

## ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΧΩΡΙΚΗΣ ΕΝΤΡΟΠΙΑΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕ ΤΗΝ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΓΠΣ ΓΙΑ ΤΗ Ν. ΜΥΚΟΝΟ

Γκουρνέλος Θ<sup>1.</sup>, Χαλκιάς Χ.<sup>2.</sup>, Σκέντος Α.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ΕΚΠΑ, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος,

<sup>2</sup>Χαροκόπειο Παν/μιο, Τμήμα Γεωγραφίας

### Περίληψη

Στην εργασία αυτή μελετάται το φαινόμενο της διάβρωσης μέσα από μία μεθοδολογική προσέγγιση η οποία αξιοποιεί την έννοια της εντροπίας η οποία σχετίζεται με μετρήσεις πιθανοτήτων εμφάνισης κάποιου γεγονότος ή φαινομένου. Με τη βοήθεια ενός ΓΠΣ δημιουργούνται διάφορες μεταβλητές (κλίση, λιθολογία, κάλυψη γης, απορροή) οι οποίες σχετίζονται με τη διάβρωση και υπολογίζεται η εντροπία τόσο για κάθε μια από αυτές όσο και για σύνθετα θεματικά επίπεδα τα οποία προκύπτουν από συνδυασμούς τους. Το τελικό αποτέλεσμα είναι μια κατάσταση μειωμένης εντροπίας. Η όλη διαδικασία εφαρμόζεται στη Ν. Μύκονο με τελικό παραγόμενο χάρτη με τη χωρική κατανομή των ζωνών διάβρωσης.

### STUDY OF THE EROSIONAL PROCESSES BASED ON THE DECREASING ENTROPY MEASURES: A GIS APPLICATION ON THE ISLAND OF MYKONOS

Gournelos T.<sup>1.</sup>, Chalkias C.<sup>2.</sup>, Skentos A.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> National and Kapodistrian University of Athens,, Department of Geology and Geoenvironment,

<sup>2</sup>Harokopio University, Department of Geography

### Abstract

In this paper we study erosional processes using the Entropy concept. In general Entropy is defined in thermodynamics and is related to probability measures. It is closely associated with a measure of uncertainty. This concept is used as a base to develop a methodology for studying erosion. Thus by introducing in G.I.S. system progressively various variables (lithology, drainage system, slope gradient, land cover) we have estimated the Entropy measures. The final result is the minimum Entropy situation. This procedure has been applied on the Mikonos island in order to create a map of spatial distributes of erosion risk zones.

**Λέξεις κλειδιά:** ανάλυση εντροπίας, διάβρωση, Ν. Μύκονος, μοντελοποίηση με ΓΠΣ.

**Key words:** entropy analysis, erosion, Mykonos island., GIS modeling.

### 1. Εισαγωγή

Η μελέτη και η μοντελοποίηση των φυσικών συστημάτων και διεργασιών είναι μια ιδιαίτερα πολύπλοκη και επίπονη διαδικασία, καθώς περιλαμβάνει αφενός την αποτίμηση πληθώρας πληροφοριών με χωρική διασπορά, αφετέρου την αξιολόγηση της χωρικής ετερογένειας και των σχέσεων μεταξύ των μεταβλητών που σχετίζονται με το υπό εξέταση φαινόμενο. Σε αυτή την προσπάθεια, η τεχνολογία των Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων (ΓΠΣ ή GIS) αποτελεί στις μέρες μας σημαντικό αρωγό παρέχοντας πλήθος δυνατοτήτων διαχείρισης και ανάλυσης. Η καταγραφή, η συνδυαστική αξιοποίηση θεματικών επιπέδων πληροφορίας, η διενέργεια μετρήσεων και η οπτικοποίηση των χωρικών δεδομένων είναι μερικές μόνο από αυτές τις δυνατότητες. Το σημαντικότερο όμως χαρακτηριστικό των

