

ΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΕΛΛΑΔΑΣ
ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΤΜΗΜΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ
(ΜΕΛΟΣ FIB - RILEM)

13^ο ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ
ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ



Ρέθυμνο 25 - 27 Οκτωβρίου 1999

ΣΕ ΣΥΝΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΤΟ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ - ΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΚΥΠΡΟΥ (ΕΤΕΚ)

ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΝΕΔΡΙΑ

Ο ΣΕΙΣΜΟΣ ΣΤΟ ΙΖΜΙΤ ΤΗΣ ΤΟΥΡΚΙΑΣ, 1999

ΣΕΙΣΜΟΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ – ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΕΙΣΜΟΥ & ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ – ΣΥΝΟΔΑ ΓΕΩΔΥΝΑΜΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ – ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ & ΤΥΠΟΛΟΓΙΑ ΒΛΑΒΩΝ

Δρ. Ε. Λέκκας Αναπληρωτής Καθηγητής

Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Δυναμικής, Τεκτονικής & Εφαρμοσμένης Γεωλογίας

Μ. Δανδουλάκη Πολιτικός Μηχανικός

Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας (ΟΑΣΠ)

Κ. Ιωαννίδης Πολιτικός Μηχανικός

Επιστημονικό Κλιμάκιο Άμεσης Επέμβασης ΟΑΣΠ

Α. Κυριαζής Πολιτικός Μηχανικός

Επιστημονικό Κλιμάκιο Άμεσης Επέμβασης ΟΑΣΠ

Δρ. Σπ. Λαλεχός Γεωλόγος

Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας (ΟΑΣΠ)

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Την 17η Αυγούστου και ώρα 03:01:37 (τοπική) εκδηλώθηκε σφοδρή σεισμική κίνηση με επίκεντρο 40.702N, 29.987E (USGS), το οποίο τοποθετείται στα νοτιοδυτικά προάστια της πόλης İzmit (Νικομήδεια). Το μέγεθος του σεισμού ήταν $M_w=7.4$ (USGS,UTC), ενώ το βάθος της σεισμικής εστίας ήταν 15-17Km (USGS). Από το σεισμό προκλήθηκαν εκτεταμένες καταστροφές στην ευρύτερη επικεντρική περιοχή που περιλαμβάνει τις πόλεις Adapazarı, İzmit, Gölcük και Yalova, οι οποίες αναπτύσσονται σε έναν άξονα με γενική διεύθυνση Α-Δ. Οι κύριες καταστροφές παρατηρήθηκαν σε μια επιμήκη ζώνη μήκους 140 και πλάτους περίπου 15 χιλιομέτρων. Παράλληλα, μεγάλες ζημιές παρατηρήθηκαν και στην ευρύτερη περιοχή, όπως στην Κωνσταντινούπολη και στις πόλεις Bursa, Eskişehir, Düzce και Bolu.

Σύμφωνα με τις εκτιμήσεις και πληροφορίες από το σεισμό, 14.000 άνθρωποι σκοτώθηκαν, 45.000 τραυματίστηκαν, 600.000 έμειναν άστεγοι, ενώ θα πρέπει να σημειωθεί ότι είχαν αναφερθεί και 45.000 αγνοούμενοι. Πρόσθετα, καταγράφηκαν 3.000 ολικές ή μερικές καταρρεύσεις κτιρίων και 20.000 περίπου υπέστησαν σημαντικότερες βλάβες. Παράλληλα, καταστροφές παρατηρήθηκαν σε μεγάλες βιομηχανικές μονάδες και σε τεχνικά έργα, όπως οδικούς άξονες, γέφυρες, σιδηροδρομικές γραμμές, λιμενικές εγκαταστάσεις, κ.ά.

Στις επιπτώσεις από τη σεισμική κίνηση συνέβαλε καθοριστικά η εκδήλωση συνοδών γεωδυναμικών φαινομένων, όπως κατολισθήσεων, καθιζήσεων, μεταθέσεων ακτογραμμών, κ.ά. καθώς και η εκδήλωση πυρκαγιών.

Σύμφωνα με τις πρώτες εκτιμήσεις οι οικονομικές επιπτώσεις από την καταστροφή ανέρχονται στο ποσό των 50 δις. δολαρίων χωρίς να υπολογίζονται οι μακροπρόθεσμες επιπτώσεις στην οικονομία της χώρας. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η περιοχή που επλήγη (İzmit, Bursa, Adapazarı) παράγεται το 38% του ΑΕΠ της Τουρκίας (Εφημερίδα ΕΞΠΡΕΣ, 1999