

ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥ ΗΦΑΙΣΤΕΙΟΥ ΤΗΣ ΝΙΣΥΡΟΥ ΚΑΙ ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΝΕΟΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ

Δ. Παπανικολάου¹, Ε. Λέκκας¹, Π. Νομικού¹, Δ. Σακελλαρίου²

ΣΥΝΟΨΗ

Περιγράφεται η λιθοστρωματογραφική διάρθρωση των ηφαιστειακών σχηματισμών της Νισύρου με βάση λεπτομερή χαρτογράφηση σε κλίμακα 1:10.000. Διακρίνεται μία ακολουθία ηφαιστειακών σχηματισμών που αποτελούσαν εστρωμένους σχηματισμούς γύρω από ένα ηφαιστειακό κώνο και στη συνέχεια καταστροφή του κώνου με τη δημιουργία καλδέρας και νέα ηφαιστειακή δράση, μετακαλδερική, από ογκώδεις δόμους ρυοδακτιπικής σύστασης. Διακρίνονται τέσσερις κύριες ρηξιγενείς ζώνες που έδρασαν και κατά το προκαλδερικό στάδιο και κατά το μετακαλδερικό στάδιο και δίνεται ένα σκαρίφημα της νεοτεκτονικής εξέλιξης του ηφαιστείου σε τέσσερα στάδια. Οι μετρήσεις των επιφανειακών μικρο-μετακινήσεων με G.P.S. βρίσκονται σε πλήρη ταύτιση με την προτεινόμενη νεοτεκτονική δομή και παραμόρφωση και υπογραμμίζουν την παρουσία των ρηξιτεμαχών που κινούνται ανεξάρτητα. Τέλος η σεισμική δραστηριότητα της περιόδου 1996-1998 επιβεβαιώνει το προτεινόμενο μοντέλο νεοτεκτονικής παραμόρφωσης.

Ι. ΕΙΣΑΓΩΓΗ - ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

Παρ' όλο που η νήσος Νίσυρος αποτελεί στο σύνολο της, ίσως, την πιο χαρακτηριστική και ενδιαφέρουσα ηφαιστειακή μορφή στον Ελλαδικό χώρο (Εικ. 1) και παρά το ιδιαίτερο γεωλογικό και γεωθερμικό ενδιαφέρον που παρουσιάζει, η υφιστάμενη γεωλογική βιβλιογραφία μπορεί να χαρακτηριστεί ανεπαρκής. Οι περισσότερες επιστημονικές δημοσιεύσεις που αφορούν τη Νίσυρο είναι κυρίως ορυκτολογικού - πετρολογικού χαρακτήρα και περιέχουν λίγα μόνο στοι-

1. Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Τομέας Δυναμικής Τεκτονικής & Εφαρμοσμένης Γεωλογίας,

2. Ελληνικό Κέντρο Θαλασσιών Ερευνών, Ανάβυσσος.

χεία για τη γεωλογική δομή και για την τεκτονική της εξέλιξη.

Οι πρώτες αναφορές για τη γεωλογία της Νισύρου ανήκουν κατά σειρά στους MARTELLI (1917), DESIO (1931) και ΓΕΩΡΓΑΛΑ (1958), στις οποίες υπάρχουν μόνο ορισμένες γενικές πληροφορίες περιγραφικού χαρακτήρα.

Η πρώτη εκτενής γεωλογική μελέτη για τη Νίσυρο έγινε από την DAVIS (1967), η οποία κατέληξε στο συμπέρασμα, ότι υφίστανται δύο ηφαιστειακές περίοδοι εκχύσεως, κάθε μία από τις οποίες είχε αρχικά βασικό χαρακτήρα και στη συνέχεια απέδιδε όξινα τελικά παράγωγα. Τα υλικά της πρώτης ηφαιστειακής περιόδου απαντούν μόνο σε ορισμένες θέσεις και στη συνέχεια ο κύκλος κλείνει με το σχηματισμό παχύτατων στρωμάτων ηφαιστειακής υέλου. Η δεύτερη ηφαιστειακή περίοδος έδωσε μία μεγάλη ποικιλία πετρολογικών τύπων όπως ανδεσίτες, τραχειανδεσίτες, τραχείτες, δακίτες και στη συνέχεια ρυολίθους και κίσσηρη. Οι εμφανίσεις όλων των προηγούμενων σχηματισμών, χωρίς όμως να γίνεται σαφής ένταξή τους σε κάποια από τις δύο φάσεις ηφαιστειακής δράσης, παρουσιάζονται σε ένα γεωλογικό σκαρίφημα κλίμακας 1:50.000.

Ο DI PAOLA (1974) θεωρεί ότι υπάρχουν δύο περίοδοι εξέλιξης του ηφαιστείου ήτοι: (i) η προ-καλδερική που διακρίνεται σε μία αρχικά υποθαλάσσια δράση και στη συνέχεια σε μία αέρια η οποία έδωσε μία μεγάλη ποικιλία πετρωμάτων και (ii) η μετακαλδερική περίοδος η οποία έδωσε τους ρυοδακίτες που καταλαμβάνουν τα 2/3 περίπου της καλδέρας καθώς και ένα τμήμα του νησιού έξω από αυτή. Οι εμφανίσεις των κυριότερων λιθολογικών τύπων - σχηματισμών παρουσιάζονται σε ένα γενικό γεωλογικό σκαρίφημα.

Οι δύο ανωτέρω δημοσιεύσεις με τα αντίστοιχα γεωλογικά σκαριφήματα δεν συμφωνούν μεταξύ τους σε βασικά θέματα αντιστοίχισης των πετρολογικών σχηματισμών και το κυριότερο δεν εντάσσουν τα διάφορα πετρώματα σε μια ενιαία στρωματογραφική διάρθρωση.

Η βιβλιογραφία εμπλουτίζεται συνεχώς με νέες παρατηρήσεις (BOHLA & KELLER 1987, SEYMOUR & VLASSOPOULOS 1989, LIMBURG & VAREKAMP 1984, 1991, ΒΟΥΓΙΟΥΚΛΑΚΗΣ 1993, FRANCALANCI et al. 1995, HARDIMAN 1999, VOLENTIC et al. 2002) αλλά εξακολουθεί να είναι ελλιπής σε ότι αφορά την ηλικία των σχηματισμών του ηφαιστειακού συγκροτήματος (FYTIKAS et al. 1976, WAGNER et al. 1976, VINCI 1983a,b, 1985, REHREN 1988, BARBERI et al. 1988, REHREN 1988, KELLER et al. 1989, 1990, LIMBURG & VAREKAMP 1991) και αυτό καθιστά δύσκολη την ακριβή ερμηνεία της παλαιογεωγραφικής εξέλιξης του ηφαιστείου.

Οι περισσότερες επιστημονικές δημοσιεύσεις που αφορούν τη Νίσυρο είναι κυρίως ορυκτολογικού-πετρολογικού χαρακτήρα με έμφαση στο γεωθερμικό της πεδίο και ανάλυση γεωχημικών παραμέτρων του υδροθερμικού της συστήματος (ST.SEYMOUR & VLASSOPOULOS 1989, 1992, DOTSIKA 1992, MARINI et al. 1993, 2002, CHIODINI et al. 1993, 2002, KAVOURIDIS et al. 1999, WYERS et al. 1989, BROMBACH 2000, BROMBACH et al. 2001) ενώ άλλες δημοσιεύσεις αφορούν γεωφυσικά χαρακτηριστικά και την παραμόρφωση του εδάφους

(ΛΑΓΙΟΣ 1991, DAWES & LAGIOS, 1991, LAGIOS & APOSTOLOPOULOS 1995, KAVOURIDIS et al. 1999, LAGIOS 2000, PARCHARIDIS & LAGIOS 2001, LAGIOS et al. 2003).

Η παρούσα δημοσίευση βασίζεται στην αρχική έρευνα που είχε διεξαχθεί κατά το 1989 με στόχο την τεκτονική ανάλυση του γεωθερμικού πεδίου (ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ κ.α. 1989, 1991) με πρόσθετα στοιχεία από την έρευνα που έγινε στα πλαίσια της διδακτορικής διατριβής της Π. ΝΟΜΙΚΟΥ (2004).

II. ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΝΙΣΥΡΟΥ

Ο νέος γεωλογικός χάρτης κλίμακας 1:10.000, ο οποίος έγινε πάνω σε ψηφιακά τοπογραφικά διαγράμματα της Γ.Υ.Σ. κλίμακας 1:5.000, βασίστηκε στην γεωλογική χαρτογράφηση των Παπανικολάου κ.α. (1991), σε προηγούμενους γεωλογικούς χάρτες (DAVIS 1967; Di PAOLA 1974) καθώς επίσης και σε βελτιώσεις και γεωλογικές παρατηρήσεις στην ύπαιθρο. Η περιγραφή των ηφαιστειακών σχηματισμών του νέου γεωλογικού χάρτη γίνεται σύμφωνα με τα διαφορετικά στάδια εξέλιξης του ηφαιστείου, από τους αρχαιότερους προς τους νεώτερους σχηματισμούς:

1. Αλλούβια, Παράκτιες Αποθέσεις. Έχουν περιορισμένη ανάπτυξη και πάχος και εμφανίζονται κυρίως κατά μήκος των βόρειων ακτών της Νισύρου.

2. Πλευρικά Κορημάτα - Κώνοι Κορημάτων. Παρουσιάζουν σημαντική ανάπτυξη τόσο στα εσωτερικά πρηνή της καλδέρας όσο και στα εξωτερικά. Αποτελούνται κυρίως από γωνιώδη τεμάχια ηφαιστειακών πετρωμάτων και από λεπτομερέστερα υλικά. Οι κυριότερες εμφανίσεις απαντούν στο ΒΑ εσωτερικό πρηνές της καλδέρας.

3. Αποθέσεις Καλδέρας. Πρόκειται για λεπτομερή κυρίως υλικά τα οποία εμφανίζονται στο κεντρικό επίπεδο τμήμα της καλδέρας. Έχουν προέλθει κυρίως από την αποσάθρωση των ηφαιστειακών σχηματισμών και το πάχος τους δεν υπερβαίνει τα 20 μέτρα.

4. Ρυοδακίτες Προφήτη Ηλία. Έχουν εκχυθεί μετά τον σχηματισμό της καλδέρας και καλύπτουν το δυτικό ήμισυ της και όλο σχεδόν το ΝΔ τέταρτο του νησιού (Εικ. 1, 3). Σχηματίζουν δόμους, θόλους, λαιμούς και ρεύματα και αποτελούν τα προϊόντα της νεότερης ηφαιστειακής δράσης στη Νίσυρο. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνεται από τη θέση τους πάνω στην Ανώτερη Κίσσηρη, την Τεφρή Κίσσηρη με τα θραύσματα των ηφαιστειακών πετρωμάτων, τις Λάβες D, C και B και τα Πυροκλαστικά D και C.

5. Ανώτερη Κίσσηρη. Πρόκειται για αδρομερή κίσσηρη με χαρακτηριστικό λευκό χρώμα. Το πάχος της φθάνει σε ορισμένες θέσεις τα 30 μέτρα. Υπόκειται των Αλλουβίων - Παράκτιων Αποθέσεων, των Πλευρικών Κορημάτων - Κώνων Κορημάτων και των Ρυοδακίτων του Προφήτη Ηλία. Αντίθετα υπέρκειται των Ρυολίθων των Νικιών (περιοχή Αγίου Ιωάννου Νικιών), της Κατώτερης Κίσσηρης

(περιοχή όρμου Λευκού), της Τεφρής Κίσσηρης, των Λαβών C και B και των Πυροκλαστικών C και B (στο βόρειο τμήμα του νησιού). Οι πιο μεγάλες εμφανίσεις απαντούν εξωτερικά της καλδέρας στο βόρειο τμήμα του νησιού ενώ μικρότερες εμφανίσεις απαντούν στην περιοχή των Νικιών. Επίσης μία μικρή εμφάνιση απαντά στο βόρειο εσωτερικό πρανάς της καλδέρας.

6. Ρυόλιθοι Νικιών. Αποτελούν ένα τεράστιο ρεύμα που έχει αναπτυχθεί σε όλο σχεδόν το ΝΑ τέταρτο της νήσου. Πρόκειται για εκχυτική δραστηριότητα που τροφοδοτήθηκε από ρυολιθικό μάγμα ίδιας σύστασης με αυτό της Κατώτερης Κίσσηρης. Καλύπτει – όπως φαίνεται χαρακτηριστικά στην περιοχή της Μονής Παναγίας Κυράς και στο Αυλάκι – την Κατώτερη Κίσσηρη, τις Λάβες B, C και τα Πυροκλαστικά B, C.

7. Κατώτερη Κίσσηρη. Πρόκειται για υπόλευκη-κιτρινωπή κίσσηρη η οποία περιέχει πολλά ποικιλόχρωμα θραύσματα ηφαιστειακών πετρωμάτων μεγέθους συνήθως 10-20 εκατοστών. Το πάχος της κατά θέσεις φθάνει τα 15-20 μέτρα και εμφανίζεται στο νότιο τμήμα του νησιού στην περιοχή της Αγίας Ειρήνης και στο Αυλάκι. Υπόκειται των Ρυοδακτιών του Προφήτη Ηλία και των Ρυολίθων των Νικιών ενώ υπέρκειται των Πυροκλαστικών D και C και των Λαβών D, C και B.

8. Πυροκλαστικά D. Αποτελούνται από λεπτομερές ψαμμιτικό υλικό και από μαύρο κισσηρούχο υλικό με θραύσματα ηφαιστειακών πετρωμάτων. Έχουν περιορισμένο πάχος που δεν υπερβαίνει τα 10 μέτρα και εμφανίζονται στο νότιο χείλος της καλδέρας στην τοποθεσία Σταυρός. Υπόκεινται της Κατώτερης Κίσσηρης και υπέρκεινται των Λαβών D.

9. Λάβες D. Πρόκειται για άνδρειπτικές λάβες, οι οποίες εμφανίζονται στο νότιο χείλος της καλδέρας καθώς επίσης και στον όρμο Λευκό. Το πάχος τους φθάνει τα 10 περίπου μέτρα στο χείλος της καλδέρας ενώ στον όρμο Λευκό δεν υπερβαίνει το 1 μέτρο. Υπόκεινται της Κίσσηρης με τα θραύσματα των ηφαιστειακών και των Πυροκλαστικών D ενώ υπέρκεινται των Πυροκλαστικών C και των Λαβών C.

10. Τεφρή Κίσσηρη με αποστρογγυλωμένα ηφαιστειακά. Πρόκειται για κίσσηρη τεφρή και κατά θέσεις υποκίτρινου χρώματος η οποία περιέχει κατά θέσεις αποστρογγυλωμένα ηφαιστειακά τεμάχια διαμέτρου ως 30 εκατοστά. Εμφανίζεται κυρίως στο βόρειο τμήμα του νησιού με πλέον χαρακτηριστική την εμφάνιση στο ακρωτήριο Κατσούνι και το πάχος της φθάνει τα 10 μέτρα. Στις πιο πολλές θέσεις υπόκειται της Ανώτερης Κίσσηρης (από την οποία όταν δεν υπάρχουν τα αποστρογγυλωμένα ηφαιστειακά πολύ δύσκολα διακρίνεται εξαιτίας ελάχιστης διαφοράς στο χρώμα) ενώ υπέρκειται των Τεφρών Πυροκλαστικών C και των Λαβών C.

