

**ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΥΨΗΛΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΣΤΗ
ΝΗΣΟ ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑΣ ΕΞΙΣΩΣΗΣ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΑΠΩΛΕΙΑΣ¹**

Ε. ΛΥΚΟΥΔΗ², Δ. ΖΑΡΡΗΣ³

ΣΥΝΟΨΗ

Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται ένα απλό εμπειρικό μοντέλο προσομοίωσης της εδαφικής διάβρωσης στη νήσο Κεφαλληνία, η οποία οφείλεται στην κινητική ενέργεια του νερού (βροχοπτώσεις, επιφανειακή απορροή). Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για τον υπολογισμό της εδαφικής διάβρωσης στηρίζεται στην Παγκόσμια Εξίσωση Εδαφικής Απώλειας (ΠΕΕΑ) (Universal Soil Loss Equation, USLE). Ο τελικός χάρτης που προκύπτει από την επεξεργασία ενός συνόλου μεταβλητών παραμέτρων (κλίμα, τοπογραφία, γεωλογία, χρήσεις γης κ.ά.) παρουσιάζει χωρικά και ποσοτικά την κατανομή της εδαφικής απώλειας στη νήσο.

Η βασική αξία του μοντέλου αυτού είναι να εντοπιστούν περιοχές υψηλού κινδύνου εδαφικής διάβρωσης με σκοπό την ορθολογική περιβαλλοντική διαχείριση των φυσικών πόρων της νήσου και τον περιορισμό των οικονομικών και κοινωνικών συνεπειών.

SUMMARY

The main objective of the work presented herein is to propose a method of defining possible areas of high soil erosion risk. This is carried out by implementing a simple empirical model of determining soil erosion, the well-known Universal Soil Loss Equation (USLE). The USLE combines different morphological and hydrological variables (such as geology, topography, land-use, rainfall, etc.) in a simple multiplicative form. The main advantage of this method is that the needed data can be easily acquired and no additional fieldwork is required. The model calculates only soil source erosion and does not take into account sediment mobilization and transport in streams, known as sediment yield.

Soil source erosion, which comes as the final result of the method, may not be treated as a strict quantified value, but it should be assessed as an index of high soil erosion risk. In other words, the prominent value of this method is the determination of regions with high risk of soil erosion. This method is implemented in the island of Cephalonia at the Ionian Sea where the mean annual soil erosion was calculated equal to 39 t/ha. The regions that are identified as regions of high risk of soil erosion are located in the southern part of the island (especially in Ainos mountain range) and in the northern part (e.g. Saint Sunday and Myrtos bays) as well as in the Palliki peninsula (western part). The main drawback of the proposed method is that it does not define areas of sediment deposition. This is of great importance because areas of high erosion rates are normally remote and the areas of sediment deposition are often populated. This can be overcome by routing the eroded sediment along the watershed's streams and hillslopes.

The proposed method is a simple but efficient tool that can help local resources planners to optimize land management in terms of identifying areas of high erosion probability. Additionally, it can take into account the effect of possible future changes of landuse (e.g. the effect of forest fires) at soil erosion evolution.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Παγκόσμια Εξίσωση Εδαφικής Απώλειας, Κεφαλληνία, εδαφική διάβρωση, ιζηματογένεση.

KEY WORDS: Universal Soil Loss Equation, Cephalonia, soil erosion, sediment deposition.

1: IDENTIFICATION OF REGIONS WITH HIGH RISK OF SOIL EROSION IN THE ISLAND OF CEPHALONIA USING THE UNIVERSAL SOIL LOSS EQUATION.

2: Τομέας Γεωλογικών Επιστημών, Τμήμα Μηχανικών Μεταλλείων και Μεταλλουργών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Ηρώων Πολυτεχνείου 9, 15780, Αθήνα.

3: Τομέας Υδατικών Πόρων, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Ηρώων Πολυτεχνείου 5, 15780, Αθήνα.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι διεργασίες αποσάθρωσης, διάβρωσης και απόθεσης φερτών υλικών στις λεκάνες απορροής, οι οποίες επηρεάζουν και μεταβάλλουν τη μορφή του αναγλύφου της περιοχής έρευνας, εξαρτώνται κυρίως από κλιματικούς, τοπογραφικούς, γεωλογικούς, και ανθρωπογενείς παράγοντες. Οι παράγοντες αυτοί ρυθμίζουν τις συνθήκες ροής του υδρογραφικού δικτύου, ευνοούν τις διεργασίες αποσάθρωσης-διάβρωσης και διαμορφώνουν την γεωμετρία των λεκανών απορροής.

Η ανάγκη πρόβλεψης έντονων διαβρωτικών συνθηκών σε μικρή χωρική κλίμακα είναι σημαντική γιατί επιτρέπει τον ορθολογικό σχεδιασμό των έργων υποδομής της νήσου και την αποφυγή εκτεταμένων καταστροφών από αιφνίδια και μη αναμενόμενα φαινόμενα. Για τον αποτελεσματικό έλεγχο της εδαφικής διάβρωσης, που εμφανίζεται κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες στη νήσο, απαιτείται μια χωρική και ποσοτική πρόβλεψη της εδαφικής διάβρωσης. Στην παρούσα εργασία αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση μιας απλής εμπειρικής μεθόδου εκτίμησης της εδαφικής απώλειας, με ορισμένες τροποποιήσεις. Η μέθοδος αυτή είναι η Παγκόσμια Εξίσωση Εδαφικής Απώλειας (ΠΕΕΑ) (Universal Soil Loss Equation, USLE) [*Wischmeier and Smith, 1965, 1978; Schwertmann et al., 1990*], η οποία αναπτύχθηκε ως μια τεχνική εκτίμησης της εδαφικής διάβρωσης και αποτίμησης των διαφόρων πρακτικών διατήρησης του εδαφικού στρώματος.