ΓΠΣ είναι ότι αποτελούν το πλαίσιο εντός του οποίου υλοποιούνται διαφορετικές μεθοδολογίες χωρικής ανάλυσης. Το πλαίσιο αυτό αποτελείται από τη χωρική βάση δεδομένων (ολοκληρώνοντας στοιχεία από διάφορες πηγές) και τις διαδικασίες – εργαλεία ανάλυσης των γεωγραφικών δεδομένων. Η χαρτογραφική υπέρθεση, η στατιστική ανάλυση (π.χ. η χωρική παλινδρόμηση) η ανάλυση με τη χρήση ασαφούς λογικής (Fuzzy logic), η στοχαστική ανάλυση, η προσομοίωση με τα ψηφιδωτά αυτόματα (cellular automata), η ανάλυση δικτύων με τη χρήση της θεωρίας των γραφημάτων αποτελούν μερικά μόνο χαρακτηριστικά παραδείγματα των μεθοδολογιών ανάλυσης οι οποίες υποστηρίζονται από ένα ΓΠΣ. Η σχετική βιβλιογραφία είναι ιδιαίτερα εκτεταμένη περιλαμβάνοντας εφαρμογές από διάφορες επιστήμες οι οποίες μελετούν χωρικά φαινόμενα. Ένα τμήμα αυτών των εφαρμογών και των ερευνητικών προσπαθειών ασχολείται με τη μελέτη της χωρικής ετερογένειας και ένα ακόμη μικρότερο τμήμα με τη μελέτη της εντροπίας στην αποτίμηση χωρικών πληροφοριών. Αυτό αποτελεί και το αντικείμενο της εργασίας, η οποία ασχολείται με τη μελέτη του φαινομένου της διάβρωσης εξετάζοντας την εντροπία ενός φυσικού συστήματος. Η βασική ιδέα στηρίζεται στη συσχέτιση του παραγόμενου των διαδικασιών διάβρωσης με το αποτέλεσμα ενός πειράματος πιθανοτήτων. Παρόμοια πειράματα εμπεριέχουν ένα σημαντικό βαθμό αβεβαιότητας. Για αυτό το λόγο χρησιμοποιήθηκε η έννοια της εντροπίας. Ο όρος εντροπία – ο οποίος προέρχεται από τη θερμοδυναμική – χρησιμοποιείται ως μέτρο περιγραφής της αταξίας σε ένα κλειστό σύστημα (Batty 1976). Η μελέτη της εντροπίας έχει αξιοποιηθεί, μεταξύ άλλων, και σε γεωγραφικές εφαρμογές ιδιαίτερα στη μελέτη φαινομένων με σημαντικό βαθμό αβεβαιότητας – τυχαιότητας (π.χ. στην κλιματολογία Balling & Roy 2004, στην οικολογία Li & Reynolds 1993, στην υδρολογία Fiorentino & Claps 1992, στην αστική γεωγραφία Chen & Liu 2002 και στη χαρτογραφία Bjorke 1996, Li et al 2002).

Για την μελέτη του φαινομένου της διάβρωσης συχνά χρησιμοποιείται ένα μεγάλο πλήθος χωρικών μεταβλητών οι οποίες οργανώνονται στη χωρική βάση δεδομένων ενός ΓΠΣ. Η επιλογή των μεταβλητών αυτών, η εσωτερική οργάνωση και ταξινόμηση των πληροφοριών που περιέχουν και οι λογικοί μηχανισμοί με τους οποίους σχετίζονται με το φαινόμενο είναι πρωταρχικής σημασίας για την αποτελεσματικότητα της μεθόδου. Οι μεταβλητές που αξιοποιούνται σχετίζονται με την τοπογραφία, το γεωλογικό καθεστώς, τα χαρακτηριστικά του υδρογραφικού δικτύου και τις χρήσεις γης ενώ χρησιμοποιούνται επίσης και μετρήσεις - παρατηρήσεις υπαίθρου. Η εργασία που παρουσιάζεται παρακάτω ασχολείται με τη διενέργεια και την αξιοποίηση μετρήσεων εντροπίας για τη βέλτιστη χρήση αυτών των δεδομένων εισόδου στη μελέτη του φαινομένου της διάβρωσης.

Το υπόλοιπο τμήμα της εργασίας οργανώνεται ως εξής: στο δεύτερο κεφάλαιο περιγράφεται το θεωρητικό πλαίσιο και η μεθοδολογία υπολογισμού της εντροπίας. Στη συνέχεια επιχειρείται η εφαρμογή της μεθόδου στη Ν. Μύκονο και δίδονται τα αντίστοιχα αποτελέσματα της εφαρμογής, ενώ στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται η αποτίμηση της προτεινόμενης μεθόδου, σχολιάζονται τα αποτελέσματα της πειραματικής εφαρμογής και παρατίθενται τα συμπεράσματα.

## 2. Μεθοδολογία

Η μεθοδολογία που ακολουθείται στην εργασία αυτή, βασίζεται στην τεχνολογία των ΓΠΣ και αξιοποιεί ως εργαλείο ανάλυσης μετρήσεις του μεγέθους της εντροπίας. Το προτεινόμενο μεθοδολογικό σχήμα αποτελείται από την αλληλουχία των παρακάτω βημάτων: α) οργάνωση χωρικής βάσης δεδομένων, β) ορισμός - υπολογισμοί εντροπίας, γ) προσομοίωση στο πλαίσιο ενός ΓΠΣ. Τα στάδια αυτά αναπτύσσονται στη συνέχεια.

### 2.1 Οργάνωση χωρικής βάσης δεδομένων

Η μελέτη του φαινομένου της διάβρωσης προϋποθέτει την αποτίμηση κάποιων χωρικών μεταβλητών οι οποίες σχετίζονται με το φαινόμενο. Η τοπογραφική οργάνωση της περιοχής μελέτης, τα lithολογικά χαρακτηριστικά, η βλάστηση, και τα χαρακτηριστικά του

υδρογραφικού δικτύου, είναι οι μεταβλητές που εξετάστηκαν στην εργασία αυτή. Οι μεταβλητές αποδίδονται στο ΓΠΣ που υλοποιήθηκε μέσα από ένα ή περισσότερα θεματικά επίπεδα πληροφορίας τα οποία αποτελούν τη χωρική βάση δεδομένων (ΧΒΔ).

