

## Εκτίμηση και μοντελοποίηση του κινδύνου διάβρωσης στη λεκάνη απορροής του Ξηροπόταμου Καστορίας με χρήση ΓΣΠ.

ΖΑΡΚΑΔΑΣ Π.1, ΜΑΡΓΩΝΗ Σ.2, ΨΙΛΟΒΙΚΟΣ ΑΡ.3 & ΔΑΛΕΖΙΟΣ Ν.3

### ABSTRACT

The hazard of erosion in the Xeropotamos river drainage basin on the eastern side of Kastoria lake is examined in this paper, through G.I.S. techniques (methodology). Eight levels of information were taken into account: The channel network, the Digital Elevation Model (DEM through TIN), the surface slope degree and orientation, the lithology, the vegetational cover, the rainfall distribution and the wind blown factors. The combination of the above levels of information allowed the production of two alternative erosional hazard assessment maps. One counts for equal and another counts for not equal influence of all the above factors in the model. The erosional capacity of Xeropotamos is reflected on the flatlands of the eastern side of Kastoria lake, where the river deposits heavy sediment loads, thus forming a deltaic lobe into the lake. It threatens to split the lake, unless antierosional measures on the drainage basin reduces its capacity.

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία εξετάζεται ο βαθμός επικινδυνότητας, που παρουσιάζεται σε περιοχές επιδεικτικές στη διάβρωση, στη λεκάνη απορροής του χειμάρρου Ξηροπόταμου Καστορίας. Ο Ξηροπόταμος είναι ο μεγαλύτερος από τους χειμάρρους του υδρογραφικού δικτύου της λεκάνης απορροής της λίμνης Καστορίας, εκβάλλει στο ανατολικό της τμήμα και εμφανίζει τα εντονότερα φαινόμενα στερεομεταφοράς μέσα στη λίμνη με αποτέλεσμα να τείνει να τη διαχωρίσει σε δύο τμήματα. Με τη βοήθεια Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών, δημιουργήθηκαν επίπεδα πληροφορίας με τα εξής στοιχεία: α) Λεκάνη απορροής και υδρογραφικό δίκτυο του Ξηροπόταμου, β) TIN & DEM της λεκάνης απορροής, γ) Κλίσεις του αναγλύφου της λεκάνης, δ) Προσανατολισμός των κλίσεων, ε) Είδη των πετρωμάτων, στ) Φυτοκάλυψη και χρήσεις γης ζ) Χάρτης κατανομής της βροχόπτωσης και η) Τελικός συγκεντρωτικός χάρτης των επιδεικτικών σε διάβρωση περιοχών, από το συνδυασμό όλων των παραπάνω δεδομένων. Δύο εναλλακτικά σενάρια έχουν αναλυθεί θεωρώντας ως α) ισοβαρείς και β) ανισοβαρείς τους επιμέρους παράγοντες του κινδύνου διάβρωσης. Ο χάρτης αυτός, αποτελεί εργαλείο λήψης αποφάσεων αν χρησιμοποιηθεί σωστά από τους αρμόδιους Φορείς.

### 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο κίνδυνος διάβρωσης στη χώρα μας είναι ιδιαίτερα αυξημένος με δεδομένο την πολισχιδή γεωμορφολογία και τις απότομες αλλαγές του αναγλύφου. Ο κίνδυνος αυτός σε συνδυασμό με το γεγονός των ραγδαίων βροχοπτώσεων, προκαλούν φυσικές καταστροφές όπως πλημμυρικά φαινόμενα και λασπορροές με τα οποία έρχεται ο άνθρωπος αντιμέτωπος ανήμπορος να αντι-

δράσει. Οι περιορισμένοι για την πατρίδα μας φυσικοί πόροι που είναι το έδαφος και το νερό, είναι κεφαλαιώδους σημασίας για την προστασία του περιβάλλοντος και ο μόνος τρόπος για να αποφύγουμε την υποβάθμισή τους είναι η αειφορική τους διαχείριση (Ψιλοβίκος Αρ., 2005).

Στην παρούσα μελέτη, δίνεται έμφαση στην επικινδυνότητα της διάβρωσης στη λεκάνη απορροής του χειμάρρου Ξηροπόταμου Καστο-

### EROSION HAZARD IN THE CATCHMENT'S AREA OF XIROPOTAMOS RIVER – KASTORIA USING GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM.

<sup>1</sup> Περιβαλλοντολόγος Π.Σ.Ε. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, [ppzarkad@fastmail.fm](mailto:ppzarkad@fastmail.fm)

<sup>2</sup> Τομέας Φυσικής & Περιβαλλοντικής Γεωγραφίας, Τμήμα Γεωλογίας, ΑΠΘ, [margon@geo.auth.gr](mailto:margon@geo.auth.gr)

<sup>3</sup> Τμήμα Γεωπονίας Ζωικής Παραγωγής & Υδάτινου Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, [psiloviko@uth.gr](mailto:psiloviko@uth.gr), [dalezios@uth.gr](mailto:dalezios@uth.gr)

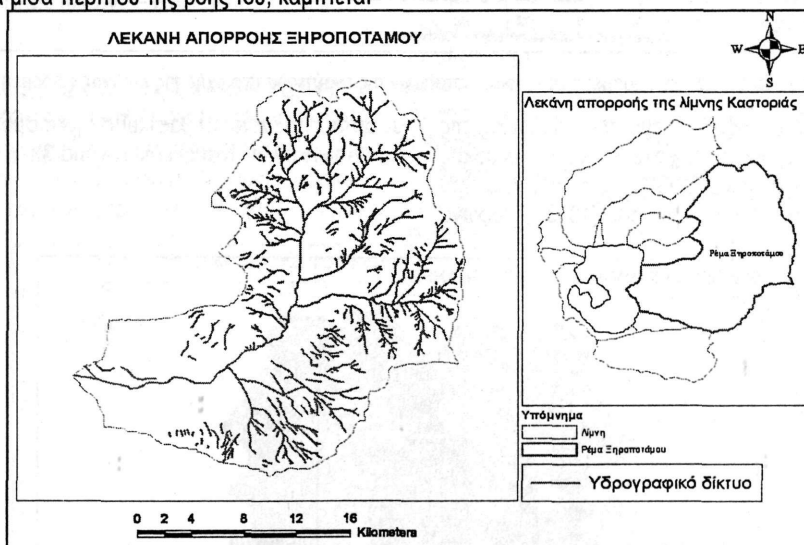
ριάς. Ο χειμάρρος αυτός τροφοδοτεί την λίμνη με σημαντική ποσότητα νερού, αλλά και με άφθονα φερτά υλικά τα οποία προσχώνουν τη λίμνη και συντελούν στην ελάτπωση του όγκου, ενώ είναι χαρακτηριστικός ο σχηματισμός δελταϊκών αποθέσεων στην περιοχή Πολύκαρπης – Μαυροχωριού, οι οποίες τείνουν να διαχωρίσουν τη λίμνη σε δύο τμήματα, στο Βόρειο και στο Νότιο (Ζαρκάδας, 2005).

