του χείμαρρου δίνει υλικό για προέλαση της ακτογραμμής μέχρι το άκρο της προαναφερθείσας ζώνης διάβρωσης.

Ωστόσο, εκτός από τις ανθρώπινες επεμβάσεις, που έχουν να κάνουν με την ασφαλτόστρωση κοντά στην ακτή, τον εγκιβωτισμό των χειμάρρων, την κατασκευή προβόλων και λιμενικών εγκαταστάσεων καθώς και την απόλειψη υλικού από τις κοίτες των χειμάρρων, σημαντικό ρόλο για τη μεταβολή της ακτογραμμής μπορεί να παίζει και η τεκτονική στη θάλασσα καθώς και πιθανές κατολισθήσεις. Η συνεχής συσσώρευση υλικού στις εκβολές του χειμάρρου μπορεί να οδηγήσει σε κατολίσθηση από την αύξηση του βάρους των ιζημάτων (τα οποία δεν προλαβαίνουν να συνεκτικοποιηθούν), όπως στην περίπτωση του ποταμού Ερνεού (Γαλανόπουλος κ.ά., 1964) που είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία τσουνάμι ύψους 5.64 m (Stefatos et al., 2006). Σε τέτοιες περιπτώσεις (όπως στο στόμιο του χείμαρρου Βολιναίου, Θέση 12), η ελεγχόμενη λήψη του υλικού της κοίτης από ανάντη της ακτής σημεία, θα μείωνε το υλικό που φτάνει στις εκβολές και επομένως θα περιορίζε τον κίνδυνο εκδήλωσης κατολίσθησης.

12 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Η Διαχείριση των Σύγχρονων Αποθέσεων και των Υδατικών Πόρων είναι το σύνολο των ενεργειών (μέτρα, έργα, κ.ά.) για την αρμονική σχέση των υδάτων, των εδαφών, των καταναλωτικών κέντρων αλλά και του περιβάλλοντος. Έτσι, σε μία προσπάθεια ιεράρχησης των κινδύνων στην περιοχή έρευνας και ξεκινώντας από τον σημαντικότερο, βασικοί στόχοι είναι:

- Η παροχή ικανοποιητικής προστασίας από τα ακραία υδρολογικά φαινόμενα (πλημμύρες),
- Η προστασία από έντονα διαβρωτικά φαινόμενα των εδαφών και των ακτών,
- Η προστασία των υδάτων από τη ρύπανση, και
- Η προμήθεια νερού επαρκούς ποσότητας και κατάλληλης ποιότητας για την, κατά το δυνατόν, ικανοποίηση των οικιακών, αγροτικών, βιομηχανικών, ενεργειακών και άλλων αναγκών.

12.1 Σημερινή Κατάσταση

Η αλόγιστη υπεράντληση στις πεδινές περιοχές και η καταστροφή των δασών έχουν ως αποτέλεσμα την έλλειψη νερού, τη στιγμή που η αυξημένη επιφανειακή απορροή δεν αξιοποιείται με οποιονδήποτε τρόπο. Ακόμα, τα δυσμενή αποτελέσματα της ρύπανσης των υδάτων είναι ευδιάκριτα με χαρακτηριστικά οικολογικής υποβάθμισης των υδατικών οικοσυστημάτων των χειμάρρων καθώς και των υδάτων της παραλιακής ζώνης και του θαλάσσιου βυθού με κάθε είδους απορρίμματα. Οι εστίες αυτές εντοπίζονται σε αρκετά πεδινά και ημιορεινά τμήματα κυρίως των λεκανών Ξυλοκέρα και Βολιναίου και σε μικρότερο βαθμό της λεκάνης του Σέλεμνου.

Επίσης, στο ορεινό τμήμα της περιοχής έρευνας επικρατή έντονη διάβρωση τόσο επιφανειακή όσο και χαραδρωτική σε όλη την έκταση. Αυτό οφείλεται στην έντονη βοσκή και αιγοβοσκή που έχει καταστρέψει τη φυσική βλάστηση, η οποία προστάτευε το έδαφος από τη διάβρωση, καθώς και στις πυρκαγιές οι οποίες έχουν καταστρέψει επανειλημμένα αναρίθμητες εκτάσεις δάσους και ιδιαίτερα περιοχών κοντά σε αγροτοκτηνοτροφικές εκτάσεις και σε οικισμούς. Η διάβρωση του εδάφους φτάνει σε βάθος πλέον των δύο μέτρων, με αποτέλεσμα οι ρίζες των δέντρων να βγαίνουν στην επιφάνεια. Η διάβρωση του εδάφους έχει ως αποτέλεσμα την απομάκρυνση του πολύτιμου για την ανάπτυξη της βλάστησης εδάφους, με αποτέλεσμα να είναι πολύ δύσκολη η φυσική και τεχνητή αναδάσωση.

Τέλος, οι ανθρώπινες επεμβάσεις που έχουν να κάνουν με καταστροφή φραγμάτων ανάσχεσης (με κίνδυνο να 'σπάσει' το ποτάμι σε περίπτωση πλημμύρας με ανυπολόγιστες συνέπειες), η ανεξέλεγκτη (αλλά όχι συστηματική) χαλικοληψία που ελαττώνει το πάχος του υδροπερατού στρώματος (κυρίως στις πεδινές περιοχές των χειμάρρων), η πλήρης εξαφάνιση της παραποτάμιας χλωρίδας (ειδικά στο χώρο της Πανεπιστημιούπολης) καθώς και η προοδευτική τσιμεντοποίηση της πεδινής περιοχής που εξελίσσεται

σε οικιστική, ενώ μεγάλες επιφάνειες είναι καλυμμένες εμποδίζοντας το νερό της βροχής να διηθείται στις υδροπερατές προσχώσεις, συμβάλλουν στη συνεχή υποβάθμιση των υδατικών πόρων και στην αύξηση του κινδύνου πλημμυρικών φαινομένων.

Εικόνα 12.1: Εστίες απόρριψης σκουπιδιών στην ημιορεινή ζώνη

Εικόνα 12.2: .Εστίες απόρριψης σκουπιδιών στην πεδινή ζώνη

Για την ορθολογική διαχείριση των λεκανών απορροής των ρευμάτων, πρέπει να εκτελούνται έργα τόσο για την αντιπλημμυρική προστασία όσο και για την αξιοποίηση του απορρέοντος ύδατος. Τα πεδινά αντιπλημμυρικά έργα δεν επαρκούν, γι' αυτό θα πρέπει να εκτελεστούν και έργα ορεινής υδρονομίας, διαφορετικά τα πεδινά είναι καταδικασμένα σε καταστροφή.

12.2 Αντιδιαβρωτικά – Αντιπλημμυρικά Έργα

Τα επιφανειακά νερά δρουν σαν παράγοντες διάβρωσης, μεταφέρουν φορτίο στερεών, δημιουργούν πλημμύρες και συμβάλουν στην ενεργοποίηση κατολισθήσεων. Για το λόγο αυτό, επιτακτική είναι η ανάγκη λήψης μέτρων και κατασκευής έργων για την αντιμετώπισή τους.

Πρωταρχικός στόχος είναι η επανίδρυση των κατεστραμμένων δασών και η αναδάσωση γυμνών επιφανειών. Η αποικιάσταση των δασών θα συμβάλλει στη μείωση της εδαφικής διάβρωσης και θα αποικιαστήσει τις έντονες καταστροφές που έλαβαν χώρα στο παρελθόν.

Η περιοχή έρευνας χαρακτηρίζεται από απότομα πρανή και υψηλές εδαφικές κλίσεις σε όλη σχεδόν την επιφάνειά της, οι οποίες ευθύνονται και για τις μεγαλύτερες τιμές εδαφικής απώλειας (Κεφάλαιο 9, Εικόνες 9.5 και 9.6). Επομένως, αναγκαία κρίνεται η εφαρμογή αντιδιαβρωτικής προστασίας των επικλινών εκτάσεων. Οι πρακτικές αυτές συνδέονται με την καλλιέργεια των επικλινών εκτάσεων 'κατά τις ισοϋψείς καμπύλες' (Εικόνα 12.3), καθώς και στην καλλιέργεια των φυτών σε λωρίδες στις εκτάσεις αυτές.

Ο όρος κατεργασία 'κατά τις ισοϋψείς' σημαίνει κατεργασία του εδάφους με κατεύθυνση κάθετη προς την επικλινή ροή. Γι' αυτό, σωστότερο είναι να χρησιμοποιείται ο όρος καλλιέργεια 'κατά τις ισοϋψείς καμπύλες' (Kohnke & Bertrand, 1962; Καστάνοβ & Ζασλάβσκι, 1984; Ζασλάβσκι, 1987).

Με τις πρακτικές αντιδιαβρωτικής προστασίας αποσκοπείται η παρεμπόδιση της επιφανειακής απορροής του νερού που είναι τόσο μεγαλύτερη, ευχερέστερη και ταχύτερη όσο η κλίση του εδάφους αυξάνεται. Ωστόσο, ο βαθμός αντιδιαβρωτικής προστασίας των πρακτικών αυτών εξαρτάται από το ετήσιο βροχομετρικό ύψος, την ένταση και κατανομή των βροχοπτώσεων καθώς και τις φυσικές ιδιότητες του εδάφους και το είδος των καλλιεργούμενων φυτών.

Η κάθετη προς την κλίση καλλιέργεια του εδάφους μειώνει κατά μέσο όρο περισσότερο από 2 φορές τις απώλειες του νερού και 3-5 φορές τις απώλειες γόνιμου επιφανειακού εδάφους από τα απόκρημνα τμήματα των κλιτύων, καθώς επίσης βελτιώνεται και η αξιοποίηση των χημικών λιπασμάτων κατά 30-40% και αυξάνεται η φυτική παραγωγή (Καστάνοβ & Ζασλάβσκι, 1984).

Σε πολλές χώρες του κόσμου η προστασία των επικλινών εδαφών από τη διάβρωση γίνεται με την κατασκευή αναβαθμίδων (Εικόνα 12.3). Οι κυριότεροι τύποι αναβαθμίδων είναι:

- Διακοπτόμενες από αυλάκια με επίπεδη βάση (flat – channel terrace): Η κλίση της βάσης των αυλακιών είναι μικρή ώστε να εξασφαλίζεται η κανονική ροή των επιφανειακών νερών του εδάφους στις αναβαθμίδες.

- Μεγάλου πλάτους (broad base terrace): οι αναβαθμίδες αυτές επιτρέπουν την καλλιέργεια σε όλη την επιφάνεια του εδάφους.
- Αναβαθμίδες σε λειάνες (bench terrace): κατασκευάζονται όταν έχει εξασφαλιστεί ο έλεγχος των νερών της επιφανειακής απορροής.

Εικόνα 12.3: Καλλιέργεια κατά τις ισοϋψείς καμπύλες (αριστερά) και σε αναβαθμίδες (δεξιά)

Σε ορισμένες περιπτώσεις όπου το ανάγλυφο είναι πολύπλοκο με μεγάλες και συχνές αλλαγές κλίσης, η κατεργασία του εδάφους κατά ισοϋψείς καμπύλες και η δημιουργία αναβαθμίδων είναι πολύ δύσκολο να εφαρμοστεί (Kohnke & Bertrand, 1962). Σε αυτές τις εδαφικές συνθήκες, σπουδαία αντιδιαβρωτική σημασία έχει η κάλυψη της επιφάνειας του εδάφους με φυτικά υπολείμματα (καλάμια, άχυρο, κ.ά.).

Η κάλυψη του εδάφους με φυτικά υπολείμματα αυξάνει σημαντικά την περιεκτικότητα σε οργανική ουσία του επιφανειακού υποστρώματος του εδάφους μέχρι βάθους μερικών cm. Επίσης, ενθαρρύνει την αύξηση του μικροβιακού πληθυσμού και των γαιοσκωλήκων στο έδαφος με αποτέλεσμα να βελτιώνεται σημαντικά η διηθητικότητα του εδάφους. Η μέθοδος αυτή έχει ιδιαίτερη σημασία για καλλιέργειες που δεν είναι σε θέση να προστατεύουν πλήρως το έδαφος από την καταστροφική ενέργεια του νερού (καλλιέργειες με υψηλές τιμές του συντελεστή C).

Ακόμα, θα πρέπει να προσδιοριστούν οι εκτάσεις για κτηνοτροφική χρήση με παράλληλη βελτίωση της βλάστησης προς αύξηση της βοσκοϊκανότητας. Η βελτίωση των βοσκοτόπων με την εκ περιτροπής βόσκηση αλλά και με λιπάνσεις όπου μπορεί να υπάρξει αποτέλεσμα, θα αποφορτίσει τις δασικές εκτάσεις και θα δώσει εναλλακτική διέξοδο για τους κτηνοτρόφους της περιοχής. Προς την ίδια κατεύθυνση μπορεί να γίνει εμπλουτισμός χορτολιβαδικών εκτάσεων με διάφορους θάμνους, με σκοπό την αύξηση της βοσκήσιμης ύλης με την ταυτόχρονη εξασφάλιση της προστασίας του εδάφους από τη συμπίεση και τη διάβρωση.