Η καταγραφή της τοπογραφικής οργάνωσης πραγματοποιείται με τη δημιουργία ψηφιακού μοντέλου εδάφους (ΨΜΕ) για την περιοχή μελέτης. Το μοντέλο αυτό το οποίο προκύπτει από διάφορες πηγές (ψηφιοποίηση ισούψων καμπυλών, στερεοζεύγη Α/Φ, Τηλεπισκόπηση κλπ), δίνει παράγωγες πληροφορίες ιδιαίτερα χρήσιμες στη μελέτη της διάβρωσης. Το παραγόμενο θεματικό επίπεδο της κλίσης του εδάφους, χρησιμοποιήθηκε εδώ αφού σχετίζεται με την επίδραση της βαρύτητας η οποία καθορίζει το φαινόμενο της διάβρωσης. Τα lithολογικά χαρακτηριστικά αποδίδονται στο θεματικό επίπεδο της γεωλογικής δομής. Το επίπεδο αυτό περιλαμβάνει τους γεωλογικούς σχηματισμούς της περιοχής μελέτης με έμφαση στην περιγραφή των lithολογικών χαρακτηριστικών που συνδέονται με τη διάβρωση. Τα στοιχεία της επιφανειακής απορροής περιλαμβάνουν το υδρογραφικό δίκτυο και την οργάνωση των υδρολογικών λεκανών. Τα στοιχεία αυτά είναι δυνατό, είτε να ψηφιοποιηθούν άμεσα από τοπογραφικούς χάρτες, είτε να εξαχθούν με αυτοματοποιημένες διαδικασίες από το ΨΜΕ της περιοχής. Τέλος, η βλάστηση αποδίδεται μέσα από χάρτες χρήσης γης, και από την ταξινόμηση δορυφορικών εικόνων.

## 2. Μεθοδολογία

Η μεθοδολογία που ακολουθείται στην εργασία αυτή, βασίζεται στην τεχνολογία των ΓΠΣ και αξιοποιεί ως εργαλείο ανάλυσης μετρήσεις του μεγέθους της εντροπίας. Το προτεινόμενο μεθοδολογικό σχήμα αποτελείται από την αλληλουχία των παρακάτω βημάτων: α) οργάνωση χωρικής βάσης δεδομένων, β) ορισμός - υπολογισμοί εντροπίας, γ) προσομοίωση στο πλαίσιο ενός ΓΠΣ. Τα στάδια αυτά αναπτύσσονται στη συνέχεια.

### 2.1 Οργάνωση χωρικής βάσης δεδομένων

Η μελέτη του φαινομένου της διάβρωσης προϋποθέτει την αποτίμηση κάποιων χωρικών μεταβλητών οι οποίες σχετίζονται με το φαινόμενο. Η τοπογραφική οργάνωση της περιοχής μελέτης, τα lithολογικά χαρακτηριστικά, η βλάστηση, και τα χαρακτηριστικά του υδρογραφικού δικτύου, είναι οι μεταβλητές που εξετάστηκαν στην εργασία αυτή. Οι μεταβλητές αποδίδονται στο ΓΠΣ που υλοποιήθηκε μέσα από ένα ή περισσότερα θεματικά επίπεδα πληροφορίας τα οποία αποτελούν τη χωρική βάση δεδομένων (ΧΒΔ).

Η καταγραφή της τοπογραφικής οργάνωσης πραγματοποιείται με τη δημιουργία ψηφιακού μοντέλου εδάφους (ΨΜΕ) για την περιοχή μελέτης. Το μοντέλο αυτό το οποίο προκύπτει από διάφορες πηγές (ψηφιοποίηση ισούψων καμπυλών, στερεοζεύγη Α/Φ, Τηλεπισκόπηση κλπ), δίνει παράγωγες πληροφορίες ιδιαίτερα χρήσιμες στη μελέτη της διάβρωσης. Το παραγόμενο θεματικό επίπεδο της κλίσης του εδάφους, χρησιμοποιήθηκε εδώ αφού σχετίζεται με την επίδραση της βαρύτητας η οποία καθορίζει το φαινόμενο της διάβρωσης. Τα lithολογικά χαρακτηριστικά αποδίδονται στο θεματικό επίπεδο της γεωλογικής δομής. Το επίπεδο αυτό περιλαμβάνει τους γεωλογικούς σχηματισμούς της περιοχής μελέτης με έμφαση στην περιγραφή των lithολογικών χαρακτηριστικών που συνδέονται με τη διάβρωση. Τα στοιχεία της επιφανειακής απορροής περιλαμβάνουν το υδρογραφικό δίκτυο και την οργάνωση των υδρολογικών λεκανών. Τα στοιχεία αυτά είναι δυνατό, είτε να ψηφιοποιηθούν άμεσα από τοπογραφικούς χάρτες, είτε να εξαχθούν με αυτοματοποιημένες διαδικασίες από το ΨΜΕ της περιοχής. Τέλος, η βλάστηση αποδίδεται μέσα από χάρτες χρήσης γης, και από την ταξινόμηση δορυφορικών εικόνων.

