

ΣΥΝΕΔΡΙΑ ΤΗΣ 24<sup>ΗΣ</sup> ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΥ 1991

ΠΡΟΕΔΡΙΑ ΙΩΑΝΝΟΥ ΤΟΥΜΠΑ

---

ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΑ.— *Τάση κατανομής του σεισμικού δυναμικού κατά μήκος της νήσου Κρήτης, υπό του 'Ακαδημαϊκού κ. 'Αγγέλου Γ. Γαλανοπούλου\**.

#### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε μιὰ χώρα πολλαχῶς διερρηγμένη μετ' μεγάλο ἀριθμὸ μεσογειακῶν καὶ παρακτίων ἐγκατακρημνισιγενῶν λεκανῶν, μεγάλη ἔκταση πλειοκαινικῶν καὶ μεταπλειοκαινικῶν χαλαρῶν σχηματισμῶν, ὅπως καὶ πρόσφατων προσχώσεων, καὶ πλῆθος οἰκισμῶν ἐπὶ κορημάτων ὀρεινῶν κλιτύων καὶ προσχωσιγενῶν κόνων, ὅπως εἶναι ἡ Ἑλλάδα, ὅλοι οἱ οἰκισμοί, στὴν μακρὰ πορεία τοῦ χρόνου, διατρέχουν τὸν κίνδυνον νὰ ὑποστοῦν ἀξιόλογες σεισμικὲς βλάβες τοῦ αὐτοῦ περίπου βαθμοῦ τῆς μακροσεισμικῆς κλίμακας ἐντάσεων, ὑπὸ ὅμοιες δομικὲς συνθῆκες.

Μετ' αὐτὸ τὸ δεδομένο, ἡ σεισμικὴ ἐπικινδυνότητα μιᾶς περιοχῆς δὲν μπορεῖ νὰ ὀρισθεῖ ἀκριβῶς μόνον ἀπὸ τὸ μέγιστο ἀναμενόμενο μέγεθος σειсмоῦ, ἀλλὰ πρέπει νὰ ἔχει καθορισθεῖ γιὰ τὴν περιοχὴ αὐτὴ καὶ ὁ μέσος χρόνος ἐπαναλήψεως ὁμοιόβαθμων σεισμῶν, ὅπως καὶ ὁ μέγιστος χρόνος ἀναμονῆς ἀνάλογου σειсмоῦ ἀπὸ τὸν προηγούμενο τῆς αὐτῆς τάξεως μεγέθους. Δηλαδή, γιὰ νὰ καθορισθεῖ ἀκριβῶς τὸ σεισμικὸ δυναμικὸ μιᾶς περιοχῆς πρέπει νὰ γνωρίζουμε, ἐκτὸς ἀπὸ τὸν μέσο χρόνο ἐπαναλήψεως σεισμῶν ὀρισμένης τάξεως μεγέθους, καὶ τὸν μέγιστο χρόνο ἀναμονῆς αὐτῶν ἀπὸ τὸν προηγούμενο σεισμὸ τῆς αὐτῆς τάξεως μεγέθους. Στὴν πράξη περισσότερο ἐνδιαφέρον περυσιάζει ἡ γνώση τῶν στοιχείων αὐτῶν γιὰ τοὺς σεισμοὺς ποὺ εἶναι δυνατὸν, ὑπὸ ὀρισμένες γεωλογικὲς καὶ δομικὲς συνθῆκες, νὰ προκαλέσουν βλάβες

---

\* A. G. GALANOPOULOS, *Earthquake Potential Trend Along the Island of Crete.*

VI βαθμοῦ καὶ ἄνω (λ.χ. με μέγεθος  $M_s \geq 5 \frac{1}{2}$ ), ἢ καὶ καταστροφές VIII βαθμοῦ καὶ ἄνω (λ.χ. με μέγεθος  $M_s \geq 7$ ).

Ἡ σεισμικὴ ἀπειλὴ (earthquake hazard) σὲ ὀρισμένη περιοχὴ ἀναφέρεται στὸ σεισμικὸ δυναμικὸ πού ἐνδημεῖ στὴν περιοχὴ αὐτή. Ὁ σεισμικὸς κίνδυνος (earthquake risk) ἀναφέρεται στὴν ἀναμενόμενη βλάβη σὲ ἀνθρώπινες κατασκευές καὶ γραμμὲς ζωῆς (life lines) ὡς ἀποτέλεσμα τῆς σεισμικῆς ἀπειλῆς. Ὁ σεισμικὸς κίνδυνος δὲν εἶναι σὲ ὅλες τὶς σεισμικὲς περιοχὲς ἀνάλογος πρὸς τὸ μέγεθος τοῦ σεισμικοῦ δυναμικοῦ, ἢ τῆς σεισμικῆς ἀπειλῆς, ἢ τὸ μέγεθος τοῦ ἀναμενόμενου σεισμοῦ.

Τὰ δύο αὐτὰ στοιχεῖα ἐπιτρέπουν, ὅπως εἶναι προφανές, μιὰ καλὺτερη διαβάθμιση τῆς σεισμικῆς ἐπικινδυνότητος τῶν διαφόρων περιοχῶν τῆς χώρας καὶ ὀρθότερο προγραμματισμὸ τῶν προληπτικῶν μέτρων πού πρέπει νὰ ληφθοῦν ἀπὸ τὴν Πολιτεία γιὰ τὴν μείωση τῶν βλαβῶν ἀπὸ μελλοντικούς σεισμούς.

#### ΣΕΙΣΜΙΚΑ ΚΑΙ ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΟΥ ΣΕΙΣΜΙΚΟῦ ΔΥΝΑΜΙΚΟῦ

Ἡ παρούσα ἐργασία εἶναι μιὰ πρώτη ἀπόπειρα ἐφαρμογῆς τῆς νέας αὐτῆς μεθόδου ὑπολογισμοῦ τοῦ σεισμικοῦ δυναμικοῦ στὰ διάφορα διαμερίσματα τῆς Κρήτης, τὰ ὁποῖα φιλοξενοῦν πολλές χερσαῖες καὶ παράκτιες σεισμικὲς ἐστίες, μερικὲς ἱκανὲς νὰ ἐλευθερώσουν ἐξαιρετικὰ μεγάλα ποσὰ ἐνέργειας, τῆς αὐτῆς περίπου τάξεως με αὐτὰ πού παρήχθησαν τὴν 21ην Ἰουλίου 365 (35 1/2°N, 23 1/2°E) καὶ τὴν 12ην Ὀκτωβρίου 1856 (35 1/2°N, 26°E), σὲ χρονικὰ διαστήματα κυμαινόμενα μέσα στὸ ἀντίστοιχο μέγιστο χρόνον ἀναμονῆς των (200-1150 ἔτη).

Ἡ Κρήτη εἶναι μέλος τοῦ νότιου κλάδου τοῦ τριτογενοῦς ἰζηματογενοῦς τόξου, στὴν ζώνη ἐπαφῆς τῆς Εὐρωπαϊκῆς πλάκας καὶ τῆς πλάκας τῆς Ἀφρικῆς. Λόγω τῆς συγκλίσεως τῶν δύο πλακῶν, ἡ βόρεια ἡμιοκεάνια παρυφὴ τῆς Ἀφρικῆς (ἡ ὑποπλάκας τῆς ἀνατολικῆς Μεσογείου) βυθίζεται ὡς σφῆνα με ΝΔ-ΒΑ κατεύθυνση (Le Pichon and Angelier, 1979) κάτωθεν τῆς νότιας ἡπειρωτικῆς παρυφῆς τῆς Εὐρώπης (ἡ ὑποπλάκας τοῦ Αἰγαίου). Με τὴν πίεση πού ἀσκεῖται ἀπὸ τὴν βυθιζόμενη πλάκα προκαλοῦνται σὲ περιόδους διαρρηξέως καὶ ἀνατάσεώς της μικρὰ ἢ μεγάλα ἄλματα ἐξάρσεως τοῦ δυτικοῦ τμήματος τῆς νήσου Κρήτης (Galanopoulos, 1985b). Ἡ ἔξαρση τοῦ τμήματος αὐτοῦ ἐλαττώνεται ἀπὸ τὰ ΝΔ πρὸς τὰ ΒΑ· εἶναι μέγιστη στὴν περιοχὴ τῆς Παλαιοχώρας καὶ ἐλάχιστη λίγα χιλιόμετρα δυτικὰ τοῦ Ρεθύμνου. Κατὰ μῆκος τῆς νότιας ἀκτῆς ἡ ἔξαρση ἐλαττώνεται πρὸς ἀνατολὰς καὶ ἐξαφανίζεται ἀκριβῶς πρὸ τῆς πεδιάδας τῆς Μεσσαράς (Laborel et al., 1979).

Ἡ ἔξαρση αὐτή, ὅπως φαίνεται ἀπὸ τὶς μορφολογικὲς ἀναβαθμίδες, πού παρατηροῦνται κυρίως στὴν νότια ἀκτὴ τῆς δυτικῆς Κρήτης, ἐκδηλώνεται ἐνίοτε με ἄλματα

σημαντικού ύψους, όπως πρὸ 1550 χρόνων περίπου (Thomerets et al., 1981b). Τὰ ἄλματα αὐτά, λόγω διαρρήξεως καὶ ἐλαστικῆς ἀνατάσεως καὶ προσωρινῆς ἀνακουφίσεως τῆς καμπτόμενης κάτωθεν τῆς Κρήτης ἡμικυκλείας παρυφῆς τῆς ὑποπλάκας τῆς ἀνατολικῆς Μεσογείου, συνοδεύονται ἀπὸ σεισμοὺς μικροὺς ἢ μεγάλους, ἀναλόγως τοῦ ὕψους ἀποτόμου ἐξάρσεως τῆς νήσου ποὺ προκαλεῖται ἀπὸ τὴν ἀνάταση αὐτῆ.

Λείψανα παλαιῶν οἰκισμῶν στὸν πυθμὲνα τῆς θάλασσας, ἔξω ἀπὸ τὶς ἀκτὲς τῆς ἀνατολικῆς Κρήτης (Spratt, 1865), ὑποδεικνύουν ὅτι ἡ ἀκτὴ αὕτῃ, ἀντίθετα πρὸς τὴν δυτικὴ ἀκτὴ τῆς νήσου, ὑφίσταται καθίζηση. Ἀπὸ τὶς γεωμορφολογικὲς αὐτὲς ἐνδείξεις διατυπώθηκε ἡ ἄποψη (Raulin, 1869) ὅτι ἡ Κρήτη κλίνει ὡς ἐνιαῖο σύνολο ἐκ δυσμῶν πρὸς ἀνατολάς. Ὡστόσο, τὰ ποικίλης διευθύνσεως ρήγματα (B-N, BBA-NNΔ καὶ BBA-NNΔ), ποὺ διασχίζουν τὴν Κρήτη (Faugeres et al., 1987/1988), καὶ κυρίως τὰ ρήγματα ποὺ ὀρίζουν τὶς ρηζιγενεῖς παρυφὲς τῆς ἐγκάρσιας πλειοκαινικῆς λεκάνης τῆς κεντρικῆς Κρήτης (βλ. Εἰκ. 1), δὲν φαίνεται νὰ ἐπιτρέπουν τέτοια συνο-

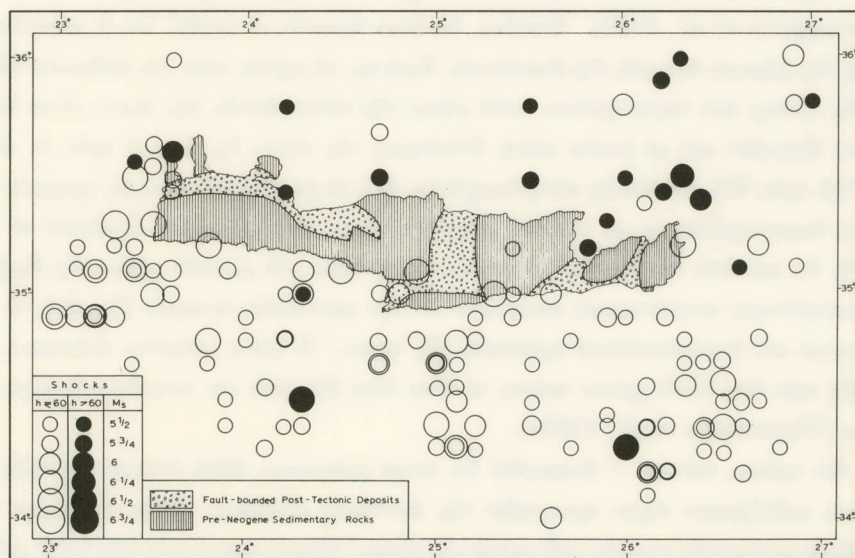


Fig. 1. Simplified sketch of surface geology and tectonic setting of Crete island. Locations of epicenters of crustal shocks and subduction events with  $M_s \geq 5.1/2$  over the period 1958-1987.

