

ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΙΜΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ Γ.Σ.Π. ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΚΑΝΟΝΩΝ ΑΣΑΦΟΥΣ ΛΟΓΙΚΗΣ

Γκουρνέλλος Θεόδωρος*, Βασιλόπουλος Ανδρέας*, Ευελπίδου Νίκη*

*Τομέας Φυσικής Γεωγραφίας-Κλιματολογίας, Γεωλογικό Τμήμα, Παν/μιο Αθηνών

τηλ./fax: 7274297

e-mail: gournellos@mail.geol.uoa.gr, evelpidou@mail.geol.uoa.gr, vassilopoulos@mail.geol.uoa.gr

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Ασαφής λογική, GIS, Σαντορίνη, Διάβρωση εδάφους

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σε αυτή την εργασία μελετάται η συμπεριφορά του αναγλύφου στις διεργασίες της διάβρωσης, μέσω ψηφιακής επεξεργασίας των δεδομένων με χρήση Γ.Σ.Π. (Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών) και κανόνων ασαφούς λογικής (Fuzzy logic).

Για τον υπολογισμό των τιμών διαβρωσιμότητας, χωρίσαμε τη νήσο στις επιμέρους υδρογραφικές λεκάνες. Η πρώτη παράμετρος που χρησιμοποιήσαμε ήταν οι λιθολογικές ενότητες που δημιουργήσαμε ανάλογα με την ανθεκτικότητα των γεωλογικών σχηματισμών στη διάβρωση. Σε κάθε λεκάνη, δόθηκε μία αριθμητική τιμή, ανάλογα με το ποσοστό των επιμέρους λιθολογιών που περιέχει. Ως δεύτερη παράμετρο, λάβαμε την υδρογραφική πυκνότητα της κάθε κύριας λεκάνης. Η τιμή της κάθε λεκάνης, εισήχθη στο αντίστοιχο πεδίο κάθε τετραγώνου. Τέλος, η τρίτη παράμετρος αφορά στην τοπογραφική κλίση της κάθε λεκάνης που υπολογίστηκε αρχικά για όλη τη νήσο με τη μέθοδο «Triangulation with smoothing».

Οι τελικοί χάρτες εμφανίζουν την υπό μελέτη περιοχή χωρισμένη σε τέσσερις διακριτές κατηγορίες διαβρωσιμότητας. Σαν εφαρμογή αυτής της μεθοδολογίας, επιλέχτηκε η νήσος Σαντορίνη.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ - ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Είναι γνωστό ότι η διάβρωση μίας περιοχής εξαρτάται από το είδος των πετρωμάτων της, την τοπογραφία, τη βλάστηση, τη βροχόπτωση κτλ. Με τη τεχνολογία των GIS είναι δυνατή η ανάλυση και η απεικόνιση μέσω θεματικών χαρτών **μερικών από** τις παραπάνω μεταβλητές. Η πολυεπίπεδη αυτή επεξεργασία συμβάλλει στην οριοθέτηση ζωνών επικινδυνότητας διάβρωσης. Οι τελικοί θεματικοί χάρτες είναι βασικά εργαλεία για την ανάπτυξη και την περιβαλλοντική προστασία της εν λόγω περιοχής.

Σε πρώτη φάση μετά την ψηφιοποίηση τοπογραφικών και γεωλογικών χαρτών, απεικονίστηκε το υδρογραφικό δίκτυο και χωρίστηκαν όλες οι υδρολογικές λεκάνες της Σαντορίνης.

Μελετήθηκαν τρεις παράμετροι: Η λιθολογία των λεκανών, η κλίση τους και η τιμή της υδρογραφικής πυκνότητας (Πίνακας 1). Για την επεξεργασία των τιμών της μελέτης, κρίθηκε σκόπιμο να θεωρηθούν σαν fuzzy (ασαφείς) μεταβλητές. Στη συνέχεια για τη μετατροπή των μεταβλητών (input variables) χρησιμοποιήθηκαν οι εμπειρικοί κανόνες ασαφούς λογικής (Mamdani, E., 1975).

