

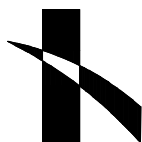
ΙΔΡΥΜΑ ΠΡΟΩΘΗΣΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

**ΟΡΘΟΛΟΓΙΚΗ ΑΕΙΦΟΡΟΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΩΝ ΟΜΒΡΙΩΝ ΥΔΑΤΩΝ
ΚΑΙ ΤΩΝ ΙΖΗΜΑΤΩΝ ΠΟΥ ΜΕΤΑΦΕΡΟΝΤΑΙ ΑΠΟ ΤΑ ΥΔΑΤΑ**

**ΔΙΕΘΝΗΣ ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΣΤΗ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ
ΙΖΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟ ΤΟΥΣ ΥΔΑΤΟΦΡΑΚΤΕΣ**

ΠΑΡΑΔΟΤΕΟ Π10

Μάρτιος 2007



κορωνίδα

Κορωνίδα Κέντρο Έρευνας και Ανάπτυξης Λτδ

τηλ (00357) 22374027, Φαξ (00357) 22374933

Έργο	Ερευνητικό Πρόγραμμα: Ορθολογιστική αειφόρος διαχείριση των ομβρίων υδάτων και των ιζημάτων που μεταφέρονται από τα ύδατα
Περιγραφή Εργασίας	Διεθνής Πρακτική στη Μετατόπιση Ιζημάτων από τους Υδατοφράκτες

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

- 1.0 ΕΙΣΑΓΩΓΗ
- 2.0 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΣΧΕΤΙΖΟΝΤΑΙ ΜΕ ΤΗΝ ΕΝΑΠΟΘΕΣΗ ΙΖΗΜΑΤΩΝ
ΣΤΑ ΦΡΑΓΜΑΤΑ
- 3.0 ΤΑ ΦΡΑΓΜΑΤΑ ΑΝΑ ΤΟ ΠΑΓΚΟΣΜΙΟ
- 4.0 ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΜΕ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΡΟΗ – FLUSHING
- 5.0 ΙΖΗΜΑΤΟΠΑΓΙΔΕΣ (Sediment Traps, Check Dams)
- 6.0 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1.0 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Το Πρόβλημα

Η Κύπρος αντιμετώπιζε ανέκαθεν πρόβλημα λειψυδρίας. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού υιοθετήθηκε, τη δεκαετία του 1960, η πολιτική «ούτε σταγόνα νερού να μη χάνεται στη θάλασσα». Αυτή η πολιτική είχε ως αποτέλεσμα το σχεδιασμό και την κατασκευή υδατοφρακτών σε όλους σχεδόν τους κύριους ποταμούς του νησιού. Οι υδατοφράκτες κατακρατούν όμως όχι μόνο όμβρια ύδατα αλλά και ιζήματα που παρασύρονται από τη ροή του νερού.

Η φράξη της ροής των ιζημάτων έχει δύο σημαντικές άμεσες αρνητικές επιπτώσεις:

1. Μείωση της χωρητικότητας του υδατοφράκτη
2. Αποκοπή της τροφοδοσίας με ιζήματα της κοίτης του ποταμού, της εκβολής του (δέλτα του ποταμού) και της παράκτιας ζώνης και έναρξη της διάβρωσης της παράκτιας ζώνης.

Για αντιμετώπιση των προβλημάτων αυτών εφαρμόζονται μέτρα όπως:

- Εκσκαφή/ συλλογή ιζημάτων από τους υδατοφράκτες και απόρριψή τους στη γύρω περιοχή
- Κατασκευή έργων προστασίας της παραλίας από διάβρωση

Η προσέγγιση αυτή αποτελεί θεραπεία των συμπτωμάτων και όχι της αιτίας του προβλήματος.

Για την «Αειφορία» απαιτείται ορθολογική διαχείριση των ιζημάτων, διατήρηση της ανάπτυξης των δέλτα των ποταμών και εμπλουτισμός των παραλιών με ιζήματα.

1.2 Ερευνητικό Πρόγραμμα

Το Ίδρυμα Προώθησης Έρευνας (ΙΠΕ) χορηγεί ερευνητικό πρόγραμμα το οποίο αποσκοπεί στην διερεύνηση ορθολογικών εναλλακτικών τρόπων διαχείρισης των ιζημάτων και στην ανάπτυξη εφικτών, αποτελεσματικών και αποδοτικών μεθόδων αποκατάστασης/ διατήρησης του εμπλουτισμού των ποταμών και παράκτιων περιοχών με ιζήματα και στην ανάπτυξη πολιτικής για αειφόρο διαχείριση των ομβρίων υδάτων και των ιζημάτων που μεταφέρονται από τα ύδατα.

Στο ερευνητικό αυτό έργο συμμετέχουν πρόσωπα από διάφορους τομείς. Η δομή της κύριας ερευνητικής ομάδας είναι:

Συντονιστής Έργου και Επιστημονικός Υπεύθυνος: Δρ. Αντώνης Τουμαζής (Κορωνίδα)

Συνεργάτες: Δρ. Κυριάκος Κύρου (Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων)

Νίκος Ιακώβου (Κλάδος Θαλασσίων Έργων, Τμ. Δημοσίων Έργων)

Ιάσωνας Σοφός (Κλάδος Θαλασσίων Έργων, Τμ. Δημοσίων Έργων)

Στέλιος Ζερβός (Κλάδος Θαλασσίων Έργων, Τμ. Δημοσίων Έργων)

Δρ. Γιώργος Αναστασάκης (Αν. Καθηγητής, Παν. Αθηνών)

Δρ Φλώρος Παντελή (Κορωνίδα)

Δήμητρα Χατζηλοϊζή (Κορωνίδα)

1.3 Διεθνής Πρακτική στη Μετατόπιση Ιζημάτων από τους Υδατοφράκτες

Το ερευνητικό έργο αποτελείται από ενδιάμεσες φάσεις/ δέσμες εργασίες κατά τη διάρκεια των οποίων εκδίδονται διάφορες εκθέσεις (παραδοτέα). Η έκθεση αυτή, παρουσιάζει τη διεθνή πρακτική που εφαρμόζεται για την αντιμετώπιση του προβλήματος της μείωσης της χωρητικότητας των υδατοφρακτών με τη μετατόπιση ιζημάτων από αυτά.

2.0 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΣΧΕΤΙΖΟΝΤΑΙ ΜΕ ΤΗΝ ΕΝΑΠΟΘΕΣΗ ΙΖΗΜΑΤΩΝ ΣΤΑ ΦΡΑΓΜΑΤΑ

2.1 Εισαγωγή

Ο αρχικός μηχανισμός που προκαλεί τη μεταφορά ιζημάτων στα φράγματα είναι η **διάβρωση των πετρωμάτων** ανάντη των φραγμάτων. Η διάβρωση αυτή ορίζεται (Mahmood, 1987) ως η αποκόλληση και μετακίνηση σωματιδίων πετρώματος από τη δράση του ανέμου, του νερού και του πάγου.

Ο ρυθμός διάβρωσης, ο οποίος εκφράζεται συνήθως σε $t/km^2/yr$ (τόνοι ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο ανά έτος) εξαρτάται από:

- Το κλίμα στη λεκάνη απορροής
- Τη γεωλογία της λεκάνης απορροής
- Την τοπογραφία της λεκάνης απορροής
- Την ανθρώπινη επίδραση στη λεκάνη απορροής

Τα ιζήματα που εναποτίθενται στο φράγμα εξαρτώνται από την **ικανότητα μεταφοράς (από τη ροή του νερού) των ιζημάτων** που προκαλούνται από τη διάβρωση των πετρωμάτων.

Οι πιο πάνω παράγοντες αναπτύσσονται στη συνέχεια.