Σημειώνεται ότι τα επίπεδα πληροφορίας τα οποία περιγράφηκαν παραπάνω για να χρησιμοποιηθούν στη μελέτη διάβρωσης, θα πρέπει να υποστούν δευτερογενή επεξεργασία έτσι ώστε η εσωτερική τους οργάνωση να περιλαμβάνει πληροφορίες για το βαθμό κατά τον οποίο τα στοιχεία του ευνοούν ή όχι το φαινόμενο της διάβρωσης. Έτσι, γίνεται επαναταξινόμηση των στοιχείων κάθε επιπέδου σε κλάσεις «διάβρωσιμότητας» σε τακτική

κλίμακα (μικρή – μέση - μεγάλη διαβρωσιμότητα). Για παράδειγμα, οι γεωλογικοί σχηματισμοί ταξινομούνται σε μια από αυτές τις κατηγορίες ανάλογα με το αν τα λιθολογικά χαρακτηριστικά τους ευνοούν η όχι τη διάβρωση. Παρόμοιες επαναταξινομήσεις λαμβάνουν χώρα και για τις υπόλοιπες μεταβλητές. Παράλληλα, γίνεται και ο καθορισμός του συντελεστή πιθανότητας εμφάνισης διάβρωσης για κάθε κλάση στο διάστημα (0,1). Στο επόμενο στάδιο, αξιοποιώντας τη χωρική βάση δεδομένων γίνονται οι υπολογισμοί του μεγέθους της εντροπίας.

## 2.2 Εντροπία

Η ιδέα της εφαρμογής της εντροπίας στη μελέτη πληροφοριών είναι αρκετά παλιά (Shannon 1948, Shannon 1951, Khinchin, 1957). Σύμφωνα με αυτή η εντροπία δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$H_n = - \sum_{i=1}^n P_i \log_2 P_i \quad \text{με } 0 < P_i, (i = 1 \dots n) \text{ και } \sum_{i=1}^n P_i = 1 \quad (1)$$

όπου  $H_n$  η εντροπία του συστήματος,  $n$  το πλήθος των εξεταζόμενων κλάσεων (στην περίπτωσή μας  $n=2$ , “διάβρωση” – “όχι διάβρωση”), και  $P_i$  η πιθανότητα εμφάνισης κάθε κλάσης, που εκφράζεται από το ποσοστό εμφάνισης της κλάσης στο σύνολο της πληροφορίας.

Αρχικά εξετάστηκε σύστημα χωρίς πληροφορία το οποίο εμφανίζει τη μέγιστη εντροπία. Σε αυτό το σύστημα  $P_1 = P_2 = 0.5$  και η εντροπία λαμβάνει την τιμή 1. Στη συνέχεια προστέθηκαν διαφορετικά επίπεδα πληροφορίας (επαναταξινομημένα θεματικά επίπεδα κλίσης, λιθολογίας, κάλυψης γης, στοιχείων υδρογραφικού δικτύου) και για κάθε μια προσθήκη επαναυπολογίστηκε η εντροπία του συστήματος. Η εφαρμογή των μετρήσεων αυτών πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο ενός ΓΠΣ και περιγράφεται στη συνέχεια.

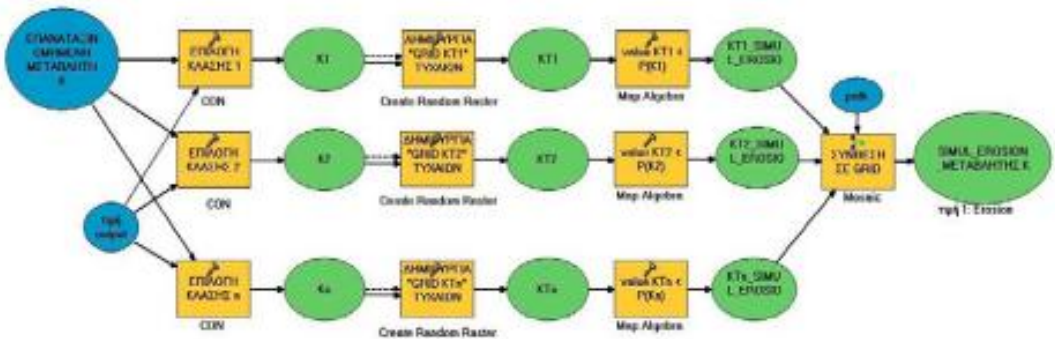
## 2.3 Υπολογισμοί εντροπίας στο πλαίσιο ΓΠΣ