11. Τεφρά Πυροκλαστικά C. Πρόκειται για ένα χαρακτηριστικό πυροκλαστικό σχηματισμό ο οποίος αποτελείται από ψαμμιτικό-αργιλικό σκουρόχρωμο υλικό καθώς επίσης και από μαύρο κισσηρούχο υλικό μέσα στα οποία παρατηρούνται τεφρά ηφαιστειακά πετρώματα ακανόνιστου σχήματος και μεγέθους ως 30 εκατοστά. Χαρακτηριστικές εμφανίσεις των τεφρών Πυροκλαστικών C απαντούν

στο Αυλάκι στην περιοχή του Σταυρού στο νότιο χείλος της καλδέρας ενώ οι πλέον μεγάλες σε έκταση στο ΒΑ τμήμα του νησιού όπου παρατηρούνται και τα μεγαλύτερα πάχη που φθάνουν τα 50-60 μέτρα. Υπόκεινται των Λαβών D και των Πυροκλαστικών D στις περιοχές Σταυρού και Αυλάκι καθώς επίσης και της Κατώτερης Κίσσηρης, και της Ανώτερης Κίσσηρης στο Ακρωτήριο Κατσούνι. Αντίθετα υπέρκεινται των Λαβών B και C στις περιοχές Σταυρού και Αυλάκι καθώς επίσης και των Λαβών C και των Πυροκλαστικών B στο ΒΑ τμήμα του Νησιού.

12. Λάβες C. Πρόκειται για ανδεστικές ως επί το πλείστον λάβες οι οποίες εμφανίζονται στο ανώτερο τμήμα του χείλους της καλδέρας και στη συνέχεια καλύπτουν ένα μεγάλο τμήμα των εξωτερικών της πρανών στο βόρειο, ΒΑ, νότιο και ΒΔ τμήμα του νησιού. Συγκροτούν χαρακτηριστικούς δόμους (π.χ. περιοχή Εμπορείου) στο χείλος της καλδέρας και στη συνέχεια εντυπωσιακά ρεύματα τα οποία ακολουθούν και καλύπτουν το υφιστάμενο παλαιοανάγλυφο (Εικ. 4). Το πάχος τους κοντά στο χείλος της καλδέρας είναι σημαντικό και κατά θέσεις φθάνει τα 40-60 μέτρα ενώ στη συνέχεια προς τα εξωτερικά πρανή της καλδέρας σταδιακά μειώνεται για να αποσφηνωθεί τις περισσότερες φορές πριν φθάσει στο επίπεδο της θάλασσας. Στην ανώτερη και στην κατώτερη επιφάνεια τους συνοδεύονται από σκωρίες ερυθρού ή σκούρου χρώματος οι οποίες στην περιοχή Σταυρός και Αυλάκι καθώς επίσης και στο βόρειο χείλος της καλδέρας αποκτούν σημαντικό πάχος που φθάνει τα 10 περίπου μέτρα. Υπόκεινται: (i) των Ρυοδακτιών του Προφήτη Ηλία στο δυτικό χείλος της καλδέρας, (ii) των Ρυολίθων των Νικιών στην περιοχή της Μονής Παναγιάς Κυράς, (iii) της Ανώτερης Κίσσηρης στο βόρειο τμήμα, (iv) της Κατώτερης Κίσσηρης με τα θραύσματα των πυροκλαστικών, των Λαβών D και των Πυροκλαστικών D στο Σταυρό και (v) της Τεφρής Κίσσηρης και των Πυροκλαστικών C στο βόρειο τμήμα. Αντίθετα καλύπτουν τα Πυροκλαστικά B και τις Λάβες B στο βόρειο τμήμα και στην περιοχή του Σταυρού-Αυλάκι.

13. Πυροκλαστικά B. Αποτελούνται από λεπτομερή γεώδη υλικά μέσα στα οποία υπάρχουν γωνιώδη τεμάχια ηφαιστειακών πετρωμάτων μεγέθους ως 30 εκατοστά. Κατά θέσεις, παρατηρούνται παρεμβολές μαύρης κίσσηρης ενώ σε άλλες, στρώματα από ανοιχτόχρωμους τόφφους-τοφφίτες και ψαμμίτες που εναλλάσσονται, πάχους ως και 8 μέτρα. Εμφανίζονται στο ΒΔ τμήμα της Νίσυρου, όπου σε ορισμένες μόνο θέσεις παρατηρούνται παρεμβολές μαύρης κίσσηρης. Στο ΒΑ τμήμα όπου υπάρχουν χαρακτηριστικοί λευκοί ορίζοντες τόφφων - τοφφιτών καθώς επίσης και στο εσωτερικό της καλδέρας, σε μερικά σημεία της οποίας εμφανίζονται μόνο ποικιλόχρωμοι τόφφοι-τοφφίτες οι οποίοι έχουν μάλιστα και σαφώς εκπεφρασμένη κλίση προς τα βόρεια (Εικ. 5). Καλύπτουν τις Λάβες B στις περισσότερες περιοχές εμφάνισης τους ενώ υπόκεινται: (i) των Ρυοδακτιών του Προφήτη Ηλία στη δυτική Νίσυρο, (ii) της Ανώτερης Κίσσηρης στην περιοχή των Πάλων, (iii) της Κίσσηρης με τα θραύσματα των ηφαιστειακών στην περιοχή του κάβου της Αγίας Ειρήνης, (iv) των Τεφρών Πυροκλαστικών C στη ΒΑ Νίσυρο και (v) των Λαβών C τόσο στα εσωτερικά πρανή της καλδέρας όσο και σε όλη την ΒΔ Νίσυρο.

14. Λάβες Β. Πρόκειται για ρυοδακτιικές, ανδεσιτικές και δακτιικές λάβες οι οποίες απαντούν με τη μορφή ρευμάτων και δόμων. Εμφανίζονται στην περιοχή Αυλάκι - όπου έχουν και το μέγιστο πάχος τους - στα εσωτερικά πρηνή της καλδέρας και στην περιοχή Μανδράκι. Καλύπτουν τον Πυροκλαστικό σχηματισμό Α και τις Λάβες Α ενώ υπόκεινται: (i) των Ρυοδακτιών του Προφήτη Ηλία, (ii) των Ρυολίθων των Νικιών στο Αυλάκι, (iii) της Ανώτερης Κίσσηρης στο Μανδράκι, (iv) της Κατώτερης Κίσσηρης με τα θραύσματα των ηφαιστειακών πετρωμάτων, των Πυροκλαστικών C και των Λαβών C στην περιοχή Αυλάκι και (v) των Πυροκλαστικών Β στο εσωτερικό της καλδέρας και στη ΒΔ Νίσυρο.

15. Πυροκλαστικά Α. Πρόκειται για χαρακτηριστικό πυροκλαστικό σχηματισμό ο οποίος καλύπτει τις Λάβες Α της παλαιότερης ηφαιστειότητας και καλύπτεται από τις Λάβες Β. Εμφανίζεται κατά μήκος των ΒΔ ακτών της Νισύρου, νότια από το Μανδράκι καθώς επίσης και στο εσωτερικό ανατολικό πρηνές της καλδέρας. Κατά μήκος των ΒΔ ακτών αποτελείται από λεπτομερή και κατά θέσεις αδρομερή ηφαιστειακής προέλευσης κιτρινωπά υλικά μέσα στα οποία παρατηρούνται όγκοι τεφρών ηφαιστειακών πετρωμάτων της τάξεως του 0.5 ως 5 κυβικών μέτρων. Από την ακανόνιστη γωνιώδη μορφή των ηφαιστειακών όγκων συμπεραίνεται ότι η ψύξη-στερεοποίησή τους θα πρέπει να έλαβε χώρα κατά τη διάρκεια και λίγο μετά την εκτίναξη και απόθεση τους σε ρηχό θαλάσσιο περιβάλλον. Πρόσθετα στην ίδια περιοχή εμφανίζονται τέσσερα στρώματα ανδεσιτικών σκωριών πάχους ως 5 μέτρα η κάθε μία. Αντίθετα, στα ΒΑ και Α πρηνή της καλδέρας εμφανίζονται μόνο λεπτομερή αργιλικά υλικά γεώδους χρώματος, χωρίς σαφώς εκπεφρασμένη στρώση και ασβεστολιθικούς ξενόλιθους αλλά πιο πλούσιοι σε τεμάχια ανδεσιτικής λάβας μαύρου-καφέ χρώματος. Το μέγιστο πάχος των πυροκλαστικών φτάνει τα 50 μ. περίπου και κατά μήκος του κεντρικού δρόμου προς το ηφαίστειο το πάχος τους δεν ξεπερνά τα 10μ. Ο σχηματισμός αυτός διαπερνάται από σχεδόν κατακόρυφες φλέβες πάχους 0,5 έως 2μ που τροφοδοτούν τις υπερκείμενες λάβες Β. Μία χαρακτηριστική φλέβα διαπερνά τα Πυροκλαστικά Α τροφοδοτώντας τη Λάβα Β (Εικ. 6) στην περιοχή των ανατολικών πρηνών της καλδέρας κοντά στο δρόμο προς την πεδιάδα Λακκί και τους κρατήρες.

16. Λάβες Α. Πρόκειται κυρίως για ανδεσιτικές - βασαλτικές λάβες οι οποίες στην νότια πλευρά του χωρίου Μανδράκι εμφανίζονται με μορφές οι οποίες μπορούν να χαρακτηριστούν pillow (Εικ. 7). Επίσης εμφανίσεις των Λαβών Α απαντούν στη δυτική ακτή και στο βόρειο κατώτερο άκρο στο εσωτερικό της καλδέρας ενώ υποθαλάσσιοι τόφφοι και τοφφίτες εμφανίζονται κύρια στο Ακρωτήριο Κανόνι έντονα εξαλλοιωμένοι. Αποτελούν τα προϊόντα της παλαιότερης γνωστής ηφαιστειακής δράσης, η οποία είναι πιθανό να έλαβε χώρα κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας. Καλύπτονται από τον χαρακτηριστικό Πυροκλαστικό σχηματισμό Α.

17. Σκωρίες. Οι σκωρίες αποτελούν ένα συνήθη σχηματισμό στη Νίσυρο που συχνά συνοδεύουν τις εκχύσεις των λαβών, οι οποίες άλλοτε υπέρκεινται και άλ-

λοτε υπόκεινται. Το χρώμα των σκωριών είναι κόκκινο, βαθύ κόκκινο, βυσσινί ή και μαύρο, και το πάχος τους φθάνει κατά θέσεις τα 4-5 μέτρα. Το πλέον χαρακτηριστικό ρεύμα σκωρίας απαντά κατά μήκος της ακτής στον όρμο της Αγίας Ειρήνης στη νοτιοδυτική Νίσυρο (Εικ. 8).

Παρατηρούνται επίσης υδροθερμικές εξαλλοιώσεις σε ένα μεγάλο τμήμα στο εξωτερικό της καλδέρας και κυρίως κατά μήκος των μεγάλων ρηξιγενών ζωνών, καθώς επίσης και γύρω από τους κρατήρες. Η υδροθερμική εξαλλοίωση έχει προσβάλλει όχι μόνο τους ηφαιστειακούς σχηματισμούς αλλά ακόμη και τους πιο πρόσφατους, όπως τις αποθέσεις καλδέρας και τα πλευρικά κορήματα.

Όπως φαίνεται από την περιγραφή των σχηματισμών που χαρτογραφήθηκαν και γενικότερα από τη μελέτη του γεωλογικού χάρτη, η νήσος Νίσυρος χαρακτηρίζεται από μία πολύπλοκη στρωματογραφική διάρθρωση τόσο ως προς την κατακόρυφη όσο και ως προς την οριζόντια έννοια. Η πολυπλοκότητα αυτή οφείλεται πρώτιστα τόσο στις αλληπάλληλες εκχύσεις λαβών του ηφαιστείου και στην ποικιλία των συνοδών ηφαιστειακών σχηματισμών όσο και στις συχνές πλευρικές αποσφηνώσεις των ρών λάβας και στις ασύμφωνες αποθέσεις των συνοδών σχηματισμών (πυροκλαστικών, σκωριών, κισσήρων).

Η συνθετική στρωματογραφική διάρθρωση παρουσιάζεται στην απλοποιημένη λιθοστρωματογραφική στήλη της Εικόνας 9.

Από την λιθοστρωματογραφική στήλη, τις περιγραφές των σχηματισμών που προηγήθηκαν, τις μορφές των ηφαιστειακών σχηματισμών (pillow, ροές, δόμοι, κώνοι κτλ.) και πιο πολύ από τα στοιχεία του γεωλογικού χάρτη στον οποίο φαίνεται η επιφανειακή ανάπτυξη και σχέση των λαβών με την καλδέρα, είναι δυνατό να διακριθούν δύο "ομάδες" ηφαιστειακών σχηματισμών που υποδηλώνουν και αντιστοιχούν στα διαδοχικά στάδια εξέλιξης του ηφαιστείου. Έτσι συνοπτικά διακρίθηκαν:

Α. Προ-καλδερικοί ηφαιστειακοί σχηματισμοί, δηλαδή οι σχηματισμοί οι οποίοι προηγήθηκαν ή συνόδευσαν την καταστροφή - εγκατακρήμνηση του ηφαιστειακού κώνου. Οι σχηματισμοί αυτοί είναι οι Λάβες Α,Β,Γ,Δ, τα Πυροκλαστικά Α,Β,Γ,Δ, οι Κισσήρεις και οι Ρυόλιθοι των Νικιών. Εκτός από ένα τμήμα των Λαβών Α (εμφάνιση pillow κοντά στο Μανδράκι) που υποδηλώνει υποθαλάσσια δράση του ηφαιστείου όλοι οι υπόλοιποι σχηματισμοί υποδηλώνουν ότι το ηφαίστειο ήταν πάνω από τη στάθμη της θάλασσας με κύρια μορφή κώνου και περιφερειακή ανάπτυξη ηφαιστειοϊζηματογενών σχηματισμών (strato-volcano).

Β. Μετα-καλδερικοί ηφαιστειακοί σχηματισμοί, δηλαδή οι σχηματισμοί που δημιουργήθηκαν μετά την καταστροφή - εγκατακρήμνηση του ηφαιστειακού κώνου. Οι σχηματισμοί αυτοί είναι η Ανώτερη Κίσσηρη και ο Ρυοδακίτης του Προφήτη Ηλία, ο οποίος χαρακτηριστικά καλύπτει μεγάλο τμήμα της καλδέρας και "εκχύνεται" και έξω από αυτή καλύπτοντας το δυτικό χείλος της. Στους μετα-καλδερικούς σχηματισμούς μπορούν να ενταχθούν και οι πρόσφατες αποθέσεις της καλδέρας καθώς και οι υδροθερμικές εξαλλοιώσεις-θειωνίες.

III. ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

1. ΓΕΝΙΚΑ

Ένας μεγάλος αριθμός ρηγμάτων διακόπτει την συνέχεια των σχηματισμών που χαρτογραφήθηκαν στη νήσο Νίσυρο. Η μελέτη των ρηγμάτων βασίστηκε αρχικά στην κατασκευή ενός φωτοτεκτονικού χάρτη κλίμακας 1:25.000 ο οποίος προέκυψε από την εξέταση των αεροφωτογραφιών της νήσου. Στη συνέχεια η τεκτονική ανάλυση περιέλαβε λεπτόμερή αποτύπωση των ρηγμάτων πάνω σε τοπογραφικό χάρτη κλίμακας 1:10.000 στο ύπαιθρο, παρατηρήσεις πάνω στις κατοπτρικές επιφάνειες τους και καταγραφή των κινηματικών κλπ. χαρακτηριστικών και των στοιχείων τους.

Από την μελέτη του φωτοτεκτονικού χάρτη και κυρίως από τη μελέτη των ρηγμάτων στην ύπαιθρο καθώς επίσης και την συνεκτίμηση των δεδομένων της γεωλογικής χαρτογράφησης, διακρίθηκαν δύο βασικές ομάδες ρηγμάτων: (i) τα κύρια ρήγματα τα οποία συγκροτούν μεγάλες ρηξιγενείς ζώνες και (ii) τα δευτερεύοντα ρήγματα (Εικ. 10).

Πιο συγκεκριμένα τα κύρια ρήγματα-μεγάλες ρηξιγενείς ζώνες: (i) έχουν μεγάλα μήκη και συχνά αρχίζουν από το εσωτερικό της καλδέρας και φθάνουν ως την ακτογραμμή, (ii) έχουν μεγάλα άλματα της τάξεως των 50 μέτρων και άνω προκαλώντας ταυτόχρονα χαρακτηριστικές μορφολογικές ασυνέχειες κατά μήκος τους ή έντονες μορφολογικές αλλαγές εκατέρωθεν τους και (iii) οριοθετούν εμφανίσεις ηφαιστειακών σχηματισμών σε ένα μεγάλο τμήμα του νησιού ή ακόμα μεταθέτουν σημαντικά τα όρια των σχηματισμών που τέμνουν.

Αντίθετα τα δευτερεύοντα ρήγματα: (i) έχουν συνήθως μικρά μήκη και μερικές μόνο φορές φθάνουν από το ίχνος της καλδέρας ως την ακτογραμμή. (ii) έχουν μικρά άλματα που δεν υπερβαίνουν τα 20-30 μέτρα ενώ στις πιο πολλές περιπτώσεις τα άλματα είναι της τάξης των 5-15 μέτρων ενώ ορισμένα μπορούν να χαρακτηριστούν απλά σαν διαρρήξεις διότι ουσιαστικά η μετακίνηση των εκατέρωθεν τεμαχών είναι ασήμαντη, (iii) δεν οριοθετούν εμφανίσεις σχηματισμών σε ένα μεγάλο τμήμα του νησιού και ακόμα δεν μεταθέτουν αισθητά τα όρια των σχηματισμών που τέμνουν και (iv) δεν προκαλούν ιδιαίτερες μορφολογικές ανωμαλίες στην επιφάνεια του εδάφους.

Συμπερασματικά τα κύρια ρήγματα-ρηξιγενείς ζώνες παίζουν ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο στη γεωλογική δομή και εξέλιξη τη Νισύρου σε αντίθεση με τα δευτερεύοντα ρήγματα.

2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΚΥΡΙΩΝ ΡΗΞΙΓΕΝΩΝ ΖΩΝΩΝ

1. Ρηξιγενής Ζώνη F_1

Η ρηξιγενής ζώνη F_1 είναι μία από τις σημαντικότερες ρηξιγενείς ζώνες που παρατηρούνται στη Νίσυρο από άποψη διαμόρφωσης της τεκτονικής δομής και εξέλιξης όσο και από άποψη κυκλοφορίας γεωθερμικών ρευστών και εν γένει γεωθερμικού ενδιαφέροντος. Έχει διεύθυνση B50A, κλίση 70° - 80° προς ΝΑ και

το άλμα της φθάνει κατά θέσεις τα 100 μέτρα περίπου (Εικ. 11).

Αναλυτικότερα, η ρηξιγενής ζώνη F_1 είναι σαφής μέσα στην καλδέρα την οποία και διαχωρίζει σε δύο τμήματα ίσα, με διαφορετική μορφολογική εικόνα. Στο πρώτο τμήμα προς τα ΒΔ εμφανίζονται οι Ρυοδακίτες του Προφήτη Ηλία που δημιουργούν ένα εντονότατο ανάγλυφο με τους αλληπάλληλους δόμους, λαιμούς και θόλους ενώ στο τμήμα προς τα ΝΑ κυριαρχούν οι αποθέσεις του επίπεδου τμήματος της καλδέρας.

Η ρηξιγενής ζώνη μέσα στην καλδέρα περιλαμβάνει 2-3 μεγάλα παράλληλα ρήγματα τα οποία έχουν χαρακτηριστικές κατοπτρικές επιφάνειες που δημιουργούν και μορφολογικές ασυνέχειες. Στις κατοπτρικές αυτές επιφάνειες δεν εντοπίστηκαν γραμμές ή ίχνη γραμμών τεκτονικής ολίσθησης πιθανότατα εξ αιτίας της εύκολης αποσάθρωσης των Ρυοδακιδών αφ' ενός και αφ' ετέρου των υδροθερμικών εξαλλοιώσεων οι οποίες είναι εντονότατες κατά μήκος της ζώνης. Όπως συμπεραίνεται από την εκτίμηση σύνθετων μορφοτεκτονικών στοιχείων στην περιοχή της καλδέρας το συνολικό άλμα της ρηξιγενούς ζώνης φθάνει τα 100 περίπου μέτρα με παράλληλη ταπείνωση των ΝΑ ρηξιτεμαχών σε σχέση με τα ΒΔ.

Αντίθετα στη ΝΝΔ προέκταση της έξω από την καλδέρα η ρηξιγενής ζώνη δεν είναι τόσο σαφής εξ αιτίας της απουσίας κάποιας μορφολογικής ασυνέχειας αλλά εν τούτοις είναι βέβαιη εξ αιτίας της απότομης διακοπής ορισμένων από τους σχηματισμούς που εμφανίζονται εκατέρωθεν αυτής, τους οποίους και οριοθετεί. Συγκεκριμένα: (i) στο χείλος της καλδέρας παρατηρείται απότομη διακοπή των Πυροκλαστικών C και D και των Λαβών D προς τα ΒΔ καθώς επίσης και της Κίσσηρης με τα αποστρογγυλωμένα τεμάχια προς τα ΝΑ και (ii) κατά μήκος της ακτής του όρμου Λευκού απότομη διακοπή των σκωριών και των Λαβών D προς τα ΝΑ και των Λαβών C προς τα ΒΔ.

Με βάση τους σχηματισμούς τους οποίους τέμνει ή οριοθετεί η ρηξιγενής ζώνη F_1 τόσο μέσα στην καλδέρα όσο και έξω από αυτή γίνεται αντιληπτό ότι έχει δράσει περισσότερες από μία φορές τόσο: (i) κατά τις περιόδους των εκχύσεων των Λαβών C και D και των συνοδών σχηματισμών δηλαδή πριν τη δημιουργία της καλδέρας όσο και (ii) μετά την έκχυση των Ρυοδακιδών του Προφήτη Ηλία μετά τη δημιουργία της.

2. Ρηξιγενής Ζώνη F_2

Η ρηξιγενής ζώνη F_2 ευρίσκεται στο νότιο τμήμα της Νισύρου έχει διεύθυνση Β30Α, κλίση 70° - 80° προς ΔΒΔ και αναγνωρίζεται εύκολα εξ αιτίας της μορφολογικής ασυνέχειας που παρατηρείται κατά μήκος της (Εικ. 12).

Αναλυτικότερα η ρηξιγενής ζώνη F_2 οριοθετεί προς τα ΑΝΑ τις κύριες εμφανίσεις των Λαβών C, των Τεφρών Πυροκλαστικών C και της Κατώτερης Κίσσηρης ενώ προς τα ΔΒΔ οριοθετεί τις εμφανίσεις των Λαβών Β.

Περιλαμβάνει 2-3 παράλληλα ρήγματα τα οποία έχουν σε ορισμένες θέσεις

σαφείς κατοπτρικές επιφάνειες χωρίς όμως ίχνη γραμμών τεκτονικής ολίσθησης. Το συνολικό άλμα της μετακίνησης των εκατέρωθεν τεμαχών είναι της τάξεως των 120 περίπου μέτρων, στοιχείο που προκύπτει από την υψομετρική διαφορά της κατώτερης επιφάνειας της Κατώτερης Κίσσηρης εκατέρωθεν της ρηξιγενούς ζώνης. Το βόρειο τμήμα της ρηξιγενούς ζώνης F_2 μέσα στην καλδέρα καλύπτεται αρχικά από τα Πλευρικά Κορήματα και στη συνέχεια από τις Αποθέσεις της Καλδέρας. Η παρουσία της μέσα στην καλδέρα είναι βεβαιωμένη και από τα στοιχεία των δύο γεωτρήσεων που έχουν γίνει για την διερεύνηση του γεωθερμικού πεδίου.

3. Ρηξιγενής Ζώνη F_3

Η ρηξιγενής ζώνη F_3 απαντά στο ΒΔ τμήμα της Νισύρου έχει διεύθυνση Β40Δ κλίση 70° - 80° προς ΒΑ και τέμνει σχηματισμούς τόσο έξω από την καλδέρα όσο και στο εσωτερικό της (Εικ. 13). Συγκεκριμένα η ρηξιγενής ζώνη F_3 στην περιοχή ανατολικά από το Μανδράκι - δηλαδή στο βορειοδυτικό τμήμα της - εντοπίζεται όχι τόσο άμεσα από την παρουσία χαρακτηριστικών κατοπτρικών επιφανειών, όσο έμμεσα από την ύπαρξη μιας μεγάλης μορφολογικής ασυνέχειας που υπάρχει κατά μήκος της και η οποία δημιουργεί εκατέρωθεν δύο διαφορετικές μορφολογικές εικόνες. Η παρουσία της ρηξιγενούς ζώνης F_3 επιβεβαιώνεται και από την απότομη διακοπή των εμφανίσεων ορισμένων σχηματισμών κατά μήκος της και ειδικότερα των Λαβών Β και C καθώς επίσης και της Ανώτερης Κίσσηρης.

Το άλμα της ρηξιγενούς ζώνης στο ΒΔ της τμήμα είναι της τάξεως των 50-70 μέτρων στοιχείο που προκύπτει από συνεκτίμηση μορφοδυναμικών δεδομένων.

Στο ΝΑ τμήμα της στο εσωτερικό της καλδέρας η ρηξιγενής ζώνη τέμνει μόνο τους Ρυοδακίτες του Προφήτη Ηλία δημιουργώντας παράλληλα μορφολογικές ασυνέχειες ενώ στη συνέχεια προς τα ΝΑ καλύπτεται από τα Πλευρικά Κορήματα και τις Αποθέσεις της Καλδέρας. Η ρηξιγενής ζώνη F_3 φαίνεται ότι έχει δράσει και πριν την δημιουργία της καλδέρας επειδή οριοθετεί προκαταρκτικούς σχηματισμούς, και μετά την δημιουργία της επειδή τέμνει τους Ρυοδακίτες του Προφήτη Ηλία.

4. Ρηξιγενής Ζώνη F_4

Η ρηξιγενής ζώνη F_4 περιλαμβάνει δύο ρήγματα με διεύθυνση Β20° Δ τιμή κλίσης 70° - 80° αλλά με αντίθετη φορά κλίσης δηλαδή προς τα ΔΝΔ και ΑΒΑ αντίστοιχα, τα οποία σχηματίζουν μία μορφή τεκτονικής τάφρου (Εικ. 14). Τα δύο ρήγματα αρχίζουν από τον κρατήρα Στέφανο συνεχίζουν προς τα ΝΝΑ τέμνοντας το χείλος της καλδέρας ΝΔ των Νικιών και στη συνέχεια καταλήγουν στον οικισμό Αυλάκι.

Η παρουσία των δύο ρηγμάτων και της τεκτονικής τάφρου γίνεται αντιληπτή όχι τόσο από τις κατοπτρικές επιφάνειες των ρηγμάτων όσο από την χαρακτηριστική μορφολογική ταπείνωση που υφίσταται κατά μήκος της τάφρου, την χαρακτηριστική μετατόπιση του ίχνους του χείλους της καλδέρας και την μετατόπιση των επαφών των σχηματισμών. Όπως συμπεραίνεται από την συνεκτίμηση

τεκτονικών και μορφολογικών δεδομένων τα δύο ρήγματα προκαλούν μία ταπείνωση του ενδιαμέσου τεμάχους της τάξεως των 40-50 μέτρων ενώ η δημιουργία τους θα πρέπει να έλαβε χώρα μετά την έκχυση των Ρυολίθων των Νικιών.

3. ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΠΑΝΩ ΣΤΟΝ ΡΗΞΙΓΕΝΗ ΙΣΤΟ ΤΗΣ ΝΙΣΥΡΟΥ

Με βάση τα στοιχεία των φωτοτεκτονικών χαρτών, τις τεκτονικές μετρήσεις και παρατηρήσεις στην ύπαιθρο μπορούν να αναφερθούν τα ακόλουθα:

Α. Υφίστανται τέσσερα συστήματα διευθύνσεων ρηγμάτων. Το πρωτεύον σύστημα έχει διεύθυνση B50°A και περιλαμβάνει τα ρήγματα της ρηξιγενούς ζώνης F₁ καθώς επίσης και ορισμένα μικρότερα ρήγματα νότια από το Μανδράκι. Το δευτερεύον σύστημα ρηγμάτων έχει διεύθυνση B30Δ και περιλαμβάνει τα ρήγματα των ρηξιγενών ζωνών F₃ και F₄ καθώς επίσης και ορισμένα ρήγματα της περιοχής των Νικιών. Το τριτεύον σύστημα έχει διεύθυνση B30Α και περιλαμβάνει τα ρήγματα της ρηξιγενούς ζώνης F₂ καθώς επίσης και αρκετά δευτερεύοντα ενώ τέλος το υπολειπόμενο σύστημα έχει διεύθυνση Α-Δ και περιλαμβάνει μόνο δευτερεύοντα ρήγματα.

Β. Τα περισσότερα από τα ρήγματα είναι κανονικά - χωρίς όμως να μπορεί να γίνει κατάταξη τους σε όρθο ή πλάγιο-κανονικά λόγω της μη διατήρησης των γραμμών τεκτονικής ολίσθησης πάνω τις επιφάνειες τους - με άλματα τις τάξης των λίγων μέτρων ως λίγων δεκάδων μέτρων.

Γ. Ορισμένα ρήγματα με οριζόντια συνιστώσα μετακίνησης παρατηρούνται προς την ΒΔ πλευρά της Νισύρου, περιοχή στην οποία εμφανίζονται και οι αρχαιότερες λάβες (Λάβες Α) της υποθαλάσσιας ηφαιστειότητας. Παράλληλα τα ρήγματα αυτά τέμνουν εκτός από τους αρχαιότερους σχηματισμούς και πολύ νεότερους όπως είναι η Ανώτερη Κίσσηρη.

