

Ορθολογική διαχείριση λεκανών απορροής της λίμνης Κορώνειας για έλεγχο των φερτών υλικών

Χατζηχριστάκη Χρυσούλα, Στεφανίδης Στέφανος, Στεφανίδης Παναγιώτης
Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Σχολή Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος, Εργαστήριο Διευθέτησης Ορεινών Υδάτων, 54124 Θεσσαλονίκη, email: xrysxa1@gmail.com

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η εκτίμηση της ποσότητας των φερτών υλικών που εισέρχονται στην λίμνη Κορώνεια και συμβάλλουν στη βαθμιαία πρόσχωσή της. Για τον σκοπό αυτό εφαρμόστηκε το μοντέλο πρόβλεψης της εδαφικής διάβρωσης του Gavrilovic. Από την εφαρμογή του μοντέλου προέκυψε πως η μέση ετήσια εδαφική διάβρωση στο σύνολο των λεκανών απορροής ανέρχεται σε 593790,53 m³/έτος, ενώ λαμβάνοντας υπόψη την ποσότητα των φερτών υλικών που συκρατούνται σε ενδιάμεσες θέσεις εντός των λεκανών εκτιμήθηκε ότι 316251,46 m³/έτος φερτών υλικών αποτίθενται στο εσωτερικό της λίμνης. Για τον έλεγχο των φερτών υλικών και την προστασία της λίμνης από την πρόσχωση έγινε ο προσδιορισμός των ελάχιστων αναγκαίων τεχνικών έργων λαμβάνοντας υπόψη τις γεωμορφολογικές συνθήκες κάθε ρεύματος, την υποβάθμιση των ορεινών λεκανών και τον παραγόμενο όγκο των φερτών υλικών.

Λέξεις κλειδιά: εδαφική διάβρωση, τεχνικά έργα διευθέτησης, Gavrilovic

1. Εισαγωγή

Η υδατική διάβρωση αποτελεί έναν από τους σπουδαιότερους παράγοντες μορφογένεσης στην επιφάνεια του στερεού φλοιού της γης. Ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά των χειμάρρων είναι ότι αποσπούν μεταφέρουν και αποθέτουν κάθε χρόνο στους μεγαλύτερους αποδέκτες (λίμνες και θάλασσες) σημαντικές ποσότητες φερτών υλικών (Kotoulas 1984). Άμεσες συνέπειες αυτής της διεργασίας είναι η διάβρωση και η υποβάθμιση των ορεινών περιοχών και η πρόσχωση των λιμνών, περιορίζοντας τη διάρκεια ζωής τους.

Τα τελευταία χρόνια στην Ελλάδα παρατηρείται σημαντική διακύμανση της στάθμης των λιμνών που οφείλεται στη μη ορθολογική διαχείριση των χειμαρρικών ρευμάτων που εκβάλλουν σε αυτές και τις τροφοδοτούν με νερό, αλλά και φερτά υλικά (Hrissanthou et al. 2003, Hrissanthou et al. 2010, Psilovikos and Margoni 2010, Stefanidis et al. 2011). Η σημαντική διακύμανση της στάθμης των λιμνών στην Ελλάδα μπορεί να οφείλεται κατά ένα μέρος και σε φαινόμενα ξηρασίας (Myronidis et al. 2012)

Η αποτροπή της διάβρωσης και της υποβάθμισης, καθώς και η διευθέτηση των χειμάρρων, αποτελεί ένα βασικό έργο υποδομής. Για να ευδοκιμήσει όμως ένα τέτοιο έργο θα πρέπει να γίνει γνωστό το μέγεθος της διάβρωσης ώστε να επιλεγεί και να εφαρμοστεί το κατάλληλο σύστημα έλεγχου της διάβρωσης και διευθέτησης των χειμάρρων (Myronidis et al. 2010).

Η εκτίμηση της διάβρωσης με εργασίες υπαίθρου είναι μία χρονοβόρα διαδικασία που δύσκολα μπορεί να καλύψει το σύνολο μίας λεκάνης απορροής, αλλά περιορίζεται σε πειραματικές επιφάνειες της λεκάνης (Martinez - Casanovas et al. 2002, Stefanidis et al. 2002, Verstraeten and Poesen 2002, Vanmaercke et al. 2012).

Για αυτούς ακριβώς τους λόγους η ανάπτυξη μεθόδων σχετικά με την πρόβλεψη της διάβρωσης και της υποβάθμισης του εδάφους είναι πλούσια τις τελευταίες δεκαετίες. Οι μέθοδοι διακρίνονται σε στοχαστικές (εμπειρικές) και προσδιοριστικές (αναλυτικές). Από τις στοχαστικές μεθόδους σπουδαιότερες είναι οι μέθοδοι του Fournier, του Gorbil και του Gavrilovic καθώς και οι αμερικάνικες

μέθοδοι USLE, MUSLE και RUSLE. Από τις προσδιοριστικές μεθόδους σημαντικότερες θεωρούνται οι αμερικάνικες μέθοδοι WEPP, CREAMS, ANSWER, EPIC και η ελβετική μέθοδος GHO (Κωτούλας 2001).

Στην Ελλάδα έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως το ημι-ποσοτικό μοντέλο πρόβλεψης της διάβρωσης του Gavrilovic. Το μοντέλο αναπτύχθηκε μετά από εργασίες υπαίθρου σε ορεινές λεκάνες στη Σερβία, οι οποίες ενισχύθηκαν με εργαστηριακές εργασίες προκειμένου να διασφαλιστεί το εύρος των τιμών της κάθε μεταβλητής (Gavrilovic 1972, 1988). Επίσης, αργότερα το μοντέλο έγινε πιο σύνθετο και περιελάμβανε τροποποιήσεις για μικρές και μεγάλες λεκάνες ώστε να συνεκτιμηθούν τα φερτά υλικά που συγκρατούνται μέσα στην λεκάνη (Zemljic 1971, Gavrilovic 1972).