Στο Κεφάλαιο 10 επιχειρήθηκε ο προσδιορισμός των περιοχών με υψηλό κίνδυνο εκδήλωσης πλημμυρικών φαινομένων. Οι περιοχές αυτές χαρακτηρίζονται, συνήθως, από μεγάλα ύψη βροχοπτώσης και απότομες αλλαγές της κλίσης (από μεγάλες κλίσεις σε ήπιες). Για την αντιμετώπιση τέτοιων

φαινομένων, προτείνεται η κατασκευή φραγμάτων ανάσχεσης τα οποία επιτυγχάνουν την ανάσχεση της χειμαρρικής ροής και τη συγκράτηση των φερτών υλικών και του στερεοφορτίου των χειμάρρων (Εικόνα 12.6). Η επιλογή των θέσεων κατασκευής των φραγμάτων ανάσχεσης (ΑΝ-ΣΕΛ, ΑΝ-ΕΥΛ, ΑΝ-ΒΟΛ) έγινε σε συνδυασμό με τις θέσεις της κοίτης που εμφανίζουν υψηλές τιμές στερεοπαροχής (Κεφάλαιο 9, §9.3.5). Η κατασκευή τους στα ορεινά μπορεί να συμβάλει στον περιορισμό των φαινομένων στα πεδινά. Ακόμα, μικρά φράγματα ανάσχεσης στις πεδινές περιοχές θα συμβάλλουν στη συλλογή του στερεοφορτίου, το οποίο είναι χρήσιμο για αδρανή υλικά, καθώς και στη μείωση των φαινομένων χαλικοληψίας.

Η απόληψη αδρανών υλικών από τις κοίτες των χειμάρρων δεν πρέπει να γίνεται αυθαίρετα γιατί εγκυμονεί κινδύνους τόσο για την παράκτια οικιστική ζώνη όσο και για την ακτή, ενώ παράλληλα αυξάνει τη διαβρωτική ικανότητα των χειμάρρων. Συγκεκριμένα, στην παράκτια ζώνη των χειμάρρων Σέλεμνου και Ξυλοκέρα, οι ιδιαίτερες γεωμορφολογικές συνθήκες που δημιουργούν μία πλατφόρμα η οποία στρίβει προς νότο, καθιστούν την απόληψη υλικού από την κοίτη απαγορευτική. Ο καθαρισμός της κοίτης θα έχει ως αποτέλεσμα τον μηδενισμό απόθεσης ιζημάτων, που σε συνδυασμό με τη διάβρωση θα οδηγήσουν την περιοχή σε αρνητικά ανάγλυφα και την είσοδο της θάλασσας στην πλατφόρμα. Αντίθετα, στις εκβολές του χειμάρρου Βολιναίου, όπου παρατηρείται προέλαση της ακτής, η συνεχής συσσώρευση ιζημάτων μπορεί να οδηγήσει σε κατάρρευση είτε εξαιτίας του βάρους των ιζημάτων είτε εξαιτίας κάποιας σεισμικής κίνησης. Αν και οι επεμβάσεις στις κοίτες των χειμάρρων δεν πρέπει να λαμβάνουν χώρα (χαλικοληψίες για αδρανή υλικά, ισοπέδωση ή εγκλιβωτισμός της κοίτης), η ελεγχόμενη απόληψη αδρανών στην ανάντη της ακτής κοίτη του Βολιναίου θα οδηγούσε στη μείωση του αποτιθέμενου υλικού και επομένως θα μείωνε τον κίνδυνο κατολίσθησης.

Παράλληλα με τα φράγματα, η βαθμιδωτή διαμόρφωση της κοίτης σε περιοχές όπου επικρατούν υψηλές κλίσεις, μπορεί να συμβάλει στην επιβράδυνση της χειμαρρικής ροής. Έτσι, η μείωση της κινητικής ενέργειας του ρεύματος οδηγεί στη μείωση των χειμαρρικών φαινομένων καθώς και του στερεοφορτίου. Ακόμα, η κατακόρυφοι τοίχοι αντιστήριξης, οι επενδύσεις των φυσικών πρανών των αναχωμάτων, οι τεχνητές όχθες καθώς και η επένδυση με συρματοκιβώτια παράλληλα με την κοίτη, μπορούν να συμβάλλουν στην προστασία από τη διάβρωση της όχθης.

Σε πολλές περιπτώσεις, σαν πρόσθετη ή εναλλακτική λύση προτείνεται η εκτροπή της ροής. Σύμφωνα με πληροφορίες κατοίκων, τέτοια έργα είχαν κατασκευαστεί στα ορεινά τμήματα του Σέλεμνου και του Βολιναίου. Η μεταβολή, όμως, της κοίτης προκάλεσε έντονα φαινόμενα διάβρωσης, τα οποία συνεχίζονται μέχρι σήμερα με συνεχείς πλευρικές ολισθήσεις. Για το λόγο αυτό, η εκτροπή ροής θεωρείται απαγορευτική.

Η εκτεταμένη διάβρωση κατά μήκος της ακτής στα όρια του Δήμου Ρίου, δηλαδή από το στόμιο του χειμάρρου Χάραδρου μέχρι το βόρειο άκρο του κρηπιδώματος του λιμένα Ψαθοπούργου, μπορεί να

αντιμετωπιστεί με τις ακόλουθες παρεμβάσεις για την αποκατάσταση, σε ένα βαθμό, του ιζηματολογικού ισοζυγίου:

- ✓ Απομάκρυνση όλων των προβόλων που έχουν τοποθετηθεί στην υπό διάβρωση ακτή,
- ✓ Αποτροπή και απαγόρευση περαιτέρω καταστροφής του προφίλ της παραλίας με τη δημιουργία ασφαλτόστρωσης και κατασκευής δρόμου παράλληλα προς την ακτή,
- ✓ Επανατροφοδότηση της παραλίας που χάνεται από τη διάβρωση με μεταφορά άμμου από την υποπαράκτια ζώνη,
- ✓ Απαγόρευση κατασκευής έργων στην ακτή,
- ✓ Μη παρεμπόδιση των φερτών υλών να φθάνουν στην ακτή,
- ✓ Αποφυγή κατασκευής κάθετων προβόλων και παραλιακών τοίχων.

Όμως, η πλήρης αποκατάσταση του ιζηματολογικού ισοζυγίου είναι αδύνατη. Αυτό οφείλεται σε μεγάλη έκταση:

- στην καταστροφή του προφίλ της παραλίας με την ασφαλτόστρωσή της,
- στην πλήρωση των καναλιών διανομής των χειμάρρων με στόχο την οικοπεδοποίηση και τη δημιουργία οδών και τον περιορισμό τους σε μια εγκιβωτισμένη κύρια αύλακα, και
- στον ανεύθυνο τρόπο κατασκευών στην ακτή χωρίς προηγούμενη συστηματική ακτομηχανική μελέτη.

Τα παραπάνω αίτια της διατάραξης του ιζηματολογικού ισοζυγίου από της ανθρωπογενείς παρεμβάσεις συνθέτουν μία κακή διαχείριση της υπό μελέτη παράκτιας ζώνης εξαιτίας λανθασμένων βραχυπρόθεσμων πολιτικών επιλογών για την προστασία των ακτών από τη διάβρωση και τη προώθηση της κατασκευής ακατάλληλων έργων προστασίας, που στη πραγματικότητα επιτείνουν το πρόβλημα της υποχώρησης των ακτών.

Επιπλέον, εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής, προβλέπεται η ανύψωση της μέσης παγκόσμιας στάθμης της θάλασσας στον παρόντα αιώνα μέχρι και ένα μέτρο. Κατά συνέπεια, ο συνδυασμός της έλλειψης του ιζηματολογικού ισοζυγίου που προαναφέρθηκε και η ανύψωση της στάθμης της θάλασσας σε βάθος χρόνου, πρέπει να αντιμετωπιστεί με συμφιλίωση (Δουκιάκης, 2005). Η συμφιλίωση αυτή αφορά την οπισθοχώρηση των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων από την παράκτια ζώνη προς το εσωτερικό η οποία είναι σύμφωνη με τις αρχές της Ολοκληρωμένης Διαχείρισης της Παράκτιας Ζώνης (σύσταση της Ε. Ε. για τις ακτές) και μας προστατεύει από τις άλλες επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής σ' αυτήν, όπως είναι η εμφάνιση ακραίων καιρικών φαινομένων με μεγαλύτερη ένταση και συχνότητα (ανεμοστρόβιλοι, παλιρροϊκά κύματα), φαινόμενα που θα βιώνουμε όλο και πιο συχνά και στη δική μας κλιματική ζώνη. Στα πλαίσια της στρατηγικής της οπισθοχώρησης θα πρέπει να υπάρξει άμεση νομοθέτηση για τη λήψη άμεσων μέτρων, όπως:

- ✓ Οπισθοχώρηση της ρυμοτομικής γραμμής στην παράκτια ζώνη,
- ✓ Υιοθέτηση ελέγχου χρήσεων γης που θα ενθαρρύνει την ανάπτυξη σε ασφαλείς περιοχές,
- ✓ Δημιουργία χρονικών ορίων για την ασφαλή κατοίκηση της παράκτιας ζώνης βάσει του ρυθμού διάβρωσης,
- ✓ Ενημέρωση και επιμόρφωση του κοινού γύρω από τις αλλαγές στο κλίμα, στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας, στα φυσικά φαινόμενα και στις οικονομικές επιπτώσεις.

12.3 Προστασία των Υδατικών Πόρων

Από την αξιολόγηση των δειγμάτων των υπόγειων υδάτων του προσχωματικού υδροφόρου (Κεφάλαιο 8, §8.3.2) προκύπτει η καταλληλότητά τους τόσο για πόση όσο και για άρδευση, αφού δεν παρατηρείται υποβάθμισή τους από τις ανθρώπινες δραστηριότητες στην περιοχή.

Αντίθετα, τα επιφανειακά ύδατα είναι περισσότερο ευαίσθητα στη ρύπανση (Κεφάλαιο 8, §8.3.1), όπως αποδεικνύεται από την παρουσία ανόργανων αλάτων (αμμωνιακά, νιτρικά, νιτρώδη και φωσφορικά). Κύριες πηγές μόλυνσης είναι τα υγρά απόβλητα των αστικών περιοχών που φτάνουν στα υδάτινα συστήματα με ελεύθερη επιφανειακή απορροή, καθώς και τα σπουδαιότερα μέσα της σύγχρονης γεωργίας που είναι τα λιπάσματα και τα φυτοφάρμακα. Τα χημικά λιπάσματα, τα φυτοφάρμακα και τα στερεά απόβλητα των ζώων που εφαρμόζονται στο έδαφος, παρασύρονται από τα απορρέοντα νερά των βροχοπτώσεων και των χιονοπτώσεων προς τα στραγγιστικά δίκτυα και από εκεί στους ποταμούς. Επίσης, σημαντικές πηγές μόλυνσης είναι και τα διαβρωμένα εδάφη που δημιουργούνται εξαιτίας υψηλών βροχοπτώσεων, τα νερά των οποίων είτε δε μπορεί να συγκρατήσει η καλλιεργημένη γη είτε προέρχονται από αποφιλωμένες εκτάσεις.

Τα τελευταία χρόνια, έχουν γίνει προσπάθειες στην Αυστραλία για την αντιμετώπιση τέτοιων φαινομένων (Prosser & Karssies, 2001; Prosser et al., 1999). Για το σκοπό αυτό έχουν δημιουργήσει τις ‘παρόχθιες προστατευτικές ζώνες βλάστησης’ (riparian buffer strips). Η βλάστηση στις ζώνες αυτές μπορεί να περιορίσει τη χερσαία απορροή του νερού, συγκρατώντας τόσο το μεταφερόμενο ίζημα όσο και τα θρεπτικά συστατικά του νερού πριν αυτά προλάβουν να φτάσουν στο χείμαρρο. Επίσης, διάφοροι τύποι βλάστησης, όπως δέντρα, θάμνοι με βαθιές ρίζες καθώς και χορτάρι, μπορούν να δεσμεύσουν θρεπτικά συστατικά ή άλατα που μεταφέρονται με την υποεπιφανειακή ροή πριν αυτά φτάσουν στο χείμαρρο. Στην εικόνα 12.4 δίνεται μία σχηματική απεικόνιση της λειτουργίας της παρόχθιας ζώνης βλάστησης.

Εικόνα 12.4: Η λειτουργία της παρόχθιας ζώνης βλάστησης

Οι παραπάνω έρευνες έδειξαν ότι, τόσο η φυσική βλάστηση όσο και οι χλωώδης βλάστηση στις ζώνες αυτές μπορούν να συγκρατήσουν περίπου 90% του διαβρωμένου εδάφους καθώς επίσης να αφομοιώσουν σημαντικές ποσότητες θρεπτικών. Γενικά, το πλάτος και το είδος της βλάστησης στις ζώνες εξαρτάται από την αναμενόμενη ποσότητα ιζήματος και θρεπτικών και το πλάτος αυξάνεται ανάλογα με την ποσότητα.