Ο σταδιακός υπολογισμός της εντροπίας με παράλληλη αύξηση των επιπέδων πληροφορίας υλοποιήθηκε με την αξιοποίηση των αναλυτικών δυνατοτήτων ενός ΓΠΣ μέσα από ένα πείραμα προσομοίωσης. Το σύνολο των υπολογισμών έλαβε χώρα σε ψηφιδωτά επίπεδα χωρικών πληροφοριών αξιοποιώντας το λογισμικό ArcGIS και την επέκτασή του Spatial Analyst. Η προσομοίωση ακολούθησε τα παρακάτω βήματα: αρχικά έγινε μετασχηματισμός όλων των επιπέδων πληροφορίας σε ψηφιδωτή μορφή με ανάλογα γεωμετρικά χαρακτηριστικά (στήλες, γραμμές, μέγεθος ψηφιδών). Στη συνέχεια, έλαβε χώρα η επαναταξινόμηση των τιμών για κάθε επίπεδο πληροφορίας με βάση το βαθμό διαβρωσιμότητας στις αντίστοιχες κλάσεις και κατασκευάστηκε ο πίνακας πιθανοτήτων ( $P_k$ ) εμφάνισης διάβρωσης για κάθε κλάση. Γι παράδειγμα στην κλάση «μεγάλη διαβρωσιμότητα» K3 (η οποία αντιστοιχεί σε μεγάλες κλίσεις) ορίζεται στο 0.8 η τιμή της πιθανότητας για διάβρωση. Στο επόμενο στάδιο κατασκευάστηκε ένα νέο θεματικό επίπεδο με τυχαίους αριθμούς ( $\Delta$ ) στο διάστημα (0,1) και για κάθε κλάση των θεματικών επιπέδων προσδιορίστηκαν οι ψηφίδες με την ιδιότητα  $\Delta < P_k$ . Στις ψηφίδες αυτές ανατέθηκε η τιμή 1 (= διάβρωση). Έτσι, στο προηγούμενο παράδειγμα, για όλες τις ψηφίδες της κλάσης K3 υλοποιήθηκε το ερώτημα value ( $\Delta$ ) < 0.8. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται για όλες τις κλάσεις του επιπέδου με αποτέλεσμα την κατασκευή ενός νέου επιπέδου με τιμές 1 και 0 («διάβρωση» και «όχι διάβρωση» αντίστοιχα). Για το επίπεδο αυτό υπολογίστηκε εκ νέου η συνολική εντροπία σύμφωνα με την εξίσωση 1.

Η παραπάνω διαδικασία επαναλαμβάνεται διαδοχικά με την προσθήκη νέων θεματικών επιπέδων τα οποία συνδυάζονται με τις κατάλληλες λειτουργίες υπέρθεσης θεματικών επιπέδων δημιουργώντας σύνθετες κλάσεις. Έτσι για παράδειγμα η υπέρθεση της κλίσης με τη

λιθολογία έχει ως αποτέλεσμα – μεταξύ άλλων – και τον κατακερματισμό της κλάσης K3 (του προηγούμενο παραδείγματος) στις υποκλάσεις “K3Λ1”, “K3Λ2”, “K3Λ3” που αντιστοιχούν σε περιοχές με μεγάλες κλίσεις και λιθολογίες με μικρή, μέση και μεγάλη διαβρωσιμότητα αντίστοιχα. Για αυτές τις υποκλάσεις ορίζεται ο πίνακας αντιστοιχίσης με πιθανότητες διάβρωσης και εκτελούνται τα βήματα που περιγράφηκαν παραπάνω με τελικό στόχο τον υπολογισμό της συνολικής εντροπίας για το νέο σύνθετο επίπεδο. Η όλη διαδικασία επαναλαμβάνεται έως ότου συμπεριληφθούν στους υπολογισμούς όλα τα θεματικά επίπεδα. Καθώς η διαδικασία είναι αρκετά χρονοβόρα (η προσομοίωση εκτελείται με πολλές επαναλήψεις έτσι ώστε να υπολογιστούν οι στατιστικοί μέσοι) και απαιτεί αρκετή υπολογιστική ισχύ κατασκευάστηκε ένα μοντέλο διαδικασιών στο λογισμικό ArcGIS, με τη χρήση του εργαλείου Model Builder. Η γενική ροή των δεδομένων και οι διαδικασίες που εκτελούνται φαίνονται στο σχ. 1.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι στο σχήμα αυτό περιγράφεται ένα μικρό μόνο τμήμα του μοντέλου το οποίο αναλύει μια μεταβλητή.



Σχ. 1. Μοντέλο υπολογισμού της εντροπίας

Η επόμενη φάση της εργασίας η οποία επικεντρώθηκε στην εφαρμογή του μοντέλου για ένα πραγματικό φυσικό σύστημα, περιγράφεται παρακάτω.