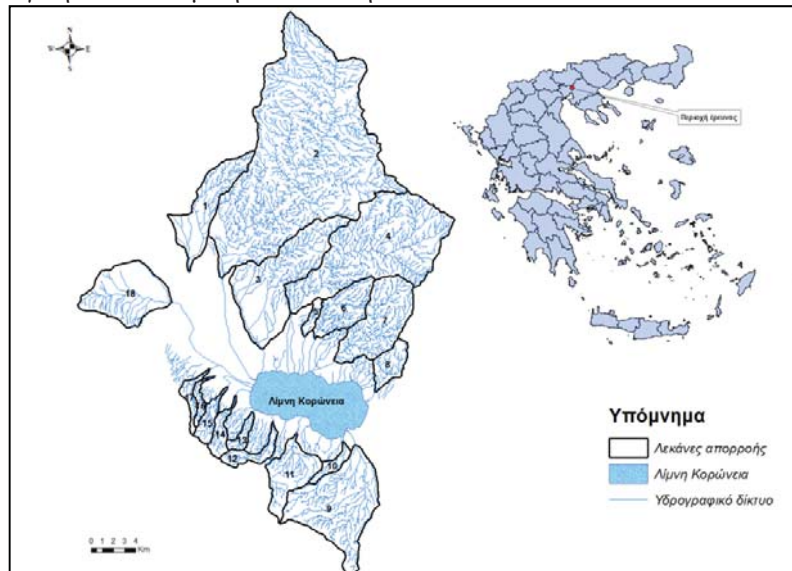
Σε ότι αφορά την γενικότερη χρήση του μοντέλου στον ευρωπαϊκό χώρο, σε σύγκριση με πραγματικές μετρήσεις προέκυψε ότι η εφαρμογή της μεθόδου με την χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS) δίνει αξιόπιστα αποτελέσματα (Beyer-Portner 1998, Petras et al. 2005, Σαπουντζής κ.α. 2009, Ξανθάκης 2011). Τα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών συμβάλλουν στον ταχύτερο και ακριβέστερο προσδιορισμό των παραμέτρων καθώς επίσης παρέχουν τη δυνατότητα για χωρική ανάλυση των αποτελεσμάτων (Myrionidis and Arabatzis 2009).

Σκοπός της παρούσας έρευνας είναι να προσδιοριστεί η αναμενόμενη διάβρωση στο σύνολο των λεκανών απορροής της λίμνης Κορώνειας καθώς και η ποσότητα των φερτών υλικών που αποτίθενται στην λίμνη με την χρήση της μεθόδου του Gavrilovic και να προταθούν τα αναγκαία έργα για τον έλεγχο των φερτών υλικών.

2. Υλικά και Μέθοδοι

2.1 Περιοχή Έρευνας

Η έρευνα πραγματοποιήθηκε στις ορεινές λεκάνες απορροής της λίμνης Κορώνειας (Σχήμα 1). Η λίμνη Κορώνεια βρίσκεται στο Νομό Θεσσαλονίκης, στην λεκάνη της Μυγδονίας, στην επαρχία Λαγκαδά και έχει μεγάλη κοινωνική, οικολογική και οικονομική σπουδαιότητα.



Σχήμα 1: Η περιοχή έρευνας.
Figure 1: The study area.

Τη δεκαετία του 1950 ήταν από τις πιο παραγωγικές λίμνες της Ελλάδας σε αλιεύματα. Παρόλα αυτά κατά τις τελευταίες δεκαετίες έχει δεχτεί σημαντική υποβάθμιση τόσο από ανθρωπογενείς δραστηριότητες όπως υπεραντλήσεις, αμμοληψίες και διοχέτευση λυμάτων, όσο και από τις μεγάλες ποσότητες φερτών υλικών που μεταφερόμενες από του χειμαρρους της γύρω περιοχής προσχώνουν την λίμνη και την καθιστούν συνεχώς αβαθέστερη (Myloroulos et al. 2007, Manakou et al. 2008).

Από παλαιότερα στοιχεία προκύπτει πως το 1970 η επιφάνεια της λίμνης ανέρχονταν σε 42,5 km² και το μέσο βάθος της ήταν 5 m. Από το 1975 και μετά παρατηρείται απότομη πτώση της στάθμης της λίμνης Κορώνειας λόγω των προαναφερθέντων παραγόντων. Σήμερα η επιφάνεια της λίμνης είναι περίπου 30 km² και το μέσο βάθος της 1 m.

Προκείμενου να διασφαλιστεί η σωστή διαχείριση της λίμνης Κορώνειας χαρακτηρίστηκε ως υδροβιότοπος διεθνούς σημασίας και περιοχή ειδικής προστασίας σύμφωνα με την σύμβαση Ramsar (Οδηγία 79/409/Ε.Ε) καθώς και ειδικά προστατευόμενη περιοχή σύμφωνα με την σύμβαση της Βαρκελώνης.

2.2 Μέθοδος έρευνας

Για την διεξαγωγή της παρούσας έρευνας χρησιμοποιήθηκαν οι τοπογραφικοί χάρτες 1:50.000 της ΓΥΣ για την οριοθέτηση των λεκανών απορροής και τον υπολογισμό της μέσης κλίσης και της επιφάνειάς τους. Επίσης χρησιμοποιήθηκαν οι γεωλογικοί χάρτες του ΓΓΜΕ 1:50.000 για τον προσδιορισμό της διαβρωσιμότητας του γεωλογικού υποθέματος και ο χάρτης βλάστησης 1:200.000 για τον προσδιορισμό της φυτοκάλυψης. Για την έρευνα των μετεωρολογικών παραμέτρων, συγκεντρώθηκαν και επεξεργαστήκαν τα δεδομένα των μετεωρολογικών σταθμών που λειτουργούν στην περιοχή.