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στις περιπτώσεις όπου φάρμες ζώων βρίσκονται κοντά στις όχθες των χειμάρρων. Η αδιάκοπη και ανεξέλεγκτη χρήση τέτοιων περιοχών για βοσκή οδηγεί στην αποψίλωσή τους, με αποτέλεσμα την εκτεταμένη διάβρωσή τους σε περιόδους υψηλών βροχοπτώσεων. Επίσης, τα υπολείμματα και περιττώματα των ζώων απορρέουν ανεξέλεγκτα προς τους χειμάρρους λόγω έλλειψης μέτρων συλλογής τους. Στις περιπτώσεις αυτές, εκτός από τις ζώνες βλάστησης, χρειάζεται και σωστός σχεδιασμός των εκτάσεων που προορίζονται για βοσκή. Ένα τέτοιο παράδειγμα δίνεται στην εικόνα 12.5.

Ωστόσο, για να είναι αποτελεσματικές οι ζώνες βλάστησης πρέπει να τοποθετούνται σε σημεία όπου η χερσαία απορροή εισέρχεται σε κλάδους του υδρογραφικού δικτύου. Αυτό δε σημαίνει ότι πρέπει να τοποθετούνται κατά μήκος της κύριας αλάκας και στις δύο όχθες της κοίτης. Θα πρέπει να επιλέγονται τα σημεία που παρουσιάζουν υψηλές τιμές εδαφικής ροής προς το χείμαρρο καθώς και τα σημεία που παρουσιάζουν υψηλές τιμές συγκέντρωσης θρεπτικών ουσιών.

Επίσης, για να είναι αποδοτική η παραπάνω μέθοδος για την προστασία της ποιότητας των επιφανειακών υδάτων, θα πρέπει να συνδυάζεται με μέτρα αντιμετώπισης της εδαφικής διάβρωσης σε όλο το εύρος της λεκάνης απορροής.

Εικόνα 12.5: Ανεξέλεγκτη (αριστερά) και οργανωμένη χρήση (δεξιά)

Ακόμα, θα πρέπει να απαγορευτεί η ανεξέλεγκτη απόρριψη σκουπιδιών τόσο στα πρανή όσο και στις κοίτες των χειμάρρων, προκειμένου να αποφεύγονται φαινόμενα μόλυνσης τόσο της θαλάσσιας περιοχής (αφού στην πρώτη πλημμυρική ροή θα παρασυρθούν προς τη θάλασσα) όσο και του υδροφόρου ορίζοντα (από τη διήθηση των ρύπων στην κοίτη).

12.4 Εξοικονόμηση Υδατικών Πόρων

Οι συνεχείς και ανεξέλεγκτες αντλήσεις των υπόγειων υδροφόρων εξαντλούν τα υπόγεια ύδατα με ρυθμό που δεν επιτρέπει την ανανέωσή τους. Παράλληλα, η αλόγιστη άντληση σε παράκτιες περιοχές μπορεί να οδηγήσει σε φαινόμενα υφαλμύρινσης και ακαταλληλότητας του υπόγειου ύδατος. Επομένως, για την αποφυγή τέτοιων φαινομένων, κρίνεται αναγκαία η ταμίευση των επιφανειακών υδάτων και η αξιοποίησή τους για την κάλυψη αρδευτικών και υδρευτικών αναγκών (με την κατασκευή των απαραίτητων φραγμάτων ώστε να δημιουργηθούν αποθηκευτικές λεκάνες) καθώς και για τον εμπλουτισμό των υπόγειων υδροφόρων.

Σύμφωνα με το υδατικό ισοζύγιο της περιοχής (Κεφάλαιο 6, §6.2.6), από τον ετήσιο όγκο βροχής που πέφτει στο έδαφος ($71.65 \times 10^6 \text{ m}^3$), ένα ποσοστό 43.25% περίπου ρέει επιφανειακά και καταλήγει στη θάλασσα, ενώ ένα ποσοστό 37.68% εξατμίζεται από την ηλιοφάνεια και τους ανέμους. Έτσι, μόλις ένα 19.07% περίπου της βροχής που πέφτει στο έδαφος κατεισδύει και εμπλουτίζει τους υπόγειους υδροφόρους, απ' όπου και αντλείται για την κάλυψη αναγκών άρδευσης και ύδρευσης. Αυτό σημαίνει πως μόλις $13.48 \times 10^6 \text{ m}^3$ το χρόνο κατακρατούνται σε όλη την έκταση της περιοχής.

Εικόνα 12.6: Προτεινόμενες θέσεις φραγμάτων

Για την αξιοποίηση των επιφανειακών υδάτων, κρίνεται απαραίτητη η κατασκευή φραγμάτων ανάσχεσης της χειμαρρικής ροής των βρόχινων νερών ώστε να μειωθεί η επιφανειακή απορροή και να αυξηθεί το ποσοστό του νερού που κατεισδύει (Εικόνα 12.6). Αυτό επιτυγχάνεται με την αύξηση του χρόνου παραμονής του νερού στην κοιτή των χειμάρρων. Έτσι, τα φράγματα ανάσχεσης, εκτός από αντιπλημμυρικά και αντιδιαβρωτικά έργα, συμβάλλουν και στον εμπλουτισμό των υπόγειων υδροφόρων.

Παράλληλα με τα μικρά φράγματα ανάσχεσης, προτείνεται και η κατασκευή μεγάλων φραγμάτων για τη δημιουργία τεχνητών λιμνών αποθήκευσης των υδάτων. Η πλέον κατάλληλη θέση για την κατασκευή τεχνητής λίμνης θεωρείται αυτή του Βολινάιου (ΦΡ-ΒΟΛ), αφού υπάρχει μία ευνοϊκή φυσική λεκάνη (Εικόνα 12.6). Η θέση κατασκευής του φράγματος είναι περιορισμένου εύρους (μέσα σε κανάλι κροκαλοπαγών), ενώ πίσω από αυτήν εξασφαλίζεται ικανός χώρος για λεκάνη κατάκλυσης και αποθήκευσης χειμερινών απορροών. Επίσης, στο σημείο της λεκάνης, οι τιμές της εδαφικής διάβρωσης

και της στερεοπαροχής είναι πολύ μικρές, που σημαίνει ότι ελαχιστοποιείται ο νεκρός όγκος του ταμιευτήρα.

Η τεχνητή λίμνη θα βρίσκεται σε υψόμετρο 180 m από την επιφάνεια της θάλασσας, θα καταλαμβάνει επιφάνεια εμβαδού $400,062 \text{ m}^2$, η χωρητικότητα της λεκάνης κατάκλυσης θα είναι $9,241,425 \text{ m}^3$, ενώ θα μπορεί να εξοικονομεί έως $15,437,205 \text{ m}^3$ ετησίως τα οποία χάνονταν εξαιτίας της επιφανειακής απορροής. Ο ετήσιος όγκος φερτών υλικών που θα φτάνει στη λεκάνη είναι ίσος με $24,665 \text{ m}^3$, αφού το φράγμα ανάσχεσης AN-BOΛ θα μπορεί να συγκρατεί $14,247 \text{ m}^3$ ετησίως.

Η βασική χρησιμότητα της λεκάνης θα είναι η εκμετάλλευση του αποθηκευμένου νερού, το οποίο θα χρησιμοποιείται για αρδευτικούς και υδρευτικούς σκοπούς μετά από έλεγχο σε κατάλληλες εγκαταστάσεις. Παράλληλα, αφού η λεκάνη κατάκλυσης βρίσκεται πάνω σε πλειοκαινικές αποθέσεις, η κατασκευή της τεχνητής λίμνης θα συμβάλλει στον εμπλουτισμό των υπόγειων υδροφόρων αφού ένα ποσοστό του νερού του ταμιευτήρα θα κατεισδύει.

ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

Η περιοχή έρευνας, η οποία καταλαμβάνει τις αυτοτελείς υδρολογικές λεκάνες των χειμάρρων Σέλεμνου, Ξυλοκέρα και Βολιναίου, καταλαμβάνει συνολική έκταση 68.6 km² και εντοπίζεται στη ΒΔ Πελοπόννησο, στο βόρειο τμήμα του Νομού Αχαΐας. Από βορρά ορίζεται από τον Πατραϊκό Κόλπο και από νότο από το Παναχαϊκό Όρος.

Το γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής αποτελούν οι σχηματισμοί της ζώνης Ωλονού – Πίνδου, ενώ το ημιορεινό και πεδινό τμήμα της είναι πληρωμένο από Πλειο-Πλειστοκαινικά και Ολοκαινικά ιζήματα. Η περιοχή καλύπτεται κυρίως από φυσική βλάστηση και δάση (46.11%) καθώς και συστήματα καλλιεργείων (46.29%), ενώ υπάρχουν και μικρές εκτάσεις βοσκοτόπων (5.67%). Όσον αφορά τους κατοίκους, εκτός από τις καλλιέργειες και την εκτροφή ζώων, που αποτελούν τις κύριες δραστηριότητές τους, υπάρχει και ένας μικρός αριθμός βιομηχανιών (1.51%) οι οποίες εντοπίζονται κοντά στις αστικές περιοχές.

Το μέσο υψόμετρο της περιοχής είναι 480.74 m και η μέση κλίση 42.04%. Οι υψηλές αυτές τιμές δείχνουν ότι στην περιοχή διατηρείται ένα ισχυρό ανάγλυφο. Η διατήρηση του ισχυρού αναγλύφου έχει να κάνει με την ενεργό τεκτονική που έχει δράσει στην περιοχή κατά τη Μεταλπική περίοδο. Μέρος της ενεργού τεκτονικής είναι και ο πλέον υψηλός ρυθμός ανύψωσης που υφίσταται η περιοχή, αφού κοντά στην υπολεκάνη του Ρίου έχει υπολογιστεί στα 4.5 mm/year.

Η αύξηση του ρυθμού ανύψωσης κατά το Τεταρτογενές συνεπάγεται την ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου καθώς επίσης και μεγάλης έκτασης μεταβολή της κοκκομετρίας, από λεπτόκοκκο σε αδρόκοκκο, προς τα πάνω, με παράλληλη αύξηση του όγκου του παραγόμενου υλικού.

Η μέση κλίση των λεκανών κυμαίνεται μεταξύ 36.34% και 44.46%, ενώ το μέσο υψόμετρο μεταξύ 441.89 m και 611.99 m. Το υψόμετρο μεγίστης συχνότητας κυμαίνεται από 250 έως 450 m, ενώ ο βαθμός αναγλύφου από 0.143 έως 0.165.

Το υδρογραφικό δίκτυο είναι καλά αναπτυγμένο και επικρατεί η κατακόρυφη διάνοιξη των κοιλάδων. Βρίσκεται στο στάδιο νεότητας και η επικρατούσα μορφή του είναι η δενδριτική. Η ανάπτυξη του είναι συνυφασμένη με την ανάπτυξη των τεκτονικών ασυνεχειών ΔΝΔ-ΑΒΑ διεύθυνσης, δεδομένου ότι αποτελούν επιφάνειες αδυναμίας τις οποίες τα ρέοντα ύδατα μπορούν να διαβρώσουν και σχηματίσουν κανάλια επιφανειακής απορροής. Φτάνει μέχρι την 5^η τάξη, ενώ η υδρογραφική πυκνότητα κυμαίνεται μεταξύ 2.425 και 3.223 και η συχνότητα μεταξύ 5.175 και 8.742.

Η μελέτη των ιστολογικών χαρακτηριστικών των κόκκων στις κοίτες των χειμάρρων έδειξε ότι η ποσοτική παρουσία των λιθολογιών καθώς και μεταβολή του αριθμητικού μέσου σχετίζονται, κυρίως, με την εισροή νέου υλικού (στο ανώτερο και μέσο ρουν) καθώς και με τις ανθρωπογενείς παρεμβάσεις στους χαμηλότερους σταθμούς δειγματοληψίας. Επίσης, τα ποσοστά των ασβεστόλιθων μεταβάλλονται αντίστροφα με τα ποσοστά των κερατόλιθων.

Από τη μελέτη των δειγμάτων του Σέλεμνου και του Βολινάιου παρατηρήθηκε ότι η μεταβολή της στρωγγυλότητας σχετίζεται με την εισροή νέου υλικού, ενώ στον Ξυλοκέρα, πέραν της εισροής νέου υλικού, έχει μικρή συμμετοχή και ο ανθρωπογενής παράγοντας.