### 3. Εφαρμογή στη Ν. Μύκονο

Το πείραμα προσομοίωσης το οποίο περιγράφηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, εφαρμόστηκε για το νησί της Μυκόνου. Αρχικά, δημιουργήθηκε η χωρική βάση δεδομένων η οποία αποτελείται από θεματικά επίπεδα με κοινό σύστημα χωρικής αναφοράς (ΕΓΣΑ 87). Τα επίπεδα αυτά και οι πηγές τους φαίνονται παρακάτω:

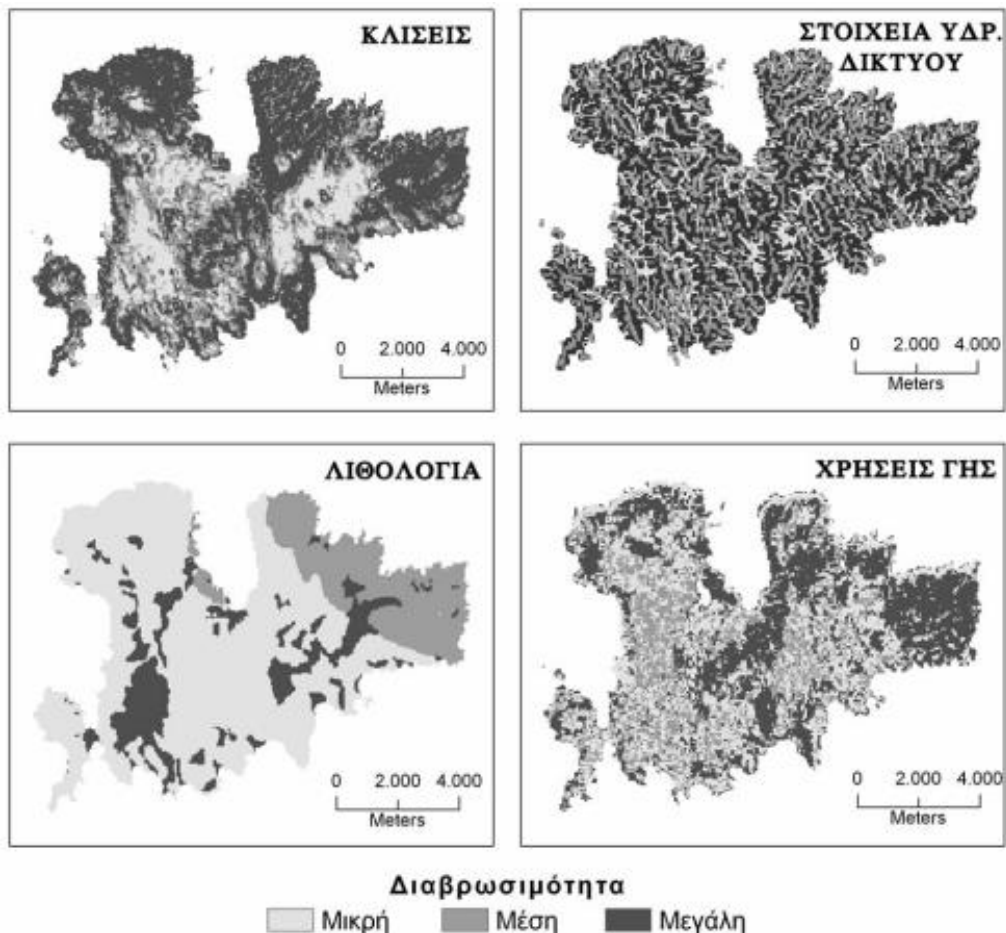
- Ισούψεις καμπύλες (πηγή: χάρτης γενικών χρήσεων της ΓΥΣ)
- Υψομετρικά σημεία (πηγή: χάρτης γενικών χρήσεων της ΓΥΣ)
- Υδρογραφικό δίκτυο (πηγή: χάρτης γενικών χρήσεων της ΓΥΣ)
- Γεωλογία (πηγή: ΙΓΜΕ)
- Χρήσεις γης (πηγή εικόνα Landsat 1998, χωρική διακριτική ικανότητα 30μ)

Η Ν. Μύκονος βρίσκεται στο ΒΑ τμήμα του συμπλέγματος των Κυκλάδων, ΝΑ της ν. Τήνου. Έχει επιφάνεια 87 km<sup>2</sup>, μήκος ακτών 81 km, ενώ ο πληθυσμός της σύμφωνα με την απογραφή 2001 ανέρχεται σε 9960 κατ. (Χαλκιάς 2003). Χαρακτηρίζεται από ξηρά και άγονα εδάφη, με χαμηλούς λόφους ενώ το ψηλότερο σημείο του νησιού έχει υψόμετρο 372 μ. Οι ακτές της είναι απότομες και παρουσιάζουν μεγάλο διαμελισμό. Αναφορικά με τις χρήσεις γης

θα πρέπει να τονίσουμε την ολοένα και αυξανόμενη επέκταση του αστικού ιστού και την περιορισμένη βλάστηση. Η γεωλογία της χαρακτηρίζεται από μεταμορφωμένα πετρώματα, γρανοδιוריτικές διεισδύσεις, ηφαιστειοϊζηματογενείς σχηματισμούς και Τεταρτογενείς αποθέσεις (Βορεάδης 1961, Παπασταματίου 1963, Durr & Altherr 1979, Aydis 1985), ενώ έχουν επίσης εξεταστεί η γεωμορφολογική και η μορφοτεκτονική εξέλιξη της νήσου (Riedl 1980, Γκουρνέλος κα αντίστοιχα).