Τέλος συγκεντρώθηκαν οι μελέτες των έργων που έχουν κατασκευαστεί στην περιοχή μελέτης και έγιναν επιτόπιες μεταβάσεις στην περιοχή για να αξιολογηθεί η κατάσταση των έργων αυτών καθώς και το είδος και ο βαθμός της διάβρωσης των λεκανών απορροής.

Η εξίσωση του Gavrilovic για την εκτίμηση της μέσης ετήσιας γενικής διάβρωσης ή υποβάθμισης στις ορεινές λεκάνες απορροής των χειμαρρικών ρευμάτων έχει την ακόλουθη μορφή:

$$W = T * h * \pi * \sqrt{Z^3} * F \quad (1)$$

όπου W ο όγκος της μέσης ετήσιας παραγωγής φερτών υλικών στην ορεινή λεκάνη απορροής του χειμαρρικού ρεύματος (m³/έτος), h το μέσο ετήσιο ύψος βροχής στο μέσο υψόμετρο της λεκάνης (mm), π ο αριθμός 3,14159, F η επιφάνεια της λεκάνης (km²), T ο συντελεστής θερμοκρασίας, ο οποίος παρέχεται από τη σχέση:

$$T = \sqrt{\frac{t_0}{10}} + 0.1 \quad (2)$$

όπου t₀ η μέση ετήσια θερμοκρασία στο μέσο υψόμετρο της ορεινή λεκάνης απορροής (°C) και Z ο συντελεστής διάβρωσης, ο οποίος υπολογίζεται από τη σχέση :

$$Z = x * y * (\varphi + \sqrt{J}) \quad (3)$$

όπου x ο συντελεστής που εκφράζει τη μείωση της αντίστασης του γεωλογικού υποθέματος κατά της διάβρωσης ανάλογα με την κατάσταση και την καλλιέργεια της επιφάνειάς του, με βάση την παρουσία της βλάστησης (κυμαίνεται μεταξύ 0,05 και 1,0), y ο συντελεστής διαβρωσιμότητας του γεωλογικού υποθέματος ο οποίος εξαρτάται από την πετρολογική και εδαφολογική σύσταση των λεκανών (κυμαίνεται μεταξύ 0,2 και 2,0), φ ο συντελεστής, που εκφράζει το είδος και το

βαθμό της διάβρωσης των λεκανών απορροής (κυμαίνεται μεταξύ 0,1 και 1,0) και J η μέση κλίση της επιφάνειας της λεκάνης απορροής, ως εφαπτομένης της γωνίας.

Ο συντελεστής διάβρωσης Z χρησιμοποιήθηκε για την ταξινόμηση των λεκανών απορροής με βάση το δυναμικό διάβρωσης (Gavrilovic 2008).

Πίνακας 1: Κατηγορίες διάβρωσης σύμφωνα με τον συντελεστή διάβρωσης Z.
Table 1: Erosion categories according the Z coefficient.

Κατηγορία διάβρωσης	Δυναμικό διάβρωση	Τιμές
1	Ιδιαίτερα έντονο	$Z > 1,0$
2	Έντονο	$0,71 < Z < 1,0$
3	Μέτριο	$0,41 < Z < 0,7$
4	Ελάχιστο	$0,20 < Z < 0,4$
5	Μηδαμινό	$Z < 0,19$

Τέλος εκτιμήθηκε η ποσότητα των φερτών υλικών που εισέρχονται και αποτίθενται εντός της λίμνης, μετά την μείωση που υφίστανται η ποσότητα των φερτών υλικών που παράγεται από μία ορεινή λεκάνη απορροής λόγω της κατακράτησης μέρους αυτών σε ενδιάμεσες θέσεις, εντός της λεκάνης που τα παράγανε. Η εξίσωση είχε τη ακόλουθη μορφή:

$$G = W * R \quad (4)$$

Ο συντελεστής κατακράτησης υλικών R εκτιμήθηκε με την χρήση δύο εξισώσεων. Την εξίσωση του Gavrilovic (1972) για μικρές λεκάνες απορροής και την εξίσωση του Zemljic (1971) για μεγάλες λεκάνες απορροής:

$$R_{Gavrilovic} = \frac{O * D^{0.5}}{0.25 * (L + 10)} \quad (5)$$

$$R_{Zemljic} = \frac{O * D^{0.5} * (L + L_i)}{F * (L + 10)} \quad (6)$$

όπου O είναι η περίμετρος της λεκάνης (km), D το μέσο υψόμετρο της λεκάνης (km), L το μήκος της κεντρικής κοίτης (km), L_i το μήκος του δευτερεύοντος υδρογραφικού δικτύου (km).

3. Αποτελέσματα

3.1 Προσδιορισμός της υποβάθμισης

Μετά από την ψηφιοποίηση των τοπογραφικών χαρτών, οριοθετήθηκαν οι λεκάνες απορροής και προσδιορίστηκαν τα μορφομετρικά και υδρογραφικά χαρακτηριστικά των λεκανών απορροής της περιοχής έρευνας που είναι απαραίτητα για την εφαρμογή του μοντέλου του Gavrilovic (πίνακας 2).

Πίνακας 2: Μορφομετρικά και υδρογραφικά χαρακτηριστικά των λεκανών απορροής.

Table 2: Morphometric and hydrographic characteristics of the watersheds.