Δ. Στις περιοχές Αυλάκι (NNA Νίσυρος) και Λουτρά (βόρεια Νίσυρος) παρατηρήθηκαν πολλά μικρά ρήγματα με διεύθυνση Β-Ν περίπου και με άλμα που δεν ξεπερνούσε τις μερικές δεκάδες εκατοστά το κάθε ένα. Τα ρήγματα αυτά διέκοπταν την συνέχεια των στρωμάτων του Πυροκλαστικού σχηματισμού Β, ενώ δεν προεκτείνονται ούτε στους υποκείμενους σχηματισμούς ούτε στους υπερκείμενους. Πρόκειται δηλαδή για μία φάση χαλαρού ρηγματογόνου συνήφαιστειογενούς τεκτονισμού εφελκυστικού χαρακτήρα που έλαβε χώρα κατά τη διάρκεια απόθεσης του συγκεκριμένου σχηματισμού, γεγονός που επιβεβαιώνεται από το ότι σε όλη την Νίσυρο δεν απαντούν ίδιας διεύθυνσης ρήγματα που να τέμνουν άλλους σχηματισμούς.

IV. ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΝΙΣΥΡΟΥ

Όπως διαπιστώνεται στη γεωλογική δομή της Νισύρου εκτός από τις περιορισμένης σημασίας εμφανίσεις των Αλλουβίων, Πλευρικών Κορημάτων και Αποθέσεων της Καλδέρας, λαμβάνουν μέρος αποκλειστικά ηφαιστειακής προέλευσης

σχηματισμοί οι οποίοι προήλθαν από τη δράση του ηφαιστείου κατά το Πλειστόκαινο - Ολόκαινο (FYTIKAS et al. 1976, 1984, WAGNER et al. 1976). Οι εν λόγω σχηματισμοί κάλυψαν το Αλπικό υπόβαθρο (Μεσοζωϊκοί ασβεστόλιθοι) το οποίο ευρίσκεται σύμφωνα με τα δεδομένα των γεωτρήσεων (GEOTHERMICA ITALIANA, 1983 & 1984) σε σημαντικό βάθος (περίπου -500μ).

Με βάση την στρωματογραφική ανάλυση και σύνθεση, την τεκτονική ανάλυση και γενικότερα τα δεδομένα της γεωλογικής -τεκτονικής χαρτογράφησης μπορούν να διακριθούν τα τέσσερα ακόλουθα στάδια εξέλιξης της Νισύρου (Εικ. 15). Κυρίαρχο χαρακτηριστικό αποτελεί η διαπίστωση ότι τα κύρια ρήγματα οριοθετούν ρηξιτεμάχη με ιδιαίτερη στρωματογραφική ηφαιστειοϊζηματογενή διάρθρωση ακριβώς όπως έχει περιγραφεί και στην περίπτωση της Μήλου (ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ κ.α., 1990).

Α. Προ-καλδερικό στάδιο. Αρχικά στον υποθαλάσσιο χώρο της Νισύρου υπήρξε υποθαλάσσια ηφαιστειακή δραστηριότητα η οποία έδωσε ανδεσιτικές λάβες με μορφή pillow (Λάβες Α). Τμήμα των λαβών αυτών εμφανίζεται σήμερα στην ακτή νότια από το Μανδράκι. Στη συνέχεια και μετά από συνεχείς εξόδους ηφαιστειακών υλικών ο ηφαιστειακός κώνος αναπτύχθηκε πάνω από το επίπεδο της θάλασσας και, όπως συμπεραίνεται από την υφιστάμενη σήμερα γεωμετρία των πλευρών του κώνου, το ύψος του έφθανε τουλάχιστο τα 700-800μ ενώ το βάθος του στον υποθαλάσσιο πυθμένα από όπου άρχισε να δημιουργείται είναι περίπου στα -600μ (ΝΟΜΙΚΟΥ, 2004).

Κατά την περίοδο αυτή και μετά από αλληπάλληλες ηφαιστειακές εκρήξεις αποτέθηκαν κατά σειρά οι λάβες Α, Β, C και D διακοπτόμενες από τους πυροκλαστικούς σχηματισμούς Α, Β, C και D και τις κισσήρεις τους. Οι λάβες σχηματίζουν συχνά εντυπωσιακά ρεύματα τα οποία αναπτύχθηκαν πάνω στις επικλινείς πλευρές του ηφαιστειακού κώνου ενώ οι δόμοι στην περιοχή του Εμπορείου φανερώνουν ότι υπήρχε έξοδος ηφαιστειακών υλικών όχι μόνο από το κορυφαίο του κώνου αλλά και από τις πλευρές του.

Η ανάπτυξη τόσο των λαβών όσο και των συνοδών σχηματισμών εκτός από τις παρατηρούμενες συχνές αποσφηνώσεις οριοθετήθηκε σε πολλές θέσεις από ενεργά ρήγματα που ήταν υπεύθυνα για την δημιουργία μορφολογικών εμποδίων - αναβαθμών που δεν ήταν δυνατό να υπερπηδηθούν από τα ρεύματα λάβας. Τα ρήγματα αυτά ήταν κυρίως ορισμένα ρήγματα των ρηξιγενών ζωνών F_1 , F_2 και F_3 κατά μήκος των οποίων οριοθετείται η επιφανειακή εξαπλωση ορισμένων λαβών, πυροκλαστικών σχηματισμών και κισσήρειων.

Β. Συν-καλδερικό στάδιο. Κατά το στάδιο αυτό κυρίαρχο γεγονός ήταν η καταστροφή - εγκατακρήμνιση του ηφαιστειακού κώνου και η δημιουργία της καλδέρας. Η περίοδος αυτή άρχισε με έκχυση σημαντικών ποσοτήτων των Ρυολίθων των Νικιών που ακολουθήθηκαν από την τεράστα έκρηξη και στη συνέχεια την απόθεση της Ανώτερης Κίσσηρης, με αποτέλεσμα να καλυφθούν μεγάλα τμήματα της Νισύρου από τους σχηματισμούς αυτούς. Κατά το στάδιο αυτό έδρασαν πάλι οι ρηξιγενείς ζώνες F_1 , F_2 και F_3 .

Γ. Μετα-καλδερικό στάδιο. Μετά την δημιουργία της καλδέρας ένα μεγάλο τμήμα της καλύφτηκε από τους Ρυοδακίτες του Προφήτη Ηλία που έφθασαν σε υψόμετρο άνω των 700 μ. με συνέχεια στο ΝΔ τμήμα της Νισύρου έξω από την καλδέρα ως την ακτή καταστρέφοντας ένα τμήμα της καλδέρας.

Δ. Σύγχρονο στάδιο. Μετά την έξοδο των Ρυοδακίτων του Προφήτη Ηλία παρατηρούνται μετακινήσεις κατά μήκος των μεγάλων ρηξιγενών ζωνών και συγκεκριμένα των F_1 και F_3 οι οποίες τέμνουν τους Ρυοδακίτες και δημιουργούν μεγάλες μορφολογικές ανωμαλίες καθώς επίσης και των F_2 και F_4 οι οποίες τέμνουν την Ανώτερη Κίσσηρη και τους Ρυολίθους των Νικιών αντίστοιχα. Εκτός από την ενεργοποίηση των μεγάλων ρηξιγενών ζωνών δημιουργούνται και αρκετά δευτερεύοντα ρήγματα με μικρότερα άλματα, τα οποία όμως οριοθετούν σε μικρότερο βαθμό εμφανίσεις ορισμένων σχηματισμών ή ακόμα μεταθέτουν το ίχνος του χείλους της καλδέρας.

Κατά μήκος των μεγάλων ρηξιγενών ζωνών στο χώρο της καλδέρας παρατηρούνται εντονότερες εξαλλοιώσεις και έξοδος θερμών αερίων ενώ στην τομή των δύο ρηξιγενών ζωνών F_2 , F_4 ευρίσκεται ο μεγαλύτερος από τους σύγχρονους φρεατικούς κρατήρες, ο κρατήρας Στέφανος (Εικ. 16).

ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ

Από τη μελέτη των μετρήσεων του διαφορικού γεωδαιτικού δικτύου (DGPS) καθίσταται φανερό ότι η Νίσυρος υφίσταται τεκτονική διεργασία με έντονους ρυθμούς παραμόρφωσης.

Σημαντικές οριζόντιες και κατακόρυφες μετακινήσεις παρατηρήθηκαν στις συντεταγμένες των γεωδαιτικών σταθμών του δικτύου GPS, οι οποίοι είχαν εγκατασταθεί μόνιμα στη Νίσυρο με σημείο αναφοράς έναν σταθμό στη ΒΑ Κω, μετά τη σεισμική δραστηριότητα του 1995-96 (LAGIOS 2000, LAGIOS et al. 2003) (Εικ. 17).

Οι κατακόρυφες μετακινήσεις των σταθμών GPS με τιμές από 14mm μέχρι 140mm έδειξαν μία γενική ανύψωση του μεγαλύτερου τμήματος της Νισύρου. Παρόλο που παρέμεινε ο ανοδικός χαρακτήρας της παραμόρφωσης, μετά το 1998 παρουσιάστηκε μια μείωση της κατακόρυφης συνιστώσας.

Το εύρος της οριζόντιας παραμόρφωσης, κυμαίνεται από 13 έως 53mm, αποκτώντας τις μέγιστες τιμές κατά τη περίοδο 1997-1998. Οι οριζόντιες μετακινήσεις υποδεικνύουν ότι η Νίσυρος «επεκτείνεται» κατά μήκος των δύο κυριότερων συστημάτων ρηγμάτων ΒΑ-ΝΔ και ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης, προς τα δυτικά, νότια και ανατολικά. Σε γενικές γραμμές η μετακίνηση στο μισό βορειοανατολικό τμήμα του νησιού είναι προς τα ΑΒΑ και στο άλλο μισό δυτικό μέρος είναι με ευκρίνεια προς τα ΝΔ.

Με βάση την ανάλυση των κύριων ρηξιγενών ζωνών, των μορφοτεκτονικών παρατηρήσεων και των αποτελεσμάτων της παραμόρφωσης από τις μετρήσεις των γεωδαιτικών στοιχείων, η Νίσυρος χωρίστηκε σε πέντε επιμέρους νεοτεκτο-

νικά ενεργά ρηξιτεμάχη (Εικ. 18) (NOMIKOU et al, 1999, NOMIKΟΥ, 2004).

1. Ρηξιτέμαχος Προφήτη Ηλία. Το ρηξιτέμαχος αυτό καταλαμβάνει όλο το δυτικό τμήμα της Νισύρου και οριοθετείται από τις ρηξιγενείς ζώνες F_1 και F_3 . Δομείται κυρίως από τους Ρυοδακίτες του Προφήτη Ηλία ενώ στο βόρειο τμήμα του, κοντά στο Μανδράκι, κυριαρχούν εναλλαγές Πυροκλαστικών σχηματισμών και Λαβών. Χαρακτηρίζεται από λίγες οριζόντιες καταστροφικές επιφάνειες επιπέδωσης, λόγω του απότομου ανάγλυφου που διαμορφώνουν οι Ρυοδακίτες του Προφήτη Ηλία και μόνο στο βορειοδυτικό τμήμα του υπάρχουν κεκλιμένες επιφάνειες επιπέδωσης, αναπτυγμένες πάνω στην Ανώτερη Κίσσηρη ή σε πυροκλαστικά με γενική κλίση προς τα ΒΔ ακολουθώντας την κλίση των στρωμάτων. Η παρουσία ηφαιστειακών δόμων και μεγάλων μορφολογικών ασυνεχειών, υποδεικνύουν μια έντονη ανοδική κίνηση του ρηξιτεμάχους όπου σύμφωνα και με τις κατακόρυφες μετακινήσεις των γεωδαιτικών στοιχείων DGPS, η μεγαλύτερη τιμή που παρατηρήθηκε στο νησί ήταν 40-60mm το 1998. Επίσης σύμφωνα με την ανάλυση των οριζόντιων μετατοπίσεων των στοιχείων των DGPS, στο ρηξιτέμαχος παρατηρείται μια οριζόντια συνιστώσα η οποία έχει διεύθυνση προς τα ΝΔ με μεγαλύτερη τιμή 20-40 mm κατά το 1997-1998.

2. Ρηξιτέμαχος Αγίας Ειρήνης. Το ρηξιτέμαχος αυτό οριοθετείται από δύο μεγάλες ρηξιγενείς ζώνες F_1 και F_2 και καταλαμβάνει την περιοχή από την Αγία Ειρήνη μέχρι και τους ηφαιστειακούς δόμους στην περιοχή Λακκί (Εικ. 19). Εμφανίζονται κεκλιμένες επιφάνειες επιπέδωσης με κλίση προς τα ΝΔ αναπτυγμένες κυρίως σε πυροκλαστικούς σχηματισμούς ή και σε κίσσηρες ενώ στην περιοχή Λακκί επικρατεί η οριζόντια επιφάνεια απόθεσης μεταξύ των κρατήρων. Το ρηξιτέμαχος αυτό παρουσιάζει το μικρότερο υψόμετρο περιμετρικά της καλδέρας και αποτελεί μια τεκτονική τάφρο με καθοδική κίνηση σε σχέση με το ρηξιτέμαχος του Προφήτη Ηλία. Η κατακόρυφη συνιστώσα των DGPS δείχνει τιμές 0-20mm έως και αρνητικές τιμές βύθισης (-10 mm). Η οριζόντια συνιστώσα αυτού του ρηξιτεμάχους, σύμφωνα με τις μετρήσεις των DGPS, υποδεικνύει μια κίνηση προς τα ΝΝΑ με μέγιστη τιμή 20 mm. Στο ρηξιτέμαχος της Αγίας Ειρήνης ευρίσκεται και το σύνολο σχεδόν των κρατήρων.

3. Ρηξιτέμαχος Αυλάκι. Το ρηξιτέμαχος αυτό οριοθετείται από τις ρηξιγενείς ζώνες F_2 και F_4 στο νότιο τμήμα της Νισύρου στην περιοχή Αυλάκι με κεκλιμένες επιφάνειες αναπτυγμένες κυρίως πάνω στις Λάβες Β, οι οποίες κλίνουν προς τα ΝΝΑ. Σύμφωνα με τις γεωδαιτικές μετρήσεις, χαρακτηρίζεται από μια ενδιάμεση κατακόρυφη κίνηση ενώ η οριζόντια συνιστώσα του υποδεικνύει μια κίνηση του τεμάχους προς τα ΝΝΑ.