## 2. ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ, ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ, ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ & ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η λεκάνη απορροής του χειμάρρου Ξηροποτάμου, καλύπτει επιφάνεια 112,50 km<sup>2</sup>. Η διεύθυνσή του κυρίου κλάδου του υδρογραφικού δικτύου είναι αρχικά Β – Ν και στη συνέχεια, στα μισά περίπου της ροής του, κάμπτεται

προς τα δυτικά (Σχήμα 1). Το ανάγλυφο της περιοχής χαρακτηρίζεται ως ημιορεινό στο μεγαλύτερο τμήμα της ροής μέχρι τις εκβολές του οι οποίες βρίσκονται σε υψόμετρο περίπου 629 m (στάθμη της λίμνης της Καστοριάς) και ορεινό στα ΒΑ και ΒΔ της λεκάνης απορροής του ανάμεσα στους ορεινούς όγκους στους οποίους εγκιβωτίζεται.

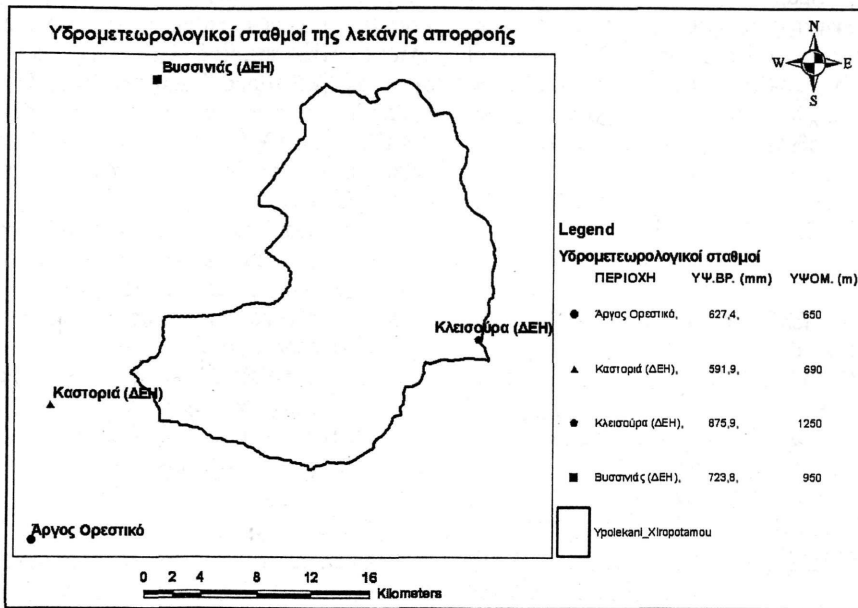
Σε ότι αφορά τα μετεωρολογικά και υδρολογικά στοιχεία, αυτά εκτιμήθηκαν με τη βοήθεια δεδομένων από ορισμένους υδρομετεωρολογικούς σταθμούς στην ευρύτερη περιοχή της λεκάνης απορροής. Τα δεδομένα αυτά αναφέρονται σε μία περίοδο 33 ετών από το έτος 1961 έως το 1994 (Σακκάς, 1994). Οι σταθμοί αυτοί με το γεωγραφικό τους υψόμετρο και το μέσο ετήσιο ύψος των κατακρημνισμάτων τους, φαίνονται στο Σχήμα 2.



Σχήμα 1. Η λεκάνη απορροής και το υδρογραφικό δίκτυο του χειμάρρου Ξηροποτάμου.

Ο χειμάρρος Ξηροποτάμος διακρίνεται σε δύο τμήματα : Το ψηλότερο ορεινό τμήμα στο οποίο αναπτύσσονται οι κλάδοι του υδρογραφικού δικτύου, οι οποίοι διαβρώνουν και μεταφέρουν φερτά υλικά και στο χαμηλότερο πεδινό τμήμα στο οποίο διασκορπίζονται νερό και υλικά και σχηματίζουν δελταϊκές αποθέσεις, οι οποίες προσχώνουν τη λίμνη. Υπάρχει κίνδυνος σταδιακά να δημιουργηθεί μια λωρίδα ξηράς

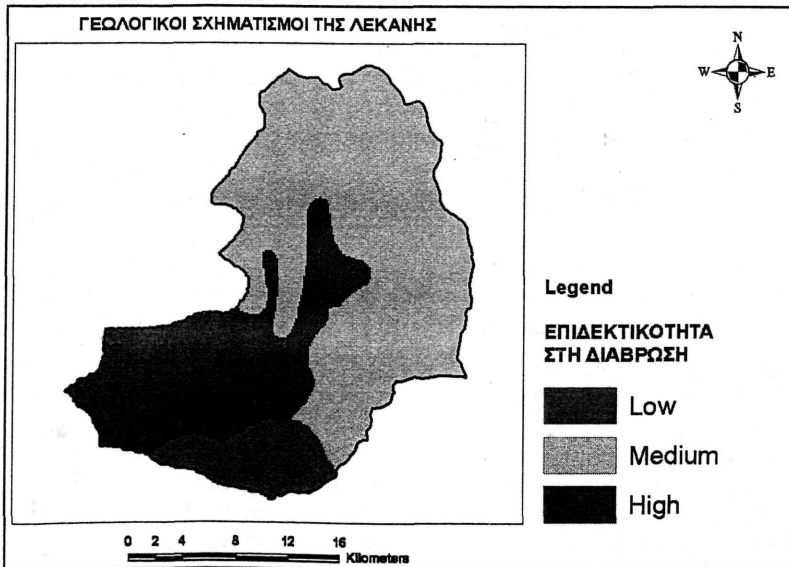
που θα αποκόπτεται το βόρειο από το νότιο τμήμα της λίμνης, με σημαντικές επιπτώσεις τόσο στο φυσικό όσο και στο ανθρωπογενές περιβάλλον. Επισημαίνεται βέβαια ότι έχει πραγματοποιηθεί μια εκτροπή του στομίου του χειμάρρου προς τα βόρεια, ενώ η φυσική του εκβολή είχε προσανατολισμό προς τα δυτικά, βελτιώνοντας σε κάποιο βαθμό την κατάσταση.



