

ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΤΩΝ ΕΔΑΦΩΝ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ ΩΣ ΕΡΓΑΛΕΙΟ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΩΝ ΛΕΚΑΝΩΝ ΑΠΟΡΡΟΗΣ

Μυρωνίδης Δημήτρης

*Λέκτορας, Σχολή Δασολογίας και Διαχείρισης Φυσικού Περιβάλλοντος, ΑΠΘ, 54124, Θεσσαλονίκη,
myronid@gmail.com,*

Περίληψη

Το έδαφος είναι ένα δυναμικό οικοσύστημα το οποίο επιτελεί διάφορες λειτουργίες και προσφέρει πολύτιμες υπηρεσίες στον άνθρωπο. Το έδαφος υπόκειται σε μια σειρά από διεργασίες και απειλές, όπως είναι ο κίνδυνος διάβρωσης, οι οποίες μπορούν υπό ξηρές και ημίξηρες συνθήκες να οδηγήσουν στην πλήρη ερημοποίησή του. Λαμβάνοντας υπόψη τη σοβαρότητα του κινδύνου, είναι απαραίτητο να εφαρμόσουμε εξελιγμένες τεχνικές για την εκτίμηση του μεγέθους της διάβρωσης. Ο συνδυασμός του μοντέλου διάβρωσης της Παγκόσμιας Εξίσωσης της Εδαφικής Απώλειας (USLE) με το Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών ArcGIS χρησιμοποιήθηκε για την εκτίμηση του κινδύνου διάβρωσης των εδαφών της Ελληνικής Επικράτειας. Η αποτίμηση πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας τα καλύτερα διαθέσιμα γεωγραφικά δεδομένα, ενώ τα αποτελέσματα της ανάλυσης συγκρίθηκαν με ανάλογα αποτελέσματα των μοντέλων διάβρωσης (PESERA και SERAE). Η χαρτογράφηση των περιοχών που διατρέχουν κίνδυνο διάβρωσης δύναται ακολούθως να χρησιμοποιηθεί στον προγραμματισμό αντιδιαβρωτικών έργων στις λεκάνες απορροής, ενώ παράλληλα καλύπτει κατά ένα μέρος τις υποχρεώσεις σχετικής Ευρωπαϊκής Οδηγίας.

AN ASSESSMENT OF THE SOIL EROSION RISK IN THE GREEK TERRITORY AS A TOOL FOR THE MANAGEMENT OF WATERSHEDS

Myronidis Dimitris

*Lecturer, School of Forestry and Natural Environment Management, AUTH, 54124, Thessaloniki,
myronid@gmail.com,*

Abstract

Soil is a dynamic ecosystem which performs many different functions and offers valuable services to human. Soil is usually underlain under a series of processes and threats, as the erosion risk, which at arid or semi arid conditions can lead to its desertification. Taking into account the importance of the risk, it is necessary to apply sophisticated techniques in order to determine the erosion risk. The combination of the Universal Soil Loss Model (USLE) soil erosion model with the Geographical Information System ArcGIS was used in order to estimate the erosion risk of the Greek Territory. The assessment was realized based on the best available Geographical Data, while the analysis results were compared to the results of other erosion models (PESERA, SERAE). Furthermore, mapping the areas at erosion risk can be used for planning erosion control works in the watersheds while it partially covers the obligations of relevant E.U. Directive.

Λέξεις κλειδιά: USLE, κίνδυνος Διάβρωσης, GIS, αντιδιαβρωτικά έργα

Key words: USLE, Erosion Risk, GIS, erosion control

1. Εισαγωγή

Το έδαφος αποτελεί, ουσιαστικά, μη ανανεώσιμο πόρο και είναι ένα πολύ δυναμικό σύστημα, το οποίο επιτελεί πολλές λειτουργίες και προσφέρει υπηρεσίες ζωτικής σημασίας για τις δραστηριότητες του ανθρώπου και την επιβίωση των οικοσυστημάτων (Ε.Ε. COM 232, 2006). Κατά τη διάρκεια της τελευταίας δεκαετίας έχει αναγνωρισθεί παγκοσμίως η ανάγκη προστασίας του εδάφους, η οποία αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για την αειφόρο ανάπτυξη (Ε.Ε. COM 231, 2006). Το έδαφος έχει την ικανότητα να αποθηκεύει, να διηθεί και να μετασχηματίζει πολλές ουσίες, μεταξύ αυτών το νερό, τα θρεπτικά στοιχεία και ο άνθρακας.

Η διάβρωση απομακρύνει το επιφανειακό γόνιμο έδαφος, ελαττώνει τα θρεπτικά συστατικά και την ικανότητα του εδάφους να αποθηκεύει νερό και αυξάνει τις απώλειες κολλοειδών μειώνοντας έτσι σημαντικά την παραγωγικότητα του εδάφους (Γαπαϊβάννου & Τάντος, 2008). Με βάση πρόσφατη Κοινοτική Οδηγία (Ε.Ε. COM 232, 2006) τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Ε.Ε.) εντός πέντε ετών από την ημερομηνία μεταφοράς της οδηγίας στο εθνικό πλαίσιο υποχρεούνται να καταρτίσουν χάρτες οι οποίοι θα αποτυπώνουν τον κίνδυνο υποβάθμισης του εδάφους λόγω διάβρωσης, απομείωσης των οργανικών υλών, συμπύκνωσης, αλάτωσης και κατολισθήσεων. Επίσης, τα κράτη μέλη δύνανται να βασίζονται στον χαρακτηρισμό των περιοχών κινδύνου σε εμπειρικά στοιχεία ή σε μοντέλα (Ε.Ε. COM 232, 2006).