Αν και από τον υπολογισμό της ΠΕΕΑ θα προκύψει ποσοτική εκτίμηση της εδαφικής απώλειας, εντούτοις τα αποτελέσματα θα πρέπει να ερμηνευθούν περισσότερο ως διαφοροποίηση της εδαφικής απώλειας μεταξύ των περιοχών, από ότι ως ακριβής ποσότητα διαβρωμένου υλικού. Έτσι η ποσοτική εκτίμηση της εδαφικής διάβρωσης της νήσου είναι αξιόπιστη εφόσον λαμβάνεται υπόψη περισσότερο ως μέτρο σύγκρισης των περιοχών και όχι ως απόλυτη τιμή. Παρόλα όμως τα μειονεκτήματα της μεθόδου, οι πληροφορίες που προκύπτουν, ως προς το κίνδυνο της εδαφικής διάβρωσης και ως προς την τάξη μεγέθους της εδαφικής απώλειας, είναι πολύτιμες.

ΦΥΣΙΟΓΕΩΓΡΑΦΙΑ, ΓΕΩΛΟΓΙΑ

Η νήσος Κεφαλληνία είναι το μεγαλύτερο σε έκταση (804 Km²) νησί του Ιονίου πελάγους και το έκτο σε μέγεθος από όλα τα Ελληνικά νησιά. Το μήκος της ακτογραμμής του είναι 310 Km. Η υψηλότερη κορυφή είναι του Αίνου (1628 m). Πεδινές εκτάσεις απαντώνται σε περιορισμένη έκταση κυρίως στο δυτικό και νοτιοδυτικό τμήμα της νήσου. Το ανάγλυφο είναι έντονα επηρεασμένο από την τεκτονική δράση και διαμορφώνεται συνεχώς από τις διεργασίες αποσάθρωσης - διάβρωσης. Από υπαίθριες παρατηρήσεις προκύπτει ότι, στο κεντρικό και νότιο τμήμα της νήσου, όπου απαντώνται τα ανθρακικά πετρώματα, οι κλίσεις των πρηνών είναι έντονες έως ισχυρά έντονες, σε αρκετές δε περιπτώσεις σχηματίζονται κρημνώδη πρηνή πολύ μεγάλου ύψους.

Η νήσος Κεφαλληνία αποτελεί τμήμα των εξωτερικών Ελληνίδων όπου το μεγαλύτερο μέρος της ανήκει στην ενότητα των Παξών και ένα πολύ μικρότερο μέρος της στα νοτιοανατολικά, στην ενότητα της Ιονίου (*Aubouin, J. & Dercourt, J., 1962*). Η ενότητα των Παξών χαρακτηρίζεται από μια νηριτική ανθρακική ακολουθία ηλικίας κατώτερο Κρητιδικό έως ανώτερο Μειόκαινο. Η ενότητα της Ιονίου είναι επωθημένη πάνω στην ενότητα των Παξών και καλύπτει στο νοτιοανατολικό τμήμα της νήσου μια πολύ μικρή έκταση. Η ενότητα αυτή αποτελείται κυρίως από ιουρασικούς - ηωκαινικούς ασβεστολίθους καθώς και εβαπορίτες τριαδικής ηλικίας. Οι μεταλλικές αποθέσεις αποτελούνται από μάργες, ψαμμίτες, κροκαλοπαγές και ασβεστόλιθους λιμναίας ή θαλάσσιας φάσης πλειοκαινικής ηλικίας και τεταρτογενή θαλάσσια ιζήματα και χερσαίοι σχηματισμοί αποτελούμενοι κυρίως από μάργες, αργίλους, άμμους κ.ά. (*IGRS-BP, 1971*). Ο ρηξιγενής και πτυχωσιγενής τεκτονισμός που παρατηρείται στη νήσο έχει διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ, ΒΑ-ΝΔ, Β-Ν ΑΒΑ-ΔΝΔ.

Το υδρογραφικό δίκτυο δεν είναι ιδιαίτερα ανεπτυγμένο εφόσον η βροχοπτώση κατεισδύει στο έντονα καρστικοποιημένο σύστημα της νήσου.

Τέλος, έντονη είναι και η σεισμική δραστηριότητα της νήσου με καταγεγραμμένους σεισμούς από το έτος 1469 και μέγεθος που φθάνει έως τα 7.2 R το 1953, αλλά και άλλους εξίσου ισχυρούς όπως αυτός του 1983 με μέγεθος 6.5 R (*Ελευθερίου, Α., Μούγιαρη, Μ., 1983*).

Η έντονη τεκτονική και σεισμική δραστηριότητα που παρατηρείται στη νήσο ευθύνεται για τον κατακερματισμό των πετρωμάτων και την επιτάχυνση των διαβρωσιγενών και κατολισθητικών φαινομένων.