Σχήμα 2. Το δίκτυο των υδρομετεωρολογικών σταθμών της ευρύτερης περιοχής της λεκάνης απορροής.

Για τον προσδιορισμό της γεωλογίας της περιοχής χρησιμοποιήθηκε ο χάρτης κλίμακας 1:500.000 του ΙΓΜΕ (1982), και τα στοιχεία από τη Διδ. Διατριβή του Βαφειάδη (1983). Σύμφωνα

με αυτά, τρεις είναι οι βασικοί σχηματισμοί που απαντούνται και είναι οι εξής (Σχήμα 3):



Σχήμα 3. Οι γεωλογικοί σχηματισμοί της λεκάνης απορροής του Ξηροποτάμου (ΙΓΜΕ, 1982)

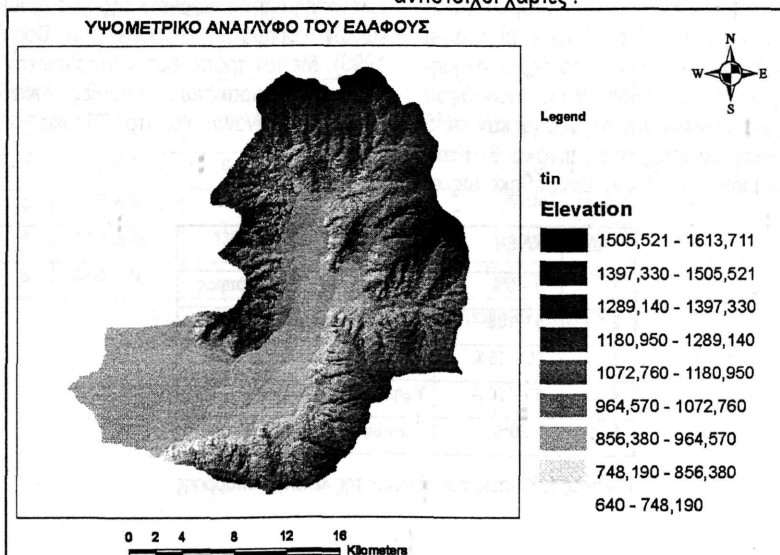
- Το **μεταμορφωμένο σύστημα** γνεύσεων σχιστόλιθων και αμφιβολίτων που παρουσιάζουν μεγάλη ανάπτυξη Διακρίνονται δύο οριζόντες, από τους οποίους ο ανώτερος περιλαμβάνει κυρίως σχιστόλιθους και ο κατώτερος γνεύσιους με παρεμβολές σχιστόλιθων (Παλαιοζωικό).
- **Ασβεστόλιθοι και δολομιτικοί ασβεστόλιθοι** μεσοστρωματώδεις και παχυστρωματώδεις ανοικτότεφρου και τεφρού χρώματος (Μέσο Τριαδικό).
- Οι **αλλουβιακές αποθέσεις** ασύνδετων υλικών και δελταϊκές προσχώσεις που εμφανίζονται στα πεδινά και εκατέρωθεν του Ξηροποτάμου στις περιοχές με ήπιες κλίσεις (Ολόκαινο – Πλειστόκαινο – Νεογενές).

### 3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ & ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ

Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για την επεξεργασία των γεωγραφικών πληροφοριών και την εξαγωγή του τελικού χάρτη, είναι

Arcview 3.2 & ArcGIS 8.3. Συγκεκριμένα η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε είναι η εξής:

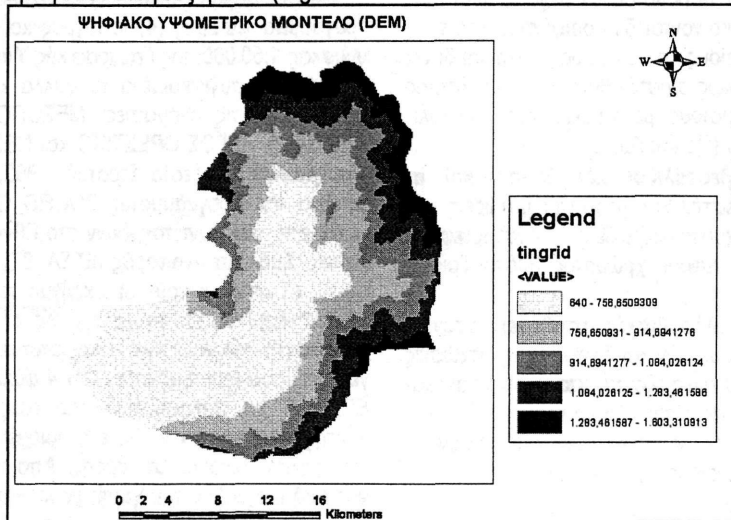
Μέσω σαρωτή (scanner) εισήχθησαν στο πρόγραμμα τέσσερις (4) τοπογραφικοί χάρτες, κλίμακας 1:50.000, της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού και συγκεκριμένα τα φύλλα κλίμακας 1:50.000 με τις ονομασίες: ΜΕΣΟΠΟΤΑΜΙΑ, ΚΑΣΤΟΡΙΑ, ΑΡΓΟΣ ΟΡΕΣΤΙΚΟ και ΝΕΣΤΟΡΙΟ (Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού, 1982). Με τη βοήθεια του προγράμματος COORD\_GR έγινε μετατροπή των συντεταγμένων στο Εθνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς (ΕΓΣΑ' 87) προκειμένου να υπολογιστούν με ακρίβεια τα γεωμετρικά δεδομένα. Με τη χρήση της επέκτασης (extension) Image analyst πραγματοποιήθηκε η γεωαναφορά (georeference) των 4 φύλλων στο ΕΓΣΑ' 87 και σχηματίστηκε έτσι ένας ενιαίος χάρτης από τον οποίο έγινε η οριοθέτηση της υπό μελέτη λεκάνης απορροής. Από το τοπογραφικό υπόβαθρο του χάρτη έγινε ψηφιοποίηση (digitizing) των ισοϋψών καμπυλών ανά 20 μέτρα και δημιουργήθηκε το υψομετρικό ανάγλυφο του εδάφους ή TIN (Triangulated Irregular Network) (Σχήμα 4). Συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκαν με τη σειρά που ακολουθεί τα παρακάτω στάδια επεξεργασίας και παρήχθησαν οι αντίστοιχοι χάρτες :