Η παρούσα εργασία αφορά τη χαρτογράφηση του κινδύνου διάβρωσης των εδαφών της Ελληνικής Επικράτειας με τη βοήθεια του μοντέλου της Παγκόσμιας Εξίσωσης της Εδαφικής Απώλειας (U.S.L.E.) (Wischmeier & Smith, 1978) και των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (G.I.S.). Τα συστήματα αυτά μολονότι απαιτούν τη δημιουργία και τη διαχείριση μιας γεωγραφικής βάσης δεδομένων, διαθέτουν μια σειρά από εργαλεία τα οποία είναι κατάλληλα για την επεξεργασία των δεδομένων και την επίλυση συγκεκριμένων περιβαλλοντικών προβλημάτων όπως η εκτίμηση του κινδύνου διάβρωσης και της στερεομεταφοράς (Φωτάκης κ.ά. 2006).

Ήδη από την δεκαετία του 1950 έχουν αναπτυχθεί πολυάριθμα μοντέλα με στόχο την εκτίμησή του τα οποία παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές (Merritt et al., 2003). Η αποτίμηση βασίζεται συνήθως στον προσδιορισμό διαφόρων επιμέρους παραγόντων αρκετοί από τους οποίους (κλίσεις, χρήσεις γης, το μέγεθος και η ένταση της βροχόπτωσης κ.α.) είναι κοινά μεταξύ των μοντέλων (Jetten et al., 1999). Μεταξύ αυτών των μοντέλων η USLE αποτελεί το πιο απλό μαθηματικό μοντέλο αποτίμησης της ετήσιας εδαφικής διάβρωσης (Wischmeier & Smith, 1978) τα αποτελέσματα του οποίου έχουν πολλές φορές κατά το παρελθόν επαληθευτεί σε διαφορετικές μελέτες διάβρωσης (Hudson, 1985, Morgan, 1995, Σαπουντζής κ.α., 2009).

Το γεγονός της ευκολίας εφαρμογής του μοντέλου της U.S.L.E. σε συνδυασμό με το ότι έχει χρησιμοποιηθεί για τη διερεύνηση της διάβρωσης σε μεγάλες κλίμακες (Myronidis et al., 2010) ή ακόμα και σε επίπεδο κράτους (Cebecauer & Hofierka, 2008) μας ώθησαν στην επιλογή του για τις ανάγκες της έρευνας μας. Τέλος, τα αποτελέσματα της ανάλυσης συγκρίθηκαν με ανάλογα αποτελέσματα των μοντέλων διάβρωσης PESERA και SERAE ενώ επιπρόσθετα μπορούν να χρησιμεύσουν στον προγραμματισμό αντιδιαβρωτικών έργων στις λεκάνες απορροής. Ωστόσο θα πρέπει να επισημανθεί ότι οι προβλέψεις μοντέλων εδαφολογικής διάβρωσης είναι πολύ ευαίσθητες στις αλλαγές, στις χωρικές και χρονικές κλίμακες (Zhang et al., 2004). Τα σημαντικότερα λάθη στη μοντελοποίηση της διάβρωσης προέρχονται από το ασυμβίβαστο μεταξύ της πρότυπης κλίμακας, της κλίμακας των δεδομένων εισαγωγής, και της προοριζόμενης κλίμακας των αποτελεσμάτων.

2. Μέθοδος έρευνας

2.1 Ανάλυση του μοντέλου

Σύμφωνα με το μοντέλο της USLE, το μέγεθος της αναμενόμενης εδαφικής απώλειας εκφράζεται με βάση την ακόλουθη εξίσωση:

$$A = R \times K \times LS \times C \times P \quad (1)$$

Όπου,

- A είναι η μέση ετήσια επιφανειακή διάβρωση σε t/ha/έτος
- R είναι ο συντελεστής διαβρωτικότητας της βροχής ($\text{MJ}\cdot\text{mm}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{hour}^{-1}\cdot\text{year}^{-1}$) ο οποίος υπολογίζεται με βάση την κινητική ενέργεια και το ύψος του συνόλου των κατακρημνισμάτων του έτους από όλες τις διαβρωτικά ενεργές βροχές
- K είναι ο συντελεστής διαβρωσιμότητας του εδάφους ($\text{ton}\cdot\text{ha}\cdot\text{hr}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{MJ}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$) και αποτυπώνει την ευπάθεια του εδάφους στην απόσπαση και μεταφορά εξαιτίας της πρόσκρουσης των σταγόνων της βροχής και της απορροής.
- LS είναι ο συντελεστής αναγλύφου ο οποίος αφορά στην τοπογραφία της περιοχής. Όσο πιο απότομες και μεγάλες σε μήκος είναι οι κλίσεις που επικρατούν σε μια περιοχή, τόσο μεγαλύτερος είναι ο κίνδυνος διάβρωσης (Haan et al., 1994).
- C είναι ο συντελεστής φυτοκάλυψης ο οποίος χρησιμοποιείται για τον καθορισμό της αποτελεσματικότητας της προστασίας που παρέχει η βλάστηση στη διάβρωση του εδάφους μειώνοντας την κινητική ενέργεια των σταγόνων της βροχής.