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Η ΠΕΕΑ στην αρχική της μορφή εκφράζεται ως το απλό γινόμενο διαφόρων παραγόντων, όπως φαίνεται στην παρακάτω εξίσωση:

$$SE = R K LS C P$$

όπου,

SE, η εδαφική απώλεια ανά μονάδα επιφάνειας (soil loss per unit area) [t/ha],

R, ο συντελεστής διαβρωτικότητας της βροχόπτωσης (rainfall erosivity factor) [$\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1}$],

K, ο συντελεστής εδαφικής διαβρωσιμότητας (soil erodibility factor) [$\text{t h MJ}^{-1} \text{mm}^{-1}$],

LS, ο τοπογραφικός συντελεστής (topographic factor) που αποτελείται από το γινόμενο του συντελεστή μήκους κλιτύος (*L*) (slope-length factor) και του συντελεστή κλίσης κλιτύος (*S*) (slope-gradient factor) [-],

C, ο συντελεστής φυτοκάλυψης (cropping management factor) [-], και

P, ο συντελεστής διαχείρισης των εδαφών κατά της διάβρωσης (erosion control practice factor) [-].

Οι αριθμητικές τιμές των έξι συντελεστών στην αρχική μορφή της εξίσωσης έχουν προκύψει από επεξεργασία δεδομένων από μικρές λεκάνες απορροής στις ΗΠΑ. Αυτό προφανώς αποτελεί μειονέκτημα της μεθόδου στην περίπτωση που εφαρμόζεται η μέθοδος σε περιοχές εκτός των ΗΠΑ. Επιπροσθέτως η ΠΕΕΑ δεν συνυπολογίζει τη στερεομεταφορά στις κλιτύες των λεκανών απορροής και δεν δίνει καλά αποτελέσματα σε λεκάνες απορροής μεγάλης κλίμακας. Άλλη σημαντική αδυναμία της ΠΕΕΑ είναι ότι υπολογίζει την εδαφική διάβρωση πολλαπλασιάζοντας εντελώς διαφορετικά μεγέθη, τα οποία εκφράζουν βροχόπτωση, εδαφολογικά χαρακτηριστικά, τοπογραφικές κλίσεις, φυτοκάλυψη και πρακτικές ελέγχου της διάβρωσης ενώ στην πραγματικότητα η διάβρωση δεν μπορεί να προσεγγιστεί με τόσο απλουστευμένο τρόπο [Kirkby, 1980]. Σε κάθε περίπτωση όμως η εξίσωση αυτή δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα ως μια αρχική προσέγγιση. Η μέθοδος αυτή με τροποποιημένη μορφή χρησιμοποιήθηκε με ικανοποιητικά αποτελέσματα για τον υπολογισμό της εδαφικής διάβρωσης της λεκάνης απορροής του ταμιευτήρα Κρεμαστών στη Δυτική Ελλάδα (Ζαρρής κ.ά., 2001).

Είναι φανερό ότι στα πλεονεκτήματα του μοντέλου κατατάσσονται μεταξύ άλλων και η προφανής απλότητα στη συλλογή ορισμένων δεδομένων. Τα δεδομένα που απαιτούνται για τον υπολογισμό της εδαφικής απώλειας είναι το Ψηφιακό Μοντέλο Αναγλύφου (ΨΜΑ) για τον υπολογισμό του τοπογραφικού συντελεστή *LS*, ο κάναβος της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης για τον υπολογισμό του συντελεστή διαβρωτικότητας της βροχόπτωσης *R*, ο γεωλογικός χάρτης για τον προσδιορισμό του συντελεστή της εδαφικής διαβρωσιμότητας *K* και τέλος ο χάρτης των χρήσεων γης για τον υπολογισμό του συντελεστή της εδαφικής φυτοκάλυψης *C* και του συντελεστή διαχείρισης των εδαφών κατά της διάβρωσης, *P*. Οι αριθμητικές τιμές των συντελεστών *K* και *C* προέκυψαν είτε άμεσα από βιβλιογραφικά δεδομένα (π.χ. Χρυσάνθου και Πυλιώτης, 1995, Ζαρρής κ.ά., 2001) είτε έμμεσα κατόπιν περαιτέρω επεξεργασίας και συμπλήρωσής τους.

Η υλοποίηση των παραπάνω βασίζεται σε ένα σύγχρονο περιβάλλον ενός Συστήματος Γεωγραφικής Πληροφορίας (ΣΓΠ). Το ΣΓΠ αυτό υλοποιείται στην πλατφόρμα ArcView 3.2 της ESRI. Το υδρολογικό μοντέλο ονομάζεται SEAGIS (Soil Erosion Assessment using GIS) (version 1.0) της Danish Hydraulic Institute (DHI) και βρίσκεται ακόμα σε δοκιμαστική περίοδο (beta-version). Ο υπολογισμός των συντελεστών απαιτεί ελάχιστο υπολογιστικό χρόνο και είναι αξιόπιστος. Η τοπική εδαφική διάβρωση υπολογίζεται για κάθε ψηφιδωτό τμήμα (grid cell) της λεκάνης απορροής.