Στα δείγματα του Σέλεμνου η σφαιρικότητα επηρεάζεται κυρίως από την εισροή νέου υλικού και δευτερευόντως από τις ανθρωπογενείς παρεμβάσεις. Η σφαιρικότητα στους κόκκους του Ξυλοκέρα επηρεάζεται από την εισροή νέου υλικού. Τέλος, στα δείγματα του Βολινάιου η σφαιρικότητα εξαρτάται κυρίως από την εισροή νέου υλικού και δευτερευόντως από την εκλεκτική ταξινόμηση και την ανθρώπινη παρέμβαση, ενώ δείχνει να αυξάνεται με την απόσταση μεταφοράς.

Τα επικρατέστερα σχήματα των κόκκων και στους τρεις χειμάρρους είναι το δισκοειδές και το σφαιρικό, ενώ οι πεπλατυσμένοι και οι κυλινδρικοί εμφανίζονται σε ποσοστό 8-10%.

Όσον αφορά τα υποεπιφανειακά ιζήματα της κοίτης, αυτά χαρακτηρίζονται από πολύ πτωχή ταξινόμηση. Ακόμα, παρουσιάζουν θετική έως πολύ θετική ασυμμετρία, που υποδεικνύει την περίσσεια λεπτόκοκκου υλικού το οποίο φιλτράρεται μέσα στο χονδρόκοκκο.

Τα ιζήματα αυτά χαρακτηρίζονται από λεπτόκυρτη έως μεσόκυρτη καμπύλη, που σημαίνει ότι παρουσιάζουν μεγαλύτερη διασπορά τιμών στο κέντρο. Αυτό επιβεβαιώνει και την παγίδευση του λεπτού υλικού μέσα στο χονδρόκοκκο, ενώ η ταχύτητα παραμένει σχεδόν σταθερή. Ωστόσο, κατά θέσεις, τα ιζήματα παρουσιάζουν πλατύκυρτη καμπύλη, ως αποτέλεσμα των αυξομειώσεων της ταχύτητας ροής.

Από υδρολογικής σκοπιάς, οι πλέον ξηροί μήνες είναι οι Ιούνιος, Ιούλιος και Αύγουστος, ενώ οι μέγιστες τιμές βροχόπτωσης εμφανίζονται κατά τους μήνες Νοέμβριο και Δεκέμβριο. Το ύψος βροχής αυξάνεται με ρυθμό 85 mm ανά 100 m αύξησης του υψομέτρου.

Η θερμοκρασία ακολουθεί κανονική κατανομή, με μέγιστα τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο και ελάχιστα τους μήνες Ιανουάριο και Φεβρουάριο. Κυμαίνεται μεταξύ 8 και 26 °C και ελαττώνεται με ρυθμό 0.75 °C ανά 100 m αύξησης του υψομέτρου.

Η σχετική υγρασία παρουσιάζει παραπλήσια πορεία με αυτή των βροχοπτώσεων, ενώ το αντίθετο παρατηρείται με την πορεία της σχετικής υγρασίας και της θερμοκρασίας. Αντίθετα, η ηλιοφάνεια και η θερμοκρασία παρουσιάζουν παραπλήσιες πορείες.

Το κλίμα της περιοχής χαρακτηρίζεται ως εύκρατο με ξηρό θέρος.

Ο μέσος ετήσιος όγκος (1975-2004) νερού από βροχόπτωση ανέρχεται σε $71.649 \times 10^6 \text{ m}^3$, που αντιστοιχεί σε ένα μέσο ύψος βροχόπτωσης της τάξης των 1168.84 mm. Ο βροχομετρικός αυτός δείκτης είναι αρκετά υψηλός, αφού ο μέσος δείκτης για τον Ελλαδικό χώρο είναι 823 mm.

Η μέση ετήσια ποσότητα που κατεισδύει και γίνεται υπόγειο νερό ανέρχεται σε $13.487 \times 10^6 \text{ m}^3$ ή 223.94 mm νερού, που αντιστοιχεί στο 19.07% του ετήσιου ύψους βροχόπτωσης. Από αυτά, τα $2.24 \times 10^6 \text{ m}^3$ (16.64%) κατεισδύουν στον προσχωματικό υδροφόρο και τα $8.525 \times 10^6 \text{ m}^3$ στους ασβεστόλιθους (63.34%).

Οι απώλειες λόγω εξατμισοδιαπνοής υπολογίζονται σε $27.149 \times 10^6 \text{ m}^3$, που αντιστοιχούν σε 439.05 mm νερού ή στο 37.68% του ύψους βροχόπτωσης. Ακόμα, οι απώλειες λόγω επιφανειακής απορροής υπολογίζονται σε $31.013 \times 10^6 \text{ m}^3$ και αντιστοιχούν σε 505.76 mm νερού ή στο 43.25% του συνολικού ύψους βροχόπτωσης. Το ποσοστό αυτό είναι ιδιαίτερα μεγάλο και αποδίδεται στο ισχυρό ανάγλυφο που επικρατεί στην περιοχή.

Η γενική κατεύθυνση ροής στα υπόγεια ύδατα του προσχωματικού υδροφόρου είναι Β έως ΒΔ, με τις ισοπιεζομετρικές καμπύλες να μετατοπίζονται κατά την υγρή περίοδο προς την ακτογραμμή.

Οι μεταβολές της στάθμης μεταξύ υγρής – ξηρής περιόδου κυμαίνονται μεταξύ 0 και 4.7 m και η μέση διακύμανση της στάθμης ανέρχεται στα 2.05 m. Η υδραυλική κλίση ισούται με 2.5‰ στις περιοχές των λεκανών Σέλεμνου και Ξυλοκέρα και 5-8‰ στην περιοχή της λεκάνης του Βολιναίου.

Τα ρυθμιστικά αποθέματα του προσχωματικού υδροφόρου υπολογίζονται στα $3.25 \times 10^6 \text{ m}^3$.

Στο πλαίσιο της παρούσας έρευνας, πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία και χημική ανάλυση από 20 σημεία ύδατος (σημεία κοίτης και γεωτρήσεις του προσχωματικού υδροφόρου) κατά τα έτη 2005-2008.

Οι κύριες πηγές μόλυνσης των επιφανειακών υδάτων είναι οι καλλιεργήσιμες εκτάσεις, εξαιτίας της απόπλυσης και της απορροής λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων, καθώς και η εκτροφή ζώων. Ωστόσο, οι τιμές της αμμωνίας, του φωσφόρου και των νιτρικών και νιτρώδων ιόντων δεν είναι υψηλές ώστε να καθιστούν απαγορευτική τη χρήση των επιφανειακών υδάτων για άρδευση ή ακόμα και για ύδρευση (μετά από κατάλληλη επεξεργασία σε ειδικές εγκαταστάσεις).

Το σύνολο των δειγμάτων νερού των γεωτρήσεων του προσχωματικού υδροφόρου κατατάσσεται στην κατηγορία CaHCO_3 . Το νερό του υδροφόρου είναι καλής ποιότητας με την αγωγιμότητα να κυμαίνεται μεταξύ 433 και 771.5 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Οι χαμηλές τιμές Cl^- και Na^+ δεν υποδεικνύουν φαινόμενα υφαλμύρινσης. Έτσι, τα υπόγεια ύδατα κατατάσσονται στις κατηγορίες S1-C2 και S1-C3 του διαγράμματος SAR-EC, που σημαίνει ότι είναι κατάλληλα για άρδευση.

Η ανάγκη πρόβλεψης έντονων διαβρωτικών συνθηκών και πλημμυρικών φαινομένων είναι σημαντική γιατί επιτρέπει τον ορθολογικό σχεδιασμό των έργων υποδομής της περιοχής και την αποφυγή εκτεταμένων καταστροφών από αιφνίδια και μη φαινόμενα (βροχοπτώσεις και καταιγίδες). Η ανάγκη αυτή υπαγορεύτηκε εξαιτίας, κυρίως, των σοβαρών συνεπειών στα τεχνικά έργα (π.χ. προσχώσεις σε ταμειωτήρες ή υποχώρηση φραγμάτων) αλλά και στον άνθρωπο. Για το σκοπό αυτό, χρησιμοποιήθηκαν ειδικά μοντέλα προσομοίωσης.

Για τον υπολογισμό της εδαφικής διάβρωσης στις λειάνες απορροής, έγινε χρήση της Παγκόσμιας Εξίσωσης Εδαφικής Απώλειας (ΠΕΕΑ) η οποία συνυπολογίζει τις γεωλογικές, γεωμορφολογικές και μετεωρολογικές συνθήκες καθώς και τις χρήσεις γης της περιοχής. Από τη χρήση του μοντέλου, ως περιοχές υψηλού κινδύνου εδαφικής απώλειας ορίζονται οι περιοχές στους οικισμούς Αργυρά, Σελλά και Πιτίτσα καθώς και στα νότια της περιοχής έρευνας. Για τις υψηλές τιμές εδαφικής απώλειας ευθύνονται, κυρίως, το μεγάλο ύψος βροχόπτωσης καθώς και η μορφολογία, αφού οι περιοχές βρίσκονται στην ορεινή ζώνη όπου επικρατούν μεγάλα πρανή με απότομες κλίσεις. Οι περιοχές αυτές εμφανίζουν πολύ υψηλές τιμές στερεοπαροχής, αφού η επιφανειακή απορροή είναι εξίσου μεγάλη. Σε αυτό συμβάλλουν και οι γεωλογικοί σχηματισμοί οι οποίοι παρουσιάζουν μικρά ποσοστά κατείσδυσης, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η επιφανειακή απορροή.

Για τον υπολογισμό των φερτών υλικών που προέρχονται από την πλευρική και σε βάθος διάβρωση της κοίτης των χειμάρρων, χρησιμοποιήθηκαν οι κοκκομετρικές αναλύσεις των επιφανειακών ιζημάτων και έγινε προσομοίωση ροής για δοσμένες τιμές βάθους ροής. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης έδειξαν ότι, η αύξηση του βάθους ροής (και επομένως της ταχύτητας) συνεπάγεται αύξηση της κινητικής ενέργειας των χειμάρρων και επομένως της ποσότητας του ιζήματος που μπορούν να διαβρώσουν και να μεταφέρουν, με αποτέλεσμα να αυξάνεται και η στερεοπαροχή. Η στερεοπαροχή συνδέεται άμεσα με τις διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στις εκβολές των χειμάρρων (απόθεση, διάβρωση).

Όσον αφορά τον εντοπισμό περιοχών πλημμυρικής επικινδυνότητας, εφαρμόστηκαν τρεις μεθοδολογίες, η Υδρολογική Προσομοίωση των λεκανών απορροής, ο υπολογισμός της Ενέργειας του Χειμάρρου και η Πολυπαραγοντική Ανάλυση του Αναγλύφου. Για το σκοπό αυτό, χρησιμοποιήθηκαν πραγματικά δεδομένα των μηχανισμών απορροής και κυρίως υδρομετεωρολογικά δεδομένα επί μεγάλο χρονικό διάστημα, έτσι ώστε να ληφθούν υπόψη συνήθειες και αιχμαίες συνθήκες. Από την εφαρμογή των παραπάνω μεθόδων και τη σύγκρισή τους, προκύπτει μία σύγκλιση αποτελεσμάτων που σημαίνει ότι, τα σημεία που προκύπτουν είναι και τα πιθανότερα για την εκδήλωση πλημμυρικών φαινομένων. Περιοχές που παρουσιάζουν πολύ υψηλό κίνδυνο πλημμυρικής επικινδυνότητας είναι στους οικισμούς Άνω Καστρίτσι, Αργυρά και Σελλά. Ωστόσο, δεν είναι απαραίτητο σε αυτές τις θέσεις να εκδηλωθούν πλημμυρικές απορροές, ούτε και ότι η εμφάνιση τέτοιων φαινομένων αποκλείεται στις υπόλοιπες θέσεις.

Από τη μελέτη των διαχρονικών μεταβολών της ακτογραμμής προκύπτει πως, η ακτή, από το στόμιο του χείμαρρου Χάραδρου μέχρι την προβλήτα του Ψαθόπυργου, συνολικά διαβρώνεται. Η διάβρωση αυτή οφείλεται, κυρίως, στον εγκιβωτισμό των χείμαρρων, στην καταστροφή του προφίλ ισορροπίας της παραλίας με την δημιουργία ασφαλτόδρομων και τοιχίων προστασίας, την κατασκευή προβόλων και λιμενικών εγκαταστάσεων, καθώς και στην απόληψη αδρανών υλικών και στον καθαρισμό των κοιτών των χείμαρρων.

Η καταγραφή της υφιστάμενης κατάστασης από τη δράση των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων στις λειάνες απορροής, καθώς και ο υπολογισμός του υδατικού ισοζυγίου της περιοχής βοηθούν στο σωστό σχεδιασμό των απαραίτητων έργων για την προστασία των υδατικών πόρων. Τα έργα αυτά θα στοχεύουν στην προμήθεια νερού καλής ποιότητας τόσο για ύδρευση όσο και για άρδευση, στην εξασφάλιση και εξοικονόμηση των απαραίτητων ποσοτήτων νερού καθώς και στην προστασία από τα ακραία υδρολογικά φαινόμενα (πλημμύρες, εδαφική διάβρωση, ξηρασίες).