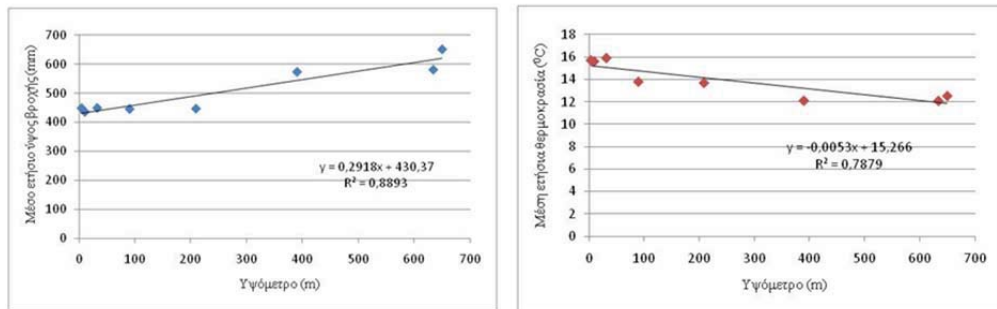
Κωδικός λεκάνη απορροής	Εμβαδό	Περίμετρος	Υψομετρία Λεκάνης			Μέση κλίση λεκάνης	Πυκνότητα υδρογραφικού δικτύου	Μήκος κεντρικής κοίτης
			Μέγιστο Hmax	Ελάχιστο Hmin	Μέσο Hmed			
a/a	km ²	km	m			%	km/km ²	km
1	24,69	30,43	620	128	322,94	14,56	3,61	15,32
2	199,73	76,28	913	123	504,09	20,26	4,43	39,62
3	50,00	38,76	600	90	316,68	11,88	3,25	18,20
4	80,96	47,10	983	136	525,61	24,61	3,83	24,64
5	2,86	9,06	440	108	251,55	26,98	3,04	3,90
6	16,35	19,02	545	110	328,08	23,95	4,47	9,11
7	31,22	25,69	540	115	354,49	25,30	4,6	12,77
8	8,59	13,54	400	110	262,76	20,59	3,74	7,10
9	48,59	34,47	1189	95	420,70	30,60	3,35	13,41
10	3,91	11,92	380	83	192,22	15,41	2,22	5,23
11	18,03	22,28	1189	90	437,04	25,85	2,87	8,32
12	6,11	16,44	720	92	401,74	26,02	3,48	7,58
13	3,46	10,01	560	86	346,80	34,37	4,34	4,46
14	5,50	14,56	737	95	410,42	32,65	3,41	6,36
15	5,46	13,37	575	90	392,18	37,05	4,02	6,14
16	2,89	12,46	485	95	331,22	30,11	3,78	6,02
17	4,11	15,32	557	98	347,70	27,67	2,97	5,81
18	30,69	22,92	509	110	287,76	10,05	1,98	9,41

Για τον προσδιορισμό της μέσης ετήσια βροχόπτωσης και της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας στο μέσο υψόμετρο της λεκάνης έγινε η χρήση της βροχοβαθμίδας και της θερμοβαθμίδας, χρησιμοποιώντας τις μετεωρολογικές παρατηρήσεις των μετεωρολογικών σταθμών που εντοπίζονται στην περιοχή και παρατίθενται στον πίνακα 3.

Πίνακας 3: Μετεωρολογικοί σταθμοί της περιοχής έρευνας.
Table 3: Meteorological stations of the study area.

a/a	Μετεωρολογικός Σταθμός	Γεωγραφικό Μήκος	Γεωγραφικό Πλάτος	Υψόμετρο (m)	Μέσο ετήσιο ύψος βροχής (mm)	Μέση ετήσια θερμοκρασία (°C)
1	Αρέθουσας	23°35'	40°45'	390	573,5	12,12
2	Λαχανάς	23°34'	40°56'	634	581	12,1
3	Λουτρά Θέρμης	23°04'	40°30'	10	436	15,6
4	Μίκρας	22°99'	40°52'	4	448,7	15,7
5	N. Απολλωνίας	23°24'	40°40'	90	445,6	13,8
6	Θεσσαλονικης	22°57'	40°37'	32	449,3	15,9
7	Σοχός	23°22'	40°49'	650	651,2	12,54
8	Ζαγκλιβέρι	23°35'	40°34'	209	446,8	13,7

Απο την επεξεργασία των δεδομένων των σταθμών αυτών προέκυψε η σχέση της βροχοβαθμίδας και της θερμοβαθμίδας όπως δίνεται σχήμα 2.



Σχήμα 2: Η σχέση της βροχοβαθμίδας και της θερμοβαθμίδας στην περιοχή έρευνας.
Figure 2: The relationship between mean annual rainfall - altitude and mean annual temperature - altitude at the study area.

Από την ψηφιοποίηση του χάρτη βλάστησης της περιοχής προέκυψε ότι τα δάση καταλαμβάνουν το 4,92%, οι γεωργικές καλλιέργειες το 34,95%, οι θάμνοι και βοσκότοποι 57,76 % και οι οικισμοί 2,37 %, ενώ απο την ψηφιοποίηση του γεωλογικού χάρτη προέκυψε ότι στην περιοχή απαντάται ο κρυσταλλοπυριγενής σχηματισμός (42%), ο νεογενής (24,60%), ο ασβεστολιθικός (22,74%), ο προσχωσιγενής 4,5%, και τέλος ο φλυσχικός (1,38%).

Με βάση τα παραπάνω δεδομένα και τους αντίστοιχους συντελεστές που προβλέπονται απο τους πίνακες του Gavrilovic προσδιορίστηκε ο συντελεστής διάβρωσης z, ώστε να εντοπισθούν και να κατηγοριοποιηθούν οι λεκάνες απορροής με βάση τον κίνδυνο διάβρωσης (σχήμα 3).