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΔΙΑΒΡΩΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ (*R*)

Ο υπολογισμός του συντελεστή της διαβρωτικότητας της βροχόπτωσης (*R*) είναι ο σημαντικότερος παράγοντας για τη σωστή και αποτελεσματική χρήση της εξίσωσης. Η τιμή του συντελεστή *R* είναι το άθροισμα των συντελεστών *EI*₃₀ για όλες τις ισχυρές βροχοπτώσεις κατά τη διάρκεια ενός υδρολογικού έτους, όπου *E* είναι η κινητική ενέργεια της βροχόπτωσης και *I*₃₀ είναι η μέγιστη 30-λεπτη ένταση βροχόπτωσης σε κάθε καταιγίδα. Επειδή όμως η πληροφορία αυτή δεν είναι διαθέσιμη, εξαιτίας της έλλειψης των απαραίτητων δεδομένων, τόσο ως προς τη χρονική τους κλίμακα όσο και ως προς τη χωρική τους κατανομή (μόνο ένας σταθμός σε ολόκληρο το νησί),

αναγκαστικά καταφεύγουμε σε απλές σχέσεις γραμμικής παλινδρόμησης που δίνουν τον συντελεστή R σε συνάρτηση της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης, P . Στην βιβλιογραφία δεν υπάρχει σχέση που να συνδέει το συντελεστή R με τη μέση ετήσια βροχόπτωση P για τις ελληνικές συνθήκες. Για τον λόγο αυτό θα χρησιμοποιήσουμε την εξίσωση 2, που αναπτύχθηκε στην Ιταλία [van der Knijff et al., 2000]:

$$R = \alpha * P_j \quad (2),$$

όπου P_j [mm] η μέση ετήσια βροχόπτωση και $\alpha = 1.3$.

Η αριθμητική τιμή του συντελεστή α προέκυψε από απλή γραμμική παλινδρόμηση μεταξύ του συντελεστή R και της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης. Η μέση ετήσια βροχόπτωση για τα υδρολογικά έτη 1936-37 έως 1987-88, με βάση τα στοιχεία της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (ΕΜΥ) για το βροχομετρικό σταθμό του Αργοστολίου, υπολογίστηκε ίση με 984.4 mm.

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΙΜΟΤΗΤΑΣ (K)

Η τιμή του συντελεστή της εδαφικής διαβρωσιμότητας (K) της ΠΕΕΑ, ορίζεται βάσει των ιδιοτήτων του εδάφους, ανάλογα δηλαδή το ποσοστό συμμετοχής της άμμου, της ιλύος και της αργίλου, όπως ορίζεται από την διεθνή βιβλιογραφία [Mitchell and Bubbenzer, 1980; Χρυσάνθου και Πυλιώτης, 1995].

Στην παρούσα εργασία ο συντελεστής εδαφικής διαβρωσιμότητας (K) τροποποιείται και σχετίζεται με την ευαισθησία των πετρωμάτων στη διάβρωση. Οι τιμές αυτές κυμαίνονται μεταξύ των τιμών 0.00001 έως 0.1, αντίστοιχη κλίμακα με αυτή που έχει το K στα εδάφη. Επομένως οι τιμές του συντελεστή K για κάθε ένα γεωλογικό σχηματισμό προκύπτει από την συνεκτικότητα, την αντίσταση του στην αποσάθρωση και την υδροπερατότητα και διηθητικότητα (Σχήμα 1). Τα στοιχεία αυτά προέκυψαν συνεκτιμώντας χαρτογραφικά δεδομένα (BP, 1971) και στοιχεία από υπαίθριες παρατηρήσεις.

Ορισμένες τιμές του συντελεστή της εδαφικής διαβρωσιμότητας (K) εμφανίζονται στον πίνακα 1.

Γεωλογικοί σχηματισμοί	K
κώνοι κορημάτων, αλλουβιακά ριπίδια κ.ά.	0.045
αλλουβιακές αποθέσεις	0.015
τεταρτογενείς αποθέσεις: κροκαλοπαγή, ψαμμίτες, μάργες	0.03
πλειοκαινικές αποθέσεις: κροκαλοπαγή, ψαμμίτες, μπλε-γκρι μάργες	0.028
κατωμειοκαινικοί κροκαλοπαγείς και λατυποπαγείς ασβεστόλιθοι (Παξών)	0.0055
ηωκαινικοί-παλαιοκαινικοί άστρωτοι παχυστρωματώδεις ασβεστόλιθοι (Παξών)	0.0009
ανωκρητιδικοί πελαγικοί ασβεστόλιθοι έντονα καστικοποιημένοι (Παξών)	0.0008 5
ανωιουρασικοί-κατωκρητιδικοί πλακώδεις ασβεστόλιθοι της "Βίγλας" (Ιόνιος)	0.0006
ανωτριάδικοί συμπαγείς ασβεστόλιθοι του "Παντοκράτορα" (Ιόνιος)	0.0008
κατωιουρασικοί ασβεστόλιθοι με εναλλαγές σχιστολίθων και εγκλείσματα Ammonitico rosso (Ιόνιος)	0.006
τριάδικοί γύψοι (Ιόνιος)	0.003

Πίνακας 1: Ομαδοποίηση των γεωλογικών σχηματισμών και απόδοση του συντελεστή εδαφικής διαβρωσιμότητας (K).