Έτσι προέκυψε, βάσει του μοντέλου Mamdani (1975) η μεταβλητή εξόδου (output variable) επικινδυνότητας διάβρωσης για κάθε λεκάνη. Σε όλη τη διαδικασία βασικό εργαλείο ήταν τα GIS για την είσοδο, επεξεργασία και απεικόνιση των αποτελεσμάτων. Για την εύρεση τιμών των μεταβλητών εισαγωγής γράφτηκαν προγράμματα σε περιβάλλον MapInfo, ενώ για την εφαρμογή των κανόνων ασαφούς λογικής χρησιμοποιήθηκε το MatLab. Τέλος, έγινε επιβεβαίωση των αποτελεσμάτων με μελέτη αεροφωτογραφιών και υπαίθριες παρατηρήσεις.

Η ΝΗΣΟΣ ΣΑΝΤΟΡΙΝΗ

Από στρωματογραφική άποψη το σύμπλεγμα των νήσων της Σαντορίνης αποτελείται κυρίως από δύο κατηγορίες πετρωμάτων (Σχ. 1). Έτσι το υπόβαθρο της Θήρας αποτελείται από Τριαδικούς κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους και Δολομίτες (Papastamatiou, I.N., 1958), από Ηωκαινικούς φυλλίτες (Tataris, A.A., 1964) και μία Μειοκαινική Γρανιτική διείδυση (Skarpelis, N., Liati, A., 1987). Η δεύτερη κατηγορία πετρωμάτων που καθολικά κυριαρχεί στη Θήρα είναι μία συνεχή σειρά ηφαιστειακών προϊόντων, που ξεκινά από 1,6 περίπου εκατομμύρια χρόνια (Ferrara, G., 1980) και φτάνει μέχρι τη σύγχρονη εποχή.

Η ηφαιστειακή σειρά της Σαντορίνης χαρακτηρίζεται από μία εναλλαγή ηφαιστειακών λαβών και κίσηρης (Pichler, H., Kussmaul, S., 1980, Druitt, T.M., et al, 1989). Γενικά οι διάφοροι συγγραφείς διακρίνουν τρεις ορίζοντες κίσηρης, την κάτω, τη μέση και την άνω σειρά κίσηρης.

Πρέπει να σημειωθεί ότι η ανώτερη σειρά κίσηρης είναι αποτέλεσμα της Μινωϊκής έκρηξης που χρονολογείται γύρω στα 1500 Π.Χ. (Galanopoulos, A. G., 1958, Seward, D., 1980, κ.α.).

Οι κύριες γεωμορφολογικές ενότητες της Σαντορίνης (Γκουρνέλος, Θ., κ.ά., 1995) είναι οι ακόλουθες πέντε:

1. Η Ασβεστολιθική ενότητα, δηλαδή ο σχηματισμός που βρίσκεται στο νοτιοανατολικό τμήμα της νήσου και αποτελείται κυρίως από κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους, δολομίτες και φυλλίτες που αντιπροσωπεύουν το προηφαιστειακό ανάγλυφο της Θήρας.

<i>Πίνακας 1</i>			
<i>a/a</i>	<i>Density (1/Km)</i>	<i>Vulnerability</i>	<i>Slope %</i>
1	3,77	2,71	21,90
2	2,45	3,00	19,08
3	1,36	3,00	16,37
4	2,53	3,00	12,89
5	1,96	3,00	10,22
6	2,79	3,00	11,73
7	6,28	3,00	13,54
8	7,76	3,00	12,12
9	7,82	3,00	13,09
10	8,36	3,00	10,46
11	6,42	3,00	14,46
12	4,36	2,49	16,49
13	4,64	2,52	12,38
14	1,90	2,49	14,63
15	2,64	1,91	20,63
16	2,65	2,28	16,38
17	4,81	1,58	18,45
18	4,30	2,16	20,30
19	4,56	2,48	16,59
20	4,59	2,33	20,26
21	2,18	1,74	18,80
22	3,59	1,62	20,51
23	6,45	1,99	20,89
24	4,46	1,66	16,28
25	3,83	0,52	15,76
26	3,34	1,97	17,24
27	3,58	3,00	17,35
28	4,33	2,84	15,63
29	4,99	2,94	14,29
30	4,34	0,00	12,93
31	3,53	2,91	12,14
32	4,06	3,00	7,22
33	4,06	3,00	11,25
34	2,37	2,95	11,52
35	2,46	3,00	14,45
36	3,61	3,00	5,60
37	3,86	3,00	6,35
38	3,46	3,00	10,60
39	3,08	3,00	9,77