Σχήμα 4. Το υψομετρικό ανάγλυφο του εδάφους (TIN)

**1ο Στάδιο Επεξεργασίας** από χάρτη ισοϋψών : Από το αρχείο TIN δημιουργήθηκε το ψηφιακό ανάγλυφο του εδάφους ή DEM (Digital

Elevation Model) (Σχήμα 5), από το οποίο εξήχθη το μέσο υψόμετρο της λεκάνης ( 902 m).



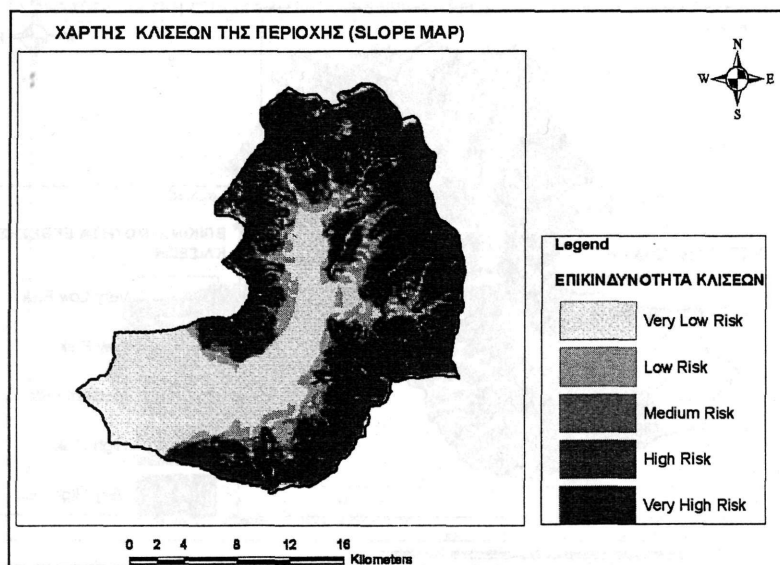
Σχήμα 5. Το ψηφιακό ανάγλυφο του εδάφους ή DEM (Digital Elevation Model)

**2ο Στάδιο Επεξεργασίας:** Από την επεξεργασία του ψηφιακού μοντέλου αναγλύφου (DEM), υπολογίστηκαν οι κλίσεις των κλιτύων της λεκάνης απορροής του Ξηροποτάμου, με τη βοήθεια του λογισμικού ArcGIS (Spatial Analyst Extension) και με τον τρόπο αυτό δημιουργήθηκε ο χάρτης κλίσεων (Σχήμα 6) του αναγλύφου. Οι κλίσεις χωρίστηκαν και ταξινομήθηκαν σε 5 κλάσεις, όπως φαίνεται στον πίνακα 2. Κατά τους Φουρνιάδη κ.α., 2002, θεωρήθηκε ως ο-

ριακή τιμή η κλίση του 10% για τις διεργασίες της απόθεσης των κλαστικών υλικών σε συνθήκες διάχυτης ροής (λασπορροής) και της ιζηματογένεσης στην επιφάνεια της γης (δημιουργία κώνων κορημάτων) (Cooke and Doorncamp, 1990). Με τον τρόπο αυτόν χωρίστηκαν οι περιοχές στις παρακάτω κατηγορίες επικινδυνότητας, όπως φαίνονται και στον Πίνακα 1.

. Α/Α	ΚΛΙΣΗ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ
1	0 – 5%	Πολύ χαμηλής επικινδυνότητας
2	5 – 10%	Χαμηλής επικινδυνότητας
3	10 – 15%	Μέτριας επικινδυνότητας
4	15 – 20%	Υψηλής επικινδυνότητας
5	> 20%	Πολύ υψηλής επικινδυνότητας

Πίνακας 1. Κλίσεις των εδαφών της λεκάνης απορροής



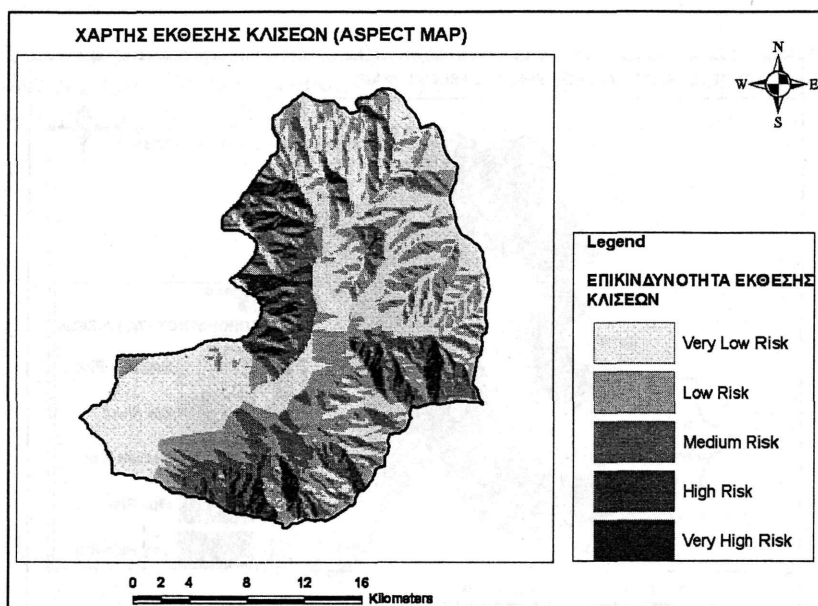
Σχήμα 6. Ο χάρτης των κλίσεων που εξήχθη από το DEM (Digital Elevation Model)