2.2 Κλιματικές συνθήκες

Οι κύριες κλιματικές συνθήκες που επηρεάζουν τη δημιουργία και μεταφορά ιζημάτων είναι:

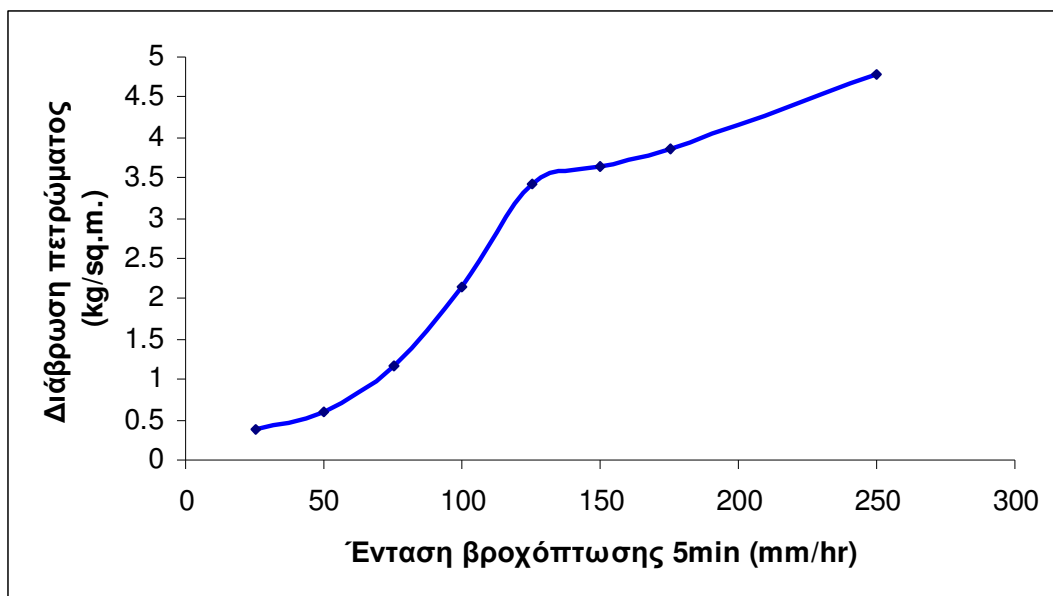
- Η βροχόπτωση
- Η επιφανειακή απορροή ομβρίων υδάτων
- Ο άνεμος

2.2.1 Βροχόπτωση

Η βροχόπτωση είναι σημαντικότερος παράγοντας στη διάβρωση πετρωμάτων και στη μεταφορά τους. Τα χαρακτηριστικά της βροχόπτωσης που επηρεάζουν τη διάβρωση είναι:

- Η ένταση της βροχόπτωσης
- Το μέγεθος των σταγονιδίων βροχής
- Η συνολική ποσότητα βροχής

Όσο μεγαλύτερη η ένταση βροχόπτωσης τόσο μεγαλύτερη η διάβρωση. Μετρήσεις πεδίου παρουσιάζονται στο σχήμα 2-1. (*Morgan and Davidson, 1986*)



Σχήμα 2-1. Διάβρωση σε σχέση με ένταση βροχόπτωσης (*Morgan and Davidson, 1986*)

Όσο μεγαλύτερα τα σταγονίδια βροχής τόσο μεγαλύτερη η διάβρωση.

Όσο μεγαλύτερη η ποσότητα βροχής τόσο μεγαλύτερη η διάβρωση. Για ίση συνολική ποσότητα βροχόπτωσης όμως, συμβάν με ψηλότερη ένταση και μικρή διάρκεια προκαλεί μεγαλύτερη διάβρωση παρά χαμηλότερη ένταση και μεγάλη διάρκεια.

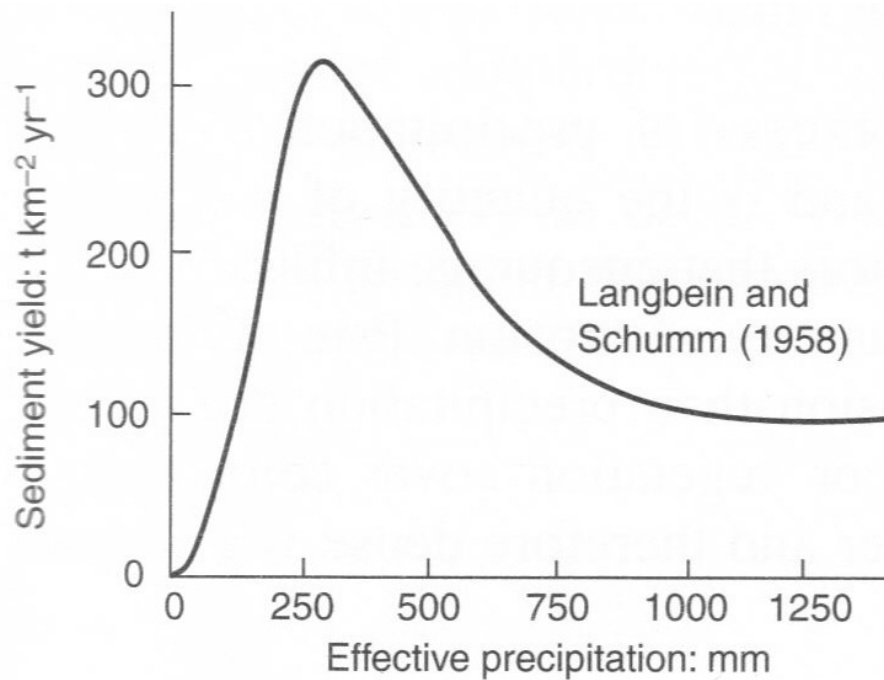
Ετήσια Μέση Βροχόπτωση

Η διάβρωση λόγω βροχόπτωσης εξαρτάται από προηγούμενες βροχοπτώσεις. Η υγρασία του εδάφους και η διείσδυση νερού στο υπέδαφος επηρεάζει την επιφανειακή ροή και επομένως τη διάβρωση του εδάφους.

Η διάβρωση είναι εντονότερη μετά από περίοδο ξηρασίας όταν τα πετρώματα είναι πιο ευάλωτα σε διάβρωση.

Για να ληφθεί ο παράγοντας αυτός υπόψη γίνεται προσπάθεια εμπειρικής συσχέτισης του όγκου ιζημάτων που μεταφέρονται από τη βροχόπτωση με την **μέση ετήσια βροχόπτωση**.

Σύμφωνα με τα πορίσματα της μελέτης Langbein and Schumn (1958), Σχήμα 2-2, η μέγιστη μεταφορά ιζημάτων συμβαίνει για ετήσια αποτελεσματική βροχόπτωση 300 mm (semi-arid areas). (Αποτελεσματική βροχόπτωση – effective precipitation είναι η βροχόπτωση που προκαλεί τη δεδομένη απορροή σε κανονική θερμοκρασία 50°F).



Σχήμα 2-2. Ρυθμός Διάβρωσης σε σχέση με αποτελεσματική βροχόπτωση (Langbein and Schumn (1958))

Σε περιοχές με μεγάλη ετήσια βροχόπτωση η βλάστηση είναι μεγαλύτερη και περιορίζει τη διάβρωση.

Σε περιοχές με πολύ χαμηλή ετήσια βροχόπτωση δεν υπάρχει επαρκής βροχόπτωση για να μεταφέρει ιζήματα.

Οι περιοχές με ήπια ετήσια βροχόπτωση είναι οι πιο ευάλωτες σε διάβρωση ιζημάτων.

Ο συσχετισμός της μεταφοράς ιζημάτων, sediment yield, με την ετήσια βροχόπτωση, όντας εμπειρικός, εξαρτάται από τα στοιχεία στα οποία βασίστηκε, και έτσι παρατηρείται μεγάλη απόκλιση μεταξύ των διαφόρων μελετών.

2.2.2 Επιφανειακή απορροή ομβρίων υδάτων (run-off)

Η επιφανειακή απορροή είναι η διαφορά μεταξύ της βροχόπτωσης και της διείσδυσης στο υπέδαφος και την εξάτμιση.

Επιφανειακή απορροή = Βροχόπτωσης – (Διείσδυσης στο υπέδαφος + Εξάτμιση)

Παράγοντες που αυξάνουν την διείσδυση στο υπέδαφος μειώνουν την επιφανειακή απορροή και κατά συνέπεια τη μεταφορά ιζημάτων.

Στις ακραίες περιπτώσεις όμως:

- όπου βλάστηση είναι πολύ πυκνή, η επιφανειακή απορροή είναι πολύ ψηλή ενώ δεν μπορεί να υπάρξει διάβρωση
- όπου η βλάστηση είναι πολύ φτωχή, η διείσδυση στο υπέδαφος είναι πολύ μεγάλη αλλά και η διάβρωση του εδάφους είναι πολύ ψηλή.