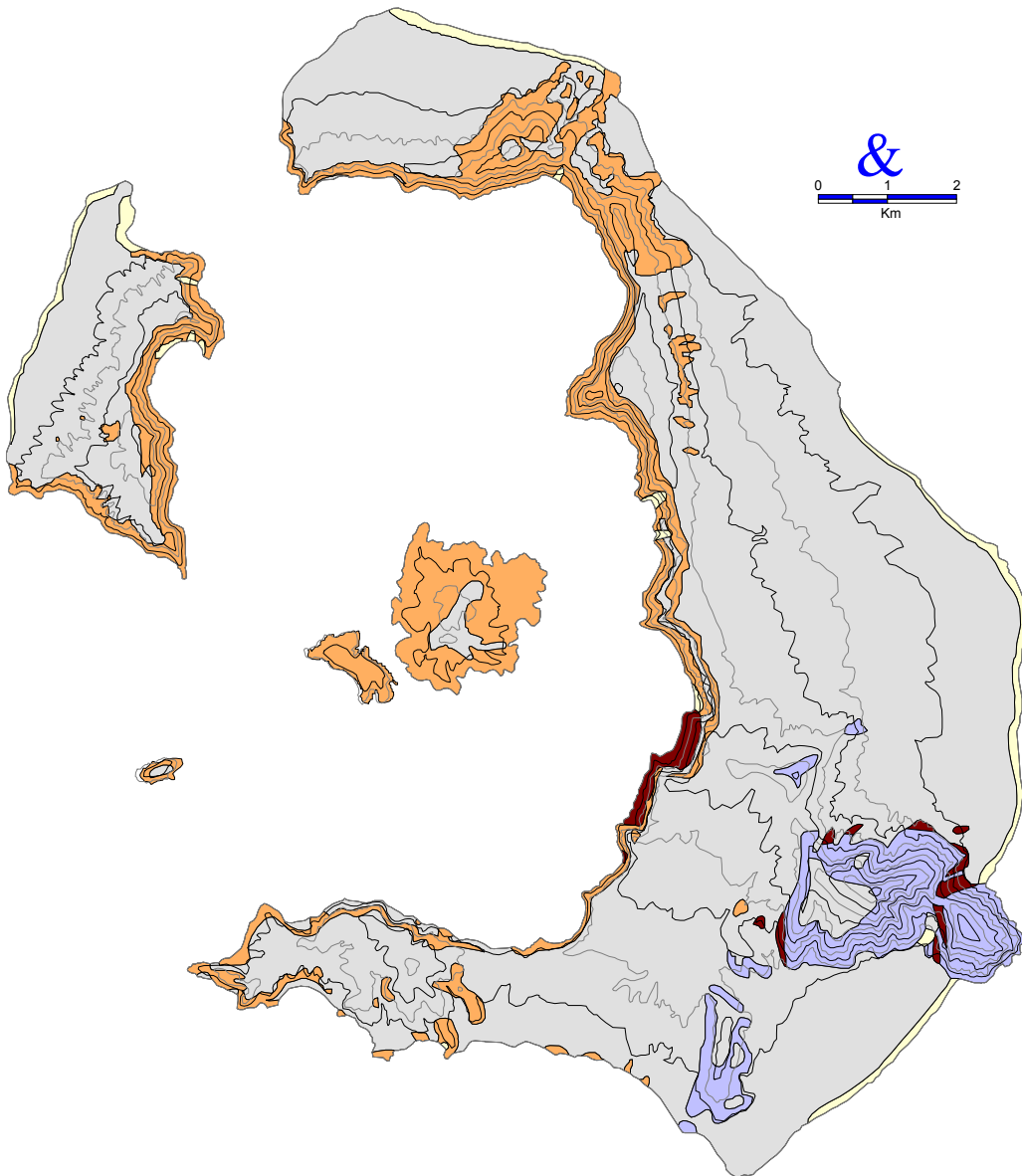
<i>a/a</i>	<i>Density (1/Km)</i>	<i>Vulnerability</i>	<i>Slope %</i>
40	2,54	3,00	9,56
41	2,31	3,00	2,86
42	3,01	3,00	6,95
43	2,28	3,00	3,81
44	2,96	3,00	8,03
45	2,45	3,00	5,07
46	3,56	0,01	11,35
47	2,77	2,77	13,25
48	4,49	2,03	14,15
49	1,91	2,21	11,55
50	3,92	2,08	15,38
51	2,89	1,74	17,36
52	2,63	1,54	19,59
53	3,29	2,31	10,82
54	4,49	2,29	13,53
55	2,81	2,58	11,75
56	2,36	0,28	13,57
57	2,25	2,69	11,25
58	2,78	0,10	10,43
59	3,60	0,12	14,28
60	5,15	2,55	17,76
61	2,22	2,36	14,64
62	2,73	2,75	12,46
63	4,20	3,00	4,66
64	4,72	2,94	14,19
65	3,54	2,98	15,53
66	5,57	3,00	14,53
67	4,82	3,00	18,55
68	4,55	2,99	7,02
69	3,13	0,01	4,95
70	3,12	0,00	3,90
71	1,85	3,00	10,07
72	3,43	0,16	4,91
73	2,08	2,49	9,79
74	3,21	2,74	9,99
75	2,16	2,84	11,47
76	3,51	2,86	8,59
77	3,29	2,99	5,93
78	4,97	2,61	7,16
79	5,61	2,57	9,30