**3<sup>ο</sup> Στάδιο Επεξεργασίας :** Κατά το στάδιο αυτό δημιουργήθηκε ο χάρτης έκθεσης κλίσεων, δηλαδή ο προσανατολισμός των κλίσεων (aspect map) όπως φαίνεται στο Σχήμα 7, σε 8 διαφορετικές διευθύνσεις (B, BA, A, NA, N, ΝΔ, Δ, ΒΔ). Αυτός δημιουργήθηκε με τη χρήση της

επέκτασης Spatial Analyst του Arc View. Επειδή οι επικρατούντες άνεμοι στην περιοχή με βάση πολυετή μετεωρολογικά στοιχεία είναι ΒΑ, χωρίστηκε ο χάρτης τελικά σε 5 κλάσεις επικινδυνότητας, όπως φαίνονται στον Πίνακα 2.

Α/Α	ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ	ΜΟΙΡΕΣ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ
1	BA	22,5 – 67,5	Πολύ υψηλής επικινδυνότητας
2	BBA & BAA	0 – 22,5 & 67,5 – 90	Υψηλής επικινδυνότητας
3	ANA & BBΔ	90 – 135 & 315 – 360	Μεσαίας επικινδυνότητας
4	NNA & ΔΒΔ	135 – 180 & 270 – 315	Χαμηλής επικινδυνότητας
5	ΔΝΔ & ΝΝΔ	180 – 270	Πολύ χαμηλής επικινδυνότητας

Πίνακας 2. Κλάσεις του προσανατολισμού των κλίσεων.



Σχήμα 7. Ο χάρτης προσανατολισμού των κλίσεων που εξήχθη από το DEM (Digital Elevation Model)

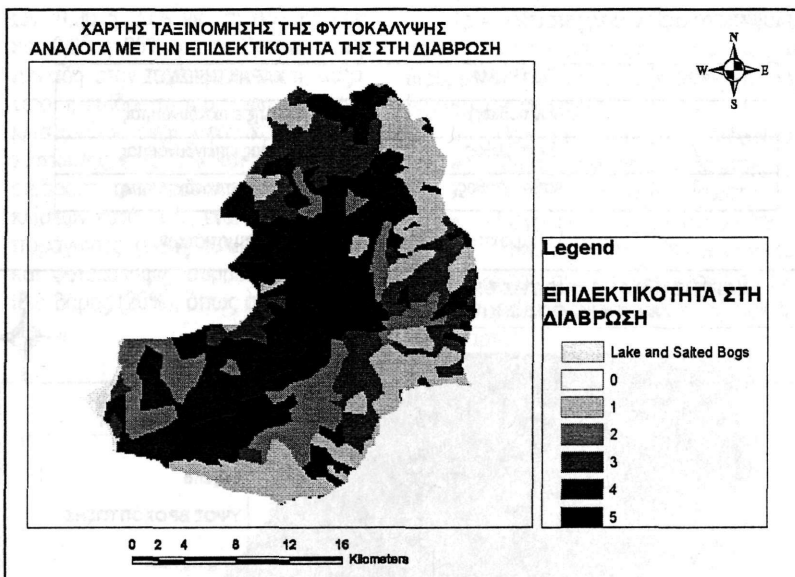
**4<sup>ος</sup> Στάδιο Επεξεργασίας :** Κατά το στάδιο αυτό, δημιουργήθηκε ο χάρτης με τη φυτοκάλυψη της λεκάνης απορροής. Χρησιμοποιήθηκε η κωδικοποίηση με τη βοήθεια της βάσης δεδομέ-

νων του CORINE, με τους κωδικούς και χαρακτηρισμούς που αναφέρονται στον Πίνακα 3 και όπως φαίνεται στο Σχήμα 8.

Α/Α	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΚΩΔΙΚΟΣ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ
1	Χέρσα γη Μη αρδευόμενες Οργώσιμες εκτάσεις Βοσκοτόπια	322	Πολύ υψηλής επικινδυνότητας
		211	
		231	
2	Πολύπλοκα σχέδια καλλιέργειες Φυσικά χορτολίβαδα	242	Υψηλής επικινδυνότητας
		321	
3	Εκτάσεις με σποραδική βλάστηση Παραδοσιακοί ξυλώδεις θάμνοι Σκληρόφυλλη βλάστηση Ασυνεχείς αστικές κατασκευές	333	Μεσαίας επικινδυνότητας
		324	
		323	
		112	
4	Οπωροφόρα δέντρα - Ελαιώνες Εκτάσεις που καλύπτονται από αγροτικές καλλιέργειες, αγροτικές – δασικές εκτάσεις	222	Χαμηλής επικινδυνότητας
		223	
		244	
5	Δάση πλατύφυλλων Μικτά Δάση Συνεχείς αστικές κατασκευές	311	Πολύ Χαμηλής επικινδυνότητας
		313	
		111	
6	Υδάτινοι όγκοι Έλη	512	Μηδενικής επικινδυνότητας
		421	

Πίνακας 3. Ομαδοποίηση και κλάσεις των χρήσεων γης





Σχήμα 8. Χάρτης χρήσεων γης της λεκάνης

Εκτός από τα προϊόντα των σταδίων επεξεργασίας, χρησιμοποιήθηκαν και τα παρακάτω ηλεκτρονικά αρχεία τα οποία κατασκευάστηκαν με τη βοήθεια των ΓΣΠ :