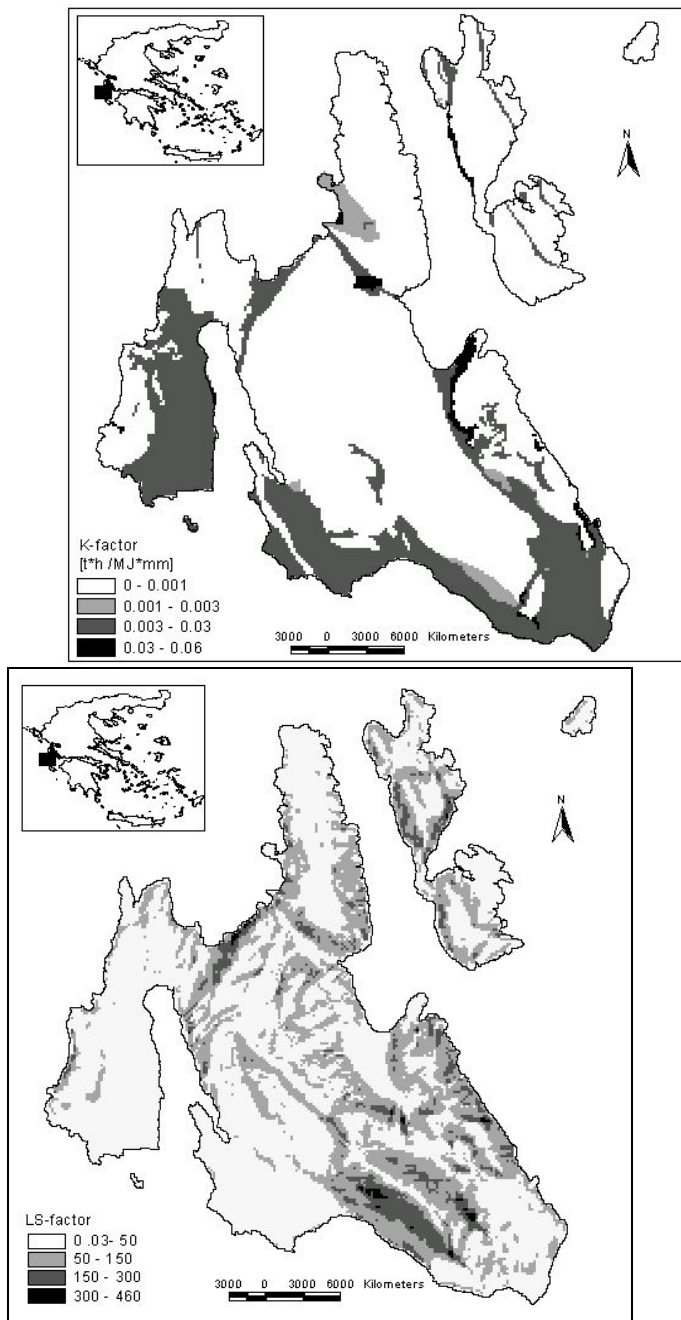
Table 1: Classification of geological formations and attribution of soil erodibility factor (K).

ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ LS

Ο τοπογραφικός συντελεστής (LS) είναι ο συνδυασμός δύο παραγόντων, του συντελεστή μήκους κλιτύος L (slope-length factor) και του συντελεστή της κλίσης κλιτύος S (slope-gradient factor). Μια αύξηση της τιμής των δύο συντελεστών L και S , επιφέρει σημαντική αύξηση της εδαφικής διάβρωσης, διότι οι πιο απότομες κλίσεις (S) παράγουν τις υψηλότερες ταχύτητες ροής και οι μακρύτερες κλίσεις (L) συσσωρεύουν επιφανειακή απορροή από μεγαλύτερες περιοχές με αποτέλεσμα την αύξηση πάλι της ταχύτητας ροής. Κατά συνέπεια η αύξηση και των δύο συντελεστών οδηγούν στην αυξανόμενη δυνατότητα εδαφικής διάβρωσης [Stefano, et al. 2000].

Οι παραπάνω συντελεστές προκύπτουν από το Ψηφιακό Μοντέλο Αναγλύφου (ΨΜΑ) της νήσου μετά από την απαραίτητη επεξεργασία (Σχήμα 2). Το δε ΨΜΑ προήλθε από

την ψηφιοποίηση των χαρτών της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού (ΓΥΣ) σε κλίμακα 1:50.000.



Σχήμα 1 (αριστερά): Χάρτης του συντελεστή εδαφικής διαβρωσιμότητας (K) της νήσου Κεφαλληνίας.

Figure 1 (left): Soil erodibility factor (K) map of the island of Cephalonia.

Σχήμα 2 (δεξιά): Χάρτης του τοπογραφικού συντελεστή (LS) της νήσου Κεφαλληνίας.

Figure 2 (right): Topographic factor (LS) map of the island of Cephalonia.

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΦΥΤΟΚΑΛΥΨΗΣ (C)

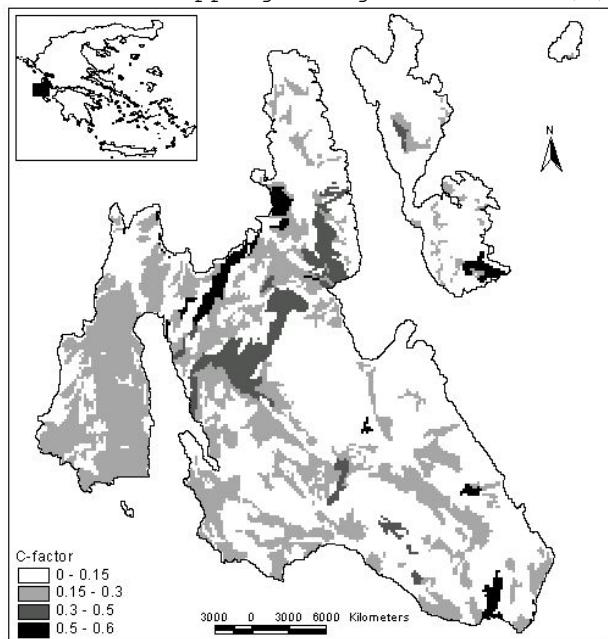
Για τον υπολογισμό του συντελεστή φυτοκάλυψης (C) χρησιμοποιήθηκαν διαγράμματα χρήσεων γης από το πρόγραμμα CORINE σε κλίμακα 1:100.000, με τους αντίστοιχους κωδικούς. Πιο αναλυτικά, σε κάθε κωδικοποιημένη χρήση γης που απαντάται στη νήσο, αντιστοιχίζεται μια τιμή του συντελεστή (C), η οποία