λική κίνηση τῆς νήσου. Ἐπὶ πλέον, ἐὰν συνέβαινε τέτοια κίνηση, θὰ ἔπρεπε ἡ σεισμικὴ δραστηριότητα στὴν κεντρικὴ Κρήτη νὰ ἦταν πολὺ μικρότερη ἀπὸ αὐτὴ ποὺ παρατηρεῖται στὴ δυτικὴ καὶ ἀνατολικὴ Κρήτη. Τὰ ὑπάρχοντα σεισμολογικὰ στοιχεῖα (βλ. πίνακες 1-5) καὶ οἱ ὑπολογισμοὶ τοῦ χρονικοῦ εὗρους ἀναμονῆς ἐκλύσεως σεισμῶν



δρισμένης τάξεως μεγέθους (βλ. πίν. 7) παρουσιάζουν ελαφρώς μικρότερο σεισμικό δυναμικό στην κεντρική,  $35^{\circ}\text{N } 25^{\circ}\text{E}$ , σε σχέση προς την δυτική Κρήτη,  $35^{\circ}\text{N } 24^{\circ}\text{E}$  (μεγαλύτερη περίοδο επαναλήψεως στους καταστρεπτικούς σεισμούς μεγέθους 7 και επάνω) και στην ανατολική Κρήτη,  $35^{\circ}\text{N } 26^{\circ}\text{E}$  (μεγαλύτερη περίοδο επαναλήψεως στους βλαβερούς σεισμούς μεγέθους  $5 \frac{1}{2}$  και επάνω), αλλά η ένδειξη αυτή δεν φαίνεται επαρκώς σαφής για την στήριξη της άποψης ότι η κεντρική Κρήτη βρίσκεται στον άξονα στροφής και κλίσεως της νήσου.

Γεωμορφολογικές έρευνες στα Τυρρήνια και ιστορικά παράλια της νοτιοανατολικής Κρήτης έδειξαν ότι η βαθμιαία εκ δυσμών προς ανατολάς αύξηση της κλίσης που παρατηρείται κατά μήκος της νότιας άκτης της νήσου είναι περισσότερο αισθητή στη βόρεια πλευρά της ανατολικής Κρήτης. Αυτό υποδεικνύει ότι η χερσόνησος της Σητείας αποτελεί χωριστό λιθοσφαιρικό τέμαχος, τελείως αποκομμένο από την υπόλοιπη Κρήτη με την τεκτονική τάφρο 'Αγίου Νικολάου-'Ιεράπετρας, και το τέμαχος αυτό παρουσιάζει, από το Τυρρήνιο τουλάχιστον, σαφή τάση κλίσης προς τα ΒΑ (Montaggioni et al., 1981). 'Ωστόσο, θα ήταν δυνατόν να λεχθεί, ότι η μεγαλύτερη κλίση της βόρειας πλευράς της ανατολικής Κρήτης, σε σχέση προς την βαθμιαία αύξηση της κλίσης που παρατηρείται κατά μήκος της νότιας άκτης της νήσου, είναι δυνατόν να εξηγηθεί και με ενιαία κλίση ολόκληρης της νήσου όχι από Δ προς Α, αλλά από ΝΔ προς ΒΑ. 'Η άποψη αυτή ενισχύεται από το γεγονός ότι παλαιές γραμμές της άκτης διασταυρώνονται με γνωστά ρήγματα χωρίς παραμόρφωση (Laborel et al., 1979), ως και από την πενιχρή παρουσία επικέντρων στο χερσαίο μέρος της Κρήτης και μεγαλύτερη συγκέντρωση σεισμικών έστιών κανονικών σεισμών έξω από τα νοτιοδυτικά και βορειοανατολικά κράσπεδα της νήσου. 'Η ζώνη μέγιστης εξάρσεως που συνέβη πριν από 1550 χρόνια πρέπει να ήταν λίγο έξω από την νοτιοδυτική άκρη της νήσου (Thomeret's et al., 1981a).

Θα πρέπει, πάντως ν' αναφερθεί ότι σειρά γρήγορων, αλλά τοπικών, μικρής έκτάσεως καθιζήσεων είχαν προηγηθεί της αποτόμου εξάρσεως ύψους 9 μέτρων που συνέβηκε κοντά στην νοτιοδυτική γωνιά της νήσου ('Ελαφόνησος) πριν από 1550 χρόνια περίπου· όκτώ από αυτές συνέβηκαν πριν από 4200 έως 1700 χρόνια περίπου και σε μία περίπτωση τουλάχιστον η καθιζήση φαίνεται να συνέβηκε μετά από κατακόρυφη αντίθετη κίνηση δεκαμετρικής τάξεως και βραχείας διάρκειας (Thomeret's et al., 1981b). Αυτό μαρτυρεί ότι οι καθιζήσεις αυτές είναι αποτέλεσμα βαθμιαίας επαναφοράς της υπερκείμενης πτέρυγας του ρήγματος στην όριζόντια θέση λόγω αποτόμου ανατινάξεώς της στην περιοχή διαρρήξεως επάνω από την θέση αυτή που είναι απαλλαγμένη ελαστικών τάσεων (Γαλανόπουλος, 1971). Στην νότια άκρη της δυτικής Κρήτης σημειώθηκαν 4 τουλάχιστον διαρρήξεις πριν από 1550 χρόνια περίπου.



Για την καλύτερη παρουσίαση της κατανομής του σεισμικού δυναμικού κατά μήκος της νήσου Κρήτης χωρίστηκε ο σεισμικός χώρος της νήσου ( $34^{\circ}\text{N}36^{\circ}$ ,  $22^{\circ}\text{E}28^{\circ}$ ) σε πέντε συνεχόμενα διαμερίσματα-τετράγωνα επιφάνειας 4 τετραγωνικών μοιρών ( $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ ). Τα διαμερίσματα αυτά αλληλοκαλύπτονται κατά το ήμισυ ( $1^{\circ} \times 2^{\circ}$ ) από γειτονικά των ( $34^{\circ}\text{N}36^{\circ}$ ,  $22^{\circ}\text{E}24^{\circ}$  —  $34^{\circ}\text{N}36^{\circ}$ ,  $23^{\circ}\text{E}25^{\circ}$  —  $34^{\circ}\text{N}36^{\circ}$ ,  $24^{\circ}\text{E}26^{\circ}$  —  $34^{\circ}\text{N}36^{\circ}$ ,  $25^{\circ}\text{E}27^{\circ}$  και  $34^{\circ}\text{N}36^{\circ}$ ,  $26^{\circ}\text{E}28^{\circ}$ ). Οι τιμές του σεισμικού δυναμικού που υπολογίζονται για κάθε τετράγωνο αναφέρονται στο κέντρο του ( $35^{\circ}\text{N}, 23^{\circ}\text{E}$  —  $35^{\circ}\text{N}$ ,  $24^{\circ}\text{E}$  —  $35^{\circ}\text{N}, 25^{\circ}\text{E}$  —  $35^{\circ}\text{E}, 26^{\circ}\text{E}$  και  $35^{\circ}\text{N}, 27^{\circ}\text{E}$ ).

Τα σεισμικά δεδομένα για την παρούσα εργασία καλύπτουν την περίοδο 1958-1987. Πριν από το 1958 οι σεισμοί του Έλληνικού χώρου αναγράφονταν από σεισμογράφους με μηχανική αναγραφή. Λόγω της μικρής μεγεθύνσεως των οργάνων αυτών δεν υπάρχει πλήρης κάλυψη των σεισμών μεγέθους  $5\frac{1}{2}$  - 6 (Galanopoulos, 1989b). Το υλικό για την περίοδο 1958-1983 λήφθηκε από δύο προηγούμενες δημοσιεύσεις (Galanopoulos 1977 και 1985a) και για την περίοδο 1984-1987 από χειρόγραφο κατάλογο με σεισμικά μεγέθη επιφανειακών κυμάτων ( $M_s$ ) υπολογισμένα από το πλήθος των σταθμών και την μέγιστη απόσταση αναγραφής των (Galanopoulos and Makropoulos, 1981). Η πλήρης ανταπόκριση των μεγεθών αυτών στην εμπειρική σχέση συχνότητας-μεγέθους Gutenberg-Richter (1941) μαρτυρεί ότι τα μεγέθη που υπολογίζονται κατά την μέθοδο αυτή είναι σύμφωνα μεταξύ των (self-consistent). Οι υπόλοιποι σεισμικοί παράμετροι έχουν ληφθεί από τους σεισμικούς καταλόγους του Διεθνούς Σεισμολογικού Κέντρου (ISC).

Οι σεισμοί της περιόδου 1958-1987 που προέρχονταν από τον σεισμικό χώρο της Κρήτης ( $34^{\circ}\text{N}36^{\circ}$ ,  $22^{\circ}\text{E}28^{\circ}$ ) κατανεμήθηκαν σε 5 επί μέρους καταλόγους σεισμών (πίν. 1-5) που προέρχονταν από τα διαμερίσματα-τετράγωνα επιφάνειας 4 τετραγωνικών μοιρών που αναφέρθηκαν προηγουμένως. Οι επόμενοι πίνακες 1-5 με πρόσθετους δείκτες A, B, C, παρέχουν την τεχνική και τα εξαγόμενα υπολογισμού των αντίστοιχων εμπειρικών σχέσεων συχνότητας-μεγέθους και συχνότητας-πραγματικών χρόνων επαναλήψεως. Τέλος στον πίνακα 6 δίδεται για το κέντρο κάθε τετραγώνου-σεισμικής πηγής το εύρος περιόδων επαναλήψεως των σεισμών μεγέθους  $5\frac{1}{2}$  και άνω που είναι δυνατόν υπό όρισμένες συνθήκες να προκαλέσουν βλάβες VI βαθμού και άνω, και των σεισμών μεγέθους 7 και πάνω που είναι δυνατόν υπό ανάλογες συνθήκες να προκαλέσουν καταστροφές VIII βαθμού και άνω. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, το εύρος των περιόδων επαναλήψεως των σεισμών αυτών αποτελεί συγκρίσιμο δείκτη του μεγέθους του σεισμικού δυναμικού πηγών ίσης επιφάνειας.

## ΣΧΟΛΙΑ ΕΠΙ ΤΩΝ ΕΞΑΓΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ἀπὸ τὸν ἐστιακὸ χῶρο τῆς Κρήτης ( $34^{\circ}\text{N}36^{\circ}$ ,  $22^{\circ}\text{E}28^{\circ}$ ) ἀναγράφηκαν σὲ διάστημα 30 ἐτῶν (1958-1987) 241 σεισμικὲς δονήσεις μεγέθους  $M_s \geq 5 \frac{1}{2}$ . Ἀπὸ τὲς δονήσεις αὐτὲς μόνον 6, ἥτοι 2,5% περίπου, προκάλυψαν σεισμικὲς βλάβες ἐντάσεως VII καὶ ἐπάνω, καὶ ἀπὸ αὐτὲς μόνον 1 καταστροφὴς ἐντάσεως VIII-IX βαθμοῦ (1959, Μαΐου 14) στὴν νότια περιοχὴ τῆς κεντρικῆς Κρήτης ( $35,1^{\circ}\text{N}$ ,  $24,9^{\circ}\text{E}$ ).

Ἡ μικρὴ σεισμικὴ ἐπικινδυνότητα τῆς νήσου, παρὰ τὸ πλῆθος τῶν σεισμικῶν δονήσεων μεγέθους  $M_s \geq 5 \frac{1}{2}$  ποὺ παρήχθησαν στὸν ἐστιακὸ τοῦ χῶρου κατὰ τὴν περίοδο 1958-1987, ὀφείλεται στὸ γεγονὸς ὅτι τὸ πλεῖστον τῶν σεισμικῶν ἐστιῶν βρισκόνταν ἔξω ἀπὸ τὸ χερσαῖο τμήμα τῆς νήσου, καὶ ὅτι μόνον 33 δονήσεις, δηλαδὴ περίπου 15%, εἶχαν τὴν ἐστία τους σὲ βάθος  $h \leq 20$  km.