2. Τα ηφαιστειακά συμπλέγματα που διακρίνονται στο Βόρειο τμήμα της νήσου και αποτελούνται κυρίως από ανδευσιτικές λάβες.
3. Το Μινωϊκό ηφαιστειακό ανάγλυφο, ημισελινοειδούς μορφής που κυριαρχεί στη Θήρα και στη Θηρασία.
4. Η ενότητα των νεότερων ηφαιστειακών σχηματισμών, που πρόκειται για την πιο πρόσφατη ηφαιστειότητα που εκδηλώθηκε με την δημιουργία των νήσων Παλαιά και Νέα Καμμένη.
5. Τέλος, η περιοχή της καλδέρας που αποτελεί την πιο εντυπωσιακή γεωμορφή της Σαντορίνης και η οποία χαρακτηρίζεται από απότομες τοπογραφικές κλίσεις.

— Ισοϋψείς (ανά 50m)
— Ισοϋψείς (ανά 100m)

Λιθολογικοί σχηματισμοί

- Τεταρτογενές
- Κίσσηρης
- Λάβες
- Ημιμεταμορφωμένο σύστημα
- Κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι



Σχήμα 1: Οι λιθολογικοί σχηματισμοί των νησιών της Σαντορίνης

Το υδρογραφικό δίκτυο των νήσων της Θήρας και της Θηρασίας είναι σε γενικές γραμμές ακτινωτό. Οι υδροκρίτες επίσης είναι περίπου ίδιας διάταξης, εκτός από την περιοχή του Προφήτη Ηλία. Από την κατανομή των τιμών της υδρογραφικής πυκνότητας για τις κυριώτερες γεωμορφολογικές ενότητες, παρατηρήθηκε (Γκουρνέλος, Θ., κ.ά, 1995) ότι:

1) Οι μεγαλύτερες τιμές ανήκουν στους κλάδους πρώτης τάξης στην ασβεστολιθική ενότητα.

2) Το διαβρωμένο τμήμα σε όλες τις τάξεις παρουσιάζει μεγαλύτερες τιμές σε σχέση με το ομαλό τμήμα της ευρύτερης ηφαιστειακής ενότητας.