4. Ρηξιτέμαχος Νικιών. Καταλαμβάνει κυρίως την εμφάνιση των Ρυολίθων των Νικιών στο νοτιοανατολικό τμήμα του νησιού και οριοθετείται νότια από την ρηξιγενή ζώνη P_4 και δυτικά από την προέκταση της ρηξιγενούς ζώνης F_2 στην περιοχή Λακκί, ενώ βόρεια το όριο του ρηξιτεμάχους ταυτίζεται με την τεκτονική επαφή των Ρυολίθων των Νικιών με τους Πυροκλαστικούς σχηματισμούς. Στο ρηξιτέμαχος παρατηρούνται κεκλιμένες επιφάνειες επιπέδωσης με κλίση

προς τα νοτιοανατολικά ακολουθώντας την κλίση των ρυολίθων. Χαρακτηρίζεται από μικρή σχετικά ανοδική κίνηση σε σχέση με το ρηξιτέμαχος του Προφήτη Ηλία ενώ διακόπτεται και από αρκετά μικρότερα δευτερογενή ρήγματα. Το ρηξιτέμαχος κινείται προς τα ΝΑ, σύμφωνα με την οριζόντια συνιστώσα των γεωδαιτικών μετρήσεων από τα DGPS.

5. Ρηξιτέμαχος Εμπορείου. Καταλαμβάνει όλο το βόρειο τμήμα του νησιού από την ρηξιγενή ζώνη F_3 μέχρι τους Ρυόλιθους των Νικιών. Δομείται κυρίως από πυροκλαστικά, λάβες και κίσηρη ενώ απουσιάζουν σχεδόν οι κεκλιμένες επιφάνειες επιπέδωσης και υπάρχουν μόνο οι οριζόντιες επιφάνειες απόθεσης κατά μήκος των βόρειων και δυτικών ακτών. Χαρακτηρίζεται από μια ενδιάμεση ανοδική ή καθοδική κίνηση ενώ η οριζόντια συνιστώσα των GPS μαρτυρά μια κίνηση του ρηξιτεμάχους προς τα ΝΑ, περίπου ίδια με την οριζόντια κίνηση του ρηξιτεμάχους των Νικιών.

Σύμφωνα λοιπόν με τις γεωδαιτικές μετρήσεις της περιόδου 1997-2001, διαπιστώνεται ότι υπάρχει μια γενική ανύψωση της Νισύρου με μέγιστο 40-60 mm/έτος και ότι τα επιμέρους ρηξιτεμάχη κινούνται με ταχύτητα περίπου 20-40 mm/έτος, προς τρεις διαφορετικές διευθύνσεις, “ανοίγοντας” το νησί.

Η σύγχρονη παραμόρφωση της Νισύρου όπως αυτή αποδίδεται με την περιγραφή των κινήσεων των ρηξιτεμαχών επιβεβαιώνεται πλήρως και από την έντονη σεισμική δραστηριότητα της περιόδου 1996-1999 κατά την οποία εκδηλώθηκαν εκατοντάδες σεισμοί μεγέθους ως 5.2R (PAPADOPOULOS, et.al, 1998). Μεγάλος αριθμός επικέντρων διατάσσονται κατά μήκος της ρηξιγενούς ζώνης F_3 κυρίως στον υποθαλάσσιο χώρο, ενώ στο χερσαίο χώρο εμφανίστηκε διάρρηξη (Εικ. 20) μήκους ενός περίπου χιλιομέτρου η οποία προκάλεσε ζημιές σε κατοικίες στο Μανδράκι, όταν ενεργοποιήθηκε τον Ιούλιο του 1996 (IOANNIDIS, 1998). Η διάρρηξη αυτή συνεχίστηκε και στον υποθαλάσσιο χώρο του διαύλου Γυαλιού-Νισύρου όπου και επιβεβαιώθηκε με υποθαλάσσιες έρευνες (ΝΟΜΙΚΟΥ & ΡΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ, 2000, ΡΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ & ΝΟΜΙΚΟΥ, 2001). Το παραπάνω σεισμικό γεγονός συμπίπτει με την τεκτονική ζώνη F_3 που με βάση τα γεωδαιτικά στοιχεία παρουσιάζει τη μεγαλύτερη διαφορά κίνησης τόσο στην κατακόρυφη όσο και στην οριζόντια συνιστώσα.

Η αλλαγή διεύθυνσης της κίνησης των ρηξιτεμαχών γίνεται ακτινωτά γύρω από το σημείο διατομής των ρηξιγενών ζωνών $F_1 - F_3$ περίπου στο κέντρο του αρκετά γεωμετρικού ηφαιστείου της Νισύρου.

ΓΕΩΡΓΑΛΑΣ, Γ. (1958). Η νήσος Νίσυρος. "Νισυριακά Χρονικά". Τεύχη 21,22, 23, Αθήνα.

BARBERI, F., NAVARRO, J.M., ROSI, M., SANTACROCE, R. & SBRANA, A. (1988). Explosive interaction of magma with ground water: insights from xenoliths ad geothermal drillings. *Rendiconti della Societa Italiana di Mineralogica e Petrologica* 43, 901-926.

BOHLA, M. & KELLER, J. (1987). Petrology of plinian eruptions of Nisyros volcano, Hellenic Arc. *Terra Cognita* 7, p.171.

BOΥΓΙΟΥΚΑΛΑΚΗΣ, Γ. (1993). Ηφαιστειακή στρωματογραφία και εξέλιξη της νήσου Νισύρου. 6ο Συν. Ελλ. Γεωλ. Εταιρ., 1992. Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Εταιρ. 28/2, 239-258, Αθήνα.

BROMBACH, T. (2000). Fluid geochemistry of hydrothermal systems in volcanic island arcs: Guadeloupe (Lesser Antilles) and Nisyros (Greece). Ph.D. Thesis, Lausanne Univ.

BROMBACH, T., CARDELLINI, C., CHIODINI, G., HUNZIKER, J.C. & MARINI, L. (2001). Soil diffuse degassing and thermal energy fluxes from the southern Lakki plain, Nisyros (Greece). *Geophys. Res. Letters* 28, No1, p.69-72.

CHIODINI, G., CIONI, R., LEONIS, C., MARINI, L. & RACO, B. (1993). Fluid geochemistry of Nisyros island, Dodecanese, Greece. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 56, p.95-112.

CHIODINI, G., BROMBACH, T., CALIRO, S., CARDELLINI, C., MARINI, L. & DIETRICH, V. (2002). Geothermal indicators of possible ongoing volcanic unrest at Nisyros Island (Greece) *Geophys. Res. Lett.*

DAVIS, E.N., (1967). Zur Geologie und Petrologie der Inseln Nisyros und Jali (Dodecanes). *Praktika Acad. Athens*, 42, p.235-252.

DAWES, G.J.K & LAGIOS, E. (1991). A magnetotelluric survey of the Nisyros geothermal field. *Geothermics*, Vol. 20, No4, p 225-235.

DESIO, A., (1931). Le isole italiane dell' Egeo. *Memr. Carta Geol. d' Italia*, 24.

DI PAOLA, U. (1974). Volcanology and Petrology of Nisyros Island (Dodecanese, Greece). *Mem. Inst. Geol. Univ. Padova* 7.

DOTSIKA, E. (1992). Utilisation du geothermometre isotopique sulfate-eau en milieu de haute temperature sous influence marine potentielle: les systems geothermaux de Grece. *These en Sciences, Universite Paris, Sud*, No 1781.

FRANCALANCI, L., VAREKAMP, J.C., VOUGIOUKALAKIS, G., DEFANT, M.J., INNOCENTI, F. & MANETTI, P. (1995). Crystal retention, fractionation and crustal assimilation in a convecting magma chamber, Nisyros volcano, Greece. *Bulletin of Volcanology*. 56(8), p 601-620.

FYTIKAS, M. GIULIANI, O., INNOCENTI, F., MARINELLI, G. and MAZZUOLI, R.

(1976). Geochronological data on recent magmatism of the Aegean sea. *Tectonophysics*, 31, 29-34.

FYTIKAS, M., INNOCENTI, F., MANETTI, P., MAZZUOLI, R., PECERILLO, A. and VILLARI, L. (1984). Tertiary to Quaternary evolution of volcanism in the Aegean region. In: *Geological Evolution of the Eastern Mediterranean*, Geol. Soc., Sp. Publ., 17, 687-699.

GEOTERMICA ITALIANA (1983): Nisyros 1 geothermal well. PPC-EEC report, p 1-106.

GEOTERMICA ITALIANA (1984): Nisyros 2 geothermal well. PPC report, p 1-44.

HARDIMAN, J.C. (1999). Deep sea tephra from Nisyros Island, eastern Aegean Sea, Greece. In: FIRTH, C.R. & McGUIRE, W.J. (eds). *Volcanoes in the Quaternary*. Geol. Soc. (London), Spec. Publ. 161, 69-88.

IOANNIDIS, K. (1998): Nisyros Island: Observed damages to buildings in Mandraki. Newsletter, European Center on Prevention and Earthquakes, 2: 33-35.

KAVOURIDIS, T., KURIS, D., LEONIS, C., LIBEROPOULOU, V., LEONTIADIS, J., PANICHI, C., LA RUFFA, G. & CAPRAI, A. (1999). Isotope and chemical studies for a geothermal assessment of the island of Nisyros (Greece). *Geothermics*, 28(2), 219-239.

KELLER, J., GILLOT, P.Y., REHREN, T.H. & STADLBAUER, E. (1989). Chronostratigraphic data for the volcanism in the eastern Hellenic arc Nisyros and Kos. *Terra Abstracts* 1, p. 354.

KELLER, J., REHREN, T. & STADLBAUER, F. (1990). Explosive volcanism in the Hellenic Arc; a summary and review. *Thera and the Aegean World, III; Volume II, Earth sciences*. Thera Foundation. London, International. p 13-26.

ΛΑΓΙΟΣ, Ε. (1991). Μαγνητελλουργική έρευνα δομής του γεωθερμικού πεδίου Νισύρου. 5ο Συν. Ελλ. Γεωλ. Εταιρ., 1990, Δελτίο Ελλ. Γεωλ. Εταιρ., 25/3, 393-407, Θεσ/κη.

LAGIOS, E. & APOSTOLOPOULOS, G. (1995). Integrated geophysical study of the geothermal system in the southern part of Nisyros Island, Greece. *Journal of Applied Geophysics* 34, p.55-61.

LAGIOS, E. (2000). Intense crustal deformation rates on Nisyros Island (Greece), deduced from GPS studies, may foreshadow a forthcoming volcanic event. In: S. Balassanian, A. Cisternas and M. Melkumyan, Editors, *Proc. 2nd Int. Conf. on Earthquake Hazard and Seismic Risk Reduction*, Kluwer, Dordrecht p.249-259.

LAGIOS, E., SAKKAS, V., PARCHARIDIS, Is. & DIETRICH, V. (2003). Ground deformation of Nisyros Volcano (SE Aegean Volcanic Arc) 1995-2002, *Bulletin of Volcanology*, in press.

LIMBURG, E.M. & VAREKAMP, J.C. (1984). Volcanology of Nisyros, Greece. *EOS* 65: 1146.

LIMBURG, E.M. & VAREKAMP, J.C. (1991). Young pumice deposits on Nisyros, Greece. *Bulletin of Volcanology*, 54(1), p 68-77.

MARINI, L., PRINCIPE, C., CHIODINI, G., CIONI, R., FYTIKAS, M. &

MARINELLI, G. (1993). Hydrothermal eruptions of Nisyros (Dodecanese, Greece). Past events and present hazard. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 56(1-2), p 71-95.

MARINI, L., GAMBARDELLA, B., PRINCIPE, C., ARIAS, A., BROMBACH, T. & HUNZIKER, J.C. (2002). Characterization of magmatic sulfur in the Aegean island arc by means of the $\delta^{34}\text{S}$ values of fumarolic H_2S , elemental S and hydrothermal gypsum from Nisyros and Milos islands. *Earth Planet. Sci. Lett.* 200: 15-31.

MARTELLI, A., (1917). Il gruppo erittivo di Nisiro nel mare Egeo. *Mem. Soc. Ital. Sc. delta del XL, Serie 3a. T. XX.*

NOMIKOU, P., PAPANIKOLAOU, D. & LAGIOS, E. (1999): Seismic and Volcanic Hazard in Nisyros, based on Neotectonic Analysis and G.P.S. Measurements. *E.U.G.10, Strasbourg, J.Conf. Abs., 4, 547-548.*

NOMIKOU, P. & PAPANIKOLAOU D. (2000): Active Geodynamics at Nisyros, the eastern edge of the Aegean Volcanic Arc: emphasis on submarine surveys. From Panayides, I., Xenophontos, C. and Malpas, J., (2000), *Proceedings of the third International Conference on the Geology of the Eastern Mediterranean*, p.97-103.

NOMIKOY, Π. (2004). Συμβολή στη γεωδυναμική των Δωδεκανήσων: Ο υποθαλάσσιος χώρος των νήσων Κω – Νισύρου. Διδακτορική διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών.

PARCHARIDIS, IS. & LAGIOS, E. (2001). Deformation in Nisyros Volcano (Greece) using Differential Radar Interferometry. *Bull. Geol. Soc. Greece*, 34/4, 1587-1594.

ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ, Δ. & ΛΕΚΚΑΣ, Ε. (1989). Τεκτονική Ανάλυση του Γεωθερμικού πεδίου της Νισύρου. Τεχνική έκθεση ΔΕΜΕ/ΔΕΗ.

ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ, Δ., ΛΕΚΚΑΣ, Ε. με τη συμβολή του ΣΑΚΕΛΑΡΙΟΥ, Δ. (1991). Γεωλογική δομή και εξέλιξη του ηφαιστείου της Νισύρου. 5ο Επιστημονικό Συνέδριο της Ελλην. Γεωλ. Εταιρείας 1990, Δελτ. Ελλην. Γεωλ. Εταιρείας, Τομ. XXV/1, 405-419, Θεσσαλονίκη.

ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ, Δ., ΛΕΚΚΑΣ, Ε. και ΣΥΣΚΑΚΗΣ, Δ. (1990). Τεκτονική ανάλυση του Γεωθερμικού Πεδίου της νήσου Μήλου. Δελτίο Ελλην. Γεωλ. Εταιρ., Τομ. XXIV, 27-46.

PAPANIKOLAOU, D. & NOMIKOU, P. (2001). Tectonic structure and volcanic centres at the eastern edge of the Aegean Volcanic Arc around Nisyros island. *Bull. Geol. Soc. of Greece*, Vol. XXXIV/1, 289-296.

REHREN, TH. (1988). Geochemie und Petrologie von Nisyros (Oestliche Agais). Phd Thesis Univ. Freiburg.

SEYMOUR St.K. & VLASSOPOULOS, D. (1989). The potential for future explosive volcanism associated with dome growth at Nisyros, Aegean volcanic arc, Greece. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 37 (3-4), p.351-364.

SEYMOUR St.K & VLASSOPOULOS, D. (1992). Magma mixing at Nisyros volcano, as inferred from incompatible trace-element systematics. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 50(3), p.273-299.

VINCI, A. (1983a). A new ash layer "Nisyros-layer" in the Aegean Sea sediments. *Bollentino di Oceanologia Teorica ed Applicata* 1: 341-342.

VINCI, A. (1983b). Composition of pumice layers in Aegean deep-sea sediments and correlation with Minoan eruption. *Bolletino di Oceanologia Teorica ed Applicata* 1: 231-238.

VINCI, A. (1985). Distribution and chemical composition of tephra layers from eastern Mediterranean abyssal sediments. *Marine Geology*. 64(1-2), pp 143-155.