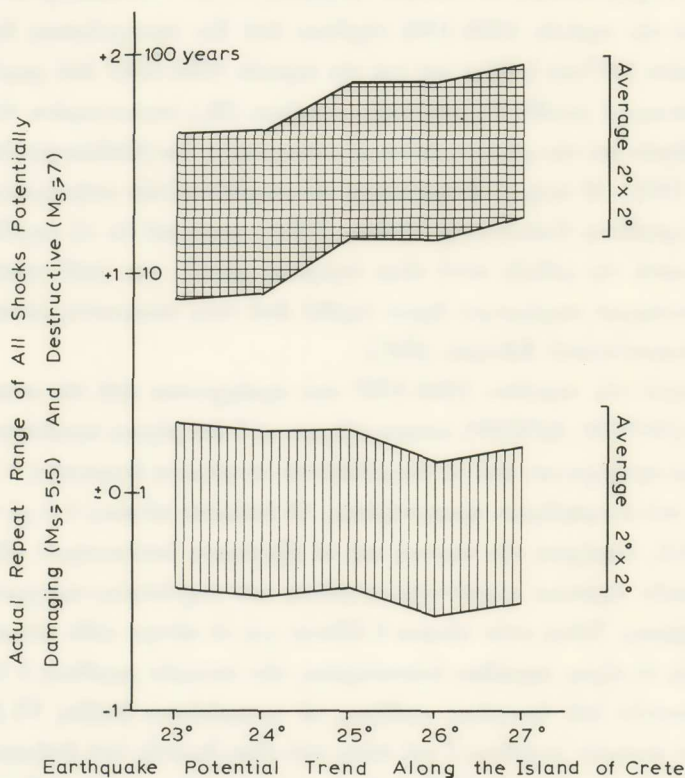


Fig. 2. Earthquake potential trend in terms of actual repeat range of all shocks along the island of Crete.

Στὰ διαγράμματα ποὺ παραθέτουμε (βλ. εἰκ. 2 καὶ 3) παρίσταται γραφικῶς ἡ τάση κατανομῆς τοῦ σεισμικοῦ δυναμικοῦ κατὰ μῆκος τῆς νήσου Κρήτης. Τὸ σεισμικὸ δυ-



ναμικό αναφέρεται στο κέντρο έστιακής επιφάνειας 4 τετραγωνικών μοιρών ( $2^\circ \times 2^\circ$ ) και εκφράζεται με τόν μέσο και μέγιστο χρόνο επαναλήψεως, δηλαδή με τὸ εὔρος τοῦ πραγματικοῦ χρόνου επαναλήψεως : (α) ὅλων τῶν σεισμῶν καὶ (β) τῶν κυρίων σεισμῶν ποὺ εἶναι δυνατόν λόγω μεγέθους νὰ προκαλέσουν σεισμικὲς βλάβες ἐντάσεως VI βαθμοῦ καὶ ἄνω (κάτω διάγραμμα,  $M_s \geq 5\frac{1}{2}$ ) καὶ καταστροφὲς ἐντάσεως VIII βαθμοῦ καὶ ἄνω (ἐπάνω διάγραμμα  $M_s \geq 7$ ).

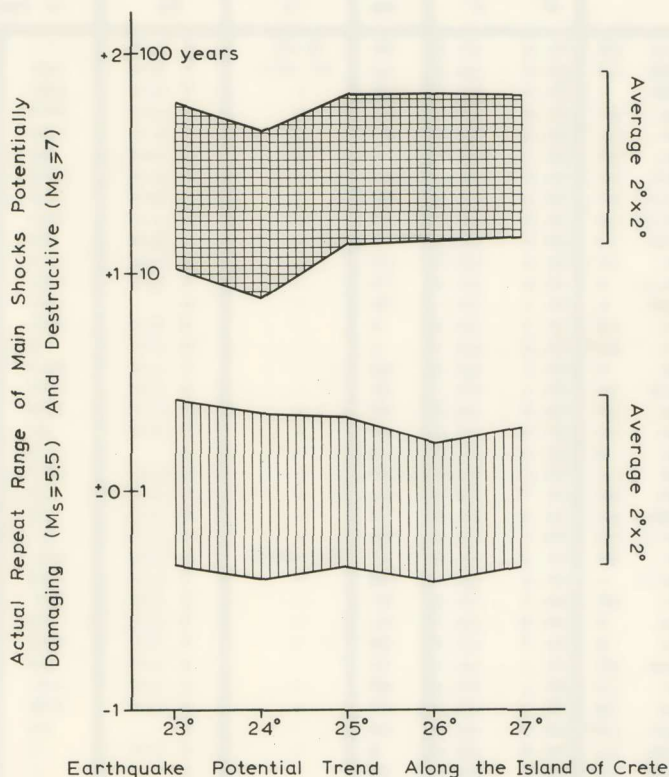


Fig. 3. Earthquake potential trend in terms of actual repeat range of main shocks along the island of Crete.

“Όσο μεγαλύτερο εἶναι τὸ σχετικὸ εὔρος επαναλήψεως αὐτῶν, τόσο μικρότερο εἶναι τὸ σεισμικὸ δυναμικὸ τῆς περιοχῆς στὴν ὁποία ἀναφέρεται. Γιὰ τοὺς καταστροφικοὺς σεισμοὺς ( $M_s \geq 7$ ), τὸ χρονικὸ εὔρος εἶναι σχετικῶς μεγαλύτερο στὴν κεντρικὴ Κρήτη ( $35^\circ\text{N}$ ,  $25^\circ\text{E}$ ), σὲ σχέση με αὐτὸ ποὺ προκύπτει γιὰ τὴν ἀνατολικὴ καὶ ἰδίως γιὰ τὴν δυτικὴ Κρήτη ( $35^\circ\text{N}$ ,  $24^\circ\text{E}$ ). Γιὰ τοὺς βλαβεροὺς σεισμοὺς ( $M_s \geq 5\frac{1}{2}$ ), τὸ χρονικὸ εὔρος εἶναι αἰσθητῶς μεγαλύτερο στὴν κεντρικὴ Κρήτη, σὲ σχέση με αὐτὸ ποὺ παρατηρεῖται στὸ ἀνατολικὸ διαμέρισμα τῆς νήσου ( $35^\circ\text{N}$ ,  $26^\circ\text{E}$ ).

TABLE 1

List of earthquakes with  $M_s \geq 5 \frac{1}{2}$  off the western Crete ( $34^\circ N 36^\circ$  and  $22^\circ E 24^\circ$ ). Sample period 1958-1987

No	Date	Location N° E°	Depth km	Intensity I <sub>o</sub>	Magnitude M <sub>s</sub>	Interevent Time in Days	
1	1958, July 15	35.4 , 23.6	20	V-VI	5 1/2	-	-
2	1959, June 10	35.5 , 23.5	11	VI-VII	5 3/4	330	330
3	1960, Febr. 1	35.3 , 23.0	15	-	5 1/2	236	236
4	1961, Aug. 27	35.6 , 23.4	62	-	5 1/2	573	573
5	1961, Dec. 11	36.4 , 23.4	69	-	5 1/2	106	106
6	1962, Jan. 26	35.2 , 22.7	0	-	6 1/4	46	46
7	1964, Sept. 30	34.5 , 23.3	49	-	5 1/2	978	978
8	1965, April 27	35.6 , 23.5	37	-	5 3/4	209	209
9	1966, April 14	34.5 , 23.9	14	-	5 1/2	352	352
10	1966, July 12	35.5 , 22.5	7	-	5 3/4	89	89
11	1966, Nov. 19	35.0 , 23.5	17	-	6 1/4	130	130
12	1967, April 4	35.6 , 23.6	73	-	5 1/2	136	136
13	1967, Sept. 6	35.1 , 23.1	20	-	6	155	155
14	1968, Oct. 19	35.2 , 23.4	6	-	5 3/4	409	409
15	1968, Oct. 21*	35.2 , 23.3	1	-	5 1/2	2	-
16	1971, Jan. 2	35.1 , 23.2	42	-	5 1/2	803	803
17	1971, July 16	35.1 , 23.1	39	-	5 1/2	194	194
18	1971, Dec. 17	34.9 , 24.0	26	-	5 1/2	154	154
19	1972, Jan. 12	35.0 , 23.6	46	-	5 3/4	26	26
20	1972, May 4	35.1 , 23.6	14	-	6	113	113
21	1973, Jan. 16	35.1 , 22.7	35	-	5 1/2	257	257
22	1973, Jan. 26	35.7 , 22.1	41	-	5 1/2	10	10
23	1973, Febr. 20	34.4 , 23.9	19	-	5 1/2	25	25
24	1973, April 22	35.1 , 23.4	46	-	5 1/2	61	61
25	1973, Nov. 29	35.2 , 23.8	37	VII-VIII	6 1/2	221	221
26	1974, April 1	35.6 , 22.4	58	-	5 1/2	123	123
27	1974, Oct. 25	34.7 , 23.4	41	-	5 1/2	207	207
28	1975, Jan. 9	34.8 , 24.0	41	-	5 1/2	76	76
29	1976, May 6	34.7 , 23.8	38	-	5 1/2	483	483
30	1976, June 25	35.1 , 23.2	22	-	6 1/4	50	50
31	1976, Nov. 13	35.1 , 23.4	48	-	6 1/4	141	141
32	1977, Aug. 18	35.3 , 23.5	47	-	6 1/2	278	278
33	1977, Sept. 10*	34.9 , 23.1	24	-	6	23	-
34	1977, Sept. 11	34.9 , 23.0	4	-	6 1/2	1	24
35	1977, Sept. 12*	34.9 , 23.2	38	-	6	1	-
36	1977, Sept. 13*	34.9 , 23.2	38	-	5 1/2	1	-
37	1977, Sept. 14*	34.9 , 23.1	19	-	6	1	-
38	1977, Oct. 22*	34.9 , 23.2	28	-	6 1/4	38	-
39	1978, Jan. 12	35.8 , 22.3	59	-	5 1/2	82	123
40	1978, Jan. 28	34.9 , 23.8	45	-	5 3/4	16	16
41	1979, May 18	34.9 , 23.4	55	-	5 3/4	110	110
42	1979, May 22	34.9 , 22.1	37	-	5 1/2	4	4
43	1979, Dec. 10	35.0 , 23.2	58	-	5 1/2	202	202



cont. Table 1

44	1980. March	4	35.5	23.1	51	-	5 3/4	85	85
45	1980. Nov.	9	35.1	22.9	45	-	5 3/4	250	250
46	1980. Dec.	11	34.6	24.0	41	-	5 1/2	32	32
47	1981. Febr.	10*	34.3	23.6	36	-	5 1/2	61	-
48	1981. Febr.	11	34.3	23.7	31	-	5 3/4	1	62
49	1981. July	17	34.9	22.8	51	-	6 1/4	156	156
50	1982. April	20	35.6	23.6	66	-	6	277	277
51	1983. Febr.	5	35.2	23.3	57	-	5 1/2	291	291
52	1983. Febr.	10	35.3	22.9	56	-	5 3/4	5	5
53	1983. May	17*	35.0	22.9	41	-	5 1/2	96	-
54	1983. Sept.	25	34.9	22.8	25	-	6	131	227
55	1983. Sept.	26*	34.9	22.7	3	-	5 3/4	1	-
56	1983. Dec.	1	35.0	22.9	46	-	5 1/2	63	64
57	1984. Jan.	4	34.9	23.0	38	-	5 3/4	34	34
58	1984. March	13	34.8	23.8	38	-	6 1/2	69	69
59	1984. May	22	35.8	22.6	45	-	6 1/2	70	70
60	1984. June	16	35.0	22.9	42	-	6	25	25
61	1984. June	17*	34.8	22.9	35	-	5 1/2	1	-
62	1984. June	21	35.3	23.3	25	V-VI	6 3/4	4	5
63	1984. June	21*	35.2	23.1	47	-	5 1/2	0	-
64	1984. June	27*	34.9	22.9	41	-	5 1/2	6	-
65	1984. July	2*	34.9	23.0	38	-	5 3/4	5	-
66	1984. July	3	34.9	22.9	44	-	6	1	12
67	1984. July	5*	35.0	22.9	50	-	5 1/2	2	-
68	1984. July	15*	34.9	22.9	40	-	5 3/4	10	-
69	1985. April	21	35.7	22.2	32	-	6 1/2	280	292
70	1985. May	28	35.5	23.6	16	-	5 3/4	37	37
71	1985. July	26	34.6	23.4	16	-	5 1/2	59	59
72	1985. Dec.	13	36.1	22.2	49	-	6 1/4	140	140
73	1986. Febr.	12	35.1	23.5	52	-	5 3/4	61	61
74	1986. April	27	34.7	23.3	27	-	6	74	74
75	1986. June	23	34.9	23.3	44	-	6	57	57
76	1986. Oct.	5	34.7	23.3	33	-	6 1/4	104	104
77	1987. March	12	35.5	23.4	53	-	6 1/2	158	158
78	1987. Sept.	10	34.3	23.0	33	-	5 1/2	182	182
79	1987. Sept.	12	35.1	23.9	24	-	5 3/4	2	2

Fore-and aftershocks denoted by\* in the date were discarded in the second sample as interdependent events.