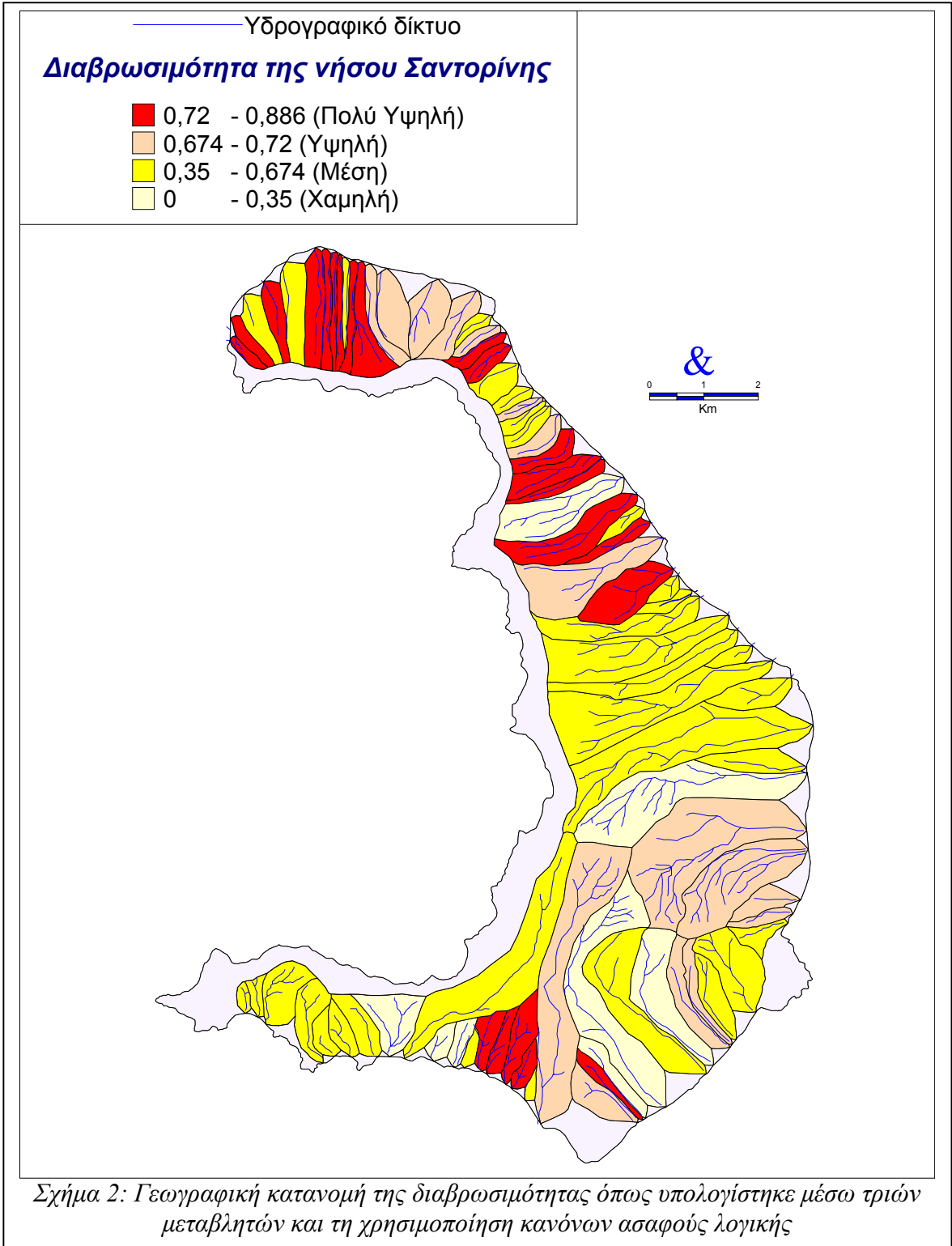
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η λιθολογική σύσταση της Σαντορίνης με μεγάλη εξάπλωση της Μινωϊκής κίσηρης έχει σαν αποτέλεσμα την μεγάλη διαβρωσιμότητα του αναγλύφου. Οι τρεις παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν (λιθολογία, τοπογραφικές κλίσεις και υδρογραφική πυκνότητα) για την αναγνώριση λεκανών μέγιστης επικινδυνότητας, είναι οι πλέον καθοριστικοί. Στο Σχήμα 2 φαίνεται η διαβάθμιση των λεκανών επικινδυνότητας για τη νήσο Σαντορίνη, η οποία προέκυψε από επεξεργασία με τη χρήση κανόνων ασαφούς λογικής (Πίνακας 2).