Η περιβαλλοντική επιβάρυνση των επιφανειακών υδάτων των χείμαρρων προκαλείται από την απόπλυση φυτοφαρμάκων και λιπασμάτων των καλλιεργούμενων εκτάσεων. Με τη δημιουργία ειδικών ζωνών βλάστησης (θάμνοι, δένδρα, χορτάρι) στα σημεία της όχθης όπου εντοπίζονται πηγές μόλυνσης, μειώνονται τα θρεπτικά συστατικά και άλατα που καταλήγουν στο χείμαρρο αφού δεσμεύονται από τις ζώνες αυτές. Παράλληλα, η καλλιέργεια των επικλινών εκτάσεων κατά τις ισοϋψείς καμπύλες καθώς και σε αναβαθμίδες θα συμβάλλει στη μείωση της εδαφικής απώλειας και της επιφανειακής απορροής φερτών υλικών.

Η απόληψη υλικού από τις κοίτες των χείμαρρων Σέλεμνου και Ξυλοκέρα είναι απαγορευτική αφού εγκυμονεί κινδύνους πλημμυρίσματος της παράκτιας οικιστικής ζώνης, ενώ παράλληλα στερεί σε ιζημα την ακτή με αποτέλεσμα να παρατηρούνται φαινόμενα εκτεταμένης διάβρωσης. Αντίθετα, η ελεγχόμενη απόληψη υλικού από την κοίτη του Βολινάιου μπορεί να μειώσει τον κίνδυνο κατολισθήσης στην ακτή.

Η εκτεταμένη διάβρωση κατά μήκος της ακτής μπορεί να αποκατασταθεί, έως ένα βαθμό, με την αποκατάσταση του ιζηματολογικού ισοζυγίου. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την απομάκρυνση των προβόλων και την απαγόρευση κατασκευής έργων (όπως παραλιακά τοιχεία και ασφαλτόστρωση της παραλίας) κατά μήκος της ακτής καθώς και με την επανατροφοδότηση της παραλίας που διαβρώνεται με άμμο από την υποπαράκτια ζώνη.

Ένα μεγάλο ποσοστό (43.25%) του ετήσιου όγκου νερού που πέφτει στην περιοχή, απορρέει επιφανειακά και καταλήγει στη θάλασσα. Για την αξιοποίησή του, απαραίτητη είναι η κατασκευή φραγμάτων ανάσχεσης σε κατάλληλες θέσεις, τα οποία μειώνουν τη χειμαρρική ροή και αυξάνουν το χρόνο παραμονής του νερού στην κοίτη, με αποτέλεσμα να αυξάνεται και το ποσοστό κατείσδυσης.

Παράλληλα, συγκρατούν το στερεοφορτίο των χειμάρρων, το οποίο μπορεί να συλλεχθεί και να χρησιμοποιηθεί για αδρανή υλικά.

Η κατασκευή μίας τεχνητής λίμνης στη λεκάνη απορροής του Βολιναίου, μπορεί να εξοικονομεί μέχρι και το 41.16% του ετήσιου όγκου που δέχεται η λεκάνη. Το νερό αυτό θα χρησιμοποιείται για την κάλυψη υδρευτικών και αρδευτικών αναγκών, ύστερα από τον απαραίτητο έλεγχο και επεξεργασία σε ειδικές εγκαταστάσεις.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Alexouli-Livaditi, A. & Lykoudi, E., 2003: Quantitative-Geomorphological study of Lesbos Island and drainage network (Greece). Bulletin of the Geological Society of Greece vol. XXXV, 5-18.
- Appelo, C. A. J. & Postma, D., 1994: Geochemistry, groundwater and pollution. A.A. Balkema, Rotterdam, Netherlands, 536 p.
- Armijo, R., Meyer, B., King, G. C. P., Rigo, A. & Papanastassiou, D., 1996: Quaternary evolution of the Corinth Rift and its implications for the Late Cenozoic evolution of the Aegean. Geophys. J. Int. 126, 11-53.
- Ashworth, P. J. & Ferguson, R. I., 1989: Size selective entrainment of bedload in gravel-bed streams. Water Resources Research 25, 627-634.
- Aubouin, J., 1957: A propos de la série du Pindos – Oionos. Essai de corrélations stratigraphiques dans le Pindos Méridional. – Ann. Geol. Pays Hellén.
- Aubouin, J., 1959: A propos d' un centenaire: Les aventures de la notion de Géosynclinal.- Rev. geogr. Phys. et geol. dynamique, vol. II, Fasc. 3.
- Auerswald, K. & Schmidt, F., 1986: Atlas der Erosionsgefährdung in Bayern – Karten zum flächenhaften Bodenabtrag durch Regen. GLA-Fachberichte 1, Geologisches Landesamt, Munich.
- Barndorff - Nielsen, O., 1977: Exponentially decreasing distributions for the logarithm of particle size. Proc. R. Soc. London, vol. 353A, pp. 401-419.
- Beaumont, P., 1975: Hydrology. In: Whitton, B.A. (Ed.) 'River Ecology' –8, Blackwell Scientific, Oxford.
- Benard, A. & Bos-Levenbach, E. C., 1953: The plotting of observations on probability paper. Statistica Neerlandica, 7, 163-173.
- Beran, M. A. & Rodier, J. A., 1985: Hydrological aspects of drought. WMO, No 39.
- Bevenger, G. S. & King, R. M., 1995: A pebble count procedure for assessing watershed cumulative effects. USDA, Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, Research Paper RM-RP- 319, 17pp.
- Bijker, E. W., 1971: Longshore transport computation. Journal of Waterways, Harbours and Coastal Engineering Division, ASCE, Volume 97, WW 4, pp. 687-701.
- Bijker, E. W., 1992: Mechanics of sediment transport by the combination of waves and current, in: Design & reliability of Coastal Structures, Venice, 1992, 147-173.

- Bradley, W. C., Fahnestock, R. K. & Rowerkamp, E. T., 1972: Coarse sediment transport by flood flow on Knik River, Alaska. *Geological Society of America Bulletin* 83, 1261-1284.
- Brierley, G. J. & Hickin, E. J., 1985: The downstream gradation of particle sizes in the Squemish river, British Columbia. *Earth Surface Processes and Landforms*, vol. 10, p. 597-606.
- Brunn, J. H., 1956: Contribution à l' étude géologique du Pinde septentrional et d' une partie de la Macédoine occidentale. *Ann. géol. Pays hellén*, 7,1 -358, Athènes.
- Bunte, K. & Abt, S. R., 2001(a): Sampling frame for improving pebble count accuracy in coarse gravel-bed streams. *Journal of the American Water Resources Association* (in press).
- Bunte, K. & Abt, S. R., 2001(b): Sampling Surface and Subsurface Particle-Size Distributions in Wadable Gravel- and Cobble-Bed Streams for Analyses in Sediment Transport, Hydraulics, and Streambed Monitoring. 30-42, 188-197.
- Castany G., 1963: *Traite pratiques des eaux souterraines* Dunod, Paris.
- Chan, C. C., 1981: Evaluation of soil loss factors on cultivated slopelands of Taiwan. Food and Fertilizer Technology Center Taipei, Technical Bulletin 55.
- Chow, V. T., 1951: A general formula for hydrologic frequency analysis, *Trans. Am. Geophys. Union* 32 (1951), pp. 231–237.
- Chow, V. T., 1959: *Open Channel Hydraulics*. New York, NY: McGraw – Hill Book Co.
- Christopoulos, G., 1998: Late Holocene River Behaviour of the Lower Alfios Basin, Western Peloponnese Greece. Thesis, University of Leeds, School of Geography, p. 329.
- Church, M. & Kellerhals, R., 1978: On the statistics of grain size variation along a gravel river. *Can. Jour. Earth Scienc.*, vol 15, p. 1151-1160.
- Church, M., McLean, D. G. & Walcott, J. F., 1987: River bed gravels: sampling and analysis. In: *Sediment Transport in Gravel-Bed Rivers*, C.R. Thorne, J.C. Bathurst and R.D. Hey (eds.), John Wiley and Sons, Chichester, p. 43-88.
- Coutagne, A., 1949: Etude generale des variations de debits en foctions des facteurs qui les conditionnent. *La Huille blanches* 2, Paris.
- Davis, J. C., 1986: *Statistics and data analysis in geology*. New York, Wiley, p. 647.
- Dawson, M., 1988: Sediment size variation in a braided reach of the Sunwapta River, Alberta, Canada. *Earth Surf. Processes Landforms* 13, 599-618.
- Deperet, C., 1913: Observations sur l' histoire geologique pliocene et quaternaire du golfe et d' isthme de Corinthe. *C. R. Acad. Sc.* 156, Paris.
- Dia, A. N., Cohen, A. S., Onions, R. K., & Jackson, I. A., 1997: Rates of uplift investigated through ²³⁰Th dating in the Gulf of Corinth (Greece). *Chem. Geol.* 138, 171-184.

- Doutsos, T. & Piper, D. J. W., 1990: Listric faulting, sedimentation, and morphological evolution of the Quaternary eastern Corinth rift, Greece: first stages of continental rifting. *Geol. Soc. Am. Bull.* 102. 812-829.
- Doutsos, T. & Poulimenos, G., 1992: Geometry and Kinematics of active faults and their seismotectonic significance in the western Corinth - Patras rift (Greece). *Journal of Structural Geology*, 14, 689-699.
- Doutsos, T., Kontopoulos, N. & Poulimenos, G., 1988: The Corinth-Patras rift as the initial stage of continental fragmentation behind an active island arc (Greece). *Basin Research* 1, 177-190.
- Doutsos, T., Koukouvelas, I., Poulimenos, G., Kokkalas, S., Xypolias, P. & Skourlis, K., 2000: An exhumation model of the south Peloponnesus, Greece. *Geologische Rundschau*. (in press).
- Dufaure, J. & Zamanis, A., 1980: Styles neotectoniques et etagements de niveaux marins sur un segment de l' arc insulaire, le Peloponnese. CNRS, Paris.
- Dufaure, J., Bousquet, B. & Spechouz, P., 1979: Contributions de la geomorphologie e la connaissance du Quaternaire continental Grece en relation avec les etudes de neotectonique. *Rev. Geogr. Phys. Geol. dynam.*, 21: 29-40, Paris.
- Einstein, H. A., 1950: The Bed-load Function for Sediment Transportation in Open Channel Flows, Technical Bulletin 1026, U.S. Dept. of the Army, Soil Conservation Service.
- El-Swaify, S. A., Dangler, E. W. & Armstrong, C. L., 1982: Soil erosion by water in the tropics. College of Tropical Agriculture and Human Resources, University of Hawaii.
- Engelund, F. & Hansen, E., 1967: A Monograph on Sediment Transport in Alluvial Streams. Technisk Vorlag, Copenhagen, Denmark.
- Engelund, F., 1965: A Criterion for the Occurrence of Suspended Load. *Notules Hydrauliques*, La Houille Blanche, Nr. 6.
- Ferentinis, G., Brooks, M. & Doutsos, T., 1985: Quaternary tectonics in the Gulf of Patras, Western Greece. *Journ. of Str. Geol.*, vol. 7, No 6, pp 713-717.
- Folk, R. L. & Ward, W. C., 1957: Brazos River Bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology* 27 (1):3-26.
- Fredse, J. & Deigaard, R., 1992: Mechanics of Coastal sediment transport. Advanced Series on Ocean Engineering, Volume 3, Series Editor-in-Chief Philip L-F Liu, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.
- Frijlink, H. C., 1952: Discussion des Formules de Debit Solide de Kalinske, Einstein et Meyer - Peter et Mueller Compte Tenue des Mesures Recentes de Transport dans les Rivieres Nederlandaises. 2me Journal Hydraulique Societe Hydraulique de France, Grenoble.