VOLENTIK, A., VANDERKLUYSEN, L & PRINCIPE, C. (2002). Stratigraphy of the Caldera walls of Nisyros volcano, Greece. *Eclogae geol. Helv.* 95, p.223-235.

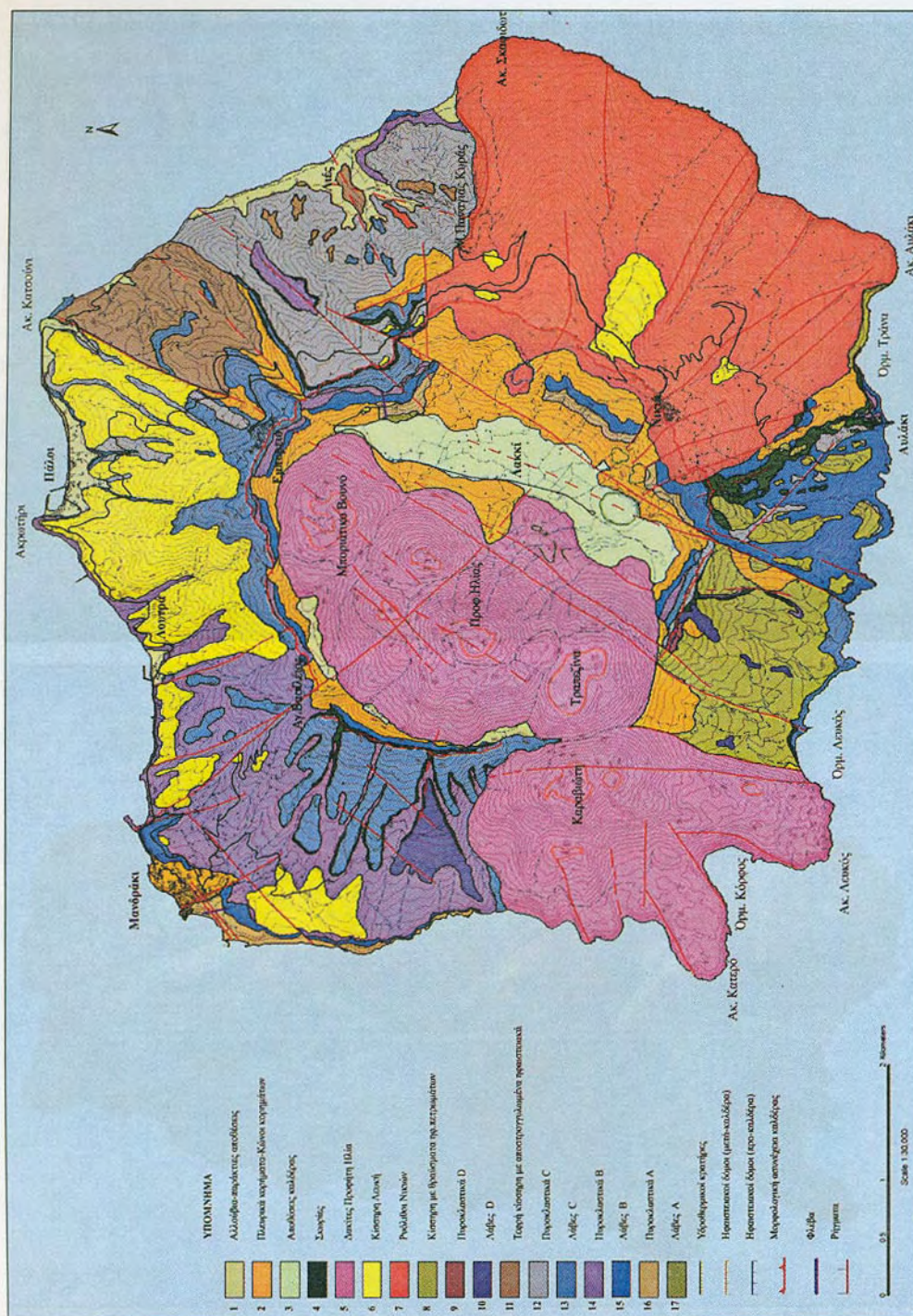
WAGNER, G.A., STORZER, D. & KELLER, J. (1976). Spaltspurendatierungen quartärer Gesteinsgläser aus dem Mittelmeerraum. *N. Jb. Miner., Mh.*, 84-94.

WYERS, G.P. & BARTON, M. (1989). Polybaric evolution of calc-alkaline magmas from Nisyros, southeastern Hellenic Arc, Greece. *Journal of Petrology*. 30(1), p 1-37.





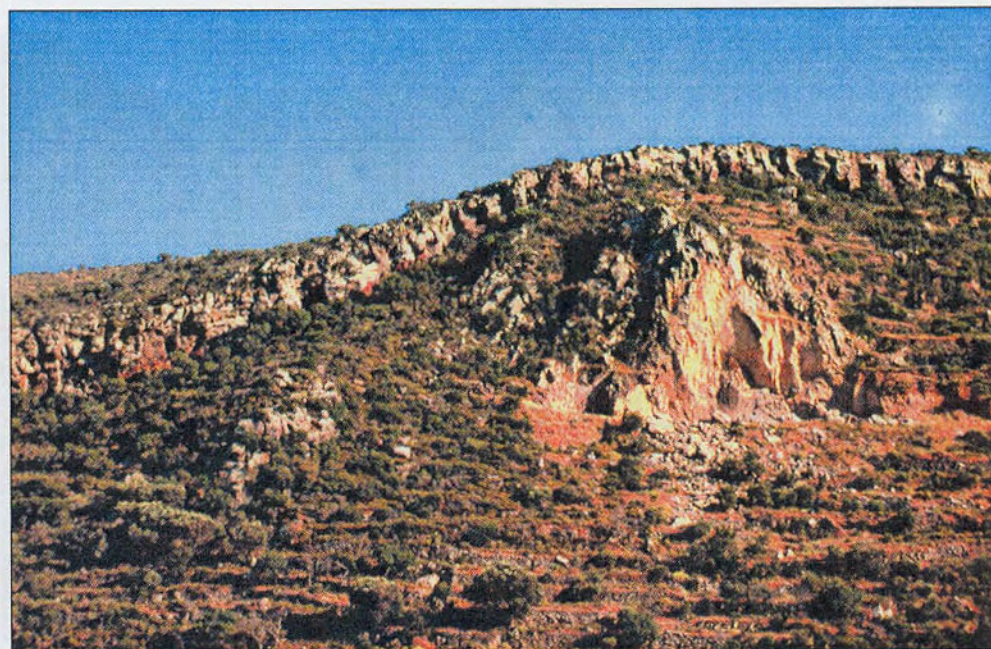
Εικ. 1 Απόψεις του κώνου του ηφαιστείου της Νισύρου από τα βόρεια (πάνω) και επεξεργασμένο ψηφιακό μοντέλο εδάφους σε παρατήρηση από τα νότια (κάτω).



Εικ. 2 Γεωλογικός χάρτης της Νισύρου (ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ κ.α.1991, ΝΟΜΙΚΟΥ, 2004).



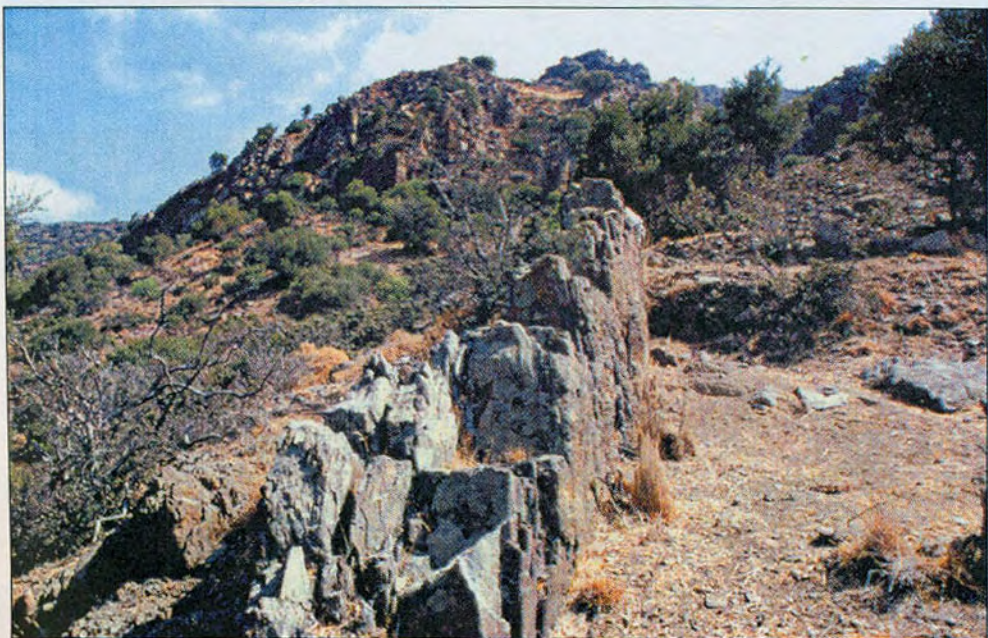
Εικ. 3 Άποψη των Ρυοδακτιών του Προφήτη Ηλία και ενός ηφαιστειακού λαιμού που αναπτύσσεται στο νότιο τμήμα της εμφάνισής τους (βέλος).



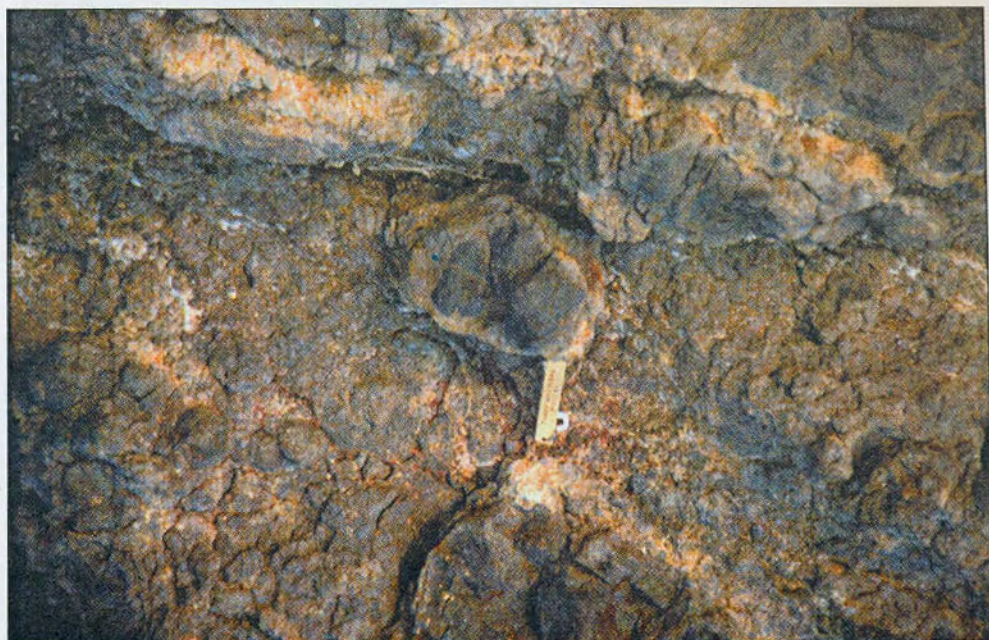
Εικ. 4 Άποψη εντυπωσιακού ρεύματος των Λαβών C που αναπτύσσεται πάνω από έναν ηφαιστειακό δόμο των λαβών B, στην ΒΑ εξωτερική πλευρά του ηφαιστειακού κώνου.



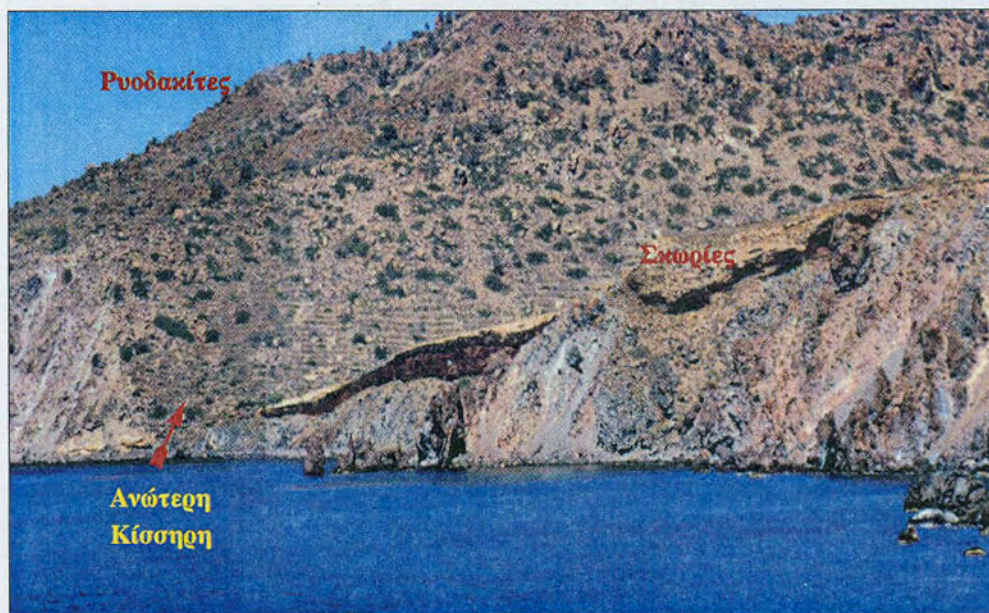
Εικ. 5 Εμφάνιση των Πυροκλαστικών Β που περιλαμβάνουν εναλλαγές από στρώματα ψαμιμιτών, ανοιχτόχρωμων ψαμιμιτών και μαύρης κίσηρης στην τοποθεσία Αυλάκι.



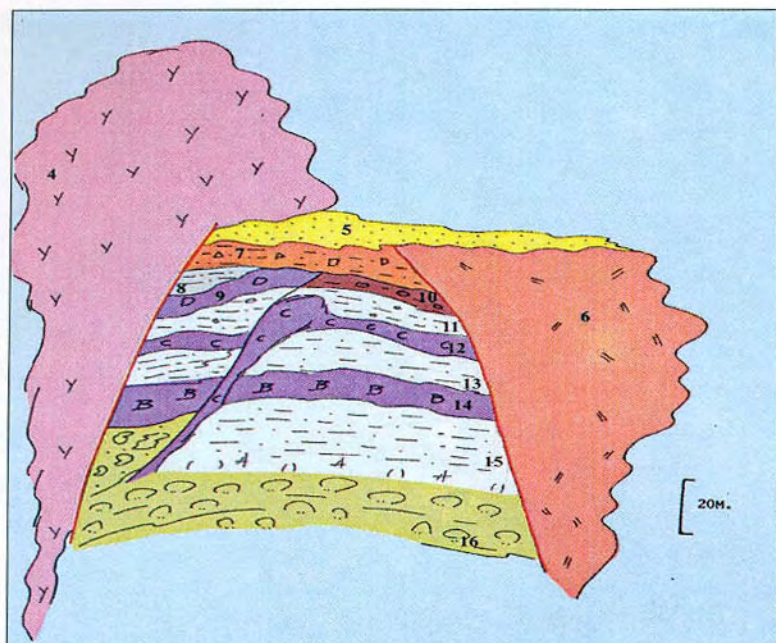
Εικ. 6 Φλέβα η οποία ξεκινά από τη Λάβα Α, στο βορειοανατολικό ηρανές της καλδέρας και τροφοδοτεί τη Λάβα Β διαπερνώντας τα Πυροκλαστικά Α.