1. Η γεωλογική δομή της περιοχής, όπως περιγράφηκε προηγουμένα και φαίνεται στο Σχήμα 2. Οι χαρακτηρισμοί για την επικινδυνότητα των περιοχών σε διάβρωση, σε αντιστοιχία με το είδος των πετρωμάτων, φαίνονται στον Πίνακα 4. Έγινε γεωαναφορά και μετατροπή των συντεταγμένων από το γεωλογικό χάρτη κλίμακα 1:500.000, στο σύστημα ΕΓΣΑ '87.
2. Η μέση ετήσια βροχόπτωση στη λεκάνη απορροής, όπως προέκυψε από τα πολυετή δεδομένα 4 υδρομετεωρολογικών σταθμών στην ευρύτερη περιοχή της λεκάνης απορροής του Ξηροποτάμου, με τη χρήση της γεωστατιστικής και της μεθόδου Kriging (Ψιλοβίκος Αρ. κ.α., 2004), οδήγησε στη δημιουργία του συνεχούς χάρτη κατανομής της βροχόπτωσης στη λεκάνη απορροής της λίμνης Καστοριάς (Σχήμα 9). Η επέκταση της γεωστατιστικής ανάλυσης (Geostatistical Analyst Extension) επιτρέπει προηγμένη επεξεργασία της επιφάνειας χρησιμοποιώντας στοχαστικές και γεωστατιστικές μεθόδους. Επειδή διαθέτει ένα σύνολο προηγμένων εργαλείων επεκτείνει τις

δυνατότητες των Γεωγραφικών Συστημάτων και δίδει τη δυνατότητα για λεπτομερή χωρική ανάλυση των δεδομένων και για τη δημιουργία έγκυρων στατιστικά επιφανειών. Η δημιουργία επιφάνειας χρησιμοποιώντας τον αναλυτή Geostatistical περιλαμβάνει τρία βασικά βήματα:

- Διερευνητική χωρική ανάλυση δεδομένων
- Δομική ανάλυση (υπολογισμός και διαμόρφωση των ιδιοτήτων επιφάνειας των κοντινών θέσεων)
- Πρόβλεψη επιφάνειας και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων

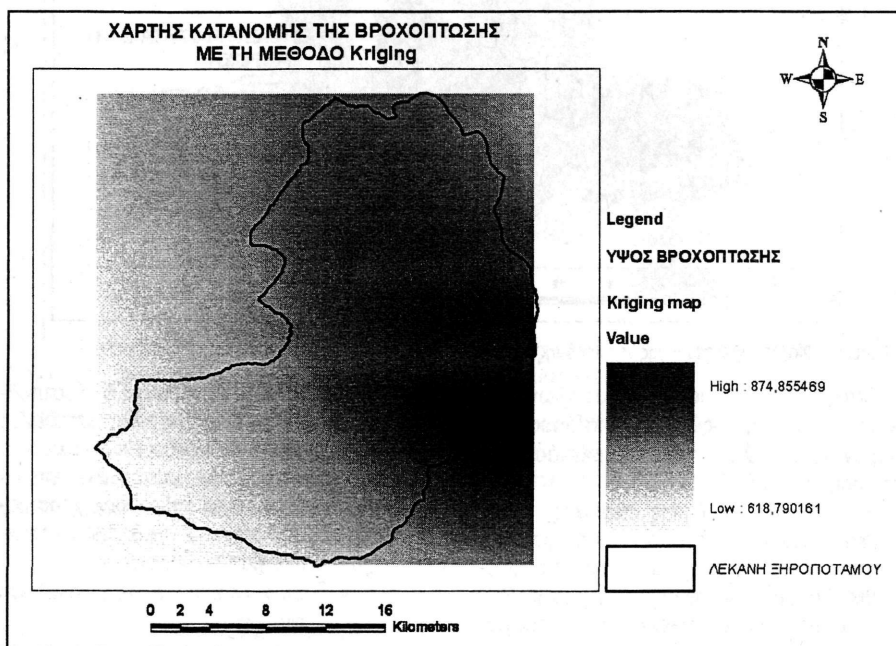
Η μέθοδος Kriging είναι μέθοδος πρόβλεψης επιφάνειας και ο απώτερος στόχος είναι να παραχθεί ένας χάρτης από προβλεφθείσες τιμές. Βασίζεται σε μαθηματικά και στατιστικά μοντέλα. Το πρόσθετο στοιχείο της πιθανότητας που χαρακτηρίζει ένα στατιστικό μοντέλο διαχωρίζει τη μέθοδο kriging από τις στοχαστικές μεθόδους. Στη μέθοδο kriging η πιθανότητα συνδέεται με τις προβλέψεις κι αυτό γιατί οι τιμές δε μπορούν να προβλεφθούν με ακρίβεια από ένα στατιστικό μοντέλο. Στόχος είναι όχι μόνο να προσπαθήσει κανείς να προβλέψει τις τιμές ενός δείγματος ή μιας επιφάνειας, αλλά



και να υπολογίσει το σφάλμα της πρόβλεψης

Α/Α	ΠΕΤΡΩΜΑ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ
1	Αλλουβιακά	Υψηλής επικινδυνότητας
2	Σχιστόλιθος	Μεσαίας επικινδυνότητας
3	Ασβεστόλιθος	Χαμηλής επικινδυνότητας

Πίνακας 4. Χαρακτηρισμοί των γεωλογικών σχηματισμών.



Σχήμα 9. Χάρτης κατανομής της βροχόπτωσης με τη μέθοδο Kriging

#### 4. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΟΥ ΤΕΛΙΚΟΥ ΠΡΟΪΟΝΤΟΣ – ΧΑΡΤΗ ΔΙΑΒΡΩΣΙΜΟΤΗΤΑΣ

Από τη σύνθεση όλων των παραπάνω χαρτών και συγκεκριμένα από το

1. χάρτη των κλίσεων του αναγλύφου,
2. χάρτη του προσανατολισμού των κλίσεων,
3. χάρτη της φυτοκάλυψης της περιοχής με τη βοήθεια της βάσης του CORINE,
4. χάρτη των γεωλογικών σχηματισμών της περιοχής,
5. χάρτη της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης

προέκυψε το τελικό προϊόν που είναι ο χάρτης με τις επιδεικτικές σε διάβρωση περιοχές.