- Frydas, D., 1991: *Paleaokologische und stratigraphische Untersuchungen der Diatomeen des Pleistozans der N-Petoponnes, Griechenland*, Bull. Geol. Soc. Greece, XXV/2, 499-513.
- Garry, M., McAfee, J. & Wolf, C. L., 1972: *Glossary of Geology*. American Geological Institute, Washington, D. C.
- Giandotti, M., 1940: *Previsione empirica delle piene in base alle precipitazioni meteoriche, alle caratteristiche fisiche e morfologiche dei bacini. Applicazione del metodo ad alcuni bacini dell' Appeninno Ligure*. Ministero LL. PP., Servizio Idrografico Italiano, Memorie e studi idrografici, vol. 10, Roma, (Pubbl. N. 2 del S. I. I).
- Gregory, K.J. & Walling, D.E., 1983: 'Drainage Basin. Form and Process'. A Geomorphological Approach. Fletcher and Son Ltd., Norwich, U.K.
- Gumbel, E. J., 1954: *Statistical theory of extreme values and some practical applications*, Nat. Bur. Standards Appl. Math. Ser. 33, Washington D. C.
- Gumbel, E. J., 1958: *Statistics of Extremes*. Columbia University Press, New York, 375 pp.
- Häkli, T. A., 1970: *Factor analysis of the sulfide phase in mafic and ultramafic rocks in Finland*. Bull. Geol. Soc. Finland 42, 109-118.
- Harter, H. L., 1969: *Order statistics and their use in testing and estimation: Vol. 1. Tests based on range and studentized range of samples from a normal population*. Washington D. C.: U. S. Government Printing Office.
- Hashim, G. M. & Wong, N. C., 1988: *Erosion from steep land under various plant covers and terrains*. In Tay, T. H., Mokhtaruddin, A. M. and Zahari, A. B. (eds), *Steepland agriculture in the humid tropics*. MARDI/Malaysian Society of Soil Science, Kuala Lumpur: 424-61.
- Hazen, A., 1930: *Water supply*. American civil engineers handbook, Wiley, New York.
- Hey, R. D. & Thorne, C. R., 1983: *Accuracy of surface samples from gravel bed material*. Proc. Am. Soc. Civ. Eng., J. Hydraul. Eng. 109, 842-851.
- Hooke, J. M. & Redmond, C. E., 1992: *Causes and Nature of River Planform Change*. In: *Dynamics in Gravel bed Rivers*. P. Billi, R. D. Hey, C. R. Thorne, P. Tacconi (editors). John Willey & Sons Ltd., p. 557-571.
- Horton, R. E., 1932: *Drainage basin characteristics*, Trans, AGU, 13: 350 - 361.
- Horton, R. E., 1945. *Erosional development of streams and their drainage basins, hydrophysical approach to quantitive morphology*. Bul. Geol. Soc. Amer. 56, 275-370.
- Hurni, H., 1987: *Erosion – productivity – conservation systems in Ethiopia*. In Pla Sentis, I. (ed.), *Soil conservation and productivity*. Sociedad Venezolana de la Ciencia del Suelo, Maracay: 654-74.

- Ibbeken, H. & Denzer, I., 1988: Clast measurement: a simple manual device and its semiautomatic electronic equivalent. *Journal of Sedimentary Petrology* 58(4): 751-752.
- Ibbeken, H., 1974: A simple sieving and splitting device for field analysis of coarse grained sediments. *Journal of Sedimentary Petrology* 44(3): 939-946.
- Jacobshagen, V., 1977: Structure and geotectonic evolution of the Hellenides. *Proceedings of the VI Coll. on the geol. of the Aegean region*, pp1355-1367, IGME, Athens.
- Jacobshagen, V., Durr, S., Kockel, F., Kopp, K. O., Kowalczyk, G. with contributions of Berckheimer, H. & Buttner, D., 1978b: Structure and evolution of the Aegean Region. In: *Alps – Apennines – Hellenides* (eds. H. Closs, D. Roeder, K. Schmidt). Schweizerbart Stuttgart, pp 537-564.
- Jenson, S. K. & Dominique, J. O., 1988: Extracting topographics structure from digital elevation data for geographing for systems analysis. *Fotogrammetric engineering and remote sensing* 54, vol. 11, 1593-1600.
- Julien, P. Y. & Simons, D. B., 1984: Analysis of sediment transport equations for rainfall erosion. Civil Eng. Report: CER83-84PYJ-DBS52, Colorado State University, Fort Collins, CO.
- Julien, P. Y., 1995: *Erosion and Sedimentation*, Cambridge University Press, Cambridge, New York.
- Kelletat, D., Kowalczyk, G., Shroder, B. & Winter, K. P., 1978: Neotectonics in the Peloponnesian coastal regions. -In: CLOOS H. et al., (Eds.): *Alps, Apennines, Hellenides*, 512-518.
- Keraudren, B. & Sorel, D., 1987: The terraces of Corinth (Greece) — a detailed record of eustatic sea-level variations during the last 500,000 years. *Mar. Geol.* 77, 99-107.
- Killinc, M. Y. & Richardson, E. V., 1973: Mechanics of soil erosion from overland flow generated by simulated rainfall. *Hydrology Papers* No. 63, Colorado State University, Fort Collins, CO.
- Killinc, M. Y., 1972: Mechanics of soil erosion from overland flow generated by simulated rainfall. PhD thesis, Colorado State University.
- Kirpich, Z. P., 1940: Time of concentration of small agricultural watersheds: *Civil Engineering*, v. 10, no. 6, 362 p.
- Knighton, A. D., 1980: Longitudinal changes in size and sorting of stream-bed material in four English rivers. *Geol. Soc. Am. Bull.* 91, 55-62.
- Knighton, A. D., 1998: *Fluvial Forms and Processes. A New Perspective*, Edward Arnold, New York. 383 p.
- Kohnke, H. & Bertrand, A., 1962: *Soil Conservation*.
- Komar, P. D. & Li, Z., 1986: Pivoting analyses of the selective entrainment of sediments by shape and size with application to gravel threshold. *Sedimentology* 33, 425-436.

- Kontopoulos, N. & Doutsos, T., 1985: Sedimentology and tectonic of the Antirion area (Western Greece). Soc. Geol. It., 104.
- Kontopoulos, N. & Stamatopoulos, L., 1990: A stream flow controlled 'wet' late Quaternary alluvial fan, NW Peloponnese, Greece. II Quaternario 3, n. 1, pp 61-72.
- Kontopoulos, N. & Zelilidis, A., 1997: Depositional environments of the coarse-grained lower Pleistocene deposits in the Rio-Antirio basin, Greece. In: Engineering Geology and the Environment (Eds. by Marinos, P. G., Koukis, G. C., Tsiambaos, G. C. and G. C. Stournaras). Proceedings of Intern. Symp. Engin. Geol. Envir., 199-204.
- Köppen, W. & Geiger, R. 1936: Handbuch der Klimatologie. Berlin.
- Koukouvelas, I. K., Stamatopoulos, L., Katsanopoulou, D. & Pavlides, S., 2001: A palaeoseismological and geoarchaeological investigation of the Eliki fault, Gulf of Corinth, Greece. Journal of Structural Geology 23 (2001), p. 531-543.
- Kresser, W., 1964: Gedanken zur Geschiebe – und Schwebstoffführung der Gewässer. Österr. Wasserwirtschaft 16, H. 1/2, 5, 6-11.
- Krumbein, W. C., 1941: Measurement and geological significance of shape and roundness of sedimentary particles. Journal of Sedimentary Petrology 11 (2):64-72
- Krumbein, W. C., 1942: Settling-velocity and flume-behavior of non spherical particles. Transactions of the American Geophysical Union 23, 621-632.
- Lajczak, A., 1995: The impact of River Regulation, 1850-1990, on the Channel and Floodplain of the Upper Vistula River, Southern Poland. River Geomorphology, edited by E. J. Hickin. John Wiley & Sons Ltd.
- Lee, K. T., 1998: Generating design hydrographs by DEM assisted geomorphic runoff stimulation: a case study. Journal of American water resources association 34, vol. 2, 375-384.
- Leopold, L. B., 1970: An improved method for size distribution of stream bed gravel. Water Resources Research 5, Vol. 6, 1357-1366.
- Leopold, L. B., 1973: River channel change with time: an example. Geological Society of America Bulletin, 84, 1845-1860.
- Lewin, J. & Manton, M. M., 1975: Welsh floodplain studies: the nature of floodplain geometry. Journal of Hydrology 25, 37-50.
- Liu, Z., 2001: Sediment Transport. Laboratoriet for Hydraulik og Havnebygning, Instituttet for Vand, Jord og Miljøteknik, Aalborg Universitet, pp. 17-33.
- Lloyd, J. & Heathcote, J., 1985: Natural inorganic hydrochemistry in relation to groundwater. An introduction. Oxford, 296 p.

- Loftus, D. L. & Τσόφλιας, Π., 1971: Ινστιτούτο Γεωλογίας και Ερευνών Υπεδάφους, φύλλο χάρτη: 'Ναύπακτος', Κλίμακα 1:50000.
- Macklin, M. G., Rumsby, B. T. & Newson, M. D., 1992: Historical Floods and Vertical Accretion of Fine-grained Alluvium in the Lower Tyne Valley, Northeast England. In: Dynamics in Gravel-bed Rivers. P. Billi, R. D. Hey, C. R., Thorne, P., Tacconi (editors). John Wiley & Sons Ltd., p. 573-589.
- Madsen, O. & Grant, W., 1976: Sediment transport in the coastal environment. Technical report 209, M.I.T., Cambridge, Massachusetts, USA.
- Mangelsdorf, J., Scheurmann, K. & Weiss, F. H., 1989: River Morphology. A Guide for Geoscientists and Engineers. Springer Verlag, Berlin, 235 p., fig. 117.
- Mariolakos, I., Papanicolaou, D. & Lagios, E., 1985: A neotectonic geodynamic model of Peloponnese based on morphotectonics, repeated gravity measurements and seismicity. Geol. Jahrb., Hannover. 1985.
- McEwen, L. J., 1994: Channel planform adjustment and stream power variations on the middle River Coe, Western Grampian Highlands, Scotland, Catena, 21, 357-374.
- Meyer-Peter, E. & Müller, R., 1948: Formulas for bed-load transport. In: Proceedings of the 2nd Meeting of the International Association for Hydraulic Structures Research, pp. 39-64, Int. Assoc. Hydraul. Res., Delft, Netherlands.
- Mosselmann, E., Huisink, M., Koomen E. & Seijmonsbergen, A. C., 1995: Morphological Changes in a Large Braided Sand-Bed River. River Geomorphology, edited by E. J. Hickin. John Wiley & Sons Ltd.
- Mountrakis, D., Sapountzis, E., Kiliass, A., Eleftheriadis, G. & Christofides, G., 1983: Paleogeographic conditions in the western Pelagonian margin in Greece during the initial rifting of the continental area. Canadian Journal of Earth Sciences, 20, 1673-1681.
- Murck, B. W., Skinner, B. J. & Porter, S. C., 1996: Environmental Geology. John Wiley & Sons, Inc.
- Musgrave, G. W., 1947: The quantitative evaluation of factors in water erosion: a first approximation. Journal of Soil and Water Conservation 2: 133-8.
- Musgrave, G. W., 1974: Quantitative Evaluation of Factors in Water Erosion. Journ. Soil and Water Conservation, 2.
- Penman, H. L., 1948: Natural Evaporation from Open Water, Bare Soil and Grass. Proc. Royal Society 193, London, England, 120-145.
- Petrie, J. & Diplas, P., 2000: Statistical approach to sediment accuracy. Water Resources Research, vol. 36, No 2, p. 597-605.

- Pettijohn, F. J., 1957: Sedimentary Rocks. Harper and Raw Publishers, Inc., U. S. A., 626.
- Philippson, A., 1892: Der Peloponnes. Verlag Friedlander, Berlin.
- Philippson, A., 1898: La tectonique de l'Egeide. Ann de Geogr, 7, 112-141, Paris.
- Piper, D. J. W., Kontopoulos, N., Anagnostou, C. & Panagos, G., 1990: Modern fan deltas in the western gulf of Corinth, Greece. Geomarine letters 10: 5-12 New York.
- Piper, D. J. W., Stamatopoulos, L., Poulimenos, G., Doutsos, T. & Kontopoulos, N., 1990: Quaternary history of the Gulfs of Patras and Corinth, Greece. Z. Geomorphol. N. F. 34, 451-458.
- Plumley, W. J., 1948: Black Hills terrace gravels: a study in sediment transport. Journal of Geology 56: 526–577.
- Potter, P. E. & Pettijohn, F. J., 1963: Paleocurrents and basin analysis: Springer – Verlag, Berlin.
- Potyondy, J. & Bunte, K., 2002: Analysing pebble count data collected by size classes (based upon a similar spreadsheet by Bevenger, G. S. & King, R. M., 1995).
- Poulimenos, G., Albers, G. & Doutsos, T., 1989: Neotectonic evolution of the central section of the Corinth graben. -Z. dt. geol. Ges., 140: 173-182; Hannover.
- Poulimenos, G., Zelilidis, A., Kontopoulos, N. & Doutsos, T., 1993: Geometry of trapezoidal fan deltas and their relationship to extensional faulting along the south-western margins of the Corinth rift. Bas. Res., 5, 179-192.
- Priestly, C. & Taylor, R., 1972: On the assessment of surface heat flux and evaporation using large scale parameters. Weather Rev., vol. 100, pp. 81-92.
- Prosser, I. & Karssies, L., 2001: Designing filter strips to trap sediment and attached nutrients. Riparian Land Management Technical Guideline Update, Land & Water Australia, Canberra.
- Prosser, I., Bunn, S., Mosisch, T., Ogden, R. & Karssies, L., 1999: 'The delivery of sediment and nutrient to streams' in S. Lovett & P. Price (eds), Riparian Land Management Technical Guidelines, Volume One: Principles of sound management, Land & Water Australia, Canberra.
- Prosser, I., Karssies, L., Ogden, R. & Hairsine, P., 1999: 'Using buffers to reduce sediment and nutrient delivery to streams' in S. Lovett & P. Price (eds), Riparian Land Management Technical Guidelines, Volume Two: On-ground management tools and techniques, Land & Water Australia, Canberra.
- Raudkivi, A. J., 1976: Loose boundary hydraulics. 2nd Edition, Pergamon Press.
- Raudkivi, A. J., 1979: Hydrology, An Advanced Introduction to Hydrological Processes and Modelling, Pergamon Press, Oxford.
- Renz, C., 1940: Die Tektonik der griechischen Gebirge. Πρακτ. Ακαδ. Αθηνών, τομ. 8.