Είναι εμφανές ότι ένα μεγάλο ποσοστό των υδρογραφικών λεκανών της Σαντορίνης (28%) παρουσιάζει πολύ υψηλό δείκτη επικινδυνότητας διάβρωσης, ένα επίσης μεγάλο ποσοστό (20%) υψηλό δείκτη, ενώ το μεγαλύτερο ποσοστό των λεκανών (41%) παρουσιάζει μέση επικινδυνότητα στη διάβρωση. Μόνο το 11% των λεκανών παρουσιάζουν χαμηλή επικινδυνότητα διάβρωσης και πρόκειται για λεκάνες με μικρή τοπογραφική κλίση και υδρογραφική πυκνότητα καθώς και με μικρή τιμή διαβρωσιμότητας πετρωμάτων δηλαδή οι λεκάνες αυτές αναπτύσσονται κυρίως σε κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους και στο ημιμεταμορφωμένο σύστημα και δευτερευόντως σε λάβες. Η διαβάθμιση αυτή των λεκανών είναι σκόπιμο να λαμβάνεται υπόψη για μελλοντικό σχεδιασμό περιβαλλοντικών έργων.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2

<i>Av</i>	<i>ΔΙΑΒΡΩΣΙΜΟΤΗΤΑ</i>	<i>ΕΙΝΑΙ</i>	<i>ΥΨΗΛΗ</i>	<i>&</i>	<i>ΚΛΙΣΗ</i>	<i>ΕΙΝΑΙ</i>	<i>ΥΨΗΛΗ</i>				<i>ΤΟΤΕ</i>	<i>ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ</i>	<i>ΕΙΝΑΙ</i>	<i>ΠΟΛΥ ΥΨΗΛΗ</i>	
<i>Av</i>	<i>ΔΙΑΒΡΩΣΙΜΟΤΗΤΑ</i>	<i>ΕΙΝΑΙ</i>	<i>ΥΨΗΛΗ</i>	<i>&</i>	<i>ΚΛΙΣΗ</i>	<i>ΕΙΝΑΙ</i>	<i>ΜΕΣΗ</i>				<i>ΤΟΤΕ</i>	<i>ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ</i>	<i>ΕΙΝΑΙ</i>	<i>ΥΨΗΛΗ</i>	
<i>Av</i>	<i>ΔΙΑΒΡΩΣΙΜΟΤΗΤΑ</i>	<i>ΕΙΝΑΙ</i>	<i>ΥΨΗΛΗ</i>	<i>&</i>	<i>ΚΛΙΣΗ</i>	<i>ΕΙΝΑΙ</i>	<i>ΧΑΜΗΛΗ</i>				<i>ΤΟΤΕ</i>	<i>ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ</i>	<i>ΕΙΝΑΙ</i>	<i>ΜΕΣΗ</i>	
<i>Av</i>	<i>ΔΙΑΒΡΩΣΙΜΟΤΗΤΑ</i>	<i>ΕΙΝΑΙ</i>	<i>ΜΕΣΗ</i>	<i>&</i>	<i>ΚΛΙΣΗ</i>	<i>ΕΙΝΑΙ</i>	<i>ΥΨΗΛΗ</i>				<i>ΤΟΤΕ</i>	<i>ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ</i>	<i>ΕΙΝΑΙ</i>	<i>ΜΕΣΗ</i>	
<i>Av</i>	<i>ΔΙΑΒΡΩΣΙΜΟΤΗΤΑ</i>	<i>ΕΙΝΑΙ</i>	<i>ΜΕΣΗ</i>	<i>&</i>	<i>ΚΛΙΣΗ</i>	<i>ΕΙΝΑΙ</i>	<i>ΜΕΣΗ</i>	<i>&</i>	<i>ΥΔΡ. ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ</i>	<i>ΕΙΝΑΙ</i>	<i>ΥΨΗΛΗ</i>	<i>ΤΟΤΕ</i>	<i>ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ</i>	<i>ΕΙΝΑΙ</i>	<i>ΜΕΣΗ</i>
<i>Av</i>	<i>ΔΙΑΒΡΩΣΙΜΟΤΗΤΑ</i>	<i>ΕΙΝΑΙ</i>	<i>ΧΑΜΗΛΗ</i>	<i>&</i>	<i>ΚΛΙΣΗ</i>	<i>ΕΙΝΑΙ</i>	<i>ΥΨΗΛΗ</i>	<i>&</i>	<i>ΥΔΡ. ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ</i>	<i>ΕΙΝΑΙ</i>	<i>ΥΨΗΛΗ</i>	<i>ΤΟΤΕ</i>	<i>ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ</i>	<i>ΕΙΝΑΙ</i>	<i>ΜΕΣΗ</i>
<i>Av</i>	<i>ΔΙΑΒΡΩΣΙΜΟΤΗΤΑ</i>	<i>ΕΙΝΑΙ</i>	<i>ΧΑΜΗΛΗ</i>	<i>&</i>	<i>ΚΛΙΣΗ</i>	<i>ΕΙΝΑΙ</i>	<i>ΜΕΣΗ</i>				<i>ΤΟΤΕ</i>	<i>ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ</i>	<i>ΕΙΝΑΙ</i>	<i>ΧΑΜΗΛΗ</i>	