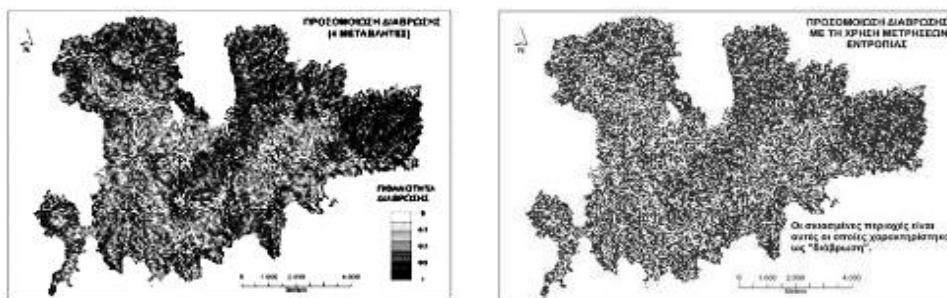
Από τα επίπεδα των ισοϋψών καμπυλών, του υδρ. δικτύου και των υψομετρικών σημείων κατασκευάστηκε το ΨΜΕ της ν. Μυκόνου, χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο ANUDEM (Hutchinson 1989). Από αυτό, κατασκευάστηκε τόσο το θεματικό επίπεδο των κλίσεων, όσο και το επίπεδο των στοιχείων του υδρογραφικού δικτύου (μήκος απορροής προς τους κλάδους του υδρογραφικού δικτύου). Τα επίπεδα αυτά χρησιμοποιήθηκαν για την απόδοση της τοπογραφικής οργάνωσης και των υδρολογικών συνθηκών της περιοχής που συνδέονται με το φαινόμενο της διάβρωσης. Η ταξινομημένη δορυφορική εικόνα και ο γεωλογικός χάρτης χρησιμοποιήθηκαν για την απόδοση των χρήσεων γης και της λιθολογίας αντίστοιχα.

Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκαν οι επαναταξινομήσεις των επιπέδων αυτών και προσδιορίστηκαν οι κλάσεις μικρής - μέσης - μεγάλης διαβρωσιμότητας σε κάθε επίπεδο (Σχ. 2).



Σχ. 2. Επαναταξινομημένες μεταβλητές με βάση τη διαβρωσιμότητα  
Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.

Στο επόμενο στάδιο κατασκευάστηκαν οι πίνακες πιθανοτήτων για κάθε μια κλάση διαβρωσιμότητας κάθε επιπέδου και έγινε η προσομοίωση της διάβρωσης με τη σταθμισμένη (ανάλογα με τη πιθανότητα για διάβρωση) ανάθεση τυχαίων αριθμών στο διάστημα (0,1). Το αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας είναι η κατασκευή (για κάθε μεταβλητή) του επιπέδου με τιμές 1 και 0 (διάβρωση – όχι διάβρωση) το οποίο χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό της εντροπίας. Τέλος, έγινε σύνθεση των επιπέδων πληροφορίας και υπολογίστηκε η πιθανότητα διάβρωσης (Σχ. 3) και υπολογίστηκε η εντροπία με τη διαδοχική αύξηση της πληροφορίας. Πρέπει να σημειωθεί ότι σε κάθε βήμα αυτής της διαδικασίας προσομοίωσης – το οποίο επαναλήφθηκε 50 φορές – έγινε η αντίστοιχη στατιστική μελέτη και υπολογισμός της εντροπίας του συστήματος (πίνακας 1).



Σχ. 3. Σύνθεση των επιπέδων πληροφορίας. Πιθανότητα

Στον πίνακα 1 φαίνονται οι τιμές της εντροπίας που υπολογίστηκαν για κάθε μια μεταβλητή καθώς και οι υπολογισμοί της εντροπίας με τη διαδοχική αύξηση της πληροφορίας.

Από τα στοιχεία αυτά, είναι φανερή η μείωση της εντροπίας με την αύξηση της πληροφορίας.