- Rice, S. & Church, M., 1996: Sampling surficial fluvial gravels: the precision of size distribution percentile estimates. *J. Sediment. Res.* 66, 654-665.
- Rice, S. & Church, M., 1998: Grain size along two gravel-bed rivers: statistical variation, spatial pattern and sedimentary links. *Earth Surf. Processes Landforms* 23, 345-363.
- Rice, S., 1998: Which tributaries disrupt downstream fining along gravel-bed rivers? *Geomorphology* 22, 39-56.
- Richards, L. A., 1954: Diagnostic and improvement of saline and alkali soils. *Agriculture Handbook* 60. ARS-US Department of Agriculture. Riverside, CA.
- Rondogianni, Th., 1984: Étude néotectonique des rivages occidentaux du canal d' Atalanti (Grèce centrale). Thèse 3ème Cycle, Univ. Paris Sud, 190 p., Orsay.
- Roose, E. J., 1975: Erosion et ruissellement en Afrique de l' ouest: vingt années de mesures en petites parcelles expérimentales. ORSTOM, Adiopodoumé, Ivory Coast.
- Roose, E. J., 1977: Application of the Universal Soil Loss Equation of Wischmeier and Smith in West Africa. In Greenland, D. J. and Lal, R. (eds), *Soil conservation and management in the humid tropics*. Wiley, London: 177-87.
- Saagar, R. & Esselaar, P.A., 1969: Factor analysis of Geochemical data from the Basal Reef, Orange Free State, Goldfield, S. Africa. *Econ. Geol.* 64, 445-451.
- Schneiderhöhn, P., 1967 in G. Müller: *Methods in Sedimentary Petrology*, Hafner, New York, 283 p.
- Schumm, S. A., 1956: Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. *Bull. Geol. Soc. Am.* 67, 597-646.
- Schwertmann, U., Vogl, W. & Kainz, M., 1987: *Bodenerosion durch Wasser*. Ulmer Verlag, Stuttgart.
- Schwertmann, U., Vogl, W. & Kainz, M., 1990: *Bodenerosion durch Wasser*, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- Sear, D. A., 1992: Impact of hydroelectric power releases on sediment transport processes in pool-riffle sequences. In: Billi, P., Hey, R. D., Thorne, C. R., Tacconi, P. (Eds.), *Dynamics of Gravel-Bed Rivers*. Wiley, Chichester, pp. 629-650.
- Sherman, L. K., 1932: Stream flow from rainfall by the unit graph method. *Eng. News Rec.* 108: 501–505.
- Singh, G., Babu, R. & Chandra, S., 1981: Soil loss prediction research in India. *Central Soil and Water Conservation Research and Training Institute Bulletin No. T12/D9*, Dehra Dun.
- Smith, D. D., 1958: Factors affecting rainfall erosion and their evaluation. *International Association of Scientific Hydrology Publication* 43: 97-107.

- Sneed, E. D. & Folk, R. L., 1958: Pebbles in the lower Colorado River, Texas-a study in particle morphogenesis. *Journal of Geology* 66:114-150.
- Stamatopoulos, L., Voltaggio, M. & Kontopoulos, N., 1994: $^{238}\text{Th}/^{238}\text{U}$ dating of corals from Tyrrhenian marine deposits and the palaeogeographic evolution of the Western Peloponnesus (Greece). *Munster. Forsch. Geol. Palaeontol.* 76, 345-352.
- Stefatos, A., Charalambakis, M., Papatheodorou, G. & Ferentinos, G., 2006: Tsunamigenic sources in an active European half-graben (Gulf of Corinth, Central Greece). *Marine Geology* 232, 35-47.
- Strahler, A. N., 1964: Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks, Section 4-11 in Chow, V.T. (Ed.) , *Handbook of applied Hydrology*, McGraw-Hill, New York.
- Struckmeier, W. & Margat, J., 1995: Hydrogeological Maps. A Guide and Standard Legend. International Association of Hydrogeologists. Volume 17 Verlag p.p. 177.
- Taboada, J., Vaamonde, A., Saavedra, A. & Alejano, L., 1997: Application of geostatistical techniques to exploration planning in state quarries. *Eng. Geol.* 47 (3), 269-277.
- Tauer, W. & Humborg, G., 1992: 'Runoff Irrigation in the Sahel Zone'. Verlag Josef Margraf.
- Temple, P. G., 1968: Mechanics of large-scale gravity sliding in the Greek Peloponnesos. *Geological Society of America Bulletin* 79, 689-700.
- Thornthwaite, C. W. & Mather, J. R., 1955: The water balance. Thornthwaite Ass. Lab., New Jersey. In: *Climatology* 8 (1), 1-37.
- Thornthwaite, C., 1944: Report of the Committee on Transpiration and Evaporation, 1943-44. *Transactions of the American Geophysical Union*, vol. 25, pp. 686-693.
- Tukey, J. W., 1963: Mathematics 596: An introduction to the frequency analysis of time series. In the *Collected Works of John W. Tukey I. Time Series: 1949-1964* 503-650. Wadsworth, Belmont, CA.
- Turc, L., 1951: Nouvelle formule pour le calcul du bilan de l'eau en fonction des valeurs moyennes annuelles des precipitations et de la temperature. *C. R. As. Sc.*, vol. 233, 635.
- U. S. Environmental Protection Agency, 1976: Quality criteria for water. Washington, D. C., 501 p.
- Viessman, W. & Lewis, G., 1996: *Introduction to Hydrology*, 4th ed. HarperCollins College Publ, New York, 760 pp.
- Weibull, W., 1939: A Statistical Theory of the Strength of Material, *Ingeniörs Vetenskaps Akademiens Handigar*, No. 151, Stockholm, Sweden.
- Williams, G. P. & Wolman, M. G., 1984: Downstream effects of dams on alluvial rivers. *U. S. Geol. Surv. Prof. Pap.* 1286, 83 pp.
- Winema National Forest, 1998

- Wischmeier, W. H. & Smith, D. D., 1978: Predicting Rainfall Erosion Losses, A Guide to Conservation Planning. Agriculture Handbook No. 537, U.S. Department of Agriculture, Washington, U.S.A.
- Wischmeier, W. H., Johnson, C. B. & Cross, B. V., 1971: A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. *Journal of Soil and Water Conservation* 26: 189-93.
- Wohl, E. E., Anthony, D. J., Madsen, S. W. & Thompson, D. M., 1996: A comparison of surface sampling methods for coarse fluvial sediments. *Water Resources Research*, 32 (10):3219-3226.
- Wolman, M.G., 1954: A method of sampling coarse river-bed material. *Trans. Am. Geophys. Union* 35, 951-956.
- World Health Organization, 2006: Guidelines for Drinking-water Quality. First Addendum to Third Edition, Volume 1.
- World Meteorological Organization, 1976: Handbook on Wave Analysis and Forecasting.
- Wundt, W., 1949: Die Flussmäander als Gleichgewichtsform der Erosion. *Experientia* 5, 301-307.
- Yuzyk, T. R. & Winkler, T., 1991: Procedures for bed-material sampling. Lesson Package No.28. Environment Canada, Water Resources Branch, Sediment Survey Section, Ottawa, Canada, 100 pp.
- Yuzyk, T. R., 1986: Bed material sampling in gravel-bed streams. Sediment Survey Section, Water Survey of Canada, Water Resources Branch, Inland Waters Directorate, Conservation and Protection, Environment Canada, Report IWD-HQ-WRB-SS-86-8, 62 pp.
- Zelilidis, A. & Doutsos, T., 1992: An interference pattern of neotectonic faults in the southwestern part of the Hellenic forearc basin, Greece. *Z. Deut. Geol. Ges.* Vol 143: 95-105.
- Zelilidis, A., 1998a: Xerias River evolution in relation to the geological background of the Corinth basin and its flooding in 12/1/1997. *Bull. Geol. Soc. Greece* 32 (1), 277-286.
- Zelilidis, A., 1998b: How the interaction of depositional environments and tectonic activity control the drainage evolution in a linear rifted basin: the implication of a drainage evolution in human activities. A case study of Pliocene-Pleistocene Corinth graben, Greece. 15th IAS Int. Sedimentol. Congr. Abstr. 842-843.
- Zelilidis, A., 2000: Drainage evolution in a rifted basin, Corinth graben Greece. *Elsevier. Geomorphology* 35 (2000) 69- 85.
- Zelilidis, A., 2003: The geometry of fan – deltas and related turbidites in narrow linear basins. *Geological Journal. Geol. J.* 38: 31 - 46.

- Zelilidis, A., Koukouvelas, I. & Doutsos, T., 1988: Neogene paleostress changes behind the forearc fold belt in the Patraikos Gulf area, Western Greece. *N. Jb. Geol. Paleont. Mh.* 311-325, Stuttgart.
- Zingg, A. W., 1940: Degree and length of land slope as it affects soil loss in runoff. *Agricultural Engineering* 21: 59-64.
- Zingg, T., 1935: Beiträge zur Schotteranalyse. *Min. Petrogr. Mitt. Schweiz.* 15, 39-140.
- Znamenskaya, N. S., 1969: Morphological principle of modeling of river-bed processes. *Proceedings 13th Congress International Association of Hydraulic Research, Kyoto, Vol. 5, No. 1.*
- Ανανιάδης, Γ., 2003: Συστηματική ανάλυση υποθαλασσίων ριπιδίων στη γεωτεκτονική ζώνη της Πίνδου. *Διδακτορική Διατριβή Πανεπιστημίου Πατρών, Τμήμα Γεωλογίας, Σελίδες 410.*
- Βουδούρης, Κ., 1995: Υδρογεωλογικές συνθήκες του ΒΔ τμήματος του Νομού Αχαΐας. *Διδακτορική Διατριβή Πανεπιστημίου Πατρών, Τμήμα Γεωλογίας, Σελίδες 230.*
- Γαλανόπουλος, Α., Δελήμπασης, Ν. & Κομνηνάκης, Π., 1964: Θαλάσσιον κύμα ει κατολισθήσεως άνευ σεισμικής διεγέρσεως. *Ann. Geol. Pays Helliniques* 16, pp. 93-110.
- Γιακουμάκης, Σ. & Τσακίρης, Γ., 1992: Μοντελοποίηση της Εδαφικής Διάβρωσης στο Βόρειο Τμήμα της Υδρολογικής Λεκάνης του Μόρνου. 5ο Πανελλήνιο Συνέδριο ΕΥΕ (Ελληνικής Υδροτεχνικής Ένωσης), Λάρισα, Νοέμβριος 1992.
- Γιαννάτος, Γ., 1999: Υδροδυναμική ανάλυση υδροφορίας ανθρακικών σχηματισμών με επικράτηση ασυνεχειών. Η λεκάνη του Άνω Βουραϊκού. *Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Αθηνών, σελ. 141.*
- Δημητρακόπουλος, Δ., Λουλούδης, Γ. & Κουμαντάκης, Ι., 1993: Επιπτώσεις της ξηρασίας στους υδροφορείς των Πλειοτεταρτογενών σχηματισμών της λεκάνης της Πτολεμαΐδας. 2ο Υδρογεωλογικό Συνέδριο, Πάτρα.
- Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού: Μετεωρολογικά δεδομένα των σταθμών 'Καλάβρυτα', 'Λεόντιο' και 'Μελίσσια'.
- Δουκάκης, Ε., 2005: Ανάπτυξη Παράκτιας Ζώνης. Σχολή Αγρονόμων – Τοπογράφων Μηχανικών, Ε. Μ. Π.
- Δούτσος, Θ. & Καμηλάρης, Χ., 1984: Οι κατολισθήσεις του Νομού Αχαΐας (Μηχανισμός, καταστροφές και έργα προστασίας). *Ορυκτός πλούτος*, 30, 45-59.
- Δούτσος, Θ., 2000: Γεωλογία: Αρχές και εφαρμογές. *Leader books*, Αθήνα, σελ. 421.
- Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία: Μετεωρολογικά δεδομένα των σταθμών 'Αίγιο', 'Αράξος' και 'Πάτρα'.