προέκυψε είτε αξιοποιώντας τιμές από τη διεθνή βιβλιογραφία, προσαρμοσμένες στην περιγραφή των συγκεκριμένων χρήσεων γης [Wischmeier and Smith, 1978; Schwertmann et al., 1990; Χρυσάνθου και Πυλιώτης, 1995], είτε εκτιμώντας νέες εμπειρικές τιμές για τις χρήσεις γης που δεν αναφέρονται στη βιβλιογραφία (Σχήμα 3, Πίν.2).

Χρήση γης	Κωδ.	C
Διακεκομμένη αστική δόμηση	112	0.001
Ζώνες λιμένων	123	0.0
Αεροδρόμια	124	0.0
Μη αρδεύσιμη αρόσιμη γη	211	0.3
Αμπελώνες	221	0.2
Ελαιώνες	223	0.1
Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας	242	0.18
Γεωργική γη με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης	243	0.07
Δάσος κωνοφόρων	312	0.001
Φυσικοί βοσκότοποι	321	0.3
Σκληροφυλλική βλάστηση	323	0.03
Μεταβατικές δασώδεις -θαμνώδεις εκτάσεις	324	0.02
Παραλίες-αμμόλοφοι-αμμουδιές	331	0.6
Απογυμνωμένοι βράχοι	332	0.02
Εκτάσεις με αραιή βλάστηση	333	0.45
Αποτεφρωμένες εκτάσεις	334	0.55
Παραθαλάσσιοι βάλτοι	421	0.15

Πίνακας 2: Συντελεστής φυτοκάλυψης με βάση την κατάταξη των χρήσεων γης κατά CORINE.

Table 2: Cropping management factor (C) from CORINE classification.



Σχήμα 3: Χάρτης του συντελεστή φυτοκάλυψης (C) της νήσου Κεφαλληνίας.
Figure 3: Cropping management factor (C) map of the island of Cephalonia.

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΩΝ ΕΔΑΦΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ (P)

Όσον αφορά στον υπολογισμό του συντελεστή συντελεστής διαχείρισης των εδαφών κατά της διάβρωσης P , λαμβάνει παντού την τιμή $P = 1$, αφού στη νήσο δεν λαμβάνεται κανένα ουσιαστικό μέτρο προστασίας έναντι της εδαφικής διάβρωσης.

Τα μέτρα προστασίας μπορούν να εκφραστούν στο υδρολογικό μοντέλο ποσοτικά, μέσω του συντελεστή διαχείρισης των εδαφών κατά της διάβρωσης (P) και του

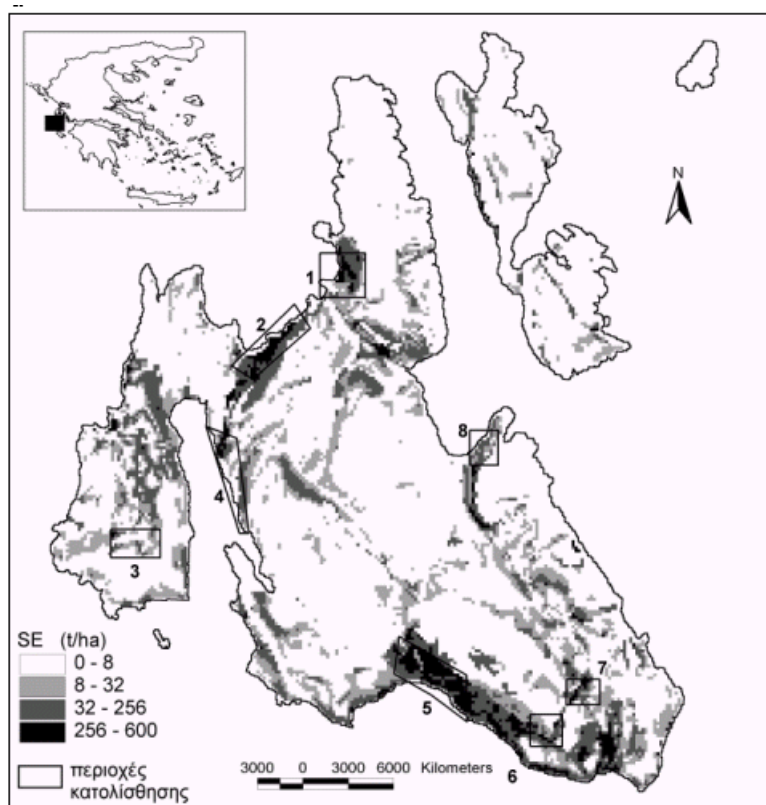
συντελεστή φυτοκάλυψης (C). Οι δύο αυτοί παράμετροι μπορούν να ελέγξουν τις διαβρωσιγενείς διεργασίες.