Τὸ μεγαλύτερο σεισμικὸ δυνάμεικὸ πὺ προκύπτει ἀπὸ τοὺς σεισμοὺς μεγέθους  $M_s \geq 7$  γιὰ τὴν δυτικὴ Κρήτη σὲ σχέση πρὸς αὐτὸ τῆς κεντρικῆς Κρήτης, εἶναι δυνατὸν ν' ἀποδοθεῖ στὴν ἔξαρση, δηλαδὴ στὴν ἀνάστροφη κίνηση τοῦ ἐπικείμενου τεμάχους τῶν σεισμογόνων μεταπτώσεων πὺ ἐπικρατοῦν στὴν δυτικὴ Κρήτη (Zamani and Maroukian, 1981). Ἀντίθετα, τὸ μεγαλύτερο σεισμικὸ δυνάμεικὸ πὺ προκύπτει ἀπὸ τοὺς σεισμοὺς μεγέθους  $M_s \geq 5\frac{1}{2}$  γιὰ τὴν ἀνατολικὴ Κρήτη, σὲ σχέση πρὸς αὐτὸ τῆς κεντρικῆς Κρήτης, ὑφείλεται προφανῶς στὴν καθίζηση, δηλαδὴ στὴν κανονικὴ εὐχερὴ κίνηση τοῦ ἐπικείμενου τεμάχους τῶν κανονικῶν μεταπτώσεων πὺ παρατηροῦνται στὴν ἀνατολικὴ Κρήτη. Τοῦτο φαίνεται καὶ ἀπὸ τὸ μικρότερο συνολικὸ ποσὸ ἐνέργειας πὺ ἐλευθερώθηκε στὴν ἀνατολικὴ Κρήτη, σὲ σχέση πρὸς αὐτὸ τῆς δυτικῆς Κρήτης (βλ. πίν. 8).

TABLE 1A

Cumulative frequency of earthquakes in magnitude increments  
( $\Delta m = 1/2$ )

Frequency	Magnitude $M_m$		
	5 1/2	6	6 1/2
All data $\left\{ \begin{array}{l} N_1 \\ N_{c-1} \end{array} \right.$	52	19	8
	79	27	8
Data without inter- $\left\{ \begin{array}{l} N_2 \\ N_{c-2} \end{array} \right.$	41	15	8
dependent events $\left\{ \begin{array}{l} N_2 \\ N_{c-2} \end{array} \right.$	64	23	8

Gutenberg-Richter's Earthquake Recurrence Model (1954):

$$\text{Log}(N_1) = 7.381 - 0.995 M_m, \quad \sigma = \pm 0.018$$

$$\text{Log}(N_2) = 6.775 - 0.903 M_m, \quad \sigma = \pm 0.004$$

TABLE 1B

Cumulative frequency of earthquake occurrences per actual repeat  
time expressed as unit time the average interoccurrence time  
( $m_1 = 139$ ,  $m_2 = 171$  Days)

Frequency	Repeat Times (t)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
All data $\left\{ \begin{array}{l} N_1 \\ N_{c-1} \end{array} \right.$	52	17	5	1	1	1	0	1
	77	25	8	3	2	1		
Data without inter- $\left\{ \begin{array}{l} N_2 \\ N_{c-2} \end{array} \right.$	43	14	3	1	1	1		
dependent events $\left\{ \begin{array}{l} N_2 \\ N_{c-2} \end{array} \right.$	63	20	6	3	2	1		

Galanopoulos' Earthquake Recurrence Model (1988):

$$\text{Log}(N_{c1}) = 2.1422 - 0.3756t, \quad \sigma = \pm 0.116, \text{ for } t \leq 6$$

$$\text{Log}(N_{c2}) = 2.0056 - 0.3513t, \quad \sigma = \pm 0.126$$

TABLE 1C

Distribution of percentage of earthquake occurrences in terms  
of actual interoccurrence time (t)

Percentage	Repeat Times (t)						
	1	2	3	4	5	6	Total
Sample 1	68	22	6	1	1	1	99
Sample 2	68	22	5	2	2	1	100



TABLE 2

List of earthquakes with  $M_s \geq 5 \frac{1}{2}$  in the western Crete ( $34^\circ N 36^\circ$  and  $23^\circ E 25^\circ$ ). Sample period 1958-1987

No	Date	Location N° E°	Depth km	Intensity I <sub>o</sub>	Magnitude M <sub>s</sub>	Interevent Time in Days	
1	1958, July 15	35.4 , 23.6	20	V-VI	5 1/2	-	-
2	1959, May 14	35.1 , 24.9	6	VIII-IX	6 1/2	303	303
3	1959, June 10	35.5 , 23.5	11	VI-VII	5 3/4	27	27
4	1960, Febr. 1	35.3 , 23.0	15	-	5 1/2	236	236
5	1961, Aug. 27	35.6 , 23.4	62	-	5 1/2	573	573
6	1961, Dec. 11	36.4 , 23.4	69	-	5 1/2	106	106
7	1962, May 8	35.4 , 24.2	90	V	5 1/2	148	148
8	1964, April 8	35.0 , 24.3	64	-	5 1/2	701	701
9	1964, Sept. 30	34.5 , 23.3	49	-	5 1/2	175	175
10	1965, April 9	35.1 , 24.3	39	VI-VII	6	191	191
11	1965, April 27	35.6 , 23.5	37	-	5 3/4	18	18
12	1966, March 11	34.4 , 24.2	30	-	5 1/2	288	288
13	1966, April 14	34.5 , 23.9	14	-	5 1/2	34	34
14	1966, Nov. 19	35.0 , 23.5	17	-	6 1/4	219	219
15	1967, April 4	35.6 , 23.6	73	-	5 1/2	136	136
16	1967, Sept. 6	35.1 , 23.1	20	-	5 1/2	155	155
17	1968, Sept. 15	34.7 , 25.0	17	-	5 3/4	375	375
18	1968, Sept. 18*	34.7 , 25.0	30	-	5 1/2	3	-
19	1968, Oct. 19	35.2 , 23.4	6	-	5 3/4	31	34
20	1968, Oct. 21*	35.2 , 23.3	1	-	5 1/2	2	-
21	1968, Dec. 25	35.0 , 24.3	58	-	6	65	67
22	1969, June 12	34.4 , 25.0	22	-	6 1/2	169	169
23	1969, June 14*	34.3 , 25.0	21	-	5 3/4	2	-
24	1969, Dec. 1	34.8 , 24.2	35	-	5 3/4	170	172
25	1971, Jan. 2	35.1 , 23.2	42	-	5 1/2	397	397
26	1971, Jan. 19	34.3 , 24.1	34	-	5 3/4	17	17
27	1971, Apri 9	34.8 , 24.2	42	-	5 1/2	80	80
28	1971, July 16	35.1 , 23.1	39	-	5 1/2	98	98
29	1971, Dec. 17	34.9 , 24.0	26	-	5 1/2	154	154
30	1972, Jan. 12	35.0 , 23.6	46	-	5 3/4	26	26
31	1972, April 29	34.8 , 24.7	48	-	5 3/4	108	108
32	1972, May 4	35.1 , 23.6	14	-	6	5	5
33	1972, Nov. 5	35.0 , 24.8	32	VI-VII	6	185	185
34	1973, Jan. 23	34.3 , 25.0	37	-	5 1/2	79	79
35	1973, Febr. 20	34.4 , 23.9	19	-	5 1/2	28	28
36	1973, April 16	34.6 , 25.0	44	-	5 1/2	55	55
37	1973, Apri. 22	35.1 , 23.4	46	-	5 1/2	6	6
38	1973, Nov. 29	35.2 , 23.8	37	VII-VIII	6 1/2	221	221
39	1973, Dec. 24	34.8 , 24.7	48	-	5 1/2	25	25
40	1974, March 8	34.7 , 24.7	47	-	5 3/4	74	74
41	1974, March 13*	34.6 , 24.7	46	-	5 3/4	5	-
42	1974, April 7*	34.7 , 24.7	38	-	6	25	-
43	1974, Sept. 5	35.7 , 24.7	53	-	5 3/4	151	181

cont. Table 2

44	1974, Oct.	25	34.7	23.4	41	-	5 1/2	50	50
45	1975, Jan.	9	34.8	24.0	41	-	5 1/2	76	76
46	1975, July	29	34.8	24.9	47	-	5 3/4	201	201
47	1976, April	19	35.5	24.7	64	-	5 3/4	265	265
48	1976, May	6	34.7	23.8	38	-	5 1/2	18	18
49	1976, June	25	35.1	23.2	22	-	6 1/4	50	50
50	1976, Nov.	13	35.1	23.4	48	-	6 1/4	141	141
51	1977, Aug.	18	35.3	23.5	47	-	6 1/2	278	278
52	1977, Sept.	10*	34.9	23.1	24	-	6	23	-
53	1977, Sept.	11	34.9	23.0	4	-	6 1/2	1	24
54	1977, Sept.	12*	34.9	23.2	38	-	6	1	-
55	1977, Sept.	13*	34.9	23.2	38	-	5 1/2	1	-
56	1977, Sept.	14*	34.9	23.1	19	-	6	1	-
57	1977, Oct.	22*	34.9	23.2	28	-	6 1/4	38	-
58	1978, Jan.	28	34.9	23.8	45	-	5 3/4	98	139
59	1979, May	15	34.6	24.4	43	-	6 1/2	472	472
60	1979, May	18	34.9	23.4	55	-	5 3/4	3	3
61	1979, June	15	34.9	24.2	41	-	6 1/4	28	28
62	1979, Dec.	10	35.0	23.2	58	-	5 1/2	178	178
63	1980, March	4	35.5	23.1	51	-	5 3/4	85	85
64	1980, Dec.	11	34.6	24.0	41	-	5 1/2	282	282
65	1981, Febr.	10*	34.3	23.6	36	-	5 1/2	61	-
66	1981, Febr.	11	34.3	23.7	31	-	5 3/4	1	62
67	1981, Sept.	14	34.7	25.0	26	-	6	214	214
68	1981, Sept.	14*	34.7	25.0	9	-	5 1/2	0	-
69	1982, March	10	35.5	26.0	85	-	5 1/2	177	177
70	1982, April	20	35.6	23.6	66	-	6	41	41
71	1982, June	16	35.0	24.2	37	-	5 1/2	57	57
72	1983, Jan.	3	34.5	24.3	71	-	6 1/2	201	201
73	1983, Febr.	5	35.2	23.3	57	-	5 1/2	33	33
74	1983, May	8	35.8	24.2	78	-	5 1/2	92	92
75	1983, Sept.	29	34.6	24.1	36	-	5 3/4	144	144
76	1984, Jan.	4	34.9	23.0	38	-	5 3/4	97	97
77	1984, Jan.	14	35.1	24.5	59	-	6 1/2	10	10
78	1984, Febr.	29	34.4	24.3	37	-	5 3/4	46	46
79	1984, March	13	34.8	23.8	38	-	6 1/2	13	13
80	1984, June	21	35.3	23.3	25	V-VI	6 3/4	100	100
81	1984, June	21*	35.2	23.1	47	-	5 1/2	0	-
82	1984, July	2	34.9	23.0	38	-	5 3/4	11	11
83	1985, May	28	35.5	23.6	16	-	5 3/4	330	330
84	1985, July	26	34.6	23.4	16	-	5 1/2	59	59
85	1986, Febr.	12	35.1	23.5	52	-	5 3/4	201	201
86	1986, Febr.	15	35.0	24.7	44	-	5 3/4	3	3
87	1986, April	27	34.7	23.3	27	-	6	71	71
88	1986, June	23	34.9	23.3	44	-	6	57	57
89	1986, Oct.	5	34.7	23.3	33	-	6 1/4	104	104
90	1987, March	12	35.5	23.4	53	-	6 1/2	158	158
91	1987, Sept.	10	34.3	23.0	33	-	5 1/2	182	182
92	1987, Sept.	12	35.1	23.9	24	-	5 3/4	2	2



TABLE 2A

Cumulative frequency of earthquakes in magnitude increments  
( $\Delta m = 1/2$ )

Frequency	Magnitude $M_m$		
	5 1/2	6	6 1/2
All data $\left\{ \begin{array}{l} N_1 \\ N_{c-1} \end{array} \right.$	63	18	11
	92	29	11
Data without inter- $\left\{ \begin{array}{l} N_{c-2} \\ N_{c-3} \end{array} \right.$	55	13	11
dependent events $\left\{ \begin{array}{l} N_{c-2} \\ N_{c-3} \end{array} \right.$	79	24	11

Gutenberg-Richter's Earthquake Recurrence Model (1954):

$$\log(N_{c1}) = 7.027 - 0.923 M_m, \quad \sigma = \pm 0.023$$

$$\log(N_{c2}) = 6.582 - 0.857 M_m, \quad \sigma = \pm 0.052$$

TABLE 2B

Cumulative frequency of earthquake occurrences per actual repeat  
time expressed as unit time the average interoccurrence time  
( $m_1 = 119$ ,  $m_2 = 139$  Days)

Frequency	Repeat Times (t)					
	1	2	3	4	5	6
All data $\left\{ \begin{array}{l} N_1 \\ N_{c-1} \end{array} \right.$	57	23	6	3	1	1
	91	34	11	5	2	1
Data without inter- $\left\{ \begin{array}{l} N_{c-2} \\ N_{c-3} \end{array} \right.$	45	24	6	1	1	1
dependent events $\left\{ \begin{array}{l} N_{c-2} \\ N_{c-3} \end{array} \right.$	78	33	9	3	2	1