- Ελληνική Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού, 1987: Τοπογραφικά φύλλα χάρτη 'Ναύπακτος' και 'Χαλανδρίτσα', Κλίμακα 1:50000.
- Ζαρκρής, Δ., Λυκούδη, Ε. & Κουτσογιάννης, Δ., 2001: Διερεύνηση των αποθέσεων φερτών υλικών σε υδροηλεκτρικούς ταμιευτήρες. Ερευνητικό πρόγραμμα, Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας και Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, σ. 95-108, Αθήνα.
- Ζασλάβσκι, Μ. Ν., 1987: Επιστήμη της διάβρωσης και οι βάσεις της αντιδιαβρωτικής προστασίας των εδαφών. Έκδοση 'Ανώτατη Σχολή', Μόσχα.
- Ζιούρκας, Κ. & Κούκης, Γ., 1989: Κατολισθητικά φαινόμενα στο νομό Ευρυτανίας. Πολυμεταβλητή ανάλυση δεδομένων. Δελτίο Κ.Ε.Δ.Ε. 1-2, 15-30.
- Κακαβάς, Ν., 1995: Υδρολογικό ισοζύγιο σε καρστικές περιοχές της Κεντρικής Ελλάδος. Annales geologiques des pays Helleniques τ. XXXVI Αθήνα.
- Καλλέργης, Γ. & Χριστοδούλου, Θ., 1972: Σχέσεις ενεργού κατεισδύσεως και βροχοπτώσεως εις τις αλλουβιακές αποθέσεις περιοχής Καλαμπάκας. Δελτίο Ελλ. Γεωλ. Εταιρ. IX/1, σελ. 119-128.
- Καλλέργης, Γ., 1986: Εφαρμοσμένη Υδρογεωλογία. Τόμος Β, έκδοση ΤΕΕ, Αθήνα.
- Καλλέργης, Γ., 2001: Εφαρμοσμένη – Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία (Δεύτερη έκδοση) Έκδοση ΤΕΕ, τρεις τόμοι.
- Κάντας, Κ. & Τηνιακός, Λ., 1988: Ενεργός κατείσδυση και γενική υδρογεωλογική συμπεριφορά των κροκαλοπαγών Μεσσηνίας στο δυτικό τμήμα των βουνών της Κυπαρισσίας. Δελτ. Ελλην. Γεωλ. Ετ. X/3, 55-77.
- Καρακίτσιος, Β., 2001: Στρωματογραφία. Εκδόσεις Αστάρτη. Αθήνα. Σελίδες 488.
- Καρκάνας, Α., 2006: Ολοκαινικά περιβάλλοντα απόθεσης και η σύγχρονη ιζηματολογία του Βοιωτικού Κηφισού ποταμού. Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών.
- Καστάνοβ, Α. Ν. & Ζασλάβσκι, Μ. Ν., 1984: Γεωγραφική εδαφο-υδατοπροστασία. Έκδοση 'Γεωργία', Μόσχα.
- Κατσικάτσος, Γ., 1992: Γεωλογία της Ελλάδας. Πανεπιστήμιο Πάτρας, Ο.Ε.Δ.Β., Σελίδες 451.
- Κοντόπουλος, Ν. & Πανάγος, Α., 1979: Μορφομετρική ανάλυση κροκαλών του ποταμού Εύηνου. Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Εταιρ., TOM XIV/1, σ. 23-50, 5 ειμ., 30 πιν., Αθήνα.
- Κουμουντάκης, Ι. & Σταυρόπουλος, Ξ., 1993: Κατακόρυφες μεταγγίσεις υπόγειου νερού ελεύθερων οριζόντων σε υποκείμενους. Περιπτώσεις Δ. Αχαΐας και Βασιλικού Θεσσαλονίκης. Πρακτικά 2ου Υδρογεωλογικού Συνεδρίου, Πάτρα, σελ. 461-466.
- Λαμπράκης, Ν., 1989: Πειραματικά αποτελέσματα για τη διερεύνηση σχέσης ανάμεσα στην εξατμισοδιαπνοή και την κατείσδυση. Μετ. Μεταλ. Χρον. 71, 63-69.

- Λαμπράκης, Ν., 1991: Εισαγωγή στην Υδροχημεία. Πανεπιστήμιο Πατρών. Σελίδες 158.
- Λαμπράκης, Ν., 1991: Επεξεργασία των δεδομένων αναλύσεων των νερών. Ορυκτός Πλούτος 74, 53-60.
- Λυκούδη, Ε. & Ζαρεής, Δ., 2002: Πρόβλεψη περιοχών υψηλού κινδύνου εδαφικής διάβρωσης στη νήσο Κεφαλληνία με χρήση της παγκόσμιας εξίσωσης εδαφικής απώλειας. 6^ο Πανελλήνιο Γεωγραφικό Συνέδριο, σ. 412-419, Θεσσαλονίκη.
- Μαρίνος, Π., 1975: Ενεργός κατείδυση εντός ασβεστόλιθων. Σφάλματα κατά τον υπολογισμό της διαφοράς μέσω του υδρολογικού ισοζυγίου. Ισχύς των συνήθων εξισώσεων πραγματικής εξατμισοδιαπνοής εις την Ελλάδα. An. Geol. Des Pays Hell., 27.
- Μαριολάκος, Η., Φουντούλης, Ι., Ανδρεαδάκης, Ε., Σαμπαζιώτης, Ε., Καπουράνη, Ε. & Καραγκιόζη, Ε., 2007: Στρατηγικός Σχεδιασμός Αντιπλημμυρικής Προστασίας Νομού Λακωνίας. Ερευνητικό πρόγραμμα, Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Λακωνίας & Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, σ. 30-66.
- Μαριολάκος, Η. & Στείρος, Σ., 1975: Σκέψεις και απόψεις επί ορισμένων προβλημάτων της γεωλογικής και τεκτονικής δομής της Πελοποννήσου. Ann. Geol. Pays. Hellen, XXVI, pp 215-313.
- Μαριολάκος, Η., 1989: Είναι η πρόσφατη εξέλιξη της Βόρειας Πελοποννήσου αποτέλεσμα λιθοσφαιρικού εφελκυσμού; Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Εταιρ., XXXIII/1, pp 171-179.
- Μάστορης, Κ., 1967: Υδρογεωλογική έρευνα εις την ασβεστολιθική περιοχή Νοτίου Γκιώνας. Διδακτορική Διατριβή, ΕΜΠ, Αθήνα.
- Μαυρούδης, Ι. & Πανώρας, Α., 1992: Η κατανομή των βροχοπτώσεων στη λεκάνη απορροής του ποταμού Λουδιά. Υδροτεχνικά, τόμος 2, τεύχος 1.
- Μιμίκου, Μ. & Μπαλτάς, Ε., 2001: Τεχνική Υδρολογία, Ε.Μ.Π, 263 σελ.
- Μιμίκου, Μ., 1990: Τεχνολογία Υδατικών Πόρων. Αθήνα.
- Μουντράκης, Δ., 1985: Γεωλογία της Ελλάδας. (Univ. Studio Press). Θεσσαλονίκη, Σελίδες 207.
- Νίκας, Κ., 2004: Υδρογεωλογικές συνθήκες ΒΑ τμήματος νομού Αχαΐας. Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών.
- Ξυπολιάς, Π., 2000: Η κινηματική εξέλιξη της βόρειας Πελοποννήσου. Διδακτορική Διατριβή Πανεπιστημίου Πατρών, Σελίδες 147.
- Οδηγία 75/440/EC, 1975: Περί της απαιτούμενης ποιότητας των υδάτων επιφάνειας που προορίζονται για την παραγωγή ποσίου ύδατος στα Κράτη μέλη.
- Οδηγία 98/83/EC, 1998: Σχετικά με την ποιότητα των νερών που προορίζονται για την ανθρώπινη κατανάλωση.
- Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας, 2001: Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός 2000.

- Οργανισμός Κτηματολογίου και Χαρτογραφήσεων Ελλάδος, 1993: Χάρτης Κάλυψης Γης CORINE LAND COVER, φύλλο χάρτη: 'Πάτρα', Κλίμακα: 1:100000.
- Οργανισμός Κτηματολογίου και Χαρτογραφήσεων Ελλάδος, 2000: Χάρτης Κάλυψης Γης CORINE LAND COVER, Νομός Αχαΐας (σε ψηφιακή μορφή).
- Παναγόπουλος, Γ., 2004: Περιβαλλοντική Υδρογεωλογική έρευνα των υδροφόρων οριζόντων της ΝΔ Τριφυλίας. Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών.
- Παπαθεοδώρου, Γ. & Φερεντίνος, Γ., 1994: Εφαρμογή μεθόδων στατιστικής πολυμεταβλητής ανάλυσης σε προβλήματα μόλυνσης του θαλάσσιου περιβάλλοντος από βαρέα μέταλλα. Πρακτικά 3ου Πανελλήνιου Γεωγραφικού Συνεδρίου, 442-469.
- Παπαθεοδώρου, Γ., 1996: Γεωστατιστική (τεύχος 1ο) – περί ανάλυσης κύριων συνθετητών. Πανεπιστήμιο Πατρών.
- Παπούλιας, Ι., 1973: Το υδατικό ισοζύγιο εις τινάς ορεινούς σταθμούς της Ελλάδος επί τη βάσει της δυναμικής εξατμισοδιαπνοής. Περιοδικό 'Το Δάσος', 27-29.
- Πουλημένος, Γ., 1991: Τεκτονική ανάλυση και ιζηματολογία του δυτικού τμήματος της Κορινθιακής τάφρου. Διδακτορική Διατριβή Πανεπιστημίου Πατρών, Τμήμα Γεωλογίας, Σελίδες 298.
- Πρόγραμμα 'Θαλής', 2001: Διερεύνηση της σχέσης των γεωλογικών – γεωμορφολογικών και φυσιογραφικών παραμέτρων των λεκανών απορροής και η επίδραση των μεταβολών τους στο χειρσαίο και παράκτιο περιβάλλον – Εφαρμογή στη λεκάνη απορροής του π. Ευρώτα. Επιτροπή Ερευνών Ε. Μ. Π., Τομέας Γεωλογικών Επιστημών, Τμήμα Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών.
- Ρόζος, Δ., 1989: Τεχνικογεωλογικές συνθήκες στο νομό Αχαΐας - Γεωμηχανικοί χαρακτήρες των πλειο-πλειστοκαινικών ιζημάτων. Διδακτορική Διατριβή Πανεπιστημίου Πατρών, Σελίδες 453.
- Σακιάς, Ι., 1985: Τεχνική Υδρολογία, Τεύχος 1, Υδρολογία επιφανειακών υδάτων. Εκδ. ΑΙΒΑΖΗ, Θεσσαλονίκη.
- Σούλιος, Γ., 1975: Υδρογεωλογική μελέτη της λεκάνης Ξυνιάδος (Φωκίδος). Διδακτορική Διατριβή, ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη.
- Σούλιος, Γ., 1979: Γενική Υδρογεωλογία. Τόμ. 1 & 2. University Studio Press, Θεσσαλονίκη, σελ. 290 & 230.
- Σούλιος, Γ., 1985: Συμβολή στην υδρογεωλογική μελέτη των καρστικών υδροφόρων συστημάτων του Ελληνικού χώρου. Θεσσαλονίκη.
- Σταυρόπουλος, Ξ., 1992: Υδρογεωλογικές συνθήκες ευρείας περιοχής Κ. Αχαΐας - Μανωλάδας (ΒΔ Πελοπόννησος). Διδακτορική Διατριβή, ΕΜΠ, Αθήνα.

- Τριαλινός, Ι., 1957: Συμβολή στη διερεύνηση της τεκτονικής δομής της Ελλάδας. Ann. Geol. pays Hell., VIII, pp 99-117.
- Τσακίρης, Γ., 1995: Υδατικοί Πόροι: Ι. Τεχνική Υδρολογία. ΕΜΠ, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα.
- Τσόφλιας, Π., 1970: Γεωλογική κατασκευή του βορειότερου τμήματος της Πελοποννήσου (νομού Αχαΐας). Ann. geol. Pays Hellen, XI, pp 554-651.
- Τσόφλιας, Π., 1984: Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, φύλλο χάρτη: 'Χαλανδρίτσα', Κλίμακα 1:50000.
- ΦΕΚ 1154B'/12-08-2003: Απόφαση Δ17α-115-9-ΦΝ275/2003 περί τροποποίησης διατάξεων του 'Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού ΕΑΚ-2000' λόγω αναθεώρησης του Χάρτη Σεισμικής Επικινδυνότητας.
- Φλόκας, Α.Α., 1992: Μαθήματα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας. Εκδόσεις Ζήτη. Θεσσαλονίκη.
- Χριστοδούλου, Γ. Ε., 1982: Στρωματογραφία της Ελλάδας. Πάτρα.
- Χρυσάνθου, Β. & Πυλιώτης, Α., 1995: Εκτίμηση της εισροής φερτών υλών σε έναν ταμειυτήρα υπό κατασκευή. 6ο Πανελλήνιο Συνέδριο ΕΥΕ, σ. 355-362, Θεσσαλονίκη.