2.2.3 Άνεμος

Ο άνεμος έχει την ικανότητα με μεταφέρει ιζήματα. Σε ξηρές περιοχές με πενιχρή

βλάστηση ο άνεμος δύναται να διαβρώνει το έδαφος και να μεταφέρει ιζήματα από εκτεθειμένες επιφάνειες σε κοιλότητες. Η επιφανειακή ροή ομβρίων υδάτων μεταφέρει ξανά τα ιζήματα αυτά σε χαμηλότερα σημεία.

2.3 Γεωλογία λεκάνης απορροής

2.3.1 Τύπος Πετρώματος

Ο τύπος των πετρωμάτων επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό το ρυθμό διάβρωσης.

Ανθεκτικά πετρώματα όπως, conglomerate, limestone, resistant sandstone φθάνουν και μέχρι 10 φορές μικρότερους ρυθμούς διάβρωσης από μαλακά πετρώματα όπως ο γύψος shale.

2.3.2 Γεωτεχνικά Χαρακτηριστικά

Τα κύρια γεωτεχνικά χαρακτηριστικά που σχετίζονται με τη διάβρωση και μεταφορά ιζημάτων είναι:

- Κοκκομετρία
- Περιεκτικότητα σε οργανικά
- Αντοχή σε διάτμηση
- Διαπερατότητα

Κοκκομετρία

Σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία (Goldman et al 1986):

- Αμμόδη χοντρόκοκκα υλικά έχουν μεγάλη διείσδυση νερού και επομένως χαμηλή διάβρωση
- Σε αργιλώδη υλικά, η άργιλος έχει μεγάλη συνοχή και είναι ανθεκτική σε διάβρωση
- Υλικά με ψηλή περιεκτικότητα σε ιλύ/ λεπτόκοκκη άμμο και χαμηλή περιεκτικότητα σε άργιλο είναι τα πιο ευάλωτα σε διάβρωση

Περιεκτικότητα σε οργανικά

Οργανικά στοιχεία στο έδαφος αυξάνουν την διαπερατότητα, την απορρόφηση νερού, την βλάστηση και έτσι μειώνουν τη διάβρωση του εδάφους. Η περιεκτικότητα σε άργιλο συσχετίζεται με την περιεκτικότητα σε οργανικά αφού είναι η άργιλος που συνδέεται με τα οργανικά στοιχεία.

Εδάφη με περιεκτικότητα σε άργιλο χαμηλότερη από 3.5% είναι ευάλωτα σε διάβρωση.

Αντοχή σε διάτμηση

Στην επιφάνεια του εδάφους, η διάβρωση εξαρτάται από την αντοχή σε διάτμηση του υλικού. Συνεκτικά υλικά (cohesive soils) (άργιλος) έχουν αντοχή σε διάτμηση ενώ μη-συνεκτικά (non-cohesive) είναι ευάλωτα σε διάβρωση.

Διαπερατότητα

Υλικά με μεγάλη διαπερατότητα (όπως τα χαλίκια, η άμμος) μειώνουν την επιφανειακή απορροή και έτσι τη διάβρωση του εδάφους. Αντίθετα, υλικά όπως η άργιλος που είναι αδιαπέρατα έχουν μεγάλες επιφανειακές απορροές και έτσι μεγάλη διάβρωση στο έδαφος. Ειδικά όταν το υπέδαφος αποτελείται από ορίζοντες τέτοιων υλικών, τα άνω στρώματα είναι ευάλωτα σε διάβρωση.

2.4 Τοπογραφία της Λεκάνης Απορροής

Παράγοντες της τοπογραφίας που επηρεάζουν τη διάβρωση του εδάφους και μεταφορά ιζημάτων στο φράγμα είναι:

- Η κλίση του εδάφους
- Ο προσανατολισμός της λεκάνης απορροής
- Η βλάστηση

2.4.1 Κλίση του Εδάφους

Η κλίση του εδάφους επηρεάζει την υδραυλική συμπεριφορά της απορροής των υδάτων. Όσο πιο απότομη η κλίση τόσο μεγαλύτερη η ταχύτητα ροής τόσο εντονότερη η διάβρωση. Σημειώνεται ότι η ενέργεια που προκαλεί τη διάβρωση είναι συνάρτηση

του τετραγώνου της ταχύτητας ροής.

2.4.2 Προσανατολισμός της Λεκάνης

Στο βόρειο ημισφαίριο, οι πλαγιές προς το νότο είναι:

- Πιο ζεστές
- Πιο ξηρές
- Με λιγότερη βλάστηση
- Με μεγαλύτερες εναλλαγές θερμοκρασίας και υγρασίας στο έδαφος

Συγκριτικά με τις πλαγιές προς βορρά.

Έτσι οι πλαγιές προς το νότο είναι πιο ευάλωτες σε διάβρωση παρά οι πλαγιές προς βορρά.

2.4.3 Βλάστηση

Η βλάστηση είναι ο σημαντικότερος παράγοντας στη μείωση της διάβρωσης αφού η βλάστηση:

- Εκτονώνει/ απορροφά την ενέργεια (κινητική) της προσπίπτουσας βροχόπτωσης
- Αποτρέπει/ εμποδίζει την πρόσκρουση των σταγονιδίων της βροχής στο έδαφος
- Μειώνει το μέγεθος του «κρατήρα» που προκαλείται από την πρόσκρουση σταγονιδίων στο έδαφος
- Δημιουργεί πόρους και αυξάνει τη διείσδυση του νερού στο έδαφος
- Μειώνει τη ταχύτητα της επιφανειακής απορροής
- Συγκρατεί τους κόκκους του εδάφους
- Αυξάνει την υγρασία του επιφανειακού εδάφους δημιουργώντας αρνητική πίεση στους πόρους μεταξύ των σωματιδίων και αυξάνοντας έτσι την αντοχή σε διάτμηση

Ο τύπος της βλάστησης που αναπτύσσεται εξαρτάται και αυτός από τη βροχόπτωση, τη θερμοκρασία, το έδαφος και τοπογραφία της περιοχής. Σε περιοχές με σταθερή βροχόπτωση καθόλη τη διάρκεια του χρόνου ευνοείται η βλάστηση που μειώνει τη διάβρωση του εδάφους. Σε περιοχές με μη σταθερή βροχόπτωση, σε ξηρό κλίμα η

βλάστηση είναι πτωχή και η διάβρωση αυξημένη.