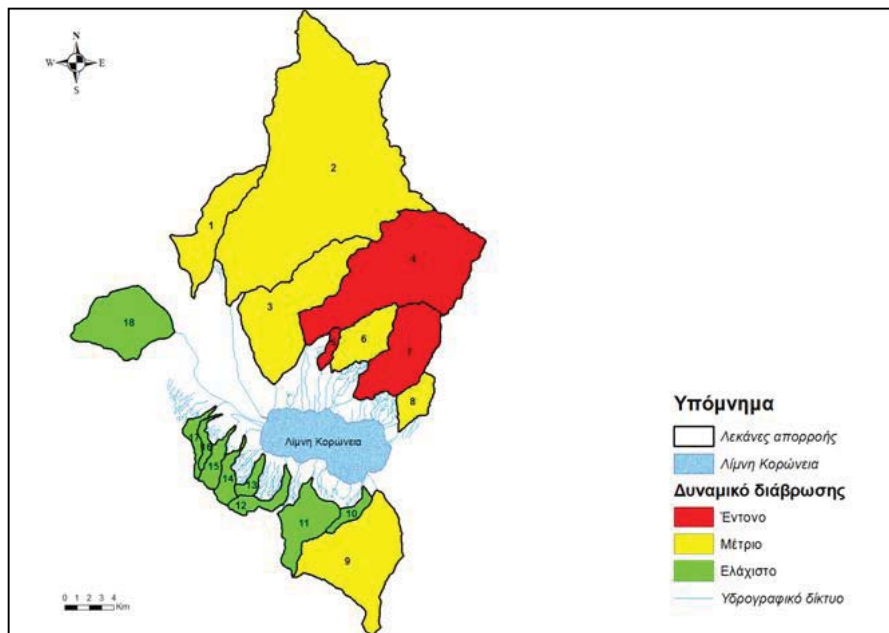
Τέλος συνδυάστηκαν όλοι οι παράγοντες του μοντέλου του Gavrilovic ώστε να εκτιμηθεί η μέση ετήσια διάβρωση, η μέση ετήσια υποβάθμιση καθώς και η ποσότητα των φερτών υλών που εισέρχεται κάθε χρόνο στην λίμνη μετά των υπολογισμό των φερτών υλών που αποτίθενται σε ενδιάμεσες θέσεις, εντός της λεκάνης (πίνακας 4).

Πίνακας 4: Φερτά υλικά που αποτίθενται στην λίμνη Κορώνεια με την εφαρμογή του τύπου του Gavrilovic.

Table 4: Sediment deposits into Lake Koronia using Gavrilovic method.

Κωδικός λεκάνης απορροής	Συντελεστής διάβρωσης Z	Κατηγορία διάβρωσης	Μέση ετήσια διάβρωση	Μέση ετήσια υποβάθμιση	Συντελεστής κατακράτησης Gavrilovic	Συντελεστής κατακράτησης Zemljic	Αποθέσεις στην λίμνη G
α/α			m ³ /έτος	m ³ /έτος/km ²			m ³ /έτος
1	0,53	3	19116,01	774,18	0,50		9467,00
2	0,69	3	241497,86	1209,16		0,55	133696,38
3	0,70	3	58672,28	1173,47		0,40	23689,63
4	0,79	2	121057,40	1495,33		0,55	66597,68
5	0,80	2	3959,14	1385,77	0,43		1720,07
6	0,64	3	16795,92	1027,59	0,52		8781,64
7	0,90	2	53764,69	1722,29		0,61	32777,51
8	0,69	3	9558,40	1112,22	0,44		4217,96
9	0,56	3	41627,83	856,66		0,54	22686,40
10	0,34	4	1467,80	375,49	0,40		583,43
11	0,26	4	5062,70	280,75	0,68		3449,18
12	0,36	4	2675,63	437,84	0,58		1564,65
13	0,21	4	658,84	190,58	0,52		339,50
14	0,31	4	1934,83	351,92	0,60		1155,90
15	0,33	4	2079,31	381,03	0,57		1180,18
16	0,29	4	885,35	305,82	0,51		449,05
17	0,33	4	1540,00	374,70	0,58		899,13
18	0,33	4	11436,56	372,59		0,26	2996,17
Σύνολο	-	-	593790,53	-	-	-	316251,46

Από τις τιμές του συντελεστή διάβρωσης Z προκύπτει ότι στο σύνολο των λεκανών απορροής της περιοχής το 16% εμφανίζει έντονο δυναμικό διάβρωσης, το 33% μέτριο και το 50% ελάχιστο.



Σχήμα 3: Χάρτης δυναμικού διάβρωσης σύμφωνα με τον συντελεστή διάβρωσης Z.
Figure 3: Erosion potential map according the Z coefficient.

3.2 Διαχείριση λεκανών απορροής για τον έλεγχο των φερτών υλικών.

Από τη συγκέντρωση των μελετών που έχουν συνταχθεί και την καταγραφή των έργων που έχουν κατασκευαστεί στην περιοχή της λίμνης Κορώνειας προκύπτει ότι δεν έχουν γίνει συστηματικά έργα διευθέτησης χειμάρρων για την αποτροπή της πλημμυρογένεσης και της παραγωγής φερτών υλικών στις ορεινές λεκάνες απορροής και στις κοίτες των χειμάρρων. Αντίθετα έχουν εκτελεσθεί έργα διευθέτησης στις πεδινές κοίτες των χειμάρρων που εκβάλλουν στην λίμνη της Κορώνειας. Πρόκειται κυρίως για δημιουργία νέων ευθύγραμμων κοιτών με τραπεζοειδή διατομή.