Εικ. 7 Αποψη των Ανδεσιτικών Λαβών Α με μορφή pillow σε εμφάνιση στη νότια πλευρά της Παναγιάς της Σπηλιανής στο Μανδράκι.

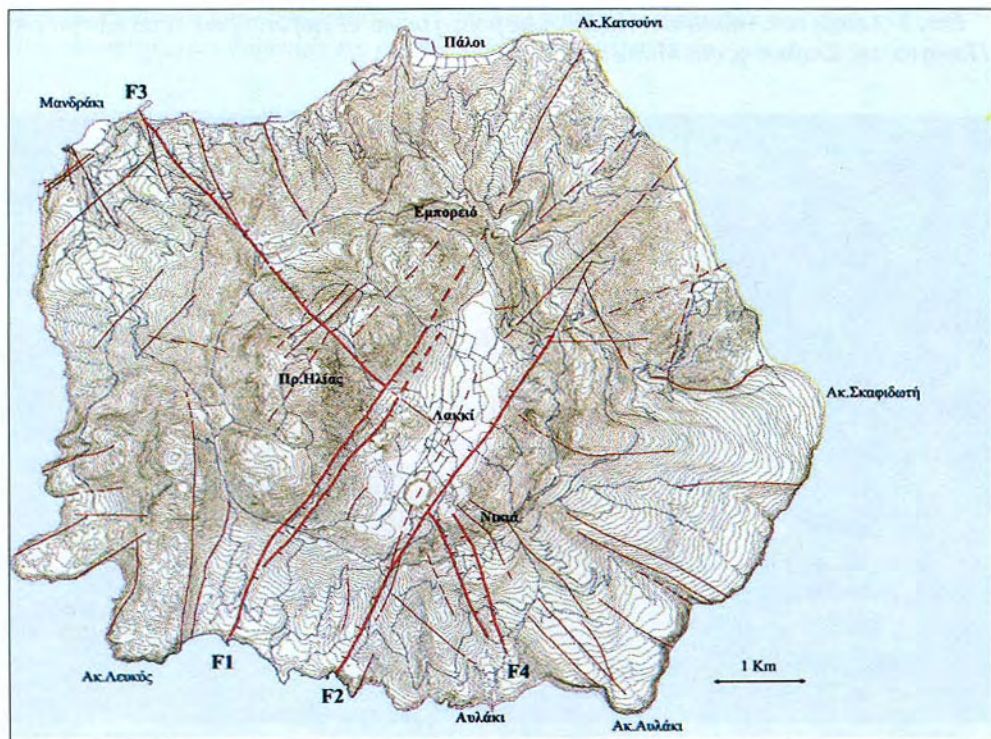


Εικ. 8 Εντυπωσιακή εμφάνιση Σκωρίας, στον όρμο Αγίας Ειρήνης στη νότια ακτή, η οποία καλύπτει τις Λάβες C, ενώ καλύπτεται από τους Ρυοδακίτες του Προφήτη Ηλία και την Ανώτερη Κίσηση.

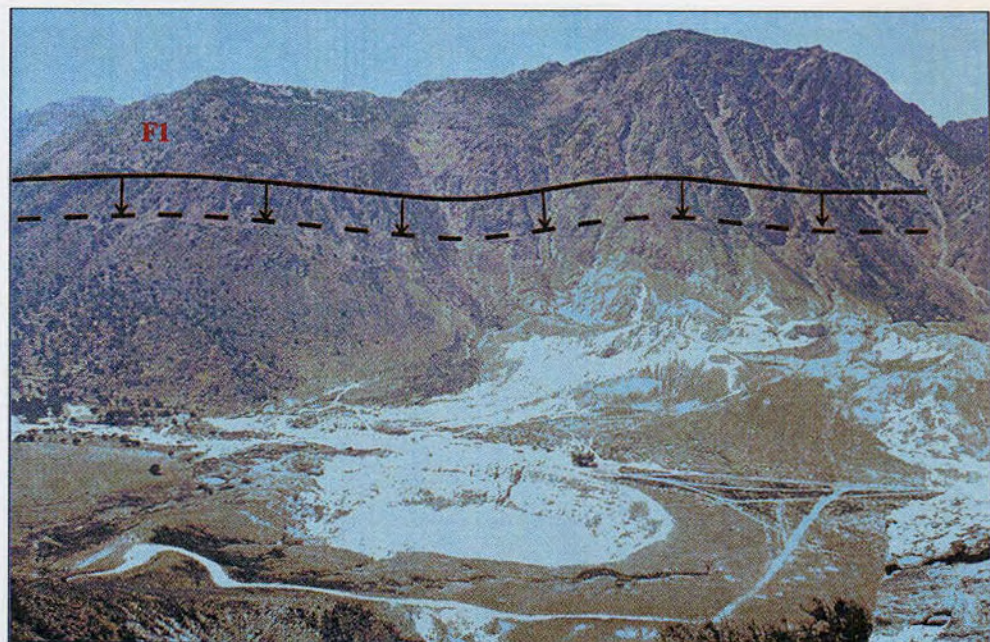


Εικ. 9 Συνθετική στρωματογραφική στήλη των ηφαιστειακών σχηματισμών της Νισύρου. Οι αριθμοί αντιστοιχούν στους αριθμούς του υπομνηματός του Γεωλογικού Χάρτη της Εικόνας 2

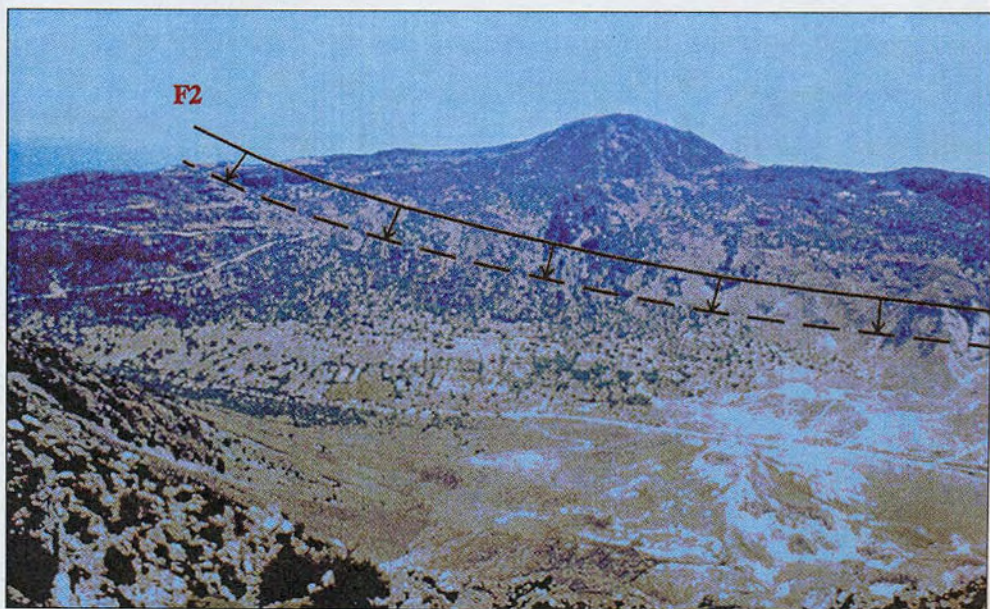
(κατά ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ κ.α.1991).



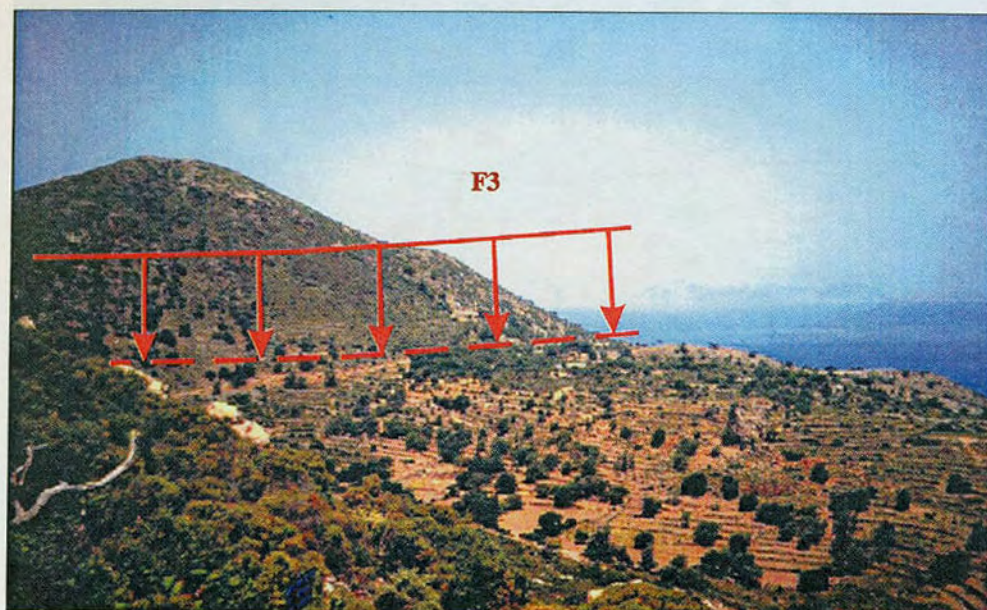
Εικ. 10 Τεκτονικός χάρτης με τις τέσσερις μεγάλες ρηξιγενείς ζώνες (F1, F2, F3, F4) και τα πολλά δευτερεύοντα ρήγματα της Νισύρου.



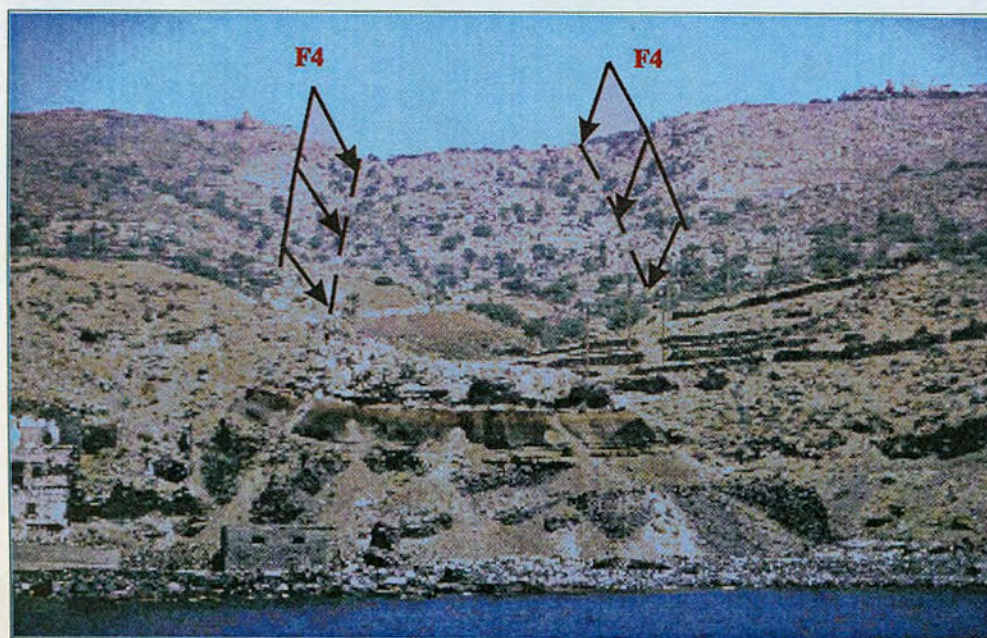
Εικ. 11 Άποψη της ρηξιγενούς ζώνης F1 η οποία αναπτύσσεται στην δυτική πλευρά της καλδέρας και οριοθετεί ή μεταθέτει σχηματισμούς τόσο στο εσωτερικό όσο και στο εξωτερικό τμήμα του ηφαιστειακού κώνου.



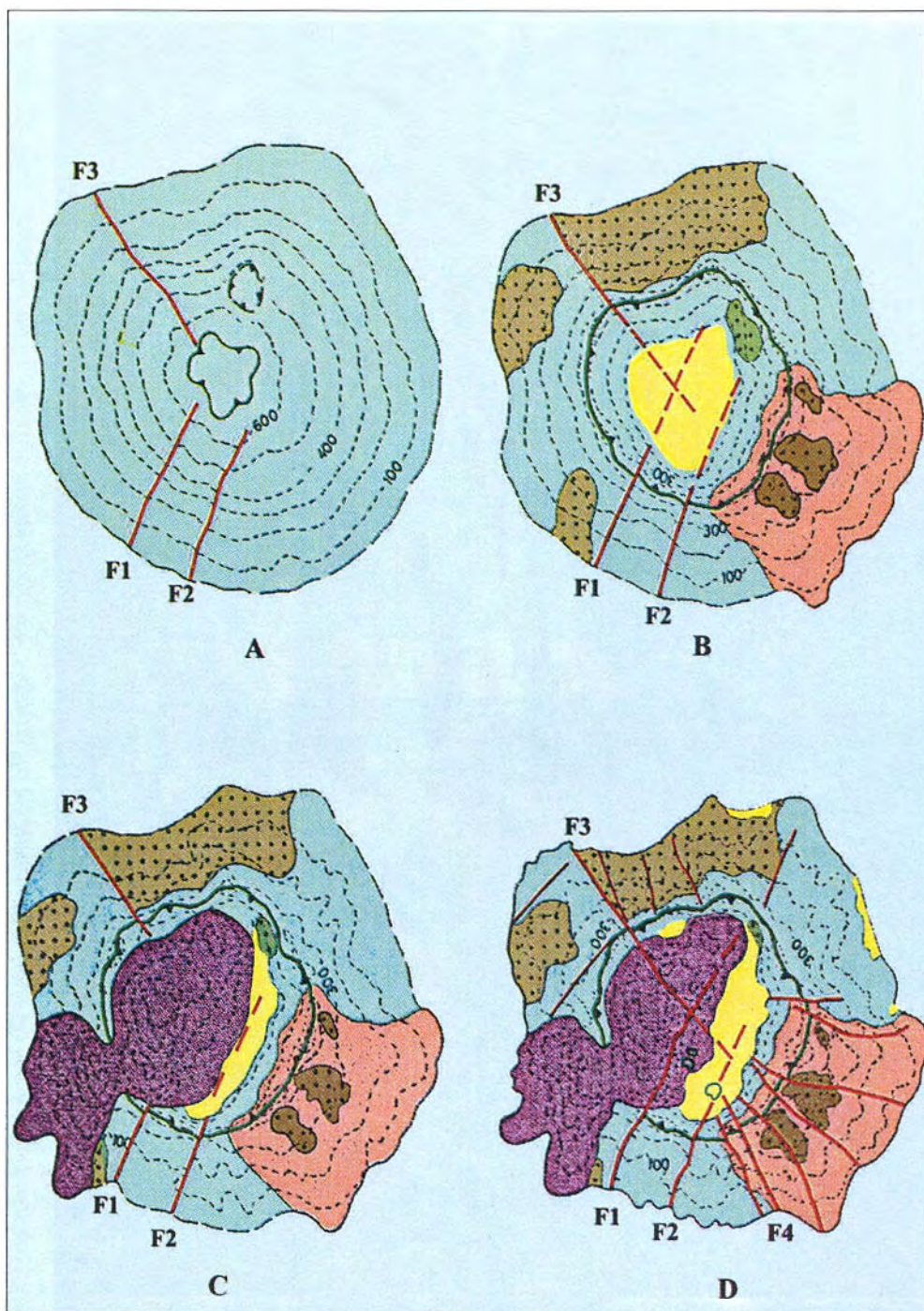
Εικ. 12 Άποψη της ρηξιγενούς ζώνης F2 η οποία αναπτύσσεται στην ανατολική πλευρά της καλδέρας και οριοθετεί ή μεταθέτει σχηματισμούς τόσο στο εσωτερικό όσο και στο εξωτερικό τμήμα του ηφαιστειακού κώνου.