2.5 Ανθρώπινη Επίδραση/ Χρήση της γης

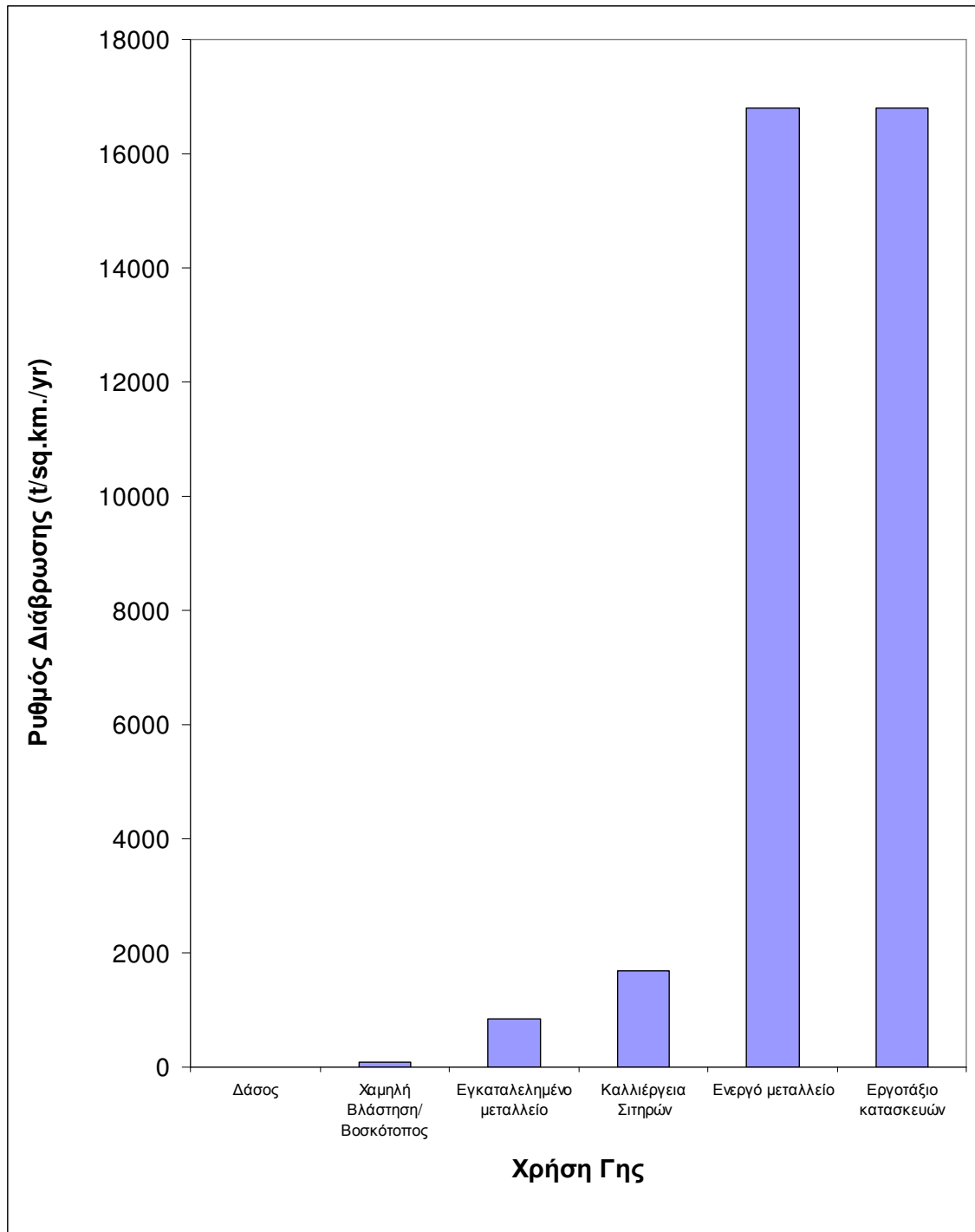
Η χρήση της γης από τον ανθρώπινο παράγοντα εξαρτάται και αυτή μεταξύ άλλων από τη βροχόπτωση, τη θερμοκρασία, το έδαφος και τοπογραφία της περιοχής.

Οι περιοχές με χαμηλή βροχόπτωση και ήπιες κλίσεις στην τοπογραφία υπόκεινται στις μεγαλύτερες αλλαγές χρήσης.

Ο καθαρισμός του εδάφους και η καύση των δασών για γεωργική χρήση αυξάνουν τη διάβρωση του εδάφους.

Σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία (US Global Change Research Information Office, 1999) ο ρυθμός διάβρωσης σήμερα, λόγω του ανθρώπινου παράγοντα, είναι 2½ φορές του φυσιολογικού ρυθμού.

Ενδεικτικοί ρυθμοί διάβρωσης παρουσιάζονται στο Σχήμα 2-3.



Σχήμα 2-3. Ρυθμός Διάβρωσης ως συνάρτηση της Χρήσης Γης

3.0 ΤΑ ΦΡΑΓΜΑΤΑ ΑΝΑ ΤΟ ΠΑΓΚΟΣΜΙΟ

3.1 Διεθνή Στοιχεία

Σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία (White 2001), οι συνολική ποσότητα φρέσκου νερού εκτιμάται ότι είναι της τάξης των 35 εκατομμυρίων km^3 .

Από αυτή την ποσότητα, 70% περίπου είναι σε στερεά μορφή στους παγετώνες και 30% περίπου βρίσκεται στο έδαφος (υπόγεια ύδατα). Το νερό στις λίμνες, τους ποταμούς και βάλτους αντιστοιχεί σε μόνο 0.3% των υδατικών πόρων παγκοσμίως.

Οι φυσικές λίμνες περιέχουν 91.000 km^3 ενώ οι τεχνητές λίμνες και δεξαμενές περί τις 7.000 km^3 .

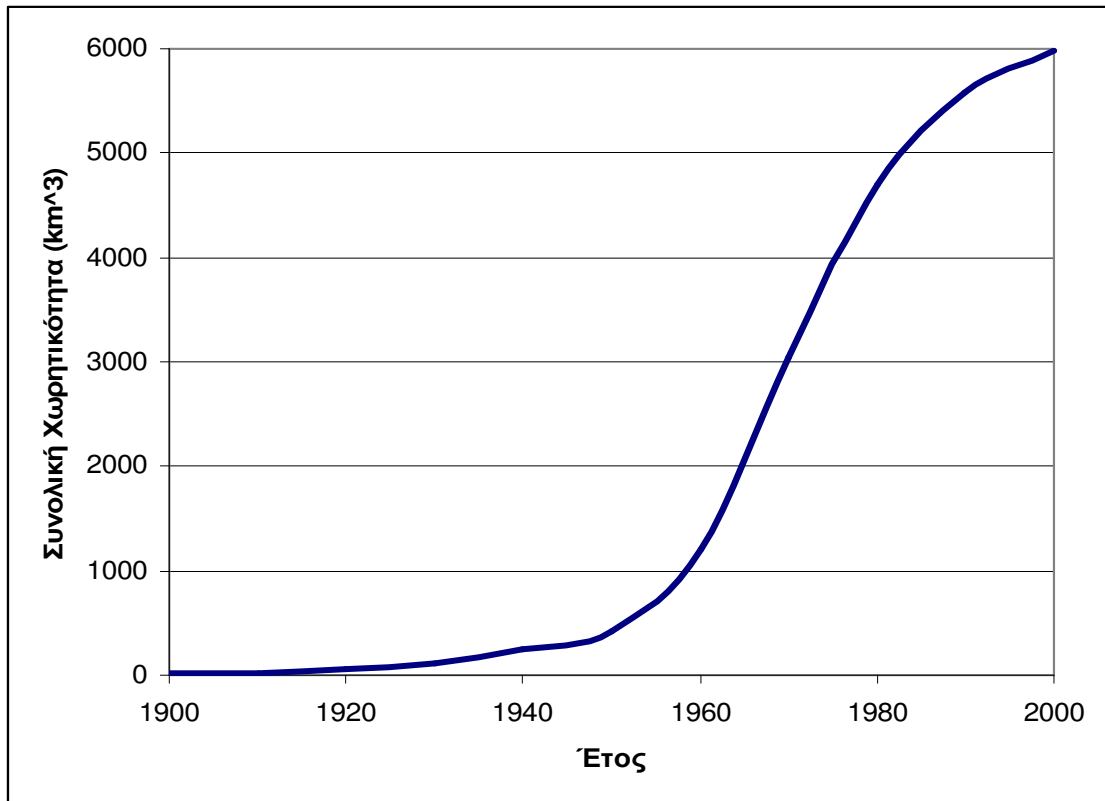
Το νερό που αποθηκεύεται σε φυσικές και τεχνητές λίμνες και δεξαμενές αντιστοιχεί σε περίπου 82% της παγκόσμιας μέσης ετήσιας βροχόπτωσης των 119.000 km^3 και είναι διπλάσιο της παγκόσμιας ετήσιας απορροής των 47.000 km^3 .

3.2 Κατασκευή Υδατοφρακτών

Υπάρχουν πέραν των 40 000 μεγάλων φραγμάτων διεθνώς, τα οποία χρησιμοποιούνται για:

- Άρδευση
- Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας
- Αντιπλημμυρική προστασία

Τα πλείστα φράγματα κατασκευάστηκαν μετά το 1950 και είχαν την μεγαλύτερη ανάπτυξη περί τη δεκαετία του 1960. (Σχήμα 3-1)



Σχήμα 3-1. Ανάπτυξη συνολικής χωρητικότητας υδατοφρακτών παγκοσμίως.

Τα φράγματα είχαν σημαντικά ωφέλη στην ποιότητα της ζωής του ανθρώπου σε όλο τον πλανήτη.

3.3 Απώλεια Χωρητικότητας Υδατοφρακτών

½% μέχρι 1% της συνολικής χωρητικότητας των υδατοφρακτών χάνεται κάθε χρόνο ως αποτέλεσμα της εναπόθεσης ιζημάτων στις λεκάνες των υδατοφρακτών. Αυτό αντιστοιχεί σε απώλεια 300 με 400 υδατοφρακτών το χρόνο.