- Ρ είναι ο συντελεστής ελέγχου διάβρωσης ο οποίος εκφράζει την ανθρώπινη παρέμβαση για την προστασία από την διάβρωση. Είναι ανάλογος της κλίσης και εξαρτάται από τις πρακτικές (π.χ. όργωμα κατά την διεύθυνση των ισοϋψών) και κατασκευές (π.χ. φράγματα) ελαχιστοποίησης της διάβρωσης οι οποίες εφαρμόζονται.

2.2 Εκτίμηση των παραμέτρων του μοντέλου

Παρόλο που η Ελλάδα σε σχέση με άλλες Μεσογειακές χώρες παρουσιάζεται σε πλεονεκτική θέση εξαιτίας της διαθεσιμότητας των υδατικών πόρων, ωστόσο οι ποσότητες των υδατικών πόρων δεν κατανέμονται ομοιόμορφα στο χρόνο και στο χώρο (Sofios et al., 2007). Ο συντελεστής διαβρωτικότητας της βροχής εξαρτάται από την ένταση και τη διάρκεια των βροχοπτώσεων. Δυστυχώς, τέτοιου είδους δεδομένα σε επίπεδο Ελληνικής επικράτειας δεν είναι διαθέσιμα. Λαμβάνοντας υπόψη ότι ο R σχετίζεται με τον μέγεθος της βροχόπτωσης και ότι στη βιβλιογραφία υπάρχουν εμπειρικές εξισώσεις οι οποίες υπολογίζουν τον παράγοντα με βάση το μέσο ετήσιο ύψος βροχής (Onyando et al., 2005) εφαρμόσαμε την ακόλουθη εμπειρική σχέση (Schwertmann et al., 1990, Στάθης και Σαπουντζής, 2002) για τον προσδιορισμό του συντελεστή διαβρωτικότητας

$$R = 0,083 \cdot P - 1,77 \quad (2)$$

όπου, Ρ είναι το μέσο ετήσιο ύψος βροχής (mm) και R ο συντελεστής διαβρωτικότητας της βροχής.

Για τις ανάγκες της παρούσης εργασίας χρησιμοποιήθηκαν τα βροχομετρικά δεδομένα 515 σταθμών από όλη την Ελλάδα (Γκουβάς κ.α., 2007) με περίοδο λειτουργίας, στην μεγαλύτερη πλειονότητα τους, τουλάχιστον 10 ετών. Με βάση τα παραπάνω μετεωρολογικά δεδομένα κατασκευάστηκε χάρτης χωρικής κατανομής των βροχοπτώσεων χρησιμοποιώντας τη μέθοδο παρεμβολής Krigging (Παπαμιχαήλ, 2001) με τη βοήθεια της οποίας οι σημειακές τιμές των βροχομετρικών παρατηρήσεων μετασχηματίστηκαν σε χωρική κατανομή της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης στον Ελλαδικό χώρο. Η κατανομή αυτή των βροχοπτώσεων χρησιμοποιήθηκε στην συνέχεια για να υπολογιστεί ο παράγων R με την βοήθεια της εξίσωσης 2 και του module Spatial Analyst (McCoy και Johnston, 2002) του ArcGIS (Σχήμα 1α).

Ο συντελεστής διαβρωσιμότητας του υποθέματος αναπαριστά την αντίσταση του εδάφους στις διαβρωτικές δυνάμεις που του ασκούνται λόγω των βροχοπτώσεων και της απορροής (Lee S., 2004). Ο προσδιορισμός του πραγματοποιείται με βάση πέντε ιδιότητες του εδάφους (περιεκτικότητα σε ιλύ και λεπτή άμμο, περιεκτικότητα σε μέση και χονδρή άμμο, περιεκτικότητα σε οργανική ουσία, ποσοστό οργανικής ουσίας και διαπερατότητα) (Κωτούλας, 1998). Συνεπώς, η αποτίμηση του συντελεστή διαβρωσιμότητας του υποθέματος απαιτεί μεγάλο αριθμό από μετρήσεις πεδίου με συνέπεια να είναι αδύνατος ο προσδιορισμός του μεγέθους του συντελεστή Κ σε μεγάλες κλίμακες. Εξαιτίας της έλλειψης αναλυτικών εδαφολογικών δεδομένων σε επίπεδο χώρας εκτιμήθηκαν οι τιμές του συντελεστή με βάση τον εδαφολογικό χάρτη κλίμακας 1:1.000.000 (E.E., 1985) και τη χρήση πινάκων τους οποίους προτείνει το Υπουργείο Γεωργίας του Καναδά (Omafra, 2007). Παρόλο που τέτοιου είδους εκτιμήσεις του συντελεστή διαβρωσιμότητας του υποθέματος δεν μπορούν να υποκαταστήσουν την ακρίβεια των μετρήσεων πεδίου ωστόσο αποτελούν τη μοναδική εναλλακτική λύση όταν πραγματοποιείται έρευνα σε μεγάλες κλίμακες (Le Roux et al., 2008). Με βάση τα παραπάνω εκτιμήθηκε η χωρική κατανομή του συντελεστή διαβρωσιμότητας στην Ελληνική Επικράτεια (Σχήμα 1β)

Η υποβάθμιση του εδάφους αυξάνεται με την αύξηση του μήκους L και της κλίσης S που επικρατούν σε μια περιοχή εξαιτίας του γεγονότος ότι η αύξηση των μεγεθών αυτών έχει ως συνέπεια να αυξάνει η επιφανειακή απορροή και η συρτική δύναμη του νερού (Κωτούλας, 1998). Στην παρούσα εργασία ο τοπογραφικός παράγων (LS) υπολογίστηκε με τη βοήθεια του ψηφιακού μοντέλου εδάφους το οποίο κατασκευάστηκε από την ψηφιοποίηση των τοπογραφικών χαρτών κλίμακας 1:200.000 (ισοδιάστασης 100m) της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού (Γ.Υ.Σ.). Στο ψηφιακό μοντέλο εδάφους μορφής Grid και με διαστάσεις κανάβου 50x50m εφαρμόστηκε η ακόλουθη εξίσωση με τη βοήθεια εξειδικευμένης ρουτίνας του ARC/INFO (Hickey, 2000).