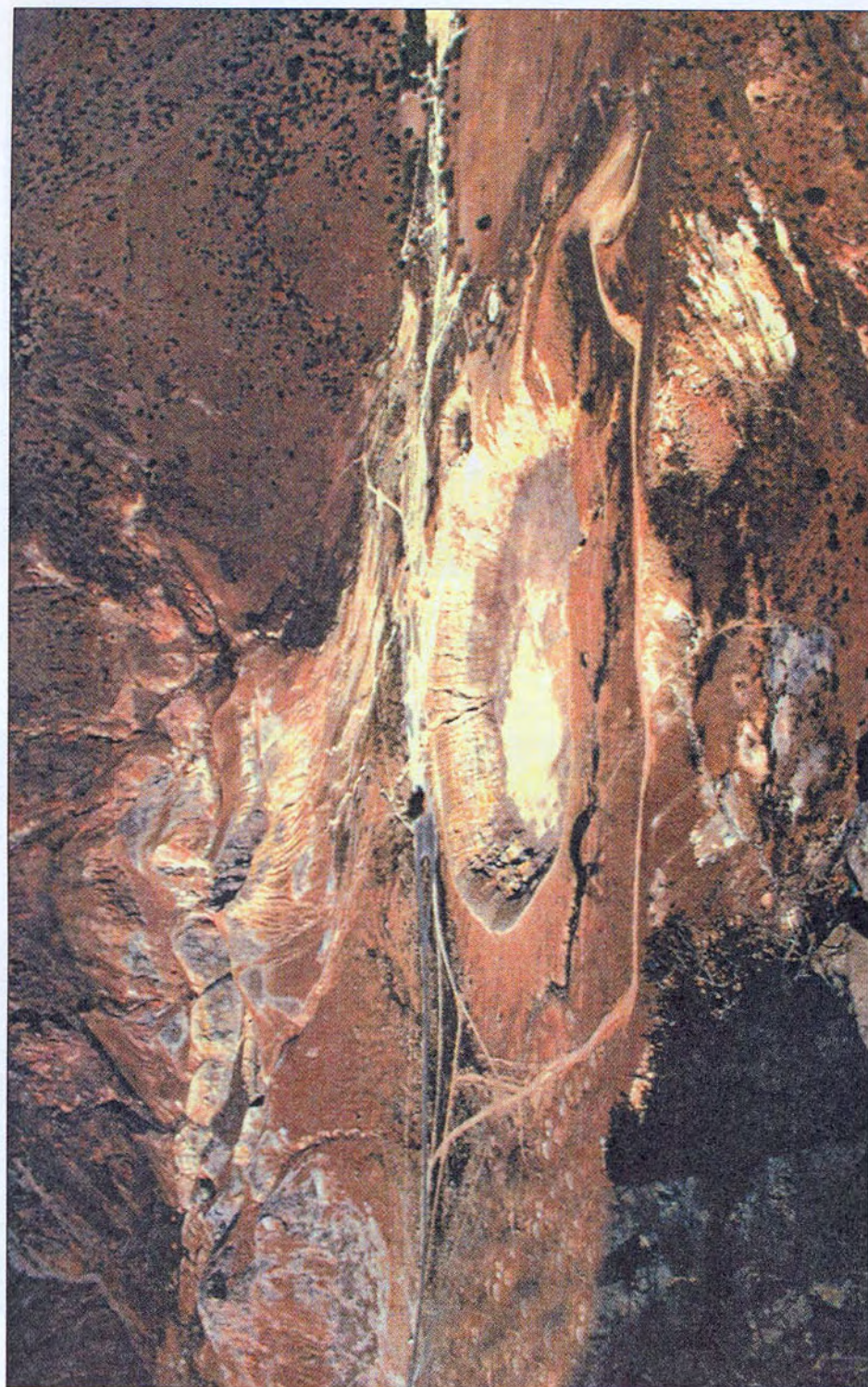
Εικ. 13 Η ρηξιγενής ζώνη F3 με διεύθυνση $B40^\circ$ κλίση $70^\circ-80^\circ$ προς ΒΑ τέμνει σχηματισμούς τόσο έξω από την καλδέρα όσο και στο εσωτερικό της.



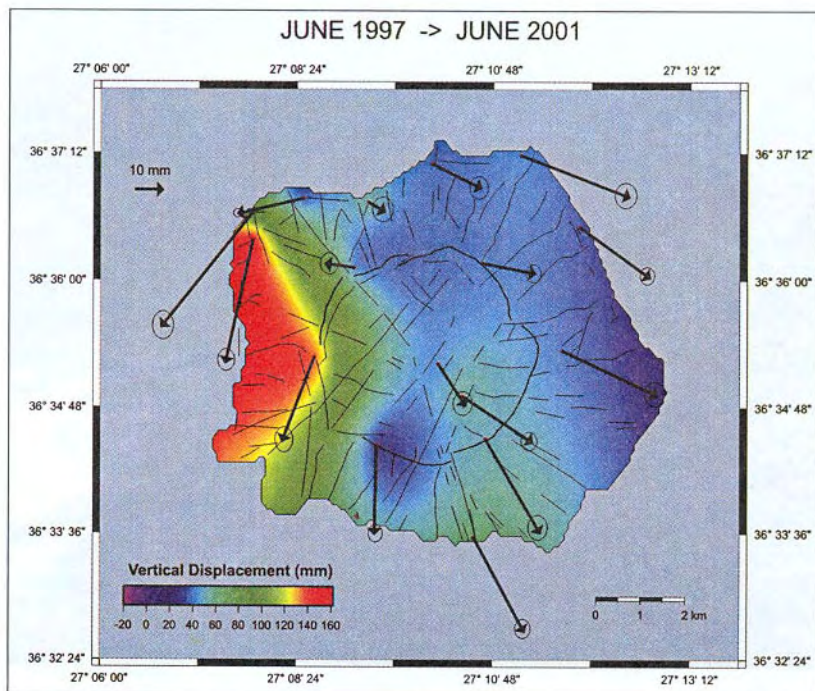
Εικ. 14 Η ρηξιγενής ζώνη F4 η οποία δημιουργεί ένα τεκτονικό βύθισμα με διεύθυνση $B20^\circ$ Δ νοτιοδυτικά-των Νικιών.



Εικ. 15 Τα τέσσερα διαδοχικά στάδια της εξέλιξης του ηφαιστείου της Νισύρου (κατά ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ κ.α.1991).

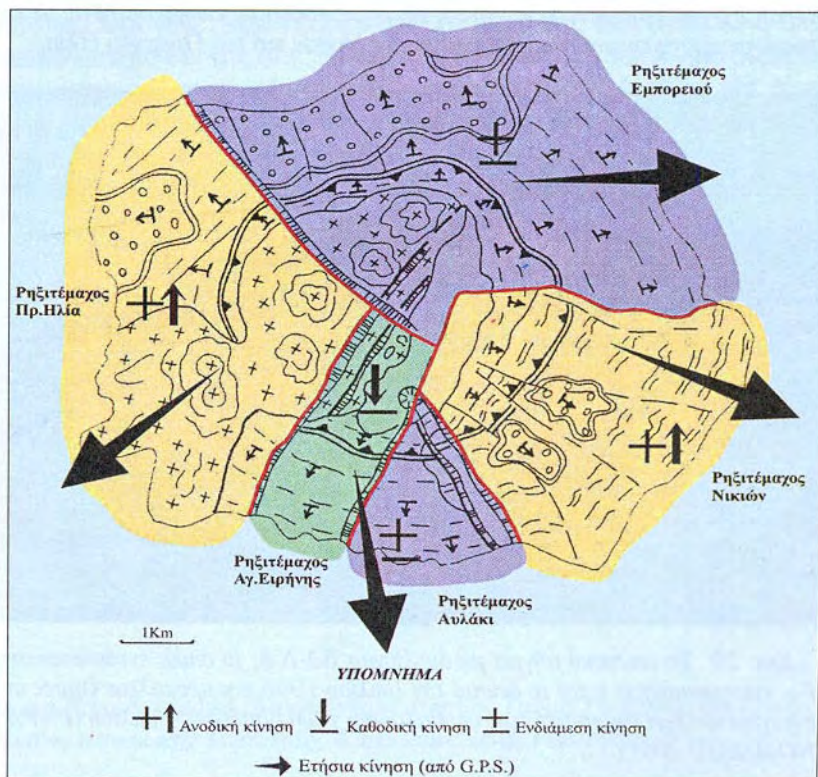


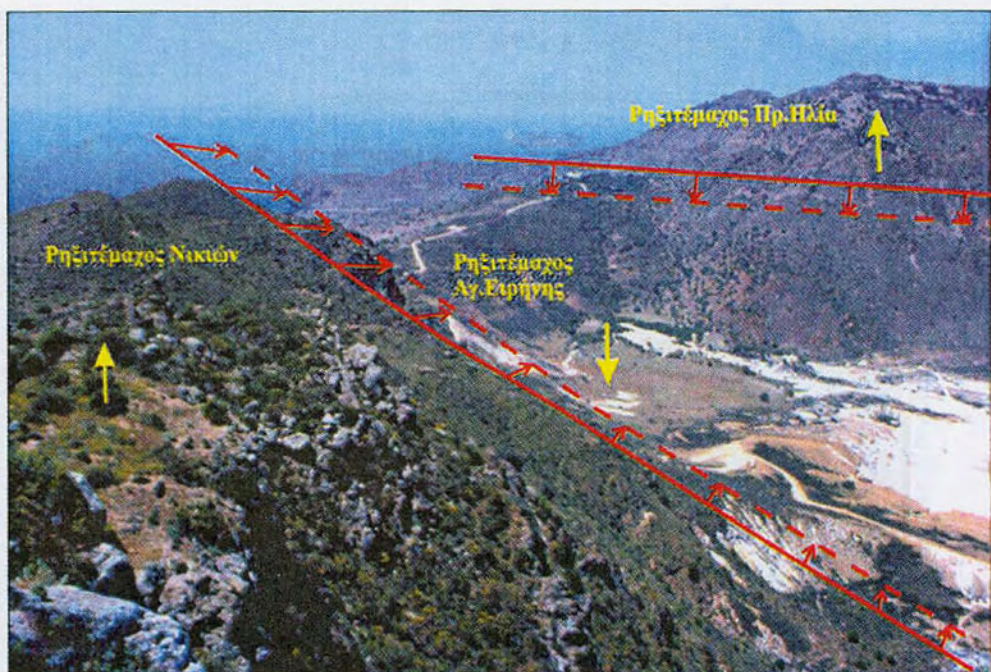
Εικ. 16 Αποψη του κρατήρα Στέφανος της Νισύρου στο εσωτερικό της καλδέρας, ο οποίος βρίσκεται στη συμβολή των ρηξιγενών ζωνών F2 και F4.



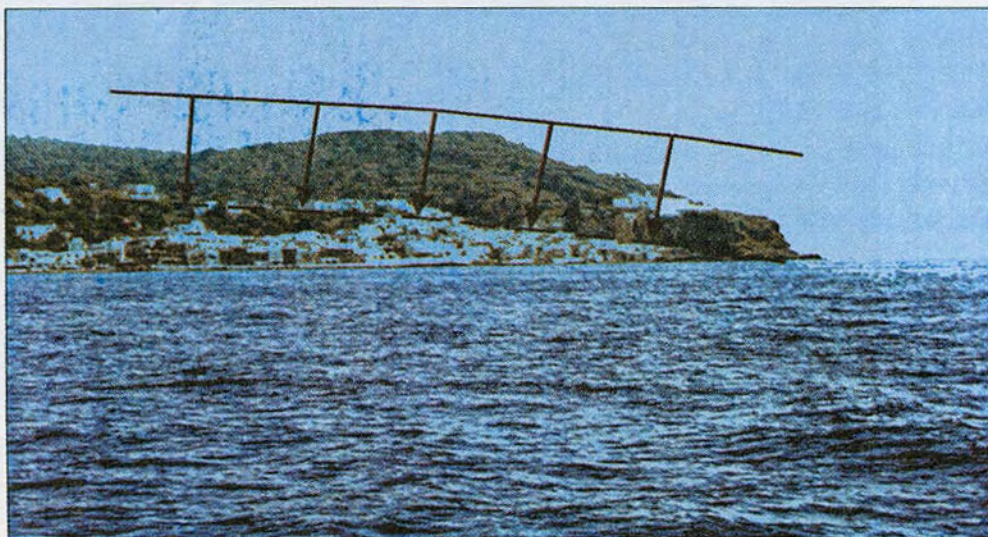
Εικ. 17
Οριζόντιες και κατακόρυφες μετακινήσεις από γεωδαιτικές μετρήσεις DGPS για την περίοδο 1997-2001 με σταθερό σημείο στην Κω. Η οριζόντια μετακίνηση παρονοιάζεται με βέλη ενώ η κατακόρυφη μετακίνηση με χρωματικές εναλλαγές (LAGIOS *et al.* 2003).

Εικ. 18 Οι κατακόρυφες και οριζόντιες κινήσεις στα ρηξιτεμάχια της Νισύρου (NOMIKOU *et al.*, 1999, NOMIKΟΥ, 2004).





Εικ. 19 Το ρηξιτέμαχος της Αγίας Ειρήνης οριοθετείται από τις δύο μεγάλες ρηξιγενείς ζώνες F1 και F2 και αποτελεί μια τεκτονική τάφρο με καθοδική κίνηση σε σχέση με τις ανοδικές κινήσεις που παρατηρούνται στα ρηξιτεμάχη των Νικιτών και του Προφήτη Ηλία.



Εικ. 20 Το σεισμικό ρήγμα με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ, το οποίο εντάσσεται στη ρηξιγενή ζώνη F₃, ενεργοποιήθηκε κατά το σεισμό του Ιουλίου 1996 και προκάλεσε ζημιές στο Μανδράκι. Η συνέχειά του έχει εντοπιστεί στον υποθαλάσσιο χώρο Νισύρου - Γυαλιού (PAPANIKOLAOU & ΝΟΜΙΚΟΥ 2001).