Για την αποκατάσταση της απώλειας αυτής απαιτείται είτε η εκκένωση των ιζημάτων από τα φράγματα είτε η κατασκευή άλλων υδατοφρακτών.

Ο μέσος παγκόσμιος ρυθμός διάβρωσης του εδάφους είναι της τάξης των 65mm ανά 1000 χρόνια (Walling, 1989).

Από το διαβρωμένο υλικό, 90% περίπου μεταφέρεται από το νερό ως αιωρούμενα ιζήματα ή κινούμενο στον πυθμένα/ κοίτη της ροής, και το υπόλοιπο ως διαλυμένο στο νερό.

Ο ρυθμός διάβρωσης ποικίλει σε τεράστιο βαθμό από θέση σε θέση. Ενδεικτικά παραδείγματα περιλαμβάνουν:

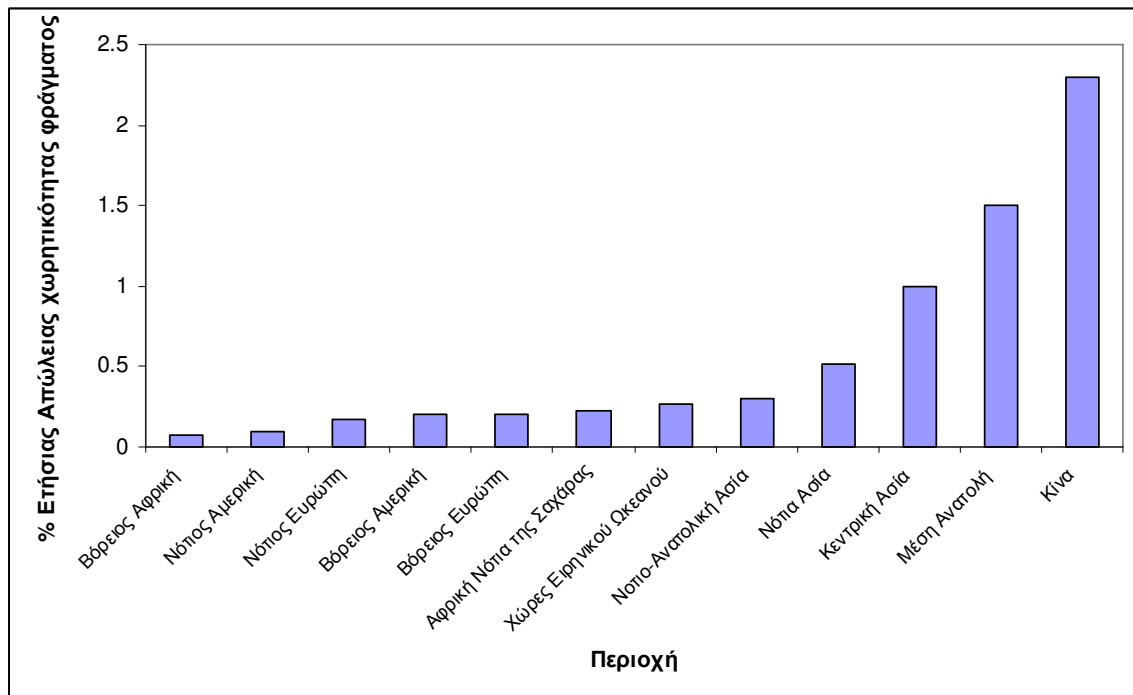
- Αμελητέα απώλεια στη Μεγάλη Βρετανία (White et al. 1996) με απώλεια 0.1% το χρόνο σε δείγμα 95 υδατοφρακτών.
- Πλήρης απώλεια της χωρητικότητας σε μόνο ένα χρόνο στον υδατοφράκτη Wetzman στον ποταμό Gail στην Αυστρία.

Ανάλυση από στοιχεία για 2.300 φράγματα από 31 χώρες δείχνει ότι το μεγαλύτερο ρυθμό διάβρωσης παρουσιάζει η Βόρειος Αφρική και το μικρότερη η Νότιος Αμερική. Τα στοιχεία αναλυτικά κατά περιοχές παρουσιάζονται στον Πίνακα 3-1.

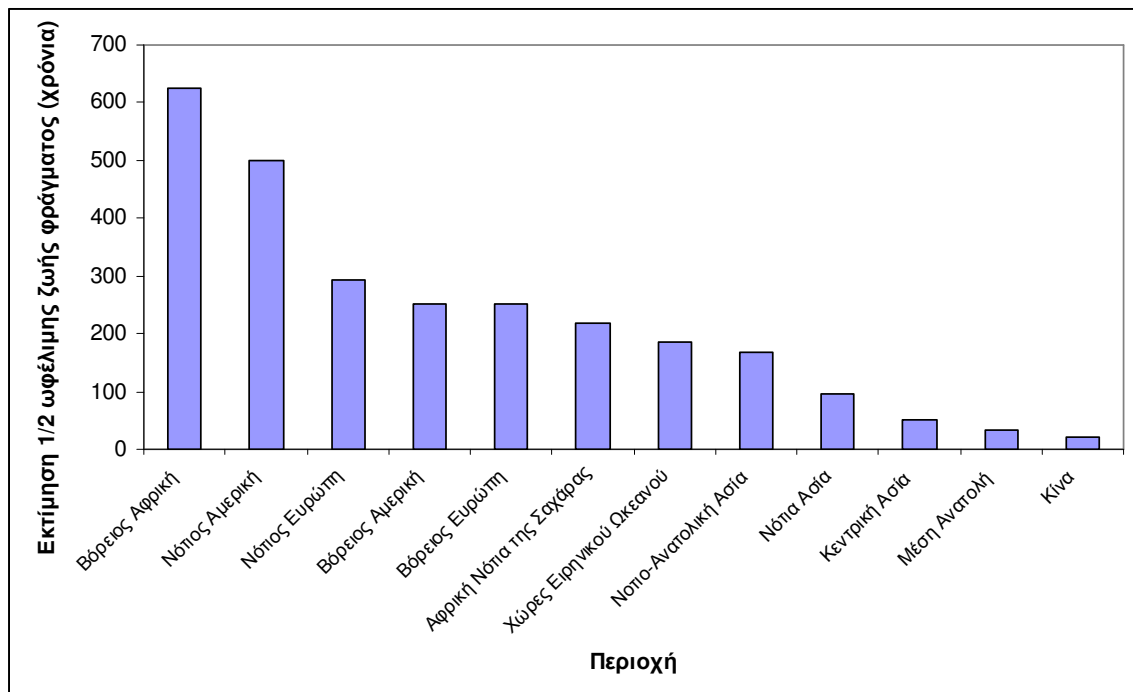
Περιοχή	Εκτίμηση μέσης ετήσιας απώλειας χωρητικότητας	Εκτίμηση διάρκειας μισής (1/2) ωφέλιμης ζωής υδατοφράκτη
Βόρειος Αφρική	0.08	625
Νότιος Αμερική	0.1	500
Νότιος Ευρώπη	0.17	294
Βόρειος Αμερική	0.2	250
Βόρειος Ευρώπη	0.2	250
Αφρική Νότια της Σαχάρας	0.23	217
Χώρες Ειρηνικού Ωκεανού	0.27	185
Νοτιο-Ανατολική Ασία	0.30	167
Νότια Ασία	0.52	96
Κεντρική Ασία	1.0	50
Μέση Ανατολή	1.5	33
Κίνα	2.3	22

*Πίνακας 3-1. Παγκόσμια περιφερειακή κατανομή απώλειας χωρητικότητας φραγμάτων
λόγω εναπόθεσης ιζημάτων*

Γραφική απεικόνιση των στοιχείων αυτών παρουσιάζεται στα σχήματα 3-2 και 3-3.



Σχήμα 3-2: Απώλεια χωρητικότητας φράγματος ανά περιοχή στον κόσμο



Σχήμα 3-3: Εκτίμηση 1/2 ωφέλιμης ζωής φράγματος, λόγω ιζημάτων

Όπως φαίνεται από τα πιο πάνω στοιχεία η περιοχή της Μέσης Ανατολής έχει τη δεύτερη

μεγαλύτερη απώλεια χωρητικότητας φραγμάτων λόγω της μεταφοράς ιζημάτων σε αυτά. Σε σύγκριση με τη νότια Ευρώπη έχει 8,8 φορές μεγαλύτερο ρυθμό απώλειας χωρητικότητας ή τα φράγματα έχουν 8,8 φορές μικρότερη διάρκεια ζωής.