Δύο διαφορετικές περιπτώσεις – σενάρια εξετάστηκαν για την παραγωγή του τελικού χάρτη :

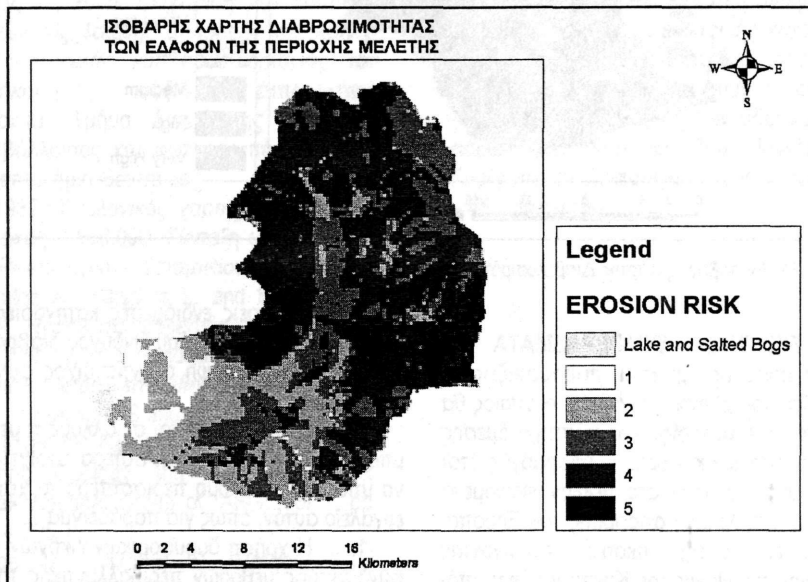
1. Οι παράγοντες που ευθύνονται για τη διάβρωση της περιοχής είναι **ισοβαρείς** μεταξύ τους και συμμετέχουν με το ίδιο ποσοστό στη σύνθεση του τελικού χάρτη
2. Οι παράγοντες **δεν είναι ισοβαρείς** μεταξύ τους και συμμετέχουν με διαφορετικό συντελεστή βάρους ο καθένας. Συγκεκριμένα, με άθροισμα των επιμέρους συντελεστών ίσων με τη μονάδα, ή επί τοις εκατό, επιλέχθηκαν οι συντελεστές 0,25 ή 25% για την κλίση του αναγλύφου, 0,20 ή 20% για το είδος των πετρωμάτων, 0,10 ή 10% για τον προσανατολισμό των κλίσε-

ων, 0,20 ή 20% για τη φυτοκάλυψη και 0,25 ή 25% για τη βροχόπτωση. Δηλαδή στην περίπτωση αυτή, αυξάνεται η επίδραση του παράγοντα των κλίσεων του αναγλύφου και της βροχόπτωσης κατά 5% και μειώνεται η επίδραση του προσανατολισμού των κλίσεων κατά 10%, ενώ οι δύο άλλοι παράγοντες (είδος των πετρωμάτων και φυτοκάλυψη) συμμετέχουν με το ίδιο βάρος (20%), όπως στο 1ο σενάριο.

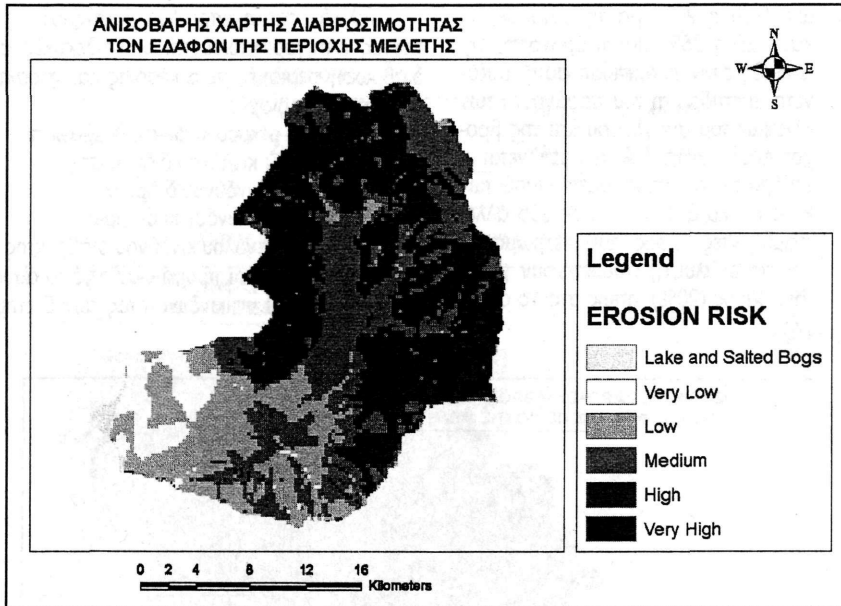
Τελικά, παράγονται δύο χάρτες στους οποίους κατηγοριοποιούνται οι επιδεκτικές στη διάβρωση περιοχές σε 5 κλάσεις και χαρακτηρίζονται ως περιοχές

- Πολύ μικρού κινδύνου διάβρωσης
- Μικρού κινδύνου διάβρωσης
- Μέσου κινδύνου διάβρωσης
- Μεγάλου κινδύνου διάβρωσης
- Πολύ μεγάλου κινδύνου διάβρωσης

Οι χάρτες αυτοί προέκυψαν από το άθροισμα του βαθμού επικινδυνότητας των 5 επιμέρους χαρτών.



Σχήμα 10. Ισοβαρής Χάρτης Διαβρωσιμότητας



Σχήμα 11. Ανισοβαρής Χάρτης Διαβρωσιμότητας

## 5. ΣΥΖΗΤΗΣΗ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία, παρουσιάζεται η δημιουργία ενός χάρτη – εργαλείου, ο οποίος θα μπορούσε να υποστηρίξει ένα σύστημα άμεσης λήψης αποφάσεων και μέτρων εφαρμογής, έτσι ώστε να αποφευχθούν στο μέλλον φαινόμενα διάβρωσης στη λεκάνη απορροής του Ξηροποτάμου που είναι ο σημαντικότερος παράγοντας πρόσχωσης της λίμνης της Καστοριάς και απόθεσης φερτών.