ΤΟΠΙΚΗ ΕΔΑΦΙΚΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ (SE)

Η μέση (χωρικά ανηγμένη) ετήσια τιμή εδαφικής διάβρωσης στη νήσο Κεφαλληνία υπολογίστηκε ίση με 39 t/ha. Η τιμή αυτή είναι αρκετά ρεαλιστική και συγκρίσιμη με τιμές άλλων περιοχών στην Ελλάδα, όπως στη λεκάνη απορροής του Αχελώου όπου η εδαφική απώλεια υπολογίστηκε 47.26 t/ha, (Ζαρρής κ.ά, 2001).

Οι περιοχές που εκτιμώνται ότι είναι περιοχές υψηλού κινδύνου εδαφικής διάβρωσης, εντοπίζονται στο νότιο τμήμα του όρους Αίνου [5,6] (βλ. Σχήμα 4), στην περιοχή πλησίον του όρμου του Μύρτου [1] και της Αγίας Κυριακής [2], στην χερσόνησο της Παλλικής [3]. Για την υψηλή εδαφική απώλεια στη περιοχή νότια του όρους Αίνου και στη περιοχή που βρίσκεται ο όρμος της Αγίας Κυριακής και Μύρτου ευθύνεται ο συνδυασμός του υψηλού συντελεστή LS με τον χαμηλό συντελεστή C και τον σχετικά υψηλό συντελεστή K . Στην περιοχή της χερσονήσου της Παλλικής η υψηλή εδαφική απώλεια οφείλεται στον υψηλό συντελεστή K σε συνδυασμό με το χαμηλό συντελεστή C , παρόλο που ο συντελεστής LS είναι χαμηλός.

Τέλος, από υπαίθριες παρατηρήσεις, καθώς και από στοιχεία της Νομαρχίας Κεφαλληνίας, παρατηρείται ότι οι περιοχές που παρουσιάζουν έντονα κατολισθητικά φαινόμενα συμπίπτουν με τις περιοχές υψηλού κινδύνου διάβρωσης που προέρχονται από την εφαρμογή της μεθόδου. Για παράδειγμα, έντονα κατολισθητικά φαινόμενα εκδηλώθηκαν το 1983 στην περιοχή Χάρακα [1] κοντά στον όρμο του Μύρτου (βλ. Σχήμα 4). Επίσης φαινόμενα ερπυσμού, εμφανίστηκαν το 1987 στον οικισμό Βουνί [3] και στην περιοχή Λουρδά [5]. Στις επαρχιακές οδούς "Ατσουπάδες-Κολαίτη-Αργίνια και Αργοστολίου-Πόρου [6,7] παρουσιάστηκαν φαινόμενα έντονων καθιζήσεων και καταστροφή του οδοστρώματος και των ανάντη τοιχίων αντιστήριξης. Στις αρχές του 1980 στην περιοχή της Σάμης εκδηλώθηκαν φαινόμενα ερπυσμού του εδάφους και κατολισθήσεων. Τέλος, στον επαρχιακό δρόμο Αργοστολίου - Άσσου, πλησίον του όρμου Αγίας Κυριακής [2] και στην οδό Αργοστόλι - Ληξούρι [4] παρατηρούνται καταπτώσεις βράχων.



Σχήμα 4:Χάρτης της εδαφικής απώλειας (SE) της νήσου Κεφαλληνίας.
Figure 4:Soil loss (SE) map of the island of Cephalonia.

ΣΥΖΗΤΗΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο αποτελεσματικός έλεγχος της εδαφικής διάβρωσης απαιτεί μια χωρική και ποσοτική εκτίμηση της εδαφικής απώλειας, όπου τα αποτελέσματα μπορούν να αποτελέσουν οδηγό για την ορθολογική περιβαλλοντική διαχείριση των φυσικών πόρων. Ο εντοπισμός των περιοχών με αυξημένη διαβρωσιμότητα, μας βοηθά να λαμβάνουμε τα κατάλληλα μέτρα για τον έλεγχο των προβλημάτων που προκύπτουν από τις έντονες διαβρωτικές διεργασίες.

Ένα άλλο πολύ σημαντικό πρόβλημα εκτός από τις καταστροφικές συνέπειες που επιφέρει η έντονη εδαφική διάβρωση σε τεχνικά έργα, δομημένες περιοχές κ.ά., είναι και η απογύμνωση των εύφορων καλλιεργήσιμων εδαφών, η οποία πολλές φορές γίνεται αντιληπτή όταν τα αποτελέσματα είναι πλέον μη αναστρέψιμα.

Το τροποποιημένο εμπειρικό μοντέλο που παρουσιάζεται στην εργασία αυτή, θα έχει τη δυνατότητα να προσαρμόζεται στις ανάγκες παραμετρικής ανάλυσης σε τυχόν μελλοντικές διαφορετικές συνθήκες (π.χ. καταστροφή της φυτοκάλυψης εξαιτίας πυρκαγιών) και να προσδιορίζει την επίδραση της αλλαγής αυτής στο φυσικό περιβάλλον. Κατόπιν αυτού θα είναι δυνατή η διατύπωση προτάσεων για την ανάπτυξη νέων έργων, την ορθολογική οριοθέτηση χρήσεων γης και την ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από αυτές, την διατύπωση προτάσεων επανορθωτικών μέτρων κ.ά.