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Druitt, T.M., Mellors, R.A., Pyle, D.M., and Sparks, R.S.J., 1989, Explosive volcanism on Santorini, Greece, *Geol. Mag.*, 126, p.p. 95-126.
- Ferrara, G., Fytikas, M., Giuliani, O., and Marinelli, G., 1980, Age of the formation of the Aegan active volcanic arc, in C. Doumas (ed.), *Thera and the Aegan World II*, p.p. 49-56.
- Galanopoulos, A. G., 1958, Zur Bestimmung des Alters de Santorini - Kaldera. *Annales geol. Pays hell*, 9, p.p. 185-188.
- Mamdani, E.H., Assilian, S., 1975, An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controler, *International Journal of Man-Machine Studies*, Vol. 7, No1, p.p. 1-13.
- MapInfo Professional, 1998, MapInfo Corporation, Troy, New York.
- Papastamatiou, I.N., 1958, The age of crystalline limestones of Thera island, *Jour Geol. Soc. Greece III-1*, p.p. 104-113.
- Pichler, H., Kussmaul, S., 1980, Comments on the geological map of the Santorini Islands, in C. Doumas (ed.), *Thera and the Aegan World II*, p.p. 413-427.
- Seward, D., Wagner, G. and Pichler, H., 1980, Fission-track ages of Santorini volcanics (Greece), in C. Doumas (ed.), *Thera and the Aegan World II*, p.p. 101-1108.
- Skarpelis, N., Liati, A., 1987, Granite intrusion, skarn formation and mineralization in the metamorphic basement of Thera, Cyclades, Greece, 5th meeting European Geological Societies, Dubrovnic.
- Tataris, A.A., 1964, The presence of Eocene in the semimetamorphic basement on Thera's island, *Jour. Geol. Soc. of Greece VI-1*, p.p. 232-236.
- Γκουρνέλος, Θ., Βαϊόπουλος, Δ., Βασιλόπουλος, Α., Ευελπίδου, Ν., 1995, Γεωμορφολογική μελέτη της Θήρας-Σύνθεση Παλαιοαναγλύφου, Πρακτικά 4ου Πανελληνίου Γεωγραφικού Συνεδρίου.