3.4 Διεθνείς τάσεις απώλειας χωρητικότητας

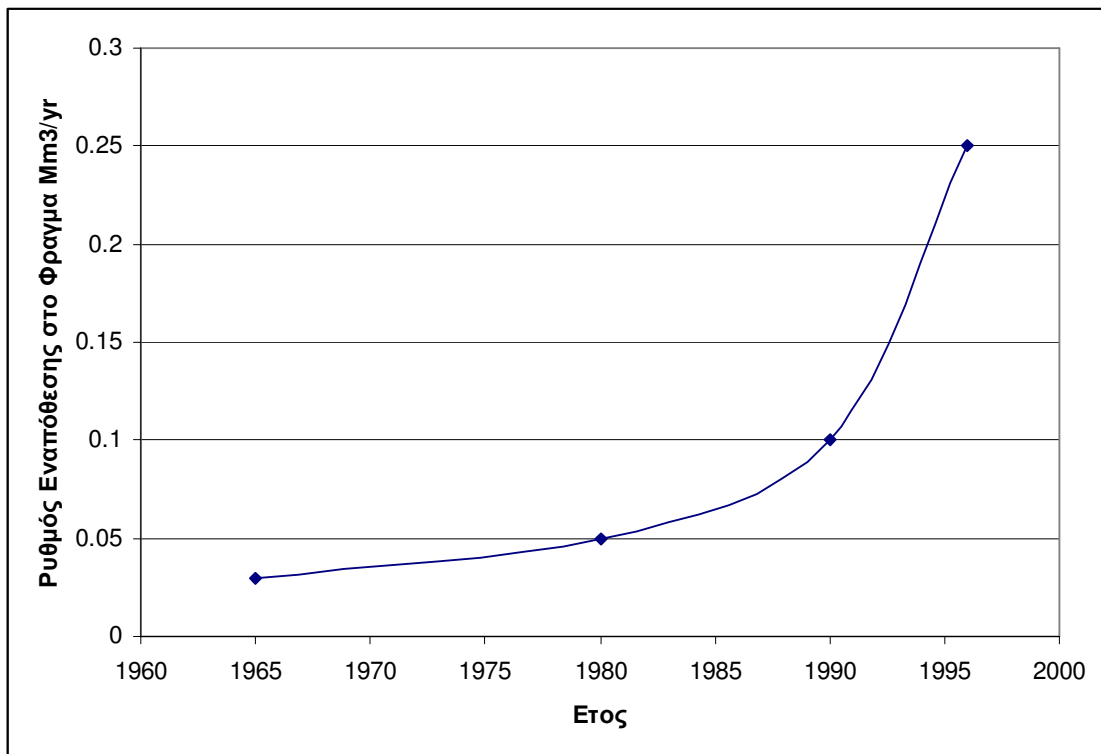
Ο ρυθμός απώλειας χωρητικότητας ενός φράγματος εξαρτάται από το ρυθμό διάβρωσης του εδάφους στη λεκάνη απορροής του φράγματος.

Σε περιοχές όπου οι λεκάνες έχουν σταθερή μορφή, όπως τη Βόρεια Αμερική και Βόρεια Ευρώπη, ο ρυθμός απώλειας χωρητικότητας είναι σταθερός, ενώ σε περιοχές όπου έχουν μετατραπεί δασώδεις εκτάσεις σε καλλιέργειες ή αστικές αναπτύξεις, ο ρυθμός διάβρωσης αυξήθηκε και ταυτόχρονα ο ρυθμός απώλειας της χωρητικότητας των υδατοφρακτών αυξήθηκε.

Σύμφωνα με το ICOLD (1997), (Πίνακας 3-2 και Σχήμα 3-4) στον υδατοφράκτη Ringlet στη Μαλαισία, ο ρυθμός εναπόθεσης ιζημάτων αυξήθηκε περί τις 10 φορές λόγω της μετατροπής της λεκάνης απορροής από δάσος σε καλλιέργειες και εξοχικές διευκολύνσεις.

Έτος	Ρυθμός διάβρωσης εδάφους $m^3/km^2/yr$	Ρυθμός Εναπόθεσης ιζημάτων στο φράγμα Mm^3/ yr
1965	165	0.03
1980	275	0.05
1990	550	0.10
1996	1360	0.25

Πίνακας 3-2: Απώλεια Χωρητικότητας Φράγματος Ringlet



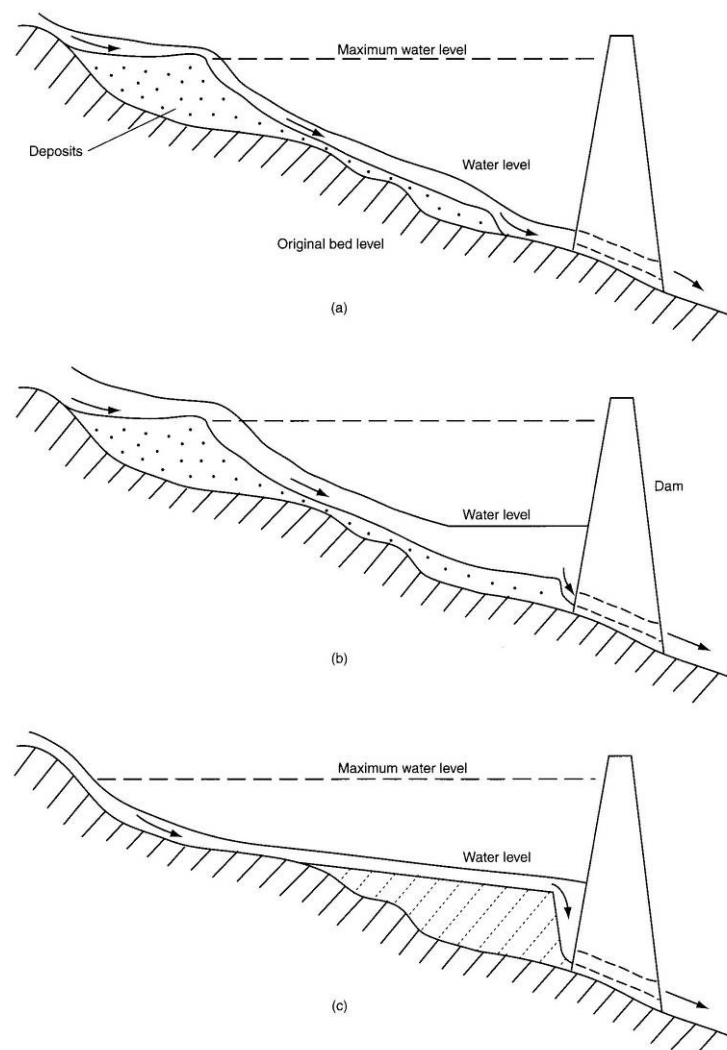
Σχήμα 3-4: Απώλεια Χωρητικότητας Φράγματος Ringlet

4.0 ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΜΕ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΡΟΗ – FLUSHING

4.1 Εισαγωγή

Ο κύριος τρόπος μετατόπισης των ιζημάτων από τις λεκάνες των υδατοφρακτών είναι η υδραυλική ροή μέσω του πυρήνα του φράγματος, από ειδικά κατασκευασμένους αγωγούς εκκένωσης. Η διεθνής ορολογία είναι flushing.