Εάν το πρόβλημα της περιοχής συνίστατο μόνο στην απαγωγή των αιφνίδιων έντονων υδατοπαροχών, τότε θα επαρκούσε η κατασκευή μόνο πεδινών αντιπλημμυρικών έργων για την προστασία των πεδινών και παραλίμνιων περιοχών. Δυστυχώς όμως, τα ρέματα μεταφέρουν όπως αναφέρθηκε μεγάλα φορτία φερτών υλικών, τα οποία προσχώνουν τις πεδινές κοίτες και συμβάλλουν με αυτόν τον τρόπο στην αύξηση της πλημμυρογένεσης καθώς επίσης αποτίθενται στην λίμνη, μειώνουν τη χωρητικότητά της και οδηγούν στην πρόσχωσή της. Από τα παραπάνω προκύπτει ότι τα πεδινά αντιπλημμυρικά έργα, εφόσον δεν συνοδεύονται από έργα ορεινής υδρονομίας, τα οποία ελέγχουν τα μεταφερόμενα φερτά υλικά, είναι καταδικασμένα σε αποτυχία. Επίσης πρέπει να τονισθεί ότι ο έλεγχος τις χειμαρρικής δράσης των ρευμάτων δεν καταπολεμάται στον πεδινό αλλά τον ορεινό χώρο. Συνεπώς παρά τη εκτέλεση πεδινών αντιπλημμυρικών έργων υπάρχει σοβαρό πρόβλημα χειμαρρικής επικινδυνότητάς στη περιοχή.

Ο έλεγχος των στερεοφορτίων των ρευμάτων μπορεί να επιτευχθεί τόσο στις ορεινές λεκάνες απορροής των ρευμάτων με την εκτέλεση φυτοτεχνικών έργων όσο και στις κοίτες τους με την κατασκευή τεχνικών κυρίως έργων. Αρκετοί από τους χειμάρρους της περιοχής μεταφέρουν εκτός από μεγάλα στερεοφορτία και σημαντικές ποσότητες αιωρούλικών, που οφείλεται στην σύσταση του γεωυποθέματος και στην μεγάλη έκταση των γεωργικών καλλιεργειών. Τα υλικά

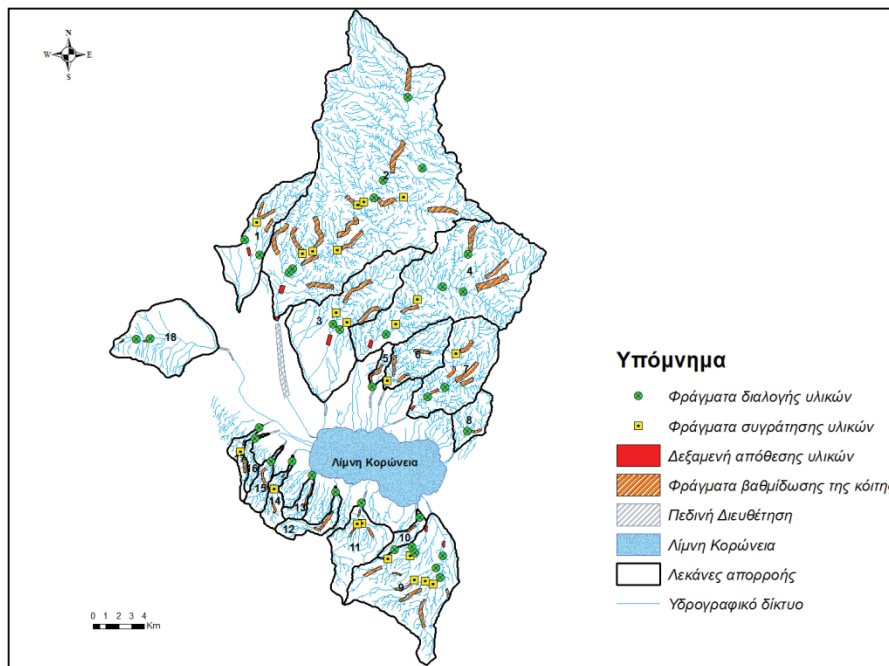
αυτά είναι δυνατόν να συγκρατηθούν στον τόπο παραγωγής τους με την εκτέλεση φυτοτεχνικών έργων και ιδίως αναδασώσεων ή μπορεί να γίνει ο έλεγχός τους με την ίδρυση δεξαμενών καθίζησης στην έξοδο των ρευμάτων από την ορεινή λεκάνη. Επειδή όμως η επαρκής δασοκάλυψη των ορεινών λεκανών απορροής είναι κατά κανόνα ανέφικτη (λόγω βοσκής, γεωργικών καλλιεργειών κλπ.), δεν είναι πάντοτε δυνατή η συγκράτηση των υλικών στον τόπο παραγωγής τους. Ακόμη πρέπει να τονισθεί ότι όπου αυτό είναι εφικτό απαιτείται αρκετός χρόνος (τουλάχιστον 15 έτη) μέχρι να αρχίσουν να αποδίδουν οι φυτείες που θα ιδρυθούν. Από τα παραπάνω προκύπτει ότι η φυτοτεχνική διευθέτηση των λεκανών απορροής των χειμάρρων θα συναντήσει σε πολλές περιπτώσεις σοβαρές δυσχέρειες. Πέραν αυτού τα δάση από τις αναδασώσεις θα κινδυνεύουν πάντοτε να καταστραφούν από πυρκαγιές.

Παρακάτω προτείνεται ένα σχέδιο διαχείρισης των λεκανών απορροής της λίμνης Κορώνειας με βάση το τεχνικό σύστημα διευθέτησης. Το σύστημα αυτό επικεντρώνεται κυρίως στις τεχνικές κατασκευές που αποσκοπεί κυρίως στον άμεσο έλεγχο των φερτών υλικών που διακινούνται στο υδρογραφικό δίκτυο εντός των κοιτών των ρευμάτων.