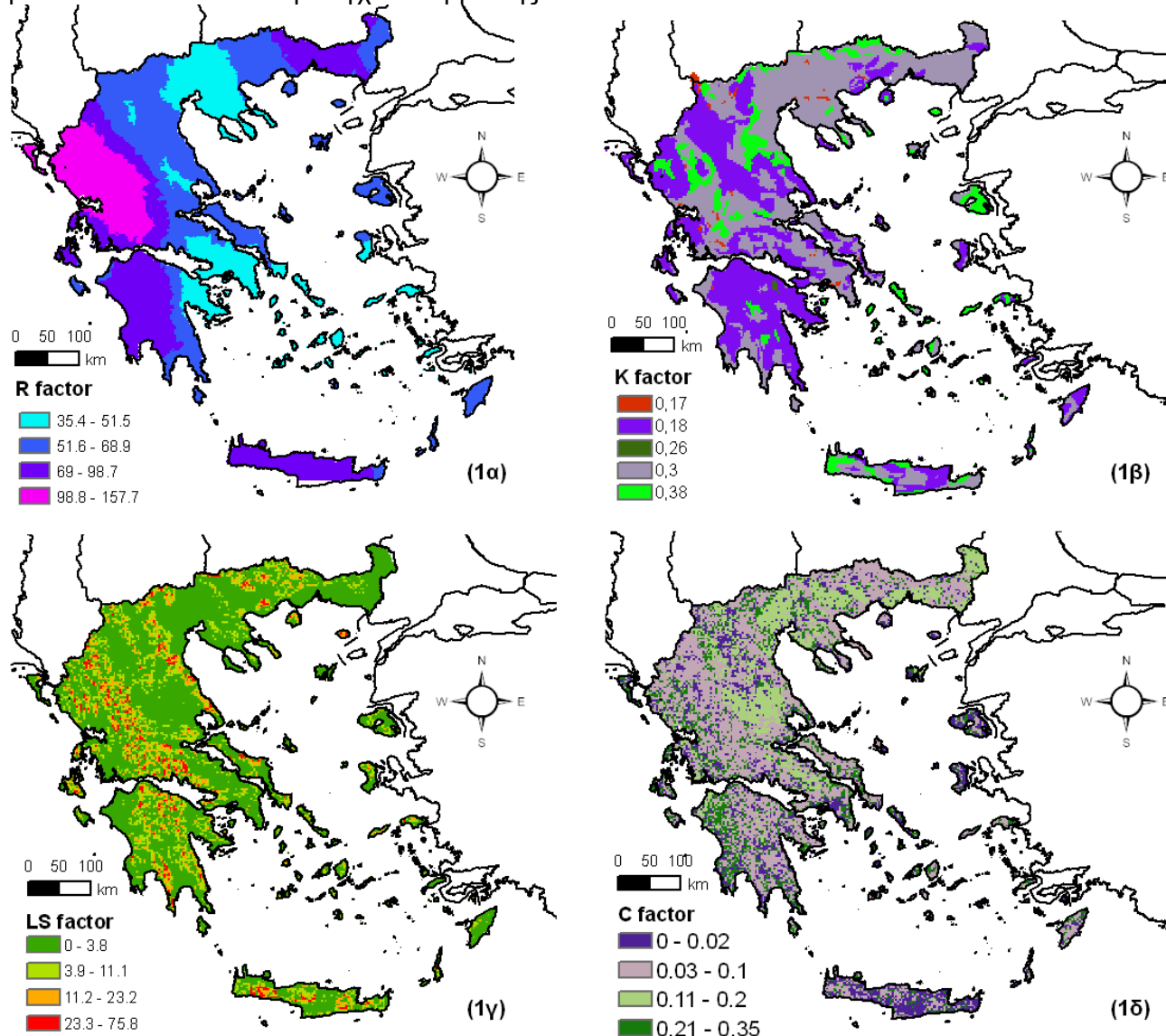
$$LS = (\lambda/72.6)^m (65.41 \sin^2\beta + 4.56\sin\beta + 0.065) \quad (3)$$

Όπου, λ είναι το διαβρωτικό μήκος κλιτύος σε πόδια, β είναι η κλίση της κλιτύος, m μεταβλητή η οποία υπολογίζεται με βάση το μέγεθος της κλίσης (0,5 όταν η κλίση είναι μεγαλύτερη από 2.86°, 0.4 για κλίσεις από 1.72° - 2.86°, 0.3 για κλίσεις από 0.57° ως 1.72° και 0.2 για κλίσεις μικρότερες από 0.57°. Χρησιμοποιώντας την συγκεκριμένη εφαρμογή στο ψηφιακό μοντέλο εδάφους της

Ελλάδας υπολογίστηκε το μέγεθος του τοπογραφικού συντελεστή για τον Ελλαδικό χώρο (Σχήμα 1γ).