Galanopoulos' Earthquake Recurrence Model (1988) :

$$\log(N_{c1}) = 2.305 - 0.395t, \quad \sigma = \pm 0.054$$

$$\log(N_{c2}) = 2.209 - 0.387t, \quad \sigma = \pm 0.115$$

TABLE 2C

Distribution of percentage of earthquake occurrences in terms  
of actual interoccurrence time (t)

Percentage	Repeat Times (t)						
	1	2	3	4	5	6	Total
Sample 1	63	25	7	3	1	1	100
Sample 2	58	31	8	1	1	1	100

TABLE 3

List of earthquakes with  $M_s \geq 5 \frac{1}{2}$  in the central Crete ( $34^\circ N 36^\circ$  and  $24^\circ E 26^\circ$ ).  
Sample period 1958-1987

No	Date	Location N° E°	Depth km	Intensity I <sub>o</sub>	Magnitude M <sub>s</sub>	Interevent Time in Days	
1	1959. May 14	35.1 , 24.9	6	VIII-IX	6 1/2	-	-
2	1959. Sept. 16	34.9 , 25.9	50	-	5 3/4	125	125
3	1960. Oct. 1	35.4 , 25.9	13	V	5 1/2	381	381
4	1962. April 4*	34.7 , 25.5	21	-	5 1/2	550	-
5	1962. April 4	34.3 , 25.1	42	-	5 3/4	0	550
6	1962. May 8	35.4 , 24.2	90	V	5 1/2	34	34
7	1963. March 4	34.9 , 25.2	39	VI	5 1/2	300	300
8	1964. April 8	35.0 , 24.3	64	-	5 1/2	401	401
9	1964. Aug. 17	35.3 , 25.9	64	VI	5 1/2	131	131
10	1964. Oct. 17	35.0 , 25.4	18	V	5 1/2	61	61
11	1964. Dec. 31	35.8 , 25.5	89	-	5 1/2	75	75
12	1965. April 9	35.1 , 24.3	39	VI-VII	6 1/2	99	99
13	1965. Aug. 25	34.7 , 25.1	10	V	5 1/2	138	138
14	1966. March 11	34.4 , 24.2	30	-	5 1/2	198	198
15	1966. April 21	34.5 , 25.7	51	-	5 1/2	41	41
16	1968. July 8	34.5 , 25.1	38	-	6	508	508
17	1968. July 9*	34.4 , 25.1	49	-	5 1/2	1	-
18	1968. Sept. 15	34.7 , 25.0	17	-	5 3/4	68	69
19	1968. Sept. 18*	34.7 , 25.0	30	-	5 1/2	3	-
20	1968. Dec. 25	35.0 , 24.3	58	-	6	98	101
21	1969. June 12	34.4 , 25.0	22	-	6 1/2	169	169
22	1969. June 13*	34.3 , 25.1	41	-	5 1/2	1	-
23	1969. June 14*	34.3 , 25.0	21	-	5 3/4	1	-
24	1969. July 24	34.9 , 26.0	60	-	5 1/2	40	42
25	1969. Sept. 28*	34.3 , 25.1	29	-	6 1/4	66	-
26	1969. Dec. 1	34.8 , 24.2	35	-	5 3/4	54	120
27	1971. Jan. 19	34.3 , 24.1	34	-	5 3/4	414	414
28	1971. April 9	34.8 , 24.2	48	-	5 1/2	80	80
29	1971. Dec. 17	34.9 , 24.0	26	-	5 1/2	252	252
30	1972. April 29	34.8 , 24.7	48	-	5 3/4	134	134
31	1972. Oct. 10	35.2 , 25.4	34	VI	5 1/2	164	164
32	1972. Nov. 5	35.0 , 24.8	32	VI-VII	6	26	26
33	1973. Jan. 23	34.3 , 25.0	37	-	5 1/2	79	79
34	1973. April 6	34.4 , 25.2	37	-	6	73	73
35	1973. April 16	34.6 , 25.0	44	-	5 1/2	10	10
36	1973. Dec. 24	34.8 , 24.7	48	-	5 1/2	252	252
37	1974. Jan. 27	35.0 , 25.4	35	-	5 1/2	34	34
38	1974. March 8	34.7 , 24.7	47	-	5 3/4	40	40
39	1974. March 13*	34.6 , 24.7	46	-	5 3/4	5	-
40	1974. April 7*	34.7 , 24.7	38	-	6	25	-
41	1974. Sept. 5	35.7 , 24.7	53	-	5 3/4	151	181
42	1975. Jan. 9	34.8 , 24.0	41	-	5 1/2	126	126
43	1975. July 29	34.8 , 24.9	47	-	5 3/4	201	201

cont. Table 3

44	1976, April 19	35.5 . 24.7	64	-	5 3/4	265	265
45	1976, May 18	34.9 . 25.4	71	-	5 3/4	29	29
46	1976, Nov. 29	34.8 . 25.7	37	-	5 1/2	195	195
47	1978, Jan. 29	34.9 . 25.7	35	VII-VIII	6 1/4	426	426
48	1978, March 7	34.5 . 25.2	41	-	6 1/4	37	37
49	1978, March 7*	34.3 . 25.3	40	-	5 1/2	0	-
50	1978, Aug. 25	34.1 . 25.2	10	-	5 1/2	171	171
51	1978, Oct. 18	35.0 . 26.0	10	-	5 1/2	54	54
52	1979, May 15	34.6 . 24.4	43	-	6 1/2	209	209
53	1979, June 15	34.9 . 24.2	41	-	6 1/4	31	31
54	1980, Aug. 8	34.0 . 25.7	33	-	5 1/2	420	420
55	1980, Dec. 11	34.6 . 24.0	41	-	5 1/2	125	125
56	1981, Jan. 22	34.2 . 25.2	49	-	5 3/4	42	42
57	1981, Febr. 9	34.1 . 25.8	27	-	5 3/4	18	18
58	1981, May 9*	34.2 . 25.8	53	-	5 1/2	89	-
59	1981, Sept. 13	34.8 . 25.1	39	VI	6 1/4	127	216
60	1981, Sept. 14*	34.7 . 25.0	26	-	6	1	-
61	1981, Sept. 14*	34.7 . 25.0	9	-	5 1/2	0	-
62	1981, Sept. 30	34.0 . 25.6	30	-	6	16	17
63	1982, Febr. 11	34.8 . 25.2	45	-	5 3/4	134	134
64	1982, March 10	35.5 . 26.0	85	-	5 1/2	27	27
65	1982, June 16	35.0 . 24.2	37	-	5 1/2	98	98
66	1982, Sept. 20*	34.3 . 26.0	39	-	6	96	-
67	1982, Sept. 21	34.3 . 26.0	42	-	6 1/2	1	97
68	1983, Jan. 3	34.5 . 24.3	71	-	6 1/2	104	104
69	1983, March 19	35.0 . 25.3	59	V-VI	6 1/2	75	75
70	1983, May 8	35.8 . 24.2	78	-	5 1/2	50	50
71	1983, Sept. 28	35.2 . 25.8	74	-	5 3/4	143	143
72	1983, Sept. 29	34.6 . 24.1	36	-	5 3/4	1	1
73	1984, Jan. 14	35.1 . 24.5	59	-	6 1/2	107	107
74	1984, Febr. 18	34.8 . 26.0	37	-	6	35	35
75	1984, Febr. 29	34.4 . 24.3	37	-	5 3/4	11	11
76	1984, March 1	35.3 . 25.5	84	-	5 3/4	1	1
77	1984, June 29	34.4 . 25.5	45	-	5 3/4	120	120
78	1985, Oct. 26	34.4 . 25.9	55	-	5 1/2	424	424
79	1986, Febr. 15	35.0 . 24.7	44	-	5 3/4	112	112
80	1986, Sept. 14	34.3 . 25.7	39	-	5 1/2	211	211
81	1987, Sept. 20	35.0 . 25.6	18	V-VI	6	371	371



TABLE 3A

Cumulative frequency of earthquakes in magnitude increments  
( $\Delta m = 1/2$ )

Frequency	Magnitude $M_m$		
	5 1/2	6	6 1/2
All data $\begin{cases} N_1 \\ N_{c-1} \end{cases}$	58	16	7
	81	23	7
Data without inter- $\begin{cases} N_{c2} \\ N_{c-2} \end{cases}$	49	12	7
dependent events $\begin{cases} N_{c-2} \\ N_{c-2} \end{cases}$	68	19	7

Gutenberg-Richter's Earthquake Recurrence Model (1954):

$$\text{Log}(N_{c1}) = 7.750 - 1.063 M_m, \quad \sigma = \pm 0.008$$

$$\text{Log}(N_{c2}) = 7.241 - 0.987 M_m, \quad \sigma = \pm 0.034$$

TABLE 3B

Cumulative frequency of earthquake occurrences per actual repeat  
time expressed as unit time the average interoccurrence time  
( $m_1 = 135$ ,  $m_2 = 161$  Days)

Frequency	Repeat Times (t)					
	1	2	3	4	5	6
All data $\begin{cases} N_1 \\ N_{c-1} \end{cases}$	56	14	4	5	1	
	80	24	10	6	1	
Data without inter- $\begin{cases} N_{c2} \\ N_{c-2} \end{cases}$	44	14	7	2		
dependent events $\begin{cases} N_{c-2} \\ N_{c-2} \end{cases}$	67	23	9	2		

Galanopoulos' Earthquake Recurrence Model (1988):

$$\text{Log}(N_{c1}) = 2.335 - 0.441t, \quad \sigma = \pm 0.128$$

$$\text{Log}(N_{c2}) = 2.365 - 0.298t, \quad \sigma = \pm 0.067$$

TABLE 3C

Distribution of percentage of earthquake occurrences in terms  
of actual interoccurrence time (t)

Percentage	Repeat Times (t)						Total
	1	2	3	4	5	6	
Sample 1	70	18	5	6	1	—	100
Sample 2	66	21	10	3	—	—	100

TABLE 4

List of earthquakes with  $M_s \geq 5 \frac{1}{2}$  in the eastern Crete  
( $34^\circ\text{N } 36^\circ$  and  $25^\circ\text{E}$ ). Sample period 1958-1987

No	Date	Location		Depth km	Intensity I <sub>o</sub>	Magnitude M <sub>s</sub>	Interevent Time in Days	
		N°	E°					
1	1959. July 12	36.0	26.3	80	-	5 1/2	-	-
2	1959. Sept. 16	34.9	25.9	50	-	5 3/4	66	66
3	1960. April 28	34.3	26.5	60	-	5 1/2	225	225
4	1960. Aug. 27	34.2	26.2	15	-	5 3/4	121	121
5	1960. Sept. 10*	34.4	26.4	15	-	5 1/2	14	-
6	1960. Oct. 1	35.4	25.9	13	V	5 1/2	21	35
7	1961. Jan. 7	35.4	26.2	75	-	5 1/2	98	98
8	1961. March 13	34.5	26.7	16	-	5 1/2	65	65
9	1962. April 4*	34.7	25.5	21	-	5 1/2	387	-
10	1962. April 4	34.3	25.1	42	-	5 3/4	0	387
11	1962. April 28	36.0	26.9	50	-	6	24	24
12	1962. April 28*	36.1	26.9	50	-	5 3/4	0	-
13	1962. Sept. 10	34.6	26.6	50	-	5 1/2	135	135
14	1963. March 4	34.9	25.2	39	VI	5 1/2	175	175
15	1964. Aug. 17	35.3	25.9	64	VI	5 1/2	532	532
16	1964. Oct. 17	35.0	25.4	18	V	5 1/2	61	61
17	1964. Dec. 31	35.8	25.5	89	-	5 1/2	75	75
18	1965. Aug. 25	34.7	25.1	10	V	5 1/2	237	237
19	1966. April 21	34.5	25.7	51	-	5 1/2	239	239
20	1966. May 9	34.4	26.4	13	-	6	18	18
21	1966. May 9*	34.3	26.4	43	-	5 1/2	0	-
22	1966. May 13*	34.5	26.5	37	-	5 1/2	4	-
23	1966. May 18*	34.5	26.5	41	-	5 1/2	5	-
24	1966. Dec. 18	35.1	26.9	33	-	5 1/2	214	223
25	1967. May 15	34.5	26.6	35	-	5 3/4	148	148
26	1968. July 8	34.5	25.1	38	-	6	420	420
27	1968. July 9*	34.4	25.1	49	-	5 1/2	1	-
28	1968. Aug. 15	35.2	26.7	48	-	6	37	38
29	1968. Sept. 15	34.7	25.0	17	-	5 3/4	31	31
30	1968. Sept. 18*	34.7	25.0	30	-	5 1/2	3	-
31	1969. June 12	34.4	25.0	22	-	6 1/2	267	270
32	1969. June 13*	34.3	25.1	41	-	5 1/2	1	-
33	1969. June 14*	34.3	25.0	21	-	5 3/4	1	-
34	1969. July 24	34.9	26.0	60	-	5 1/2	40	42
35	1969. Sept. 28*	34.3	25.1	29	-	6 1/4	66	-
36	1969. Dec. 31*	34.4	26.1	54	-	5 1/2	94	-
37	1970. April 7	34.6	26.1	20	-	5 3/4	97	257
38	1971. Jan. 3	34.6	26.3	47	-	6	271	271
39	1971. Oct. 3*	34.1	26.1	35	-	5 1/2	273	-
40	1971. Oct. 4*	34.2	26.2	17	-	5 1/2	1	-
41	1971. Oct. 13	34.2	26.1	17	-	6	9	283
42	1972. June 9	34.7	26.5	41	-	5 3/4	240	240
43	1972. Sept. 26	34.2	26.1	21	-	5 3/4	109	109