Τα έργα που περιλαμβάνει το σύστημα αυτό είναι:

- ⇒ φράγματα διαλογής υλικών στο κατώτερο τμήμα της κεντρικής κοίτης της ορεινής λεκάνης, στους μεγάλους συμβάλλοντες και στην κοίτη εκκένωσης των ρευμάτων. Με αυτά συγκρατούνται μόνο τα αδρομερή και όχι τα λεπτόκοκκα φερτά υλικά. Σειρές τέτοιων φραγμάτων λειτουργούν ως κόσκινα κατά την διαλογή του υλικού.
- ⇒ Φράγματα συγκράτησης υλικών σε κατάλληλες θέσεις της κεντρικής κοίτης και στην αρχή των συμβαλλόντων της.
- ⇒ Δεξαμενές απόθεσης υλικών ως εξής: περί την έξοδο των ρευμάτων στα πεδινά, δηλαδή στην αρχή του κώνου πρόσχωσης, οι οποίες θα συγκρατούν την χονδρότερη φάση των υλικών (έλεγχος της στερεομεταφορά και εν μέρει της αιωρομεταφοράς) και σε ενδιάμεσα τμήματα του κώνου πρόσχωσης, ώστε να συγκρατείται η λεπτότερη φάση (αιωρομεταφορά).
- ⇒ Πεδινή διευθέτηση των ρευμάτων και βαθμίδωση των πεδινών κοιτών προς αποφυγή της υποσκαφής τους και προς εξασφάλιση των διάφορων έργων που υπάρχουν (γέφυρες κλπ.).

Ο προσδιορισμός του ελάχιστου αριθμού των τεχνικών έργων και ο συνδυασμός των έργων έγινε λαμβάνοντας υπόψη τις γεωμορφολογικές συνθήκες κάθε χειμαρρικού ρεύματος, την υποβάθμιση των ορεινών λεκανών απορροής και τον παραγόμενο όγκο φερτών υλικών (σχήμα 4). Τα έργα αυτά είναι ενδεικτικά και αφορούν τα ελάχιστα αναγκαία τεχνικά έργα. Ο ακριβής καθορισμός του είδους και της θέσης ίδρυσης των έργων απαιτεί την σύνταξη μελέτης διευθέτησης για κάθε χειμαρρικό ρεύμα. Αυτό απαιτεί τον υπολογισμό της κλίσης αντιστάθμισης και την εκτέλεση εργασιών για την σύνταξη τοπογραφικών διαγραμμάτων (οριζοντιογραφίας, μηκοτομών και διατομών των κοιτών κλπ.). Για τον λόγο αυτό τα έργα διευθέτησης που πρέπει να ιδρυθούν σε κάθε χειμαρρικό ρεύμα καθορίζονται μόνο ως προς το είδος τον επιδιωκόμενο σκοπό και την περιοχή ίδρυσης τους στο χώρο.



Σχήμα 4: Τεχνικά έργα για τον έλεγχο των φερτών υλικών.
Figure 4: Technical works for sediment control

4. Συμπεράσματα

Μετά την εφαρμογή του μοντέλου πρόβλεψης της διάβρωσης του Gavrilovic στις ορεινές λεκάνες απορροής της λίμνης Κορώνειας, πραγματοποιήθηκε η ποσοτική εκτίμηση της μέσης ετήσιας εδαφικής διάβρωσης και της ποσότητα των φερτών υλικών που εισέρχονται στην λίμνη.

Η μέση ετήσια εδαφική διάβρωση στο σύνολο των λεκανών απορροής εκτιμήθηκε ίση με $593790,53 \text{ m}^3/\text{έτος}$, ενώ λαμβάνοντας υπόψιν την ποσότητα των φερτών υλικών που συγκρατούνται σε ενδιάμεσες θέσεις εντός των λεκανών έγινε η εκτίμηση ότι $316251,46 \text{ m}^3/\text{έτος}$ φερτών υλικών αποτίθενται στο εσωτερικό της λίμνης.

Από τα παραπάνω γίνεται φανερό ότι θα πρέπει να εκτελεστούν έργα για τον έλεγχο των φερτών υλικών. Για τον λόγο προτείνεται ένα σύστημα ελέγχου των φερτών υλικών το οποίο περιλαμβάνει τις ακόλουθες κατηγορίες έργων: φράγματα διαλογής, φράγματα συγκράτησης, δεξαμενές απόθεσης και φράγματα βαθμίδωσης των κοιτών.

Ο συνδυασμός των παραπάνω έργων μπορεί να συμβάλει αποτελεσματικά στην αποτροπή της πρόσχωσης της λίμνης Κορώνειας και στην απόσβεση του χειμαρρικού προβλήματος της περιοχής.

Ευχαριστίες

Η παρούσα έρευνα διεξήχθη στα πλαίσια του ερευνητικού έργου «Ορθολογική διαχείριση λεκανών απορροής της λίμνης Κορώνειας για προστασία των εδαφών και των απειλούμενων φυσικών οικοτόπων». Φορέας υλοποίησης του έργου είναι το Εργαστήριο Διευθέτησης Ορεινών Υδάτων του Α.Π.Θ, με επιστημονικό υπεύθυνο τον Καθηγητή Dr. Παναγιώτη Στεφανίδη.

Integrated management of Lake Koronia watersheds for sediment control

Chatzichristaki Chrysoula, Stefanidis Stefanos, Stefanidis Panagiotis

*Aristotle University of Thessaloniki, School of Forestry and Natural Environment
Laboratory of Mountainous Water Management and Control, P.O. Box 268, 54124,
Thessaloniki, Greece, email:xryxat@gmail.com*

Abstract

The aim of this study is to estimate the sediments inflow into Lake Koronia and their contribution to the gradual sedimentation. For this purpose the soil erosion prediction model of Gavrilovic was applied. The implementation of the model showed that the mean annual soil erosion throughout the watersheds amounts to 593790, 53 m³/year, while taking into account the amount of sediments retained in intermediate locations within the watersheds was estimated that 316251,46 m³/year deposited into the lake. In order to control sediments and protect the lake from sedimentation are determined the minimum necessary technical works considering the geomorphological conditions of each stream, the degradation of the mountainous watershed and the produced volume of sediments.