Το υδρολογικό μοντέλο που αναπτύχθηκε μας δίνει επίσης μια πολύ σημαντική πληροφορία. Αν και υπολογίζει μόνο το ποσό της διάβρωσης και όχι το ποσό της ιζηματογένεσης εντοπίζει τις περιοχές υψηλού κινδύνου ιζηματογένεσης. Αυτό σημαίνει ότι οι περιοχές που φαίνονται στον χάρτη (Σχήμα 4) με μικρό κίνδυνο διάβρωσης επειδή π.χ. η κλίση της περιοχής αυτής είναι μικρή, μπορεί να αποτελούν περιοχές απόθεσης ιζήματος. Έτσι περιοχές που βρίσκονται κάτω από περιοχές υψηλού κινδύνου διάβρωσης π.χ. νότια του όρους Αίνου, είναι και αυτές περιοχές υψηλού κινδύνου εξαιτίας της απόθεσης των διαβρωσιγενών υλικών, με κίνδυνο καταστροφής κατασκευών και κατοικημένων περιοχών, επιφέροντας πολλές φορές οικονομικές και άλλες βλάβες.

Με τη εμποτική εικόνα των υψηλού κινδύνου διαβρωσιγενών ζωνών, ιδίως αν αυτές βρίσκονται γύρω από δομημένες περιοχές, περιορίζονται οι οικονομικές και κοινωνικές συνέπειες που προκαλεί η εδαφική διάβρωση και τα τεχνικά μέτρα που μπορούν να ληφθούν για την αποτροπή της διάβρωσης και προστασία των περιοχών αυτών, μπορούν να ακολουθήσουν έναν ευρύτερο διαχειριστικό σχεδιασμό.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Οι συγγραφείς επιθυμούν να ευχαριστήσουν τη Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Κεφαλληνίας και Ιθάκης για τη παραχώρηση χαρτογραφικών δεδομένων σχετικά με κατολισθητικά φαινόμενα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] ΖΑΡΡΗΣ, Δ., ΛΥΚΟΥΔΗ Ε., ΚΟΥΤΣΟΓΙΑΝΝΗΣ, Δ., 2001. Διερεύνηση των αποθέσεων φερτών υλικών σε υδροηλεκτρικούς ταμιευτήρες, Ερευνητικό πρόγραμμα, Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας και Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, σσ. 95-108, Αθήνα. Ιστοσελίδα: <http://www.itia.ntua.gr/e/docinfo/488/>
- [2] ΕΛΕΥΘΕΡΙΟΥ, Α., ΜΟΥΓΙΑΡΗ, Μ., 1983. Μακροσεισμική εξέταση στην περιοχή Κεφαλονιάς - Ζακύνθου, *ΙΓΜΕ*, Αθήνα.
- [3] ΧΡΥΣΑΝΘΟΥ, Β., ΠΥΛΙΩΤΗΣ, Α., 1995. Εκτίμηση της εισροής φερτών υλών σε έναν ταμιευτήρα υπό κατασκευή, 6^ο Πανελλήνιο Συνέδριο *EYE*, Θεσσαλονίκη.
- [4] AUBOUIN, J. DERCOURT, J., 1962. Zone Preapoulien, Zone Ionienne et Zone de Gavrovo en Peloponnese occidentale. *Bull. Soc. Geol. France*, 4, 785-794.
- [5] BP. Co. LTD, BERGMANN, H., BRAUNE, K., DREMEL, G., HATZOPOULOS, E., HUG, F., ULICZNY, E., MIGIROS, G., 1985. Geological Map of Greece, 1:50.000 scale, Cephalonia island (Northern and Southern parts), Institute of Geology and Mineral Exploration, Athens.
- [5] DHI, *SEAGIS 1.0*., 1999. *Documentation and user's manual*.
- [6] IGRS-BP, 1971. Institut de Geologie et Recherches du Sous-sol et British Petroleum Ltd. Co, Athenes-Londres. The geological Results of Petroleum Exploration in Western Greece. Athens, IGRS, No 10.

- [7]KIRKBY, M.J., MODELLING water erosion processes. In Kirkby, M.J. and Morgan, R.P.C. (eds) *Soil Erosion*, pp. 183-216, Wiley, Chichester, 1980.
- [8]KNIJFF, J. M., JONES, R.j.A., MONTANARELLA, L., 2000. Soil risk Assessment in Italy. *European Commission, European Soil Bureau*.
- [9]MITCHELL, J.K, AND G.D. BUBENZER, Soil Loss Estimation, in Kirkby, M.J. and R.P.C. Morgan, *Soil Erosion*, John Wiley and Sons Ltd., pp. 17-62, 1980.
- [10]SCHWERTMANN, U., W. VOGL and M. KAINZ, 1990. *Bodenerosion durch Wasser*, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- [11]STEFANO, C., FERRO, V., PORTO, P., 2000. Length Slope Factors for applying the Revised Universal Soil Loss Equation at Basin Scale in Southern Italy. *J. agric. Engng Res.* 75, 349-364.
- [12]WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D., 1965. Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains, *Agric. Handbook 282*, U.S. Gov. Print. Office, Washington, D.C.
- [13]WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D., 1978. Predicting rainfall erosion losses; A guide to Conservation planning, *Agriculture Handbook No. 537*, USDA Sci. and Edyc. Admin., Washington D.C.