Ο μηχανισμός μετατόπισης των ιζημάτων μπορεί να προσομοιωθεί με τρία (3) στάδια κίνησης. (Σχήμα 4-1), (Shen 1999)



Σχήμα 4-1: Μηκοτομές κατά τη διάρκεια ροής:

(a) *Εντελώς άδαιο φράγμα*

(b) *Ημί- άδαιο φράγμα*

(c) *Τελική κατάσταση μετά από αρκετή ροή*

1. Όταν η στάθμη του νερού στη λεκάνη του φράγματος είναι ψηλά, τότε η ταχύτητα ροής του νερού μέσα στη λεκάνη είναι μικρή και έτσι δεν μπορεί να μεταφέρει σημαντικό μέγεθος ιζημάτων. Τα ιζήματα κοίτης (bed load) εναποτίθενται στην είσοδο του ποταμού στη λεκάνη. Τα αιωρούμενα ιζήματα (suspended load) εναποτίθενται σε όλο τον πυθμένα της λεκάνης. Μόνο πλησίον των αγωγών εκκένωσης (flushing) συναντώνται ταχύτητες που μπορούν να μεταφέρουν ιζήματα και έτσι δημιουργείται μια κοιλότητα γύρω από τον αγωγό.
2. Όταν η στάθμη του νερού στη λεκάνη μειωθεί, τότε οι ταχύτητες ροής στο άνω μέρος της λεκάνης του φράγματος στην κοίτη του εισρέοντα ποταμού (πάνω από τη στάθμη του νερού στο φράγμα) αυξάνονται και μπορούν και μεταφέρουν ιζήματα. Ιζήματα μεταφέρονται προς τον κορμό του φράγματος.
3. Όταν η στάθμη του νερού στη λεκάνη κατεβεί μέχρι τη στάθμη του αγωγού εκκένωσης τότε αναπτύσσονται μεγάλες ταχύτητες σε όλο το μήκος της κοίτης του ποταμού εντός της λεκάνης του φράγματος. Η κίνηση του νερού αυτού προκαλεί διάβρωση της κοίτης/ λεκάνης μεταφέροντας ιζήματα μέσω των αγωγών εκκένωσης (flushing) κατάντη του φράγματος.

Μολονότι και κατά τα τρία (3) στάδια παρατηρείται κίνηση ιζημάτων μέσω των αγωγών εκκένωσης, εντούτοις μόνο στο στάδιο 3, όταν το φράγμα είναι σχεδόν άδαιο, γίνεται σημαντική μετακίνηση ιζημάτων και αύξηση της χωρητικότητας των φραγμάτων. Όταν η στάθμη του νερού στη λεκάνη δεν είναι στο χαμηλότερο δυνατόν επίπεδο, η μετακίνηση ιζημάτων είναι ουσιαστικά ασήμαντη.

Ο μηχανισμός αυτός έχει επιβεβαιωθεί:

- με παρατηρήσεις στο πεδίο,
- με θεωρία και
- με προσομοιώματα.

4.2 Προϋποθέσεις για λειτουργία της μεθόδου Flushing

Η πιο πάνω διεργασία μεταφορά ιζημάτων για να είναι αποτελεσματική θα πρέπει να ικανοποιεί τις πιο κάτω προϋποθέσεις:

- Συνθήκες ποτάμιας ροής θα πρέπει να δημιουργηθούν και διατηρηθούν για σημαντικό χρονικό διάστημα.
- Η στάθμη του νερού πρέπει να διατηρηθεί χαμηλή καθόλη τη διάρκεια της εκκένωσης (flushing)
- Η ροή νερού που θα χρησιμοποιηθεί στην εκκένωση είναι τουλάχιστον διπλάσια της μέσης ετήσιας ροής
- Ο όγκος νερού είναι τουλάχιστον 10% της μέσης ετήσιας εισροής στο φράγμα

Όσον αφορά τη ποσότητα του νερού που απαιτείται, θα πρέπει να υπάρχει επαρκής ποσότητα νερού για να μεταφέρει την απαιτούμενη ποσότητα ιζήματος:

- Φράγματα όπου η ετήσια απορροή είναι μεγάλη σε σύγκριση με τη χωρητικότητα του φράγματος είναι κατάλληλα για χρήση της μεθόδου αυτής
- Φράγματα όπου η απελευθέρωση σημαντικών ποσοτήτων νερού για εκκένωση των ιζημάτων δεν συνεπάγεται αρνητικές επιπτώσεις στη παροχή νερού για άλλες ανάγκες.

Αναφορικά με τα χαρακτηριστικά των ιζημάτων:

- Λεπτόκοκκος άμμος και ιλύ είναι τα ιζήματα που προσφέρονται καλύτερα για εκκένωση με ροή (flushing).
- Χοντρόκοκκα υλικά εναποτίθενται στην είσοδο του ποταμού στη λεκάνη του φράγματος και είναι δύσκολο να παρασυρθούν με τη ροή.
- Πολύ λεπτόκοκκα υλικά, π.χ. άργιλλος, που εναποτίθενται εκτός του κυρίως ποταμού/ καναλιού της λεκάνης δεν μπορούν να μεταφερθούν από το μηχανισμό αυτό.

4.3 Διεθνής Πρακτική σε Flushing

Η διεθνής πρακτική συμπεραίνει ότι υδατοφράκτες στα άνω και μεσαία τμήματα ποταμών προσφέρονται για εκκένωση με ροή (Flushing) ενώ υδατοφράκτες σε χαμηλότερα τμήματα των ποταμών δεν προσφέρονται, για τους πιο κάτω λόγους:

- Στα χαμηλά τμήματα του ποταμού, το σχήμα της λεκάνης είναι πεπλατυσμένο. Ως αποτέλεσμα μεγάλα τμήματα είναι εκτός του κυρίως καναλιού εκκένωσης και είναι απρόσιτα από τη ροή που μεταφέρει ιζήματα
- Στα χαμηλά τμήματα, η κατά μήκος κλίση είναι σχετικά μικρή, μειώνοντας το δυναμικό μεταφοράς ιζημάτων
- Η χωρητικότητα του φράγματος σε χαμηλότερα τμήματα είναι σχετικά μεγάλη σε σύγκριση με τη μέση ετήσια απορροή και έτσι η διαθεσιμότητα νερού είναι περιοριστικός παράγοντας στη χρήση της μεθόδου αυτής.

5.0 ΙΖΗΜΑΤΟΠΑΓΙΔΕΣ (Sediment Traps, Check Dams)

5.1 Μια συνήθης μέθοδος για παγίδευση ιζημάτων είναι η κατασκευή σειράς από μικρά φράγματα, από λιθορριπή συνήθως, κατά μήκος της ροής των ομβρίων υδάτων, σε ρυάκια.



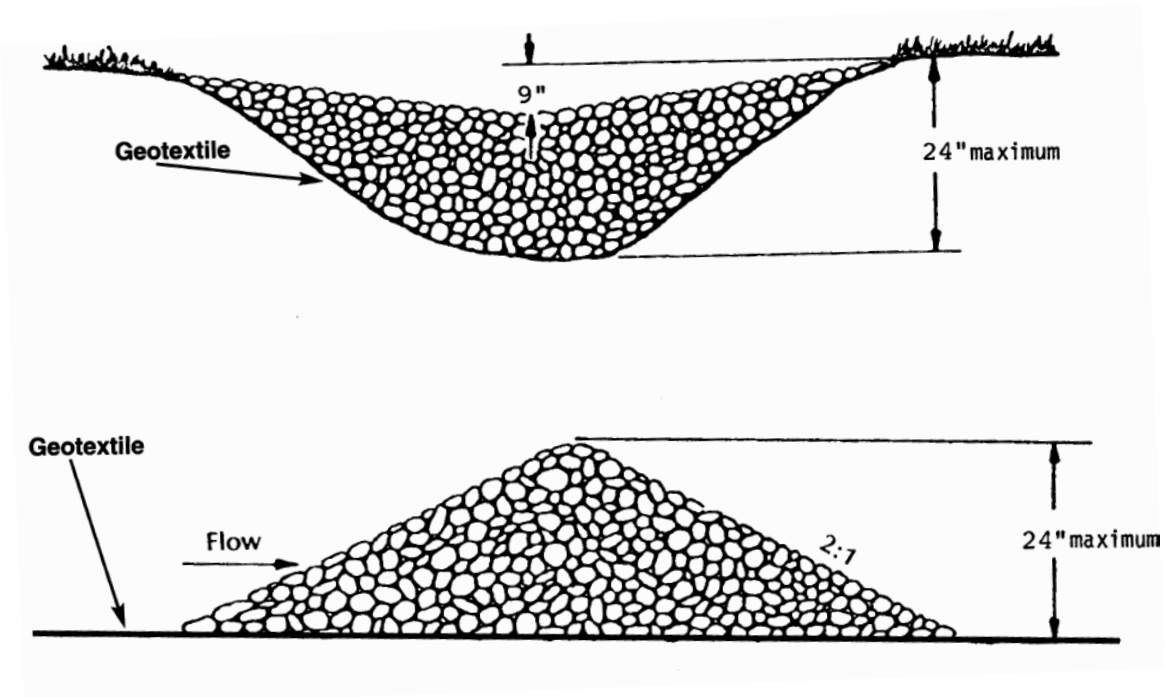
Σχήμα 5-1. Φωτογραφία σειράς ιζηματοπαγίδων

Οι κατασκευές αυτές είναι αποτελεσματικές στην παγίδευση χοντρόκοκκου υλικού που παρασύρεται από τη ροή των ομβρίων υδάτων. Η αποτελεσματικότητα των κατασκευών αυτών έγκειται στην μείωση της ταχύτητας ροής λόγω της δημιουργίας μικρών λιμνών.