Keywords: soil erosion, torrent control structures, Gavrilovic

Βιβλιογραφία

- Beyer Portner, N., 1998. Erosion des bassins versant alpins suisses par ruissellement de surface. PhD Thesis, Laboratoire de Construction Hydrauliques-LCH, No. 1815, Lausanne, Switzerland.
- Gavrilovic, S., 1972. Inzenjering o bujicn im tokovima i eroziji. Izgradnja. Beograd, Serbia, pp. 292.
- Gavrilovic, Z., 1988. Use of an Empirical Method (Erosion Potential Method) for Calculating Sediment Production and Transportation in Unstudied or Torrential Streams. International Conference on River Regime Hydraulics Research Limited, Wallingford, Oxon UK.1988, 411-422
- Hrissanthou, V., Mylopoulos, N., Tolikas, D., Mylopoulos, Y., 2003. Simulation modeling of runoff, groundwater flow and sediment transport into Kastoria Lake, Greece. *Water Resources Management* 17: 223-242.
- Hrissanthou, V., Delimani, P., Xeidakis, G., 2010. Estimate of sediment inflow into Vistonis Lake, Greece. *International Journal of Sediment Research* 25: 161-174.
- Kotoulas, D., 1984. Denudation and sedimentation in Greece as an example form the mountains and the plain of Salonica. *Proceedings of the International Symposium of INTERPRAEVENT, Villach 1984, Vol 2: 343-353.*
- Κωτούλας, Δ., 2001. Ορεινή Υδρονομική, Τόμος Ι, Τα ρέοντα Ύδατα. Τμήμα Εκδόσεων Α.Π.Θ, Θεσσαλονίκη. Σελ. 681.
- Manakou, V., Kungolos, A., Beriatos, E., 2008. Hazards that threaten Greek wetlands: the case of Lake Koronia. *WIT Transactions on Information and Communication Technologies* 39: 3-10.
- Martinez - Casanovas, J., Ramos, M., and Ribes-Dasi, M., 2002. Soil erosion caused by extreme rainfall events: mapping and quantification in agricultural plots from very detailed digital elevation models. *Geoderma* 105: 125-140.
- Myronidis, D., Arabatzis, G., 2009. An evaluation of the Greek post fire erosion mitigation policy through spatial analysis. *Polish Journal of Environmental Studies* 18: 865-872.
- Myronidis, D., Ioannou, K., Sapountzis, M., Fotakis, D., 2010. Development of a sustainable plan to combat erosion for an island of the Mediterranean region. *Fresenius Environmental Bulletin* 19(8): 1694-1702.

- Myronidis, D., Stathis, D., Ioannou, K., Fotakis, D., 2012. An integration of statistics temporal methods to track the effect of drought in a shallow Mediterranean Lake. *Water Resources Management* 26(15): 4587-4605.
- Mylopoulos, N., Mylopoulos, Y., Kolokytha, E., Tolikas, D., 2007. Integrated water management plans for the restoration of lake Koronia, Greece. *Water International* 32: 720-738.
- Ξανθάκης, Μ., 2011. Η μελέτη της εδαφικής διάβρωσης σε ορεινές λεκάνες απορροής με σύγχρονα τεχνολογικά εργαλεία. Διδακτορικής Διατριβής. Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωγραφίας. Σελ. 288.
- Petras, J., Kusplilic, N., Kunstek, D., 2005. Some experience of the prediction of suspended sediment concentrations and fluxes in Croatia. *Proceedings of symposium SI held during the 7th IAHS Scientific Assembly at Foz do Igacu, Brazil 2005, Vol 292: 179-184.*
- Psilovikos, A., Margoni, S., 2010. An empirical model of sediment deposition processes in Lake Kerkini, Central Macedonia Greece. *Environmental Monitoring and Assessment* 164: 573-592.
- Σαπουντζής, Μ., Μυρωνίδης, Δ., Στάθης, Δ., Στεφανίδης, Π., 2009. Σύγκριση των αποτελεσμάτων εφαρμογής των μεθόδων πρόβλεψης της διάβρωσης USLE και Gavrilovic με πραγματικές μετρήσεις σε λεκάνη απορροής. Πρακτικά του 1^{ου} Κοινού Συνεδρίου EYE & ΕΕΔΥΠ. "Ολοκληρωμένη διαχείριση υδατικών πόρων σε συνθήκες κλιματικών αλλαγών, Βόλος 27-30 Μαΐου 2009, Τόμος Ι: 155-136.
- Stefanidis, P., Sapountzis, M., Stathis, D., 2002. Sheet erosion after fire at the urban forest of Thessaloniki (Northern Greece). *Silva Balcanica* 21: 65-77.
- Stefanidis, P., Stefanidis, S., Tziaftani, F., 2011. The threat of alluviation of lakes resulting from torrents (Case Study: Lake Volvi, north Greece). *International Journal of Sustainable Development and Planning* 6: 325-335.
- Vanmaercke, M., Poesen, J., Radoane, M., Govers, G., Ocakoglu, F., Arabkhedri, M., 2012. How long should we measure? An exploration factors controlling the inter-annual variation of catchment sediment yield. *Journal of Soils and Sediments* 12:603-619.
- Verstraeten, G., Poesen, J., 2002. Using sediment deposits in small ponds to quantify sediment yield from small catchments: possibilities and limitations. *Earth Surface Processes and Landforms* 27: 1425-1439.
- Zemljic, M., 1971. Calcul du debit solide - Évaluation de la végétation comme un des facteurs antiérosifs. *Proceedings of the International Symposium of INTERPRAEVENT, Ljubjana 1971, Vol 2: 359-371.*