cont. Table 4

44	1972, Oct.	10	35.2 , 25.4	34	VI	5 1/2	14	14
45	1973, Jan.	23	34.3 , 25.0	37	-	5 1/2	105	105
46	1973, April	6	34.4 , 25.2	37	-	6	73	73
47	1973, April	16	34.6 , 25.0	44	-	5 1/2	10	10
48	1973, June	26	34.4 , 26.1	50	-	5 3/4	71	71
49	1973, Oct.	6	34.8 , 26.3	38	-	5 1/2	102	102
50	1973, Oct.	13*	34.7 , 26.4	52	-	5 1/2	7	-
51	1973, Oct.	14*	34.7 , 26.3	51	-	5 1/2	1	-
52	1973, Dec.	5	35.4 , 26.4	70	V	6	52	60
53	1974, Jan.	27	35.0 , 25.4	35	-	5 1/2	53	53
54	1974, May	19	35.5 , 26.3	84	V	6 1/4	112	112
55	1975, Febr.	15	35.8 , 26.9	46	-	5 3/4	272	272
56	1975, Sept.	22	35.2 , 26.3	55	V	6 1/2	219	219
57	1976, May	18	34.9 , 25.4	71	-	5 3/4	242	242
58	1976, Oct.	21	35.8 , 27.0	89	-	5 1/2	156	156
59	1976, Nov.	29	34.8 , 25.7	37	-	5 1/2	39	39
60	1977, May	27	35.1 , 26.6	65	-	5 1/2	179	179
61	1977, Aug.	5	34.3 , 26.8	33	-	5 1/2	70	70
62	1978, Jan.	29	34.9 , 25.7	35	VII-VIII	6 1/4	177	177
63	1978, March	7	34.9 , 25.2	41	-	6 1/4	37	37
64	1978, March	7*	34.3 , 25.3	40	-	5 1/2	0	-
65	1978, Aug.	25	34.1 , 25.2	10	-	5 1/2	171	171
66	1978, Oct.	18	35.0 , 26.0	10	-	5 1/2	54	54
67	1978, Nov.	28	36.0 , 26.4	114	-	5 3/4	41	41
68	1979, July	23	35.5 , 26.4	36	V-VI	6 1/2	237	237
69	1979, Aug.	11*	35.4 , 26.3	40	-	5 3/4	19	-
70	1980, Aug.	8	34.0 , 25.7	33	-	5 1/2	363	363
71	1981, Jan.	22	34.2 , 25.2	49	-	5 3/4	167	167
72	1981, Febr.	9	34.1 , 25.8	27	-	5 3/4	18	18
73	1981, May	9*	34.2 , 25.8	53	-	5 1/2	89	-
74	1981, June	1	35.5 , 26.3	81	-	6 1/4	23	112
75	1981, Sept.	13	34.8 , 25.1	39	VI	6 1/4	104	104
76	1981, Sept.	14*	34.7 , 25.0	26	-	6	1	-
77	1981, Sept.	14*	34.7 , 25.0	9	-	5 1/2	0	-
78	1981, Sept.	30	34.0 , 25.6	30	-	6	16	17
79	1982, Febr.	11	34.8 , 25.2	45	-	5 3/4	134	134
80	1982, March	10	35.5 , 26.0	85	-	5 1/2	27	27
81	1982, Sept.	20*	34.3 , 26.0	39	-	6	194	-
82	1982, Sept.	21	34.3 , 26.0	42	-	6 1/2	1	195
83	1983, March	19	35.0 , 25.3	59	V-VI	6 1/2	179	179
84	1983, Sept.	28	35.2 , 25.8	74	-	5 3/4	193	193
85	1984, Febr.	18	34.8 , 26.0	37	-	6	143	143
86	1984, March	1	35.3 , 25.5	84	-	5 3/4	12	12
87	1984, June	10	34.9 , 26.2	11	-	5 3/4	101	101
88	1984, June	29	34.4 , 25.5	45	-	5 3/4	19	19
89	1984, Sept.	23	34.8 , 26.7	55	-	5 3/4	86	86
90	1985, July	14	35.9 , 26.2	105	-	5 1/2	294	294
91	1985, Sept.	27	34.4 , 26.5	41	-	6 1/2	75	75
92	1985, Oct.	26	34.4 , 25.9	55	-	5 1/2	29	29
93	1985, Nov.	21	34.2 , 26.1	22	-	5 1/2	26	26



cout. Table 4

94	1986, May	22	34.6 , 26.5	48	-	6 1/2	182	182
95	1986, Sept.	14	34.3 , 25.7	39	-	5 1/2	115	115
96	1986, Sept.	26	34.4 , 26.2	49	-	5 3/4	12	12
97	1987, Febr.	9	35.4 , 26.1	18	-	5 1/2	136	136
98	1987, Aug.	15	34.2 , 26.6	20	-	5 1/2	187	187
99	1987, Aug.	25*	34.4 , 26.6	40	-	5 1/2	10	-
100	1987, Sept.	20	35.0 , 25.6	18	V-VI	6	26	36
101	1987, Dec.	10	34.8 , 26.7	7	-	5 3/4	81	81

TABLE 4A

Cumulative frequency of earthquakes in magnitude increments  
( $\Delta m = 1/2$ )

Frequency	Magnitude $M_m$		
	5 1/2	6	6 1/2
All data $\left\{ \begin{array}{l} N_1 \\ N_{c1} \end{array} \right.$	75	19	7
	101	26	7
Data without inter- $\left\{ \begin{array}{l} N_2 \\ N_{c2} \end{array} \right.$	55	16	7
dependent events $\left\{ \begin{array}{l} N_2 \\ N_{c2} \end{array} \right.$	78	23	7

Gutenberg-Richter's Earthquake Recurrence Model (1954):

$$\log(N_{c1}) = 8.424 - 1.159 M_m, \quad \sigma = \pm 0.060$$

$$\log(N_{c2}) = 7.648 - 1.047 M_m, \quad \sigma = \pm 0.004$$

TABLE 4B

Cumulative frequency of earthquake occurrences per actual repeat time  
expressed as unit time the average interoccurrence time  
( $m_1 = 108$ ,  $m_2 = 139$ Days)

Frequency	Repeat Times (t)					
	1	2	3	4	5	6
All data $\begin{cases} N_1 \\ N_{c1} \end{cases}$	63	21	12	3	1	-
	100	37	16	4	1	-
Data without inter- dependent events $\begin{cases} N_2 \\ N_{c2} \end{cases}$	46	25	4	2	-	-
	77	31	6	2	-	-

Galanopoulos' Earthquake Recurrence Model (1988): $\mu$

$$\text{Log}(N_{c1}) = 2.5646 - 0.4966t, \quad \sigma = \pm 0.084$$

$$\text{Log}(N_{c2}) = 2.481 - 0.5401t, \quad \sigma = \pm 0.063$$

TABLE 4C

Distribution of percentage of earthquake occurrences in terms of actual  
interoccurrence time (t)

Percentage	Repeat Times (t)						Total
	1	2	3	4	5	6	
Sample 1	63	21	12	3	1	-	100
Sample 2	60	32	5	3	-	-	100

TABLE 5

List of earthquakes with  $M_s \geq 5 \frac{1}{2}$  off the eastern Crete ( $34^\circ$  N  $36^\circ$  and  $26^\circ$  E  $28^\circ$ ). Sample period 1958-1987

No	Date	Location		Depth km	Intensity I <sub>o</sub>	Magnitude M <sub>s</sub>	Interevent Time in Days	
		N°	E°					
1	1959, July 12	36.0	26.3	80	—	5 1/2	—	—
2	1960, April 28	34.3	26.5	60	—	5 1/2	291	291
3	1960, Aug. 8	35.6	27.7	8	V	5 1/2	102	102
4	1960, Aug. 27	34.2	26.2	15	—	5 3/4	19	19
5	1960, Sept. 10*	34.4	26.4	15	—	5 1/2	14	—
6	1961, Jan. 7	35.4	26.2	75	—	5 1/2	119	133
7	1961, March 13	34.5	26.7	16	—	5 1/2	65	65
8	1962, April 28	36.0	26.9	50	—	6	411	411
9	1962, April 28*	36.1	26.9	50	—	5 3/4	0	—
10	1962, Sept. 10	34.6	26.6	50	—	5 1/2	135	135
11	1966, May 9	34.4	26.4	13	—	6	1338	1338
12	1966, May 9*	34.3	26.4	43	—	5 1/2	0	—
13	1966, May 13*	34.5	26.5	37	—	5 1/2	4	—
14	1966, May 18*	34.5	26.5	41	—	5 1/2	5	—
15	1966, Dec. 18	35.1	26.9	33	—	5 1/2	214	223
16	1967, May 15	34.5	26.6	35	—	5 3/4	148	148
17	1968, May 30*	35.4	27.9	27	—	6	381	—
18	1968, July 27	35.4	27.9	29	—	6 1/4	58	439
19	1968, July 31*	35.5	28.0	49	V-VI	5 3/4	4	—
20	1968, Aug. 4*	35.4	27.8	42	—	5 1/2	4	—
21	1968, Aug. 15	35.2	26.7	48	—	6	11	19
22	1969, April 16*	35.3	27.9	55	—	5 3/4	244	—
23	1969, April 16	35.3	27.8	52	—	6	0	244
24	1969, April 16*	35.2	27.7	58	—	6	0	—
25	1969, April 17*	35.2	27.8	55	—	5 3/4	1	—
26	1969, May 1*	35.4	27.7	51	—	6	14	—
27	1969, May 1*	35.4	27.7	67	—	5 3/4	0	—
28	1969, May 14*	35.3	27.7	43	—	6	13	—
29	1969, May 15*	35.3	27.7	46	—	5 3/4	1	—
30	1969, July 24	34.9	26.0	60	—	5 1/2	70	99
31	1969, Sept. 4	35.1	27.2	43	—	5 1/2	42	42
32	1969, Dec. 31*	34.4	26.1	54	—	5 1/2	118	—
33	1970, April 7	34.6	26.1	20	—	5 3/4	97	215
34	1971, Jan. 3	34.6	26.3	47	—	6	271	271
35	1971, July 3	35.1	27.9	40	—	5 3/4	181	181
36	1971, Oct. 3*	34.1	26.1	35	—	5 1/2	92	—
37	1971, Oct. 4*	34.2	26.2	17	—	5 1/2	1	—
38	1971, Oct. 13	34.2	26.1	17	—	6	9	102
39	1971, Nov. 22	35.3	27.8	34	—	5 1/2	40	40
40	1972, June 9	34.7	26.5	41	—	5 3/4	200	200
41	1972, Sept 26	34.2	26.1	23	—	5 3/4	109	109
42	1972, Dec. 2	35.3	27.1	36	—	6	67	67
43	1972, Dec. 19	35.3	27.7	41	—	5 3/4	17	17