Όταν η ροή των ομβρίων υδάτων είναι χαμηλή, τότε δημιουργείται λίμνη πίσω από το φράγμα. Το νερό διαπερνά το φράγμα είτε μέσω του φράγματος, λόγω του ότι είναι διαπερατό, είτε μέσω του υπεδάφους.

Όταν η ροή είναι μεγάλη, τα όμβρια ύδατα υπερχειλούν του φράγματος μεταφέροντας

μαζί τους τα αιωρούμενα ιζήματα, ιλύ, άργιλος και λεπτόκοκκος άμμος (ανάλογα με την ταχύτητα ροής)



Σχήμα 5-2. Εγκάρσια και κατά μήκος τυπικού ιζηματοπαγίδας (check dam)

Το Σχήμα 5-2 παρουσιάζει τυπική τομή εγκάρσια και τυπική τομή κατά μήκος ιζηματοπαγίδας σε ρυάκι. Το ύψος των απλών αυτών κατασκευών, που είναι πολύ διαδεδομένες στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής και στην Ιαπωνία, είναι μόλις 60 cm. Η μετατόπιση των ιζημάτων επιτυγχάνεται με το τακτικό και συχνό καθαρισμό των παγίδων αυτών με μηχανικά μέσα.

6.0 ΣΥΖΗΤΗΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

6.1 Παράγοντες που συμβάλλουν στη συγκέντρωση ιζημάτων σε φράγματα

Οι παράγοντες που συμβάλλουν σε αυξημένη διάβρωση του εδάφους και σε αυξημένη ικανότητα μεταφοράς ιζημάτων από τη ροή των ομβρίων υδάτων είναι δυστυχώς αυξημένοι στην περίπτωση της Κύπρου. Το κλίμα, η γεωλογία, η τοπογραφία και η ανθρώπινη επίδραση έχουν το καθένα ξεχωριστά και όλα μαζί συμβολή στη διάβρωση του εδάφους και στη μεταφορά των ιζημάτων στα φράγματα.

Η Κύπρος:

- Έχει πολύ δυσμενή μέση ετήσια βροχόπτωση όσον αφορά τη διάβρωση (εάν υπήρχε μεγαλύτερη βροχόπτωση θα υπήρχε περισσότερη επιφανειακή ροή αλλά και περισσότερη βλάστηση και μικρότερη δυνατότητα διάβρωσης ενώ εάν υπήρχε λιγότερη βροχόπτωση θα υπήρχε μεν περισσότερη δυνατότητα διάβρωσης αλλά λιγότερη ροή για μεταφορά του υλικού)
- Έχει πετρώματα ευάλωτα σε διάβρωση
- Έχει τοπογραφία ευάλωτη σε διάβρωση
- Έχει υποστεί και υπόκειται σε ανθρώπινες επεμβάσεις με δυσμενείς επιπτώσεις στη διάβρωση του εδάφους και την μεταφορά των ιζημάτων

6.2 Διεθνής Εμπειρία Ανά Γεωγραφική Περιοχή

Αν και η Κύπρος δεν είχε περιληφθεί σε διεθνείς συγκριτικές μελέτες, εντούτοις η γεωγραφική της θέση στη Μέση Ανατολή την κατατάσσει στη δεύτερη δυσμενέστερη περιοχή, μετά την Κίνα, όσον αφορά τη συγκέντρωση ιζημάτων σε φράγματα.

6.3 Πρακτική Μετατόπισης Ιζημάτων από τα Φράγματα

Η διεθνής βιβλιογραφία είναι πλούσια σε εφαρμογές μετατόπισης ιζημάτων σε δύο κύριες περιπτώσεις:

1. Flushing σε περιπτώσεις όπου:

- το φράγμα είναι σε μεσαία προς ψηλά τμήματα του ποταμού
- η ετήσια απορροή είναι μεγάλη σε σύγκριση με τη χωρητικότητα του φράγματος
- η απελευθέρωση σημαντικών ποσοτήτων νερού δεν συνεπάγεται αρνητικές επιπτώσεις στη παροχή νερού για άλλες ανάγκες
- το υλικό που εναποτίθεται στο φράγμα είναι κυρίως λεπτόκοκκος άμμος και ιλύ (χοντρόκοκκα υλικά εναποτίθενται στην είσοδο της λεκάνης, λεπτόκοκκα όπως άργιλος δεν μεταφέρονται με τη μέθοδο αυτή)

2. Ιζηματοπαγίδες (Check Dams) σε περιπτώσεις όπου:

- η ροή είναι σε ρυάκι
- η κλίση του πυθμένα του ρυακιού είναι μεγάλη
- η διατομή της κοίτης του ρυακιού προσφέρεται για την κατασκευή λιθορριπής

Η μετατόπιση ιζημάτων με βυθοκόρηση (dredging) είναι πολύ δαπανηρή μέθοδος και δεν παρουσιάζεται σαν προτεινόμενη μέθοδος στη βιβλιογραφία.

Είναι προφανές ότι καμία από τις πιο πάνω μεθόδους δεν μπορεί να εφαρμοστεί αυτούσια στην Κύπρο, αφού:

- τα φράγματα είναι κυρίως στα χαμηλά τμήματα των ποταμών/ χειμάρων
- η ετήσια απορροή είναι μικρή σε σχέση με τη χωρητικότητα των φραγμάτων
- η απελευθέρωση σημαντικών ποσοτήτων νερού συνεπάγεται δυσανάλογα μεγάλες αρνητικές επιπτώσεις στην παροχή νερού
- το υλικό που αναπτύσσει τα δέλτα των ποταμών είναι χοντρόκοκκο το οποίο δεν απελευθερώνεται με τη μέθοδο flushing
- οι ιζηματοπαγίδες δεν μπορούν να κατασκευαστούν μέσα στους κυρίως ποταμούς, ενώ η δυνατότητα γενικής εφαρμογής στα παραπλήσια ρυάκια είναι απαγορευτική

6.4 Ανάπτυξη Νέας Μεθόδου - Πρόφραγμα

Μια μέθοδος που μπορεί να εφαρμοστεί στην περίπτωση της Κύπρου είναι η κατασκευή ενός νέου μικρού φράγματος στην περιοχή που εισρέει ο ποταμός στη λεκάνη του κυρίως φράγματος. Το φράγμα αυτό θα έχει επαρκή χωρητικότητα για να κατακρατεί το νερό προσωρινά και τα ιζήματα που μεταφέρονται από το νερό μόνιμα. Το νερό θα μεταφέρεται με βαρύτητα στη λεκάνη του κυρίως φράγματος, απαλλαγμένο σε μεγάλο από τα ιζήματα που αιωρούντο ή παρασύρονταν στον πυθμένα.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Goldan, S.J., Jackson, K. and Bursztynsky, T.A. (1986) Erosion and Sediment Control handbook. McGraw-Hill, New York.

Morgan, R.P.C. and Davidson, D.A. (1986) Soil Erosion and Conservation, Longman Group, UK.

Shen, H.W. (1999) Flushing sediment through reservoirs, Journal Hydraulic Research, Vol. 37, no. 6, pp. 743-757

US Global Change Research Information Office (1999). Soil Erosion and Sediment Erosion

Walling, D.E. (1984) The erosion problem. International Journal of sediment Research, 14, No. 1, 1-11.

White, R. (2001) Evacuation of Sediments from reservoirs, Thomas Telford, UK

White, R. and Rofo, B (1996) Responsibilities and risks associated with large reservoirs. International Conference on Aspects of Conflicts in reservoir development and Management, London.