Η έρευνα στηρίχθηκε στη χρήση των ΓΣΠ και στη δημιουργία των ενδιάμεσων βημάτων οργάνωσης και αξιοποίησης όλης της ψηφιακής πληροφορίας. Χρησιμοποιήθηκαν τα υποπρογράμματα Image analyst, Spatial Analyst Extension, Geostatistical Analyst Extension. Από τους χάρτες προέκυψε ότι οι πιο επιδεκτικές στη διάβρωση περιοχές είναι αυτές για τις οποίες συνδυάζονται ταυτόχρονα όλοι οι επιμέρους παράγοντες διάβρωσης σε πολύ υψηλό βαθμό (πολύ μεγάλος κίνδυνος διάβρωσης) ενώ οι λιγότερο επιδεκτικές αντίστοιχα, είναι αυτές για τις οποίες ισχύει ο συνδυασμός των παραγόντων που προκαλούν πολύ μικρό κίνδυνο διάβρωσης. Όλοι οι ενδιάμεσοι συνδυασμοί,

ανήκουν στις τρεις ενδιάμεσες κατηγορίες του μικρού, μέσου και μεγάλου κινδύνου διάβρωσης και έχει ληφθεί υπόψη ο αντίστοιχος συντελεστής βάρους.

Περαιτέρω έρευνα και σε άλλους τομείς θα μπορούσε να δώσει περισσότερα στοιχεία και να υποστηρίξει ακόμη περισσότερο το χάρτη – εργαλείο αυτόν, όπως για παράδειγμα

1. Η χρήση δορυφορικών εικόνων και ο συνδυασμός μεθόδων περιβαλλοντικής τηλεπισκόπησης,
2. Η περαιτέρω διερεύνηση της γεωμορφολογίας, όπως των παραμέτρων υδρογραφικής πυκνότητας, συχνότητας, έντασης και υψής,
3. Η περαιτέρω υδρολογική διερεύνηση
4. Η επιτόπια έρευνα στο ύπαιθρο. Η τελευταία θα αποτελούσε και μία μέθοδος «επαλήθευσης» κατά κάποιο τρόπο των αποτελεσμάτων της έρευνας με τα ΓΣΠ με στοιχεία υπαίθρου.

Με τον τρόπο αυτό, στις περιοχές υψηλού και πολύ υψηλού κινδύνου και όπου το επιτρέπει το ανάγλυφο και το γεωλογικό υπόβαθρο, μπορούν να προταθούν για κατασκευή τα κατάλληλα υδραυλικά έργα (Psilonikovs Ar. et al., 2003), έτσι ώστε να προστατευθούν οι κατάντη περιοχές και κυρίως η λίμνη της Καστοριάς.

**ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- Βαφειάδης Π., 1983. *Υδρογεωλογική Μελέτη της Λεκάνης Καστοριάς*. Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού, 1982. *Τοπογραφικοί χάρτες κλίμακας 1:50.000, φύλλα Μεσοποταμία, Καστοριά, Άργος Ορεστικό και Νεστόριο*.
- Cooke R.U. and Doorncamp J.C., 1990. *Geomorphology in Environmental Management*. Clarendon Press, Oxford, 410 p.
- Ζαρκάδας Π., 2005. *Διαχείριση των υδατικών πόρων της λεκάνης απορροής της λίμνης της Καστοριάς και προσδιορισμός του υδατικού της ισοζυγίου*. Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Διαχείρισης αγροτικού περιβάλλοντος και φυσικών πόρων, ΠΣΕ, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
- ΓΓΜΕ, 1982. *Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας κλίμακας 1:500.000*. Σύνταξη : Μπορνόβας Ι. & Ροντογιάννη - Τσιαμπάου Θ.
- Pavlopoulos A., Katsaros K. and Stamatis G., 1997. *Hydrologic properties and resistance maps of runoff in Pendelikon region, Attica, Greece, before and after the wildfire hazards, by using GIS and RS techniques*. Proceedings International Symposium on Engineering Geology and the Environment, Greek National Group of IAEG, Vol 1, pp. 321 – 325.
- Psilovikos Ar., Vavliakis El., Margoni S. & Koutalou V., 2003. *Determination of the runoff coefficient in the river basins of the main torrents in Samos island after the fire of July 2000 using orthophotomaps and G.I.S*. Πρακτικά (Υπό δημοσίευση) του Διεθνούς Συνεδρίου με τίτλο «GIS AND REMOTE SENSING: ENVIRONMENTAL APPLICATIONS», Βόλος.
- Σακκάς Ιωάννης, 1994. *Υδρολογική μελέτη της λεκάνης απορροής της λίμνης της Καστοριάς*, Ερευνητικό Πρόγραμμα της Επιτροπής Ερευνών του Δημοκρίτειου Πανεπιστημίου Θράκης, Ξάνθη, Φεβρουάριος 1994.
- Φουρνιάδης Ι., Οικονομίδης Δ. & Αστάρης Θ., 2002. *Εντοπισμός περιοχών επιδεκτικών σε διάβρωση, με τη βοήθεια των γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών (GIS) και της τηλεπισκόπησης. Ένα παράδειγμα από την υδρογραφική λεκάνη του Ανθεμούντα*. Πρακτικά του 6ου Πανελληνίου Γεωγραφικού Συνεδρίου, Τόμος II, σελ. 273 – 280.
- Ψιλοβίκος Άρης, 2005. *Αειφορική Διαχείριση Υδατικών Πόρων*. Πανεπιστημιακές Σημειώσεις για το ομώνυμο μάθημα του Τμήματος Γεωπονίας Ζωικής Παραγωγής & Υδάτινου Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, σελ. 210, Βόλος.
- Ψιλοβίκος Άρ., Μαργώνη Σ., Βαβλιάκης Ελ., Ψιλοβίκος Αντ., 2004. Παρακολούθηση και προσομοίωση της γεωγραφικής κατανομής της ραγδαίας βροχόπτωσης της 28–29/11/2001 στη Σάμο και συμβολή στην ολοκληρωμένη διαχείριση των υδατικών της πόρων. Πρακτικά του 7ου Πανελληνίου Γεωγραφικού Συνεδρίου, Τόμος Ι, σελ. 450 – 457, Μυτιλήνη.