cont. Table 5

44	1973.	June	26	34.4	, 26.1	50	-	5 3/4	189	189
45	1973.	Oct.	6	34.8	, 26.3	38	-	5 1/2	102	102
46	1973.	Oct.	13*	34.7	, 26.4	52	-	5 1/2	7	-
47	1973.	Oct.	14*	34.7	, 26.3	51	-	5 1/2	1	-
48	1973.	Nov.	12*	35.3	, 27.7	47	-	5 3/4	29	-
49	1973.	Nov.	12	35.4	, 27.6	21	-	6	0	37
50	1973.	Nov.	14*	35.3	, 27.7	42	-	5 1/2	2	-
51	1973.	Nov.	19*	35.3	, 27.7	60	-	5 1/2	5	-
52	1973.	Dec.	5	35.4	, 26.4	70	-	6	16	23
53	1974.	May	19	35.5	, 26.3	84	V	6 1/4	165	165
54	1974.	Sept.	29	35.4	, 27.9	49	-	5 1/2	133	133
55	1975.	Jan.	3	35.6	, 27.3	42	-	5 3/4	96	96
56	1975.	Febr.	15	35.8	, 26.9	46	-	5 3/4	43	43
57	1975.	Sept.	22	35.2	, 26.3	55	-	6 1/2	219	219
58	1976.	Oct.	21	35.8	, 27.0	89	-	5 1/2	395	395
59	1977.	May	27	35.1	, 26.6	65	-	5 1/2	218	218
60	1977.	Aug.	5	34.3	, 26.8	33	-	5 1/2	70	70
61	1977.	Oct.	27	35.4	, 27.6	46	-	6	83	83
62	1977.	Nov.	28	36.0	, 27.8	81	-	6 1/2	32	32
63	1978.	March	1	36.0	, 27.1	94	-	5 1/2	93	93
64	1978.	Oct.	18	35.0	, 26.0	10	-	5 1/2	231	231
65	1978.	Nov.	18	36.0	, 26.4	114	-	5 3/4	41	41
66	1979.	July	23	35.5	, 26.4	36	V-VI	6 1/2	237	237
67	1979.	Aug.	11*	35.4	, 26.3	40	-	5 3/4	19	-
68	1979.	Aug.	22	35.9	, 27.4	90	V	6 1/4	11	30
69	1980.	May	16	35.9	, 27.3	57	-	6 1/4	268	268
70	1981.	May	8	35.8	, 27.2	110	-	5 3/4	357	357
71	1981.	June	1	35.5	, 26.3	81	-	6 1/4	24	24
72	1982.	Sept.	20*	34.3	, 26.0	39	-	6	476	-
73	1982.	Sept.	21	34.3	, 26.0	42	-	6 1/2	1	477
74	1982.	Oct.	11	35.4	, 27.8	69	-	5 3/4	20	20
75	1983.	Jan.	27	35.3	, 27.4	50	-	5 1/2	108	108
76	1983.	Sept.	9	35.5	, 27.2	35	-	6	225	225
77	1984.	Febr.	18	34.8	, 26.0	37	-	6	162	162
78	1984.	June	10	34.9	, 26.2	11	-	5 3/4	113	113
79	1984.	Sept.	23	34.8	, 26.7	55	-	5 3/4	105	105
80	1985.	May	10	35.4	, 27.2	32	-	5 3/4	229	229
81	1985.	July	14	35.9	, 26.2	105	-	5 1/2	65	65
82	1985.	Sept.	27	34.4	, 26.5	41	-	6 1/2	75	75
83	1985.	Nov.	21	34.2	, 26.1	22	-	5 1/2	55	55
84	1986.	May	22	34.6	, 26.5	48	-	6 1/2	182	182
85	1986.	Sept.	26	34.4	, 26.2	49	-	5 3/4	127	127
86	1987.	Febr.	9	35.4	, 26.1	18	-	5 1/2	136	136
87	1987.	Aug.	15	34.2	, 26.6	20	-	5 1/2	187	187
88	1987.	Aug.	25*	34.4	, 26.6	40	-	5 1/2	10	-
89	1987.	Dec.	10	34.8	, 26.7	7	-	5 3/4	107	117

TABLE 5A

Cumulative frequency of earthquakes in magnitude increments ( $\Delta m = 1/2$ )

Frequency	Magnitude $M_m$		
	5 1/2	6	6 1/2
All data $\begin{cases} N_1 \\ N_{c_1} \end{cases}$	61	22	6
	89	28	6
Data without inter- dependent events $\begin{cases} N_{c_2} \\ N_{c_2} \end{cases}$	39	17	6
	62	23	6

Gutenberg-Richter's Earthquake Recurrence Model (1954):

$$\text{Log}(N_{c_1}) = 8.417 - 1.171 M_m, \quad \sigma = \pm 0.048$$

$$\text{Log}(N_{c_2}) = 7.401 - 1.014 M_m, \quad \sigma = \pm 0.045$$

TABLE 5B

Cumulative frequency of earthquake occurrences per actual repeat time expressed as unit time the average interoccurrence time ( $m_1=123, m_2=177$  Days)

Frequency	Repeat Times (t)					
	1	2	3	4	5	6
All data $\begin{cases} N_1 \\ N_{c_1} \end{cases}$	59	20	4	4		
	87	28	8	4		
Data without inter- dependent events $\begin{cases} N_{c_2} \\ N_{c_2} \end{cases}$	39	17	5	-		
	61	22	5	-		

Galanopoulos' Earthquake Recurrence Model (1988):

$$\text{Log}(N_{c_1}) = 2.3625 - 0.4558t, \quad \sigma = \pm 0.067$$

$$\text{Log}(N_{c_2}) = 2.3613 - 0.543t, \quad \sigma = \pm 0.058$$

TABLE 5C

Distribution of percentage of earthquake occurrences in terms of actual interoccurrence time (t)

Percentage	Repeat Times (t)					
	1	2	3	4	5	Total
Sample 1	68	23	5	4	1	100
Sample 2	64	28	8	-	-	100

TABLE 6A

Cumulative frequency of earthquakes with  $M_s \geq 5 \frac{1}{2}$  in the focal volume of the whole island of Crete ( $34^\circ N 36^\circ$ ,  $22^\circ E 28^\circ$ ). Sample period 1958-1987: in magnitude increments ( $\Delta m = 1/2$ )

Frequency	Magnitude $M_m$		
	5 1/2	6	6 1/2
All data $\left\{ \begin{array}{l} N_1 \\ N_{c1} \end{array} \right.$	167	54	20
	241	74	20
Data without inter- dependent events $\left\{ \begin{array}{l} N_{c2} \\ N_{c2'} \end{array} \right.$	127	44	20
	191	64	20

Gutenberg-Richter's Earthquake Recurrence Model (1954):

$$\text{Log}(N_{c1}) = 8.3367 - 1.081 M_m, \quad \sigma = \pm 0.016$$

$$\text{Log}(N_{c1}) = 7.676 - 0.98 M_m, \quad \sigma = \pm 0.009$$

TABLE 6B

Cumulative frequency of earthquake occurrences in the focal volume of the whole island of Crete ( $34^\circ N 36^\circ$ ,  $22^\circ E 28^\circ$ ) per actual repeat time expressed as unit time the average interoccurrence time ( $m_1=45$ ,  $m_1=57$  Days)

Frequency	Repeat Times (t)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
All data $\left\{ \begin{array}{l} N_1 \\ N_{c1} \end{array} \right.$	167	34	24	8	3	2	1	0	1
	238	71	37	13	5	2			
Data without inter- dependent events $\left\{ \begin{array}{l} N_{c2} \\ N_{c2'} \end{array} \right.$	125	42	15	5	2	1	0	1	
	190	65	23	8	3	1			

Galanopoulos' Earthquake Recurrence Model (1988):

$$\text{Log}(N_{c2}') = 2.7473 - 0.4083t, \quad \sigma = \pm 0.045, \quad \text{for } t \leq 6$$

$$\text{Log}(N_{c2}) = 2.7252 - 0.4532t, \quad \sigma = \pm 0.010 \quad \text{for } t \leq 6$$



TABLE 6C

Distribution of percentage of earthquake occurrences in the focal volume of the whole island of Crete ( $34^{\circ}\text{N}36^{\circ}$ ,  $22^{\circ}\text{E}28^{\circ}$ ) in terms of actual interoccurrence time (t)

Percentage	Repeat Times (t)						
	1	2	3	4	5	6	Total
Sample 1	70	14	10	3	1	1	99
Sample 2	66	22	8	3	1	0	100

TABLE 7

Return period range for potentially damaging ( $M_s \geq 5\frac{1}{2}$ ) and destructive shocks ( $M_s \geq 7$ )

Centres of Square Sources	Earthquake Hazard $5\frac{1}{2} M_s$ and over		Earthquake Risk $7 M_s$ and over	
	Sample 1 Years	Sample 2 Years	Sample 1 Years	Sample 2 Years
$35^{\circ}\text{N}$ , $23^{\circ}\text{E}$	0.37-2.11	0.47-2.67	11.25- 64.15	10.54-60.20
$35^{\circ}\text{N}$ , $24^{\circ}\text{E}$	0.34-1.96	0.41-2.32	8.15- 47.54	7.83-44.72
$35^{\circ}\text{N}$ , $25^{\circ}\text{E}$	0.37-1.98	0.46-2.18	14.72- 77.96	13.96-66.08
$35^{\circ}\text{N}$ , $26^{\circ}\text{E}$	0.27-1.38	0.37-1.70	14.66- 75.69	14.39-66.09
$35^{\circ}\text{N}$ , $27^{\circ}\text{E}$	0.32-1.64	0.45-1.95	18.07- 93.67	14.93-64.92
-----	-----	-----	-----	-----
Average $2^{\circ}\times 2^{\circ}$	0.37-2.46	0.47-2.80	15.29-102.86	13.74-82.63

TABLE 8

Parameters of the earthquake potential of square sources ( $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ ) along the focal volume of Crete ( $34^{\circ}\text{N}36^{\circ}$ ,  $22^{\circ}\text{E}28^{\circ}$ )

Centers of Square Sources $2^{\circ}\times 2^{\circ}$	Number of Earthquakes $M_s \geq 5\frac{1}{2}$	Released Energy in $10^{21}$ Ergs	Return Period Range		Once per year Earthquake
			$M_s \geq 5\frac{1}{2}$ years	$M_s \geq 7$ years	
$35^{\circ}\text{N}$ , $23^{\circ}\text{E}$	79	60.79	1.74	52.90	5.9
$35^{\circ}\text{N}$ , $24^{\circ}\text{E}$	92	70.69	1.62	39.39	6.0
$35^{\circ}\text{N}$ , $25^{\circ}\text{E}$	81	49.18	1.61	63.24	5.9
$35^{\circ}\text{N}$ , $26^{\circ}\text{E}$	101	54.29	1.11	61.03	6.0
$35^{\circ}\text{N}$ , $27^{\circ}\text{E}$	89	56.68	1.32	75.60	5.9
-----	-----	-----	-----	-----	-----
Average $2^{\circ}\times 2^{\circ}$	80	51.49	2.09	87.57	5.9

Όπως φαίνεται από τον συνοπτικό πίνακα 8, το σεισμικό δυναμικό που προκύπτει από το χρονικό εύρος του πραγματικού χρόνου επαναλήψεως των σεισμών που είναι δυνατόν να προκαλέσουν βλάβες ( $M_s \geq 5 \frac{1}{2}$ ) και καταστροφές ( $M_s \geq 7$ ) είναι σύμφωνο με τις άλλες παραμέτρους αυτού (πλήθος σεισμών, έκλυθεισα ενέργεια και μεγαλύτερο έτήσιο μέγεθος σεισμού\* που μπορεί να παρατηρηθεί με πιθανότητα 37%). Και οι τρεις αυτές παράμετροι είναι στην κεντρική Κρήτη σχετικώς μικρότερες από αυτές που παρατηρούνται τόσο στην δυτική όσο και στην ανατολική Κρήτη.

Η συμφωνία όλων αυτών των παραμέτρων υποδεικνύει ότι η κεντρική Κρήτη φιλοξενεί σχετικώς λιγότερες ελαστικές τάσεις. Αυτό όμως δεν μαρτυρεί ότι ο σεισμικός κίνδυνος είναι μικρότερος για τους οικισμούς της κεντρικής Κρήτης (βλ. εικ. 4).

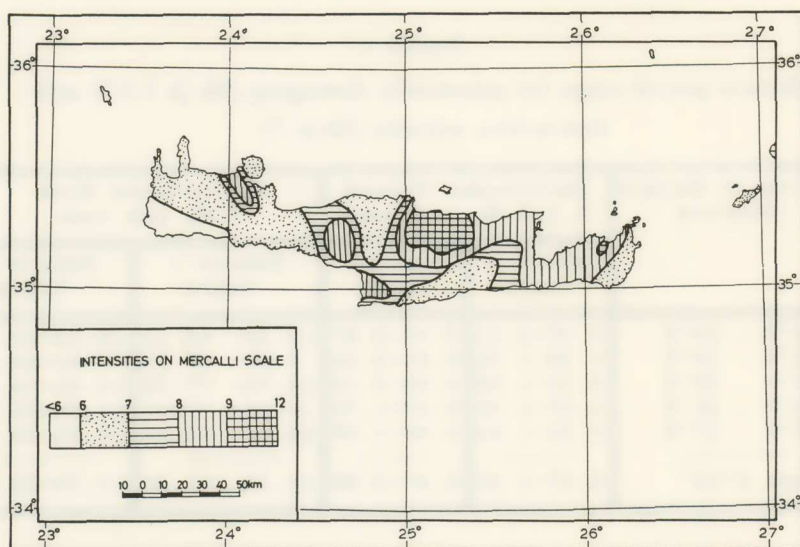


Fig. 4. Isoseismals of maximum intensity observed during the period 1800-1968.