Πίνακας 1 : Υπολογισμοί συνολικής εντροπίας

ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ	ΕΝΤΡΟΠΙΑ
Κλίση	0.953
Λιθολογία	0.950
Χρήσεις Γης	0.971
Χαρακτηριστικά Υδρ. Δικτύου	0.952
Κλίση – Λιθολογία	0.943
Χρήσεις Γης – Υδρ. Δίκτυο	0.940
Σύνολο Μεταβλητών	0.935

#### 4. Συμπεράσματα

Η έννοια της εντροπίας συνδέεται άμεσα με πιθανοτικά μοντέλα και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη βέλτιστη αξιοποίηση επιπέδων πληροφορίας. Αυτή η μεθοδολογία εφαρμόστηκε στο νησί της Μυκόνου για τη μελέτη των διαδικασιών διάβρωσης. Έτσι, συμπεραίνουμε ότι σε 1ο επίπεδο, δηλαδή όταν δεν υπάρχουν δεδομένα για τη διαδικασία διάβρωσης – απόθεσης (περιβάλλον μέγιστης εντροπίας) δεν μπορούν να οριστούν ζώνες διάβρωσης. Προοδευτικά, προσθέτοντας διαφορετικά επίπεδα πληροφορίας (π.χ. κλίση, λιθολογία, χρήσεις γης, στοιχεία υδρογραφικού δικτύου) η εντροπία μειώνεται και αρχίζει σταδιακά η σαφής οριοθέτηση ζωνών διάβρωσης – απόθεσης. Εξάλλου, η αυτοματοποίηση της μεθόδου δίνει τη δυνατότητα πολλαπλών προσομοιώσεων με παράλληλη στατιστική μελέτη των μετρήσεων της συνολικής εντροπίας του συστήματος. Τα πρακτικά αποτελέσματα αυτής της εργασίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε τοπικό ή περιφερειακό επίπεδο για τον περιβαλλοντικό σχεδιασμό και την υποστήριξη της διαδικασίας λήψης αποφάσεων που

σχετίζονται με την αναπτυξιακή προοπτική των ελληνικών νησιών.

## Βιβλιογραφία

Avdis V., 1985: Contribution to the geology of Mykonos. Γεωλ. Και Γεωμ. Μελέτες, Τόμος Παπασταματίου

Balling R. C., Roy S.S., 2004: A spatial entropy analysis of temperature trends in the United states. Geophysical Research Letters 31: 11-2.

Batty M., 1976: Entropy in spatial aggregation. Geographical Analysis 8: 1-21.

Bjorke J. T., 1996: Framework for entropy-based map evaluation. Cartography and Geographical Information Systems, 23: 78-95.

Chen Y. G., Liu J. S., 2002: Derivations of fractal models of city hierarchies using entropy-maximization principle. Progress in Natural Science, 12: 208-11.

Durr S., Altherr R., 1979: Existence de klippes d' une nappe composite neogene dans l' ile de Mykonos/ Cyclades. Reun. Pour de la Med. Vol.25, 2a, Monaco.

Fiorentino M., Claps P., 1992: On what can be explained by the entropy of a channel network. Entropy and energy dissipation in water resources, ed. V. R. Singh and M. Fiorentino, 139-54. Dordrecht, Netherlands: Kluwer.

Hutchinson, M.F., 1989, A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits, Journal of Hydrology: 106 : 211 – 232.

Khinchin A. I., 1957: Mathematical Foundations of Information Theory, Dover Publications, New York.

Li H., Reynolds J. F., 1993: A new contagion index to quantify spatial patterns of landscapes. Landscape Ecology 8: 155-62.

Li Z. L., Huang P. ZH., 2002 : Quantitative measures for spatial information of maps, International Journal of Geographical Information Science, vol. 16, No. 7, 699-709.

Papastamatiou J., 1963: Sur la presence de roches sedimentaires d'age pretriasique a Mykonos (Archipel de Cyclades, Grece). C.R. Acad. Sc., Paris, (D), 256, p. 5167 – 5169.

Riedl H., 1980: Geographische Studien im Bereich der Kykladen Santorin und Mykonos mit einem Beitrag uber Karpathos. Istitut Fur Geographie der Universitat Salzburg.

Shannon C. E., 1948: A Mathematical theory of communication. Bell System Technical Journal 27: 379-423, 623-56.

Shannon C. E., 1951: Prediction and Entropy of printed English. Bell System Technical Journal 10: 50-61.

Βορεάδης 1961: Η γεωλογία και τα κοιτάσματα Βαρύτου των νήσων Μυκόνου και Δραγονήσι. Ann. Geol.de Pays Hell., 12: 263-300.

Γκουρνέλος Θ., Μαζιώτης Α., Στασινούλας Β., 1990: Μορφοτεκτονική εξέλιξη της Μυκόνου. Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Εταιρ. Τόμος XXII σελ. 5-13, Αθήνα.

Χαλκιάς Χ. Ν., 2003: Οργάνωση γεωγραφικών πληροφοριών για τα ελληνικά νησιά με την αξιοποίηση σύγχρονων τεχνολογικών εργαλείων, Γεωγραφίες, τεύχος 4: 62-95, εκδόσεις Εξάντας.