Η διάβρωση και η απορροή επηρεάζονται σημαντικά από το είδος της βλάστησης (π.χ. δάσος, λιβάδι κλπ) αλλά και το είδος των πρακτικών ελέγχου της διάβρωσης που εφαρμόζονται (π.χ. αναχώματα, βαθμίδες κλπ). Ο συντελεστής φυτοκάλυψης εξαρτάται από τη βλάστηση μιας και ανάλογα με το τι είδος βλάστησης υπάρχει σε μια περιοχή μειώνεται η κινητική ενέργεια των σταγόνων της βροχής πριν χτυπήσουν στο έδαφος. Η χαρτογράφηση των χρήσεων γης της δεύτερης έκδοσης του CORINE η οποία έχει μεγαλύτερο βαθμό λεπτομέρειας και υπάρχουν χαρτογραφημένες και οι χρήσεις γης των νησιών οι οποίες απουσίαζαν στην πρώτη έκδοση χρησιμοποιήθηκε για την αποτύπωση της βλάστησης. Στον ψηφιακό χάρτη της δεύτερης έκδοσης του CORINE (ΕΕΑ, 2000) ανατέθηκαν οι κατάλληλες τιμές του συντελεστή φυτοκάλυψης ανά κατηγορία βλάστησης (Morgan, 1995) ώστε να συνταχθεί ο χάρτης κατανομής του συντελεστή φυτοκάλυψης (1δ).

Τέλος, εξαιτίας του γεγονότος ότι δεν ήταν διαθέσιμες οι πληροφορίες της χωρικής κατανομής των ανθρώπινων παρεμβάσεων για τον έλεγχο της διάβρωσης ανατέθηκε παντού τιμή ίση με μονάδα στον συντελεστή ελέγχου διάβρωσης.

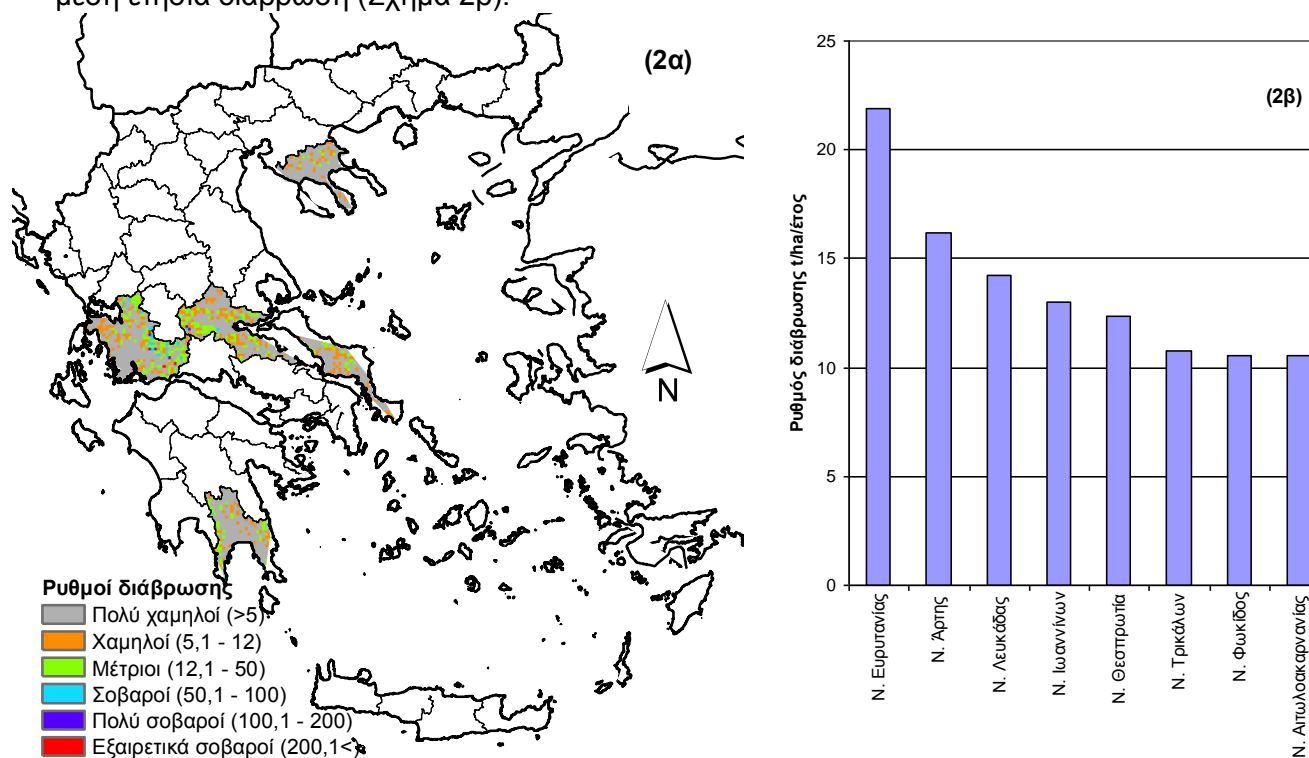


Σχήμα 1: Χωρική κατανομή των παραμέτρων του μοντέλου της U.S.L.E.: ο συντελεστής διαβρωτικότητας R (α), συντελεστής διαβρωσιμότητας K (β), συντελεστής αναγλύφου LS (γ), συντελεστής φυτοκάλυψης C (δ)