\* Το μεγαλύτερο σεισμικό μέγεθος που μπορεί να παρατηρηθεί σε όρισμένη περιοχή δύναται να υπολογισθεί ως ακολούθως: Εύρισκομεν από την σχέση Gutenberg-Richter την μέση περίοδο επαναλήψεως του μεγαλύτερου σεισμού που παρατηρήθηκε κατά την περίοδο του δείγματος, και από την σχέση Γαλανοπούλου τον μέγιστο χρόνο επαναλήψεως αυτού. Το μέγεθος του σεισμού που αντιστοιχεί στον μέγιστο χρόνο επαναλήψεως του μεγαλύτερου σεισμού που παρατηρήθηκε κατά την περίοδο του δείγματος είναι, πιθανώς, το μεγαλύτερο μέγεθος σεισμού που μπορεί να παρατηρηθεί στην περιοχή αυτή. Με αυτή την μέθοδο, το μεγαλύτερο μέγεθος σεισμού που μπορεί να παρατηρηθεί στις 5 εξετασθείσες έστικες περιοχές της Κρήτης είναι κατά σειράν, από Δ προς Α: 7.4, 7.6, 7.2, 7.1 και 7.1, αντίστοιχως.

Ο σεισμικός κίνδυνος δὲν μπορεῖ νὰ ὀρισθεῖ μόνο ἀπὸ τὸ σεισμικὸ δυναμικὸ τῆς περιοχῆς. Ο σεισμικός κίνδυνος ὀρίζεται ἀπὸ πολλοὺς παράγοντες (Γαλανόπουλος, 1990) καὶ ἐξαρτᾶται πολὺ ἀπὸ τὸ ἔδαφος θεμελιώσεως τῶν οἰκισμῶν καὶ τὴν στάθμη τοῦ δομικοῦ πολιτισμοῦ αὐτῶν. Αὐτὸς εἶναι καὶ ὁ κύριος λόγος ποὺ ἡ πρόβλεψη τῶν σεισμῶν θεωρεῖται οὐτοπία ἀπὸ πρακτικῆς πλευρᾶς.

Γιὰ συγκριτικούς καὶ μόνον λόγους, ἀναφέρουμε ὅτι τὸ σεισμικὸ δυναμικὸ στὴν περιοχὴ Κεφαλονιάς-Ζακύνθου (Galanopoulos, 1987), στὸ δυτικὸ ἄκρο τοῦ Ἑλληνικοῦ τόξου (38°N, 21°E) γιὰ ἴση σεισμικὴ ἔκταση, 4°, εἶναι περίπου τῆς αὐτῆς τάξεως μὲ αὐτὸ ποὺ ὑπολογίζεται γιὰ τὴν περιοχὴ τῆς Κρήτης (2,03 - 0,25 ἔτη γιὰ  $M_s \geq 5 \frac{1}{2}$  καὶ 76,05 - 9,33 ἔτη γιὰ  $M_s \geq 7$ ). Στὴν περιοχὴ τῆς Ἀττικῆς (Galanopoulos, 1989a) στὸ ἐσωτερικὸ τοῦ Ἑλληνικοῦ τόξου, σὲ ἀπόσταση περίπου 250 km ἀπὸ τὴν περιοχὴ συγκρούσεως τῶν πλακῶν Ἀφρικῆς-Εὐρώπης (38°N, 23.5°E) τὸ σεισμικὸ δυναμικὸ εἶναι πολὺ μικρότερο (9,31 - 1,57 ἔτη γιὰ  $M_s \geq 5 \frac{1}{2}$  καὶ 311,89 - 52,61 ἔτη γιὰ  $M_s \geq 7$ ). Στὴν περιοχὴ τῆς Κῶ (Galanopoulos, 1987), σὲ ἀπόσταση περίπου 200 km ἀπὸ τὴν ζώνη ἐπαφῆς τῶν πλακῶν Εὐρώπης-Ἀφρικῆς (37°N, 27°E), τὸ σεισμικὸ δυναμικὸ εἶναι μεγαλύτερο ἀπὸ αὐτὸ τῆς Ἀττικῆς (2,41 - 0,37 ἔτη γιὰ  $M_s \geq 5 \frac{1}{2}$  καὶ 214,86 - 33,04 ἔτη γιὰ  $M_s \geq 7$ ). Οἱ διαφορὲς τοῦ σεισμικοῦ δυναμικοῦ ἐκφράζονται καλύτερα ἀπὸ τὸ εὖρος τοῦ χρόνου ἐπαναλήψεως τῶν σεισμῶν μεγαλύτερου μεγέθους ( $M_s \geq 7$ ): Κεφαλονιά-Ζακύνθος 76,05 ἔτη, Κρήτη 102,86 ἔτη, Κῶς 214,86 ἔτη καὶ Ἀττικὴ 311,89 ἔτη. Τὰ ἐξαγόμενα αὐτὰ εἶναι ἰσοδύναμα σὲ ἐνέργεια μὲ ἰσάριθμα μέγιστα ἐτήσια μεγέθη σεισμῶν (once-per-year earthquakes): 5,7 - 5,6 - 5,4 καὶ 5,3 ἀντιστοίχως (Galanopoulos, 1968). Μὲ αὐτὰ τὰ δεδομένα μετὰ ἀπὸ 100 χρόνια ἡρεμίας ὁ μέγιστος ἀναμενόμενος σεισμὸς στὶς περιοχὲς αὐτὲς θὰ ἔχει μέγεθος: 7,0 - 6,9 - 6,7 καὶ 6,6 - ἀντιστοίχως.



## SUMMARY

**Earthquake Potential Trend Along the Island of Crete**

In a multi-dislocated country with several inter-mountainous basins and fault-bounded gulfs with many near-shore cities and numerous villages built on brittle and loose sediments near-by the contact zone of two convergent plates responsible for the development of the tertiary Hellenic arc, the main structural feature of Greece, there is no site that could be considered in the long run earthquake immune.

However, the earthquake potential is not evenly distributed over the whole country. There are several factors affecting it: among them the distance of the fault region considered from the Hellenic trench, the contact zone of the overriding Eurasian plate and the underthrusting African plate. Thus, while in the long run all localities in Greece may suffer damages from earthquakes of the same maximum magnitude, the time intervals of suffering are very much different.

Therefore, the earthquake risk can not be estimated by the possible maximum earthquake magnitude that may experience a certain site. It is imperative to be also known the average repeat time and return period range for potentially damaging ( $M_s \geq 5\frac{1}{2}$ ) and destructive shocks ( $M_s \geq 7$ ).

With this philosophy in mind, an attempt is made to determine the earthquake potential trend along the island of Crete, the southern branch of the Hellenic sedimentary arc. The return period range for potentially damaging and destructive shocks in central Crete indicates an earthquake potential slightly less than that surmised for western and eastern Crete. This is in agreement with the number of shocks and the released energy during the study period (1958-1987), as well as with the once-per-year earthquake, i.e. the annual maximum magnitude that has a probability of 63% of being exceeded in one year.

The return period range for potentially destructive events allows a better insight into the earthquake potential differences in neighbouring regions. The energy corresponding e.g. to a 7  $M_s$  earthquake divided by its return period range in a certain region is equal to the minimum rate of seismic energy accumulation, or the energy corresponding to the annual maximum magnitude, i.e.

the annual minimum rate of earthquake potential of the region. However, the earthquake potential can not by itself define the earthquake risk.

The earthquake risk depends on several additional factors, among them on the focal depth, the onshore or offshore location of the source, the foundation of the site and the dominant level of building construction, i.e. the vulnerability of building structures that are lacking in ductile components, a latent and elusive structural component defect mostly unknown prior to a damaging shaking. This is the main reason why the earthquake prognosis and particularly the earthquake forecasting is considered, from practical point of view, just a very plain utopia.

#### ACKNOWLEDGMENT

The author is much indebted to Miss Maria Ntailiana for the careful typing of the manuscript. The drafting of the figures is due to the kindness of Mrs. Litsa Skordopoulos.

#### REFERENCES

- Faugerès L., Zamani A. and V. Sabot, Analyse Morphotectonique de l'Escarpe-  
mant de la Côte Occidentale de Crète, du Cap Gramvoussa au Cap Krios et à Palaeo-  
chora. Ann. Geol. des Pays Hellén., Vol. 33, pp. 1-23, 1987/1988.
- Galanopoulos G. A., On Quantative Determination of Earthquake Risk. Ann. di  
Geof., Vol. 21, n. 2, pp. 193-206, 1968.
- Γαλανοπούλου Γ. Α., Στοιχεία Σεισμολογίας και Φυσικής του Έσωτερικού της Γης.  
Δεύτερη Έκδοση σ. 1-405, 'Αθήναι 1971.
- Galanopoulos G. A., On the Difference in the Seismic Risk for Normal and Tall  
structures at the Same Site. Publ. Seism. Lab. Univ. Athens, pp. 1-33, 1977.
- Galanopoulos G. A. and K. C. Makropoulos. On the Accuracy of the m<sub>b</sub>-  
Determination from the Number of Reporting Stations. Lowering of the Magnitude  
Threshold and Difference in the Index of Seismic Hazard and Seismic Risk in the Area  
of Greece. Proceedings 2nd. Intern. Symp. on the Analysis of Seismicity and on Seismic  
Hazard, pp. 574-601, 1981.
- Galanopoulos G. A., On the Earthquake Activity occurring per Month in Greece.  
Prakt. Acad. Athenes, Vol. 60, pp. 152-180, 1985a.
- Galanopoulos G. A., Spreading of Felt Shaking of Recent Interplate Earthquakes  
of the Hellenic Arc in Africa (Egypt and Libya) Evidences the Reliability of Older Seis-  
mic Data. Prakt. Acad. Athènes, Vol. 60, pp. 605-624, 1985b.

- Galanopoulos G. A., Difference in the Interoccurrence Time of the Major Interplate and Intraplate Earthquakes in the Most Seismically Active Source Zones of Ionian and Aegean Region. *Prakt. Acad. Athènes*, Vol. 62, pp. 144-162, 1987.
- Galanopoulos G. A., The Earthquake Hazard in the Greater and Lesser Attica. *Prakt. Acad. Athènes*, Vol. 63, pp. 378-387, 1989a.
- Galanopoulos G. A., The Earthquake Hazard in Achaja and Particularly in a Rion-Antirion Coupling. *Prakt. Acad. Athènes*, Vol. 63, pp. 451-463, 1989b.
- Γαλανόπουλος Γ. Α., Γιατί στις περισσότερες περιπτώσεις είναι αδύνατη ή έγκαιρη πρόβλεψη των βλαβερών σεισμών. *Πρακτ. 'Ακαδ. 'Αθηνών*, Τομ. 64, σ. 318-329, 1990.
- Gutenberg B. and C. F. Richter, Seismicity of the Earth, *Geol. Soc. Am. Spec. Pap.* 34, pp. 1-33, 1941.
- Laborel J., Pirazzoli P. A. and J. Thommeret & Y. Thommeret, Holocene Raised Shorelines in Western Crete (Greece). *Proceedings, 1978 Intern. Symp. on Coastal Evolution in the Quaternary*, pp. 475-501, San Paulo, Brasil, 1979.
- Le Pichon X. and J. Angelier, The Hellenic Arc and Trench System. A Key in the Neotectonic Evolution of the Eastern Mediterranean Area. *Tectonophysics*. Vol. 60, pp. 1-42, 1979.
- Montaggioni L. P., Pirazzoli P. A., Laborel J. et J. & Y. Thommeret, Rivages Tyrrhéniens et Historiques à Strongilo et dans le Sud-Est de la Crète (Grèce). *Actes du Colloque «Niveaux Marins et Tecton. Quater. dans l'Aire Medit.»* Paris 1980. Centre Nat. de la Rech. Sci. et Univ. de Paris I. pp. 67-76, 1981.
- Raulin V., Description Physique et Naturelle de l'île de Crète. *Arthus Bertrand*. 3 Vol. 3, pp. 1078, Paris 1896.
- Spratt T. S., *Travels and Researches in Crete*. J. Van Voorst. Vol., 2 London, 1865.
- Thommeret Y. & J., Laborel J., Montaggioni L. F. and P. A. Pirazzoli, Late Holocene Shoreline Changes and Seismo-tectonic Displacements in Western Crete (Greece). *Z. Geomorph. N. F., Suppl. Bd. 40*, pp. 127-149, Berlin-Stuttgart, December 1981a.
- Thommeret Y. & J., Pirazzoli P. A., Montaggioni L. F. and J. Laborel, Nouvelles Données sur les Rivages Soulevés de l' Holocène dans l' Ouest de la Crète. *Oceanis*. Vol. 7, Fasc. 4, pp. 473-480, 1981b.
- Zamani A. and H. Maroukian, A Morphotectonic Investigation in Northwestern Crete: The Peninsula of Acrotiri. *Z. Geomorph. N. F., Suppl. Bd. 40*, pp. 151-164, 1981.