3. Αποτελέσματα-Συζήτηση

3.1 Εκτίμηση του κινδύνου διάβρωσης

Δεδομένου ότι όλοι οι παράγοντες της U.S.L.E. έχουν χωρική κατανομή η εφαρμογή του μοντέλου με την χρήση των G.I.S. μας δίνει γρήγορα και ακριβή αποτελέσματα (Myrtonidis et al., 2010). Δημιουργώντας για κάθε παράγοντα του μοντέλου τον αντίστοιχο χάρτη και συνδυάζοντας τους χάρτες με τη βοήθεια απλών εντολών του ArcGIS μπορούμε εύκολα και γρήγορα να υπολογίσουμε τους ρυθμούς διάβρωσης που επικρατούν στην Ελληνική Επικράτεια. Ακολουθώντας, πολλαπλασιάζοντας μεταξύ τους τις παραμέτρους του μοντέλου διάβρωσης της U.S.L.E (R, K, LS, C και P) προκύπτει η κατανομή των ρυθμών διάβρωσης για τον Ελληνικό χώρο σε t/ha/έτος. Ομαδοποιώντας στην συνέχεια των χάρτη κατανομής της διάβρωσης σε έξι κατηγορίες διάβρωσης αποτυπώνεται η χωρική κατανομή της διάβρωσης (Σχήμα 2α) αλλά και οι νομοί με τη μεγαλύτερη μέση ετήσια διάβρωση (Σχήμα 2β).



Σχήμα 2: Χωρική κατανομή ρυθμών διάβρωσης στην Ελληνική Επικράτεια σύμφωνα με το μοντέλο της USLE (α) και οι νομοί με την μεγαλύτερη μέση ετήσια διάβρωση με βάση το ίδιο μοντέλο (β)

3.2 Σύγκριση αποτελεσμάτων με άλλα μοντέλα διάβρωσης

Το μοντέλο διάβρωσης PESERA συνδυάζει δεδομένα τοπογραφίας, κλίματος και εδάφους για να αποτιμήσει τον κίνδυνο διάβρωσης και την απορροή σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης (Kirkby et al., 2004). Χρησιμοποιώντας ομοιογενή δεδομένα μεγάλης κλίμακας (π.χ. 1 Km ψηφιακό μοντέλο εδάφους) χαρτογραφείται ο κίνδυνος διάβρωσης. Ωστόσο, δεν χαρτογραφείται η νησιωτική Ελλάδα λόγω της έλλειψης πληροφοριών βλάστησης ενώ με βάση το μοντέλο υψηλοί ρυθμοί διάβρωσης καταγράφονται στις περιοχές με ασβεστόλιθο (Kirkby et al., 2004). Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του μοντέλου PESERA οι νομοί της Ελλάδας οι οποίοι παρουσιάζουν τους μεγαλύτερους ρυθμούς μέσης ετήσιας διάβρωσης κατά φθίνουσα σειρά είναι της Άρτας, Αιτωλοακαρνανίας, Πειραιάς, Μαγνησίας, Θεσπρωτίας, Πρεβέζης, Φωκίδας. Συνεπώς, στο μεγαλύτερο ποσοστό συμφωνούν οι προβλέψεις των δυο μοντέλων (PESERA, USLE) ως προς το ποιοι νομοί εμφανίζουν την μεγαλύτερη επικινδυνότητα ως προς την διάβρωση.

Το μοντέλο διάβρωσης SERAE (Soil Erosion Risk Assessment in Europe) αναπτύχθηκε κυρίως από το INRA¹ και αφορούσε την εκτίμηση του κινδύνου διάβρωσης σε Επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης χρησιμοποιώντας ομοιογενή δεδομένα κλίμακας 1:1.000.000. Οι παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν τη διάβρωση βαθμονομήθηκαν σε κλίμακα και συνδυάστηκαν μεταξύ τους

¹ France National Institute for agriculture research

χρησιμοποιώντας εμπειρικούς κανόνες μέσα σε ένα γεωγραφικό σύστημα πληροφοριών παράγοντας χάρτες διάβρωσης σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης (Le Bissonnais et al, 2001). Με βάση τα αποτελέσματα του μοντέλου διάβρωσης SEREA προκύπτει ότι τους μεγαλύτερους ρυθμούς μέσης ετήσιας διάβρωσης παρουσιάζουν με φθίνουσα ταξινόμηση οι νομοί Ανατολικής Αττικής, Κέρκυρας, Φλωρίνης, Λευκάδος, Άρτης, Κορινθίας, Αιτωλοακαρνανίας. Συμπεραίνεται ότι οι προβλέψεις των δυο μοντέλων (SERAE, USLE) συγκλίνουν όσον αφορά την μέση ετήσια διάβρωση στην πλειονότητα των νομών.

3.3 Εκτίμηση της διάβρωσης και διαχείριση των λεκανών απορροής

Γνωρίζοντας τους ρυθμούς διάβρωσης που επικρατούν σε μια περιοχή και το βαθμό της στερεομεταφοράς μπορούμε να υπολογίσουμε στη συνέχεια το μέγεθος του στερεοφορτίου με βάση την ακόλουθη εξίσωση:

$$Y = SDR * Ag \quad (4)$$

Όπου, Y είναι το μέγεθος του στερεοφορτίου (t/year), SDR είναι ο βαθμός στερεομεταφοράς και Ag είναι η μέση ετήσια επιφανειακή διάβρωση σε t/ha/έτος.

Στην βιβλιογραφία υπάρχουν πολυάριθμες εξισώσεις (Williams και Berndt, 1972, Onyando et al., 2005, Bhattarai και Dushmata Dutta, 2007) τις οποίες μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ανάλογα με τα χαρακτηριστικά των εδαφών και των κλιματικών συνθηκών τις περιοχής έρευνας για να υπολογίσουμε το βαθμό της στερεομεταφοράς και οι οποίες θεωρείται ότι δίνουν γενικά καλά αποτελέσματα (Williams και Berndt, 1972). Υπολογίζοντας τον βαθμό στερεομεταφοράς και γνωρίζοντας την χωρική κατανομή των ρυθμών διάβρωσης όπως προέκυψε από την εφαρμογή του μοντέλου διάβρωσης της U.S.L.E. (Myrondis et al., 2010) μπορούμε ακολούθως να υπολογίσουμε το στερεοφορτίο που θα συγκεντρωθεί σε μια συγκεκριμένη θέση. Η γνώση του μεγέθους του στερεοφορτίου είναι απαραίτητη στις περισσότερες των περιπτώσεων για την διαστασιολόγηση των αναγκαίων υδροτεχνικών έργων όπως φράγματα (Castillo κ.α., 2007), λιμνοδεξαμενές και ταμιευτήρες (Χρυσάνθου και Πυλιώτης Α., 1995).

4. Συμπεράσματα

Τα μοντέλα διάβρωσης σε συνδυασμό με τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών απλοποιούν τη διαδικασία χαρτογράφησης των περιοχών που εμφανίζουν υψηλούς ρυθμούς διάβρωσης. Φυσικά πάντα εγκυμονεί ο κίνδυνος η απλοποίηση, η ομογενοποίηση και οι εύκολες παραδοχές να οδηγήσουν σε λανθασμένα μη αξιοποίηση και υπερ-γενικευμένα αποτελέσματα. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο της USLE για να προσδιοριστούν οι ρυθμοί διάβρωσης που επικρατούν στην Ελληνική Επικράτεια ενώ τα αποτελέσματα της ανάλυσης συγκρίθηκαν με αυτά δυο πολύ γνωστών μοντέλων διάβρωσης (PESERA, SERAE).

Σε αντίθεση με τα PESERA και SERAE, η εκτίμηση της διάβρωσης στην παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας μικρότερης κλίμακας δεδομένα, ενώ χαρτογραφήθηκε ο κίνδυνος διάβρωσης σε όλη την Ελληνική Επικράτεια συμπεριλαμβανομένου και των νησιωτικών περιοχών με βάση τα καλύτερα διαθέσιμα γεωγραφικά δεδομένα. Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των μοντέλων με βάση το μέγεθος της μέσης ετήσιας διάβρωσης ανά νομό διαπιστώνουμε ότι οι προβλέψεις των μοντέλων συμφωνούν κατά το μεγαλύτερο ποσοστό. Τέλος, για να μπορέσουμε να καταρτίσουμε χάρτες οι οποίοι θα αποτυπώνουν τον κίνδυνο υποβάθμισης του εδάφους με ακόμα μεγαλύτερη ακρίβεια, όπως επιτάσσει και η σχετική Ευρωπαϊκή Οδηγία (Ε.Ε. COM 232, 2006), είναι απαραίτητη η χρήση δεδομένων μεγαλύτερης κλίμακας σε συνδυασμό με μεθοδολογίες όπως η προτεινόμενη στην παρούσα εργασία. Η κλίμακα της μελέτης είναι εξαιρετικά μικρή για να προκύπτουν συμπεράσματα αξιοποίηση σε επίπεδο σχεδιασμού και λήψης αποφάσεων και διαχείρισης φυσικών πόρων.

Βιβλιογραφία

Γκουβάς Μ., Ν., Σακελλαρίου και Φ. Ξυστράκη 2007: *Εκτίμηση του Μέσου Ετήσιου και Μηνιαίου Ύψους Υετού Στον Ελλαδικό Χώρο*, Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, 1/07, 1-27.

Ε.Ε. 1985: The Commission of the European Communities, Directorate General for Agriculture, Coordination of Agricultural Research. "Soil Map of the European Communities at 1:1.000.000."

The Office for Official Publications of the European Communities, ISBN 92-825-5427-9, L-2985 Luxembourg, 124 pages.

E.E. COM 231, 2006: *Θεματική στρατηγική για την προστασία του εδάφους*.

E.E. COM 232, 2006: *Οδηγία του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου για τον καθορισμό πλαισίου προστασίας του εδάφους και την τροποποίηση της οδηγίας 2004/35/ΕΚ*.

EEA, 2000: *European Commission programme to COoRdinate INformation on the Environment (Corine)*, European Environmental Agency.

Κωτούλας Δ., 1998: *Ορεινή Υδρονομική*, Τμήμα Εκδόσεων ΑΠΘ. Θεσσαλονίκη

Παπαϊωάννου Δ και Β. Τάντος, 2008: *Δασική Εδαφολογία*, Εκδόσεις Παπασωτηρίου.

Παπαμιχαήλ Δ., 2001: *Τεχνική Υδρολογία Επιφανειακών Υδάτων*, Εκδόσεις Γιαχουδή

Σαπουντζής Μ., Δ. Μυρωνίδης, Δ. Στάθης και Π. Στεφανίδης, 2009: *Σύγκριση των αποτελέσματα εφαρμογής των μεθόδων USLE και GAVRILOVIC με πραγματικές μετρήσεις μέσης ετήσιας διάβρωσης*, Κοινό Συνέδριο ΕΥΕ-ΕΕΔΥΠ, Βόλος, σελ. 155-165, 27-30 Μαΐου.

Στάθης Δ. και Μ. Σαπουντζής, 2002: *Εκτίμηση του στερεοφορτίου λεκάνης απορροής στη θέση κατασκευής φράγματος ταμίευσης νερού*, 10ο Πανελλήνιο Δασολογικό Συνέδριο, Τρίπολη, σελ. 389-395.

Φωτάκης Δ., Ε. Σιδηρόπουλος, Γ. Τζιαφάς, Δ. Εμμανουλούδης, Δ. Μυρωνίδης., Β. Ρίγγος και Γ. Σιώτης, 2007: *Αποτίμηση του κινδύνου διάβρωσης του εδάφους στην χερσόνησο της Σιθωνίας με την χρήση της παγκόσμιας εξίσωσης εδαφικής απώλειας*, 13ο Πανελλήνιο Δασολογικό Συνέδριο, Καστοριά 7-10 Οκτωβρίου 2007, σελ. 379-389.

Χρυσάνθου Β. και Α. Πυλιώτης, 1995: *Εκτίμηση της εισροής φερτών υλών σ' έναν ταμιευτήρα υπό κατασκευή*, 6ο Πανελλήνιο Συνέδριο της ΕΥΕ, Θεσσαλονίκη, σελ. 355-362.

Bhattacharai R. and D. Dutta, 2007: Estimation of Soil Erosion and Sediment Yield Using GIS at Catchment Scale, *Water resources management*, **21**(10), DOI: 10.1007/s11269-006-9118-z

Castillo V., W. Moscha, C. García, G. Barbera, N. Navarro Canoa and F. López-Bermúdez 2007: Effectiveness and geomorphological impacts of check dams for soil erosion control in a semiarid Mediterranean catchment: El Cárcavo (Murcia, Spain), *Catena*, **30**(3), 416-427.

Cebecauer T. and T. Hofierka 2008: The consequences of land-cover changes on soil erosion distribution in Slovakia. *Geomorphology*, **98**, 187–198.

Haan C., B. Barfield and J. Hayes 1994: *Design Hydrology and Sedimentology for Small for Small Catchments*, Academic Press, San Diego, USA p. 588.

Hickey, R. 2000: Slope angle and slope length solutions for GIS. *Cartography*, **29**, 1–8.

Hudson, N. 1985: *Soil conservation*. London: Batsford Academic and Educational.

Jetten V., A. De Roo and D. Favis-Mortlock 1999: Evaluation of field-scale and catchment-scale soil erosion models, *Catena*, **37**, 521–541.

Kirkby, M.J., R.J.A. Jones, B. Irvine, A. Gobin, G. Govers, O. Cerdan, A.J.J. Van Rompaey, Y. Le Bissonnais, J. Daroussin, D. King, L. Montanarella, M. Grimm, V. Vieillefont, J. Puigdefabregas, M. Boer, C. Kosmas, N. Yassoglou, M. Tsara, S. Mantel, G.J. Van Lynden and J. Huting, J. *Pan-European Soil Erosion Risk Assessment: The PESERA Map*, Version 1 October 2003. Explanation of Special Publication Ispra 2004 No.73 (S.P.I.04.73). European Soil Bureau Research Report No.16, EUR 21176, 18pp. and 1 map in ISO B1 format. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.

Le Bissonnais Y., C. Montier, M. Jamagne, J. Daroussin and D. King 2001: Mapping erosion risk for cultivated soil in France, *Catena*, **46**, 207–220.

Le Roux J., T. Morgenthal, J. Malherbe, D. Pretorius and P. Sumner 2008: Water erosion prediction at a national scale for South Africa, *Water SA*, **34**:3

Lee S., 2004: Soil erosion assessment and its verification using the Universal Soil Loss Equation and Geographic Information System: a case study at Boun, Korea, *Environmental Geology*, **45**, 457–465.

McCoy J. and K. Johnston 2002: *Using Arcgis Spatial Analyst*, ESRI PRESS, 1-232.

Merritt W.S., R.A. Letcher and A.J. Jakeman, 2003: A review of erosion and sediment transport models, *Environmental Modelling & Software*, **18**, 761–799.

Morgan, R. P. C. 1995: *Soil erosion and Conservation (2nd ed.)*. Harlow: Longman.

Myronidis D., Emmanouloudis D., Mitsopoulos I., Riggos E. 2010: Soil erosion potential after fire and rehabilitation treatments in Greece, *Environmental Modeling and Assessment*, **15**, (4), 239-250.

Omafra, 2007: Ministry of Agriculture, Food, and Rural Affairs, Ontario Canada <http://www.omafra.gov.on.ca/english/engineer/facts/00-001.htm>

Onyando J., P. Kisoyan, and M. Chemelil, 2005: Estimation of potential soil erosion for River Perkerra Catchment in Kenya. *Water Resources Management*, **19**, 133–143.

Schwertmann, U., W. Vogl, and M. Kainz, 1990: *Bodenerosion durch Wasser*. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer.

Sofios S., G. Arabatzis and E. Baltas, 2008: Policy for management of water resources in Greece, *The Environmentalist*, **28**(3), DOI: 10.1007/s10669-007-9126-4.

Williams J. R. and H. D Berndt, 1972: Sediment yield computed with Universal equation, *J. Hydraul. Div. ASCE*, **98**, 2087–2098.

Wischmeier, W. H., and D. D. Smith, 1978: *Predicting rainfall erosion losses—a guide to conservation planning*: Agricultural Handbook no. 537, USDA. Washington, D.C.: Forest Service.

Zhang K., Douglas B. and Leatherman S, 2004: Global Warming and Coastal Erosion, *Climatic Change*, **64**(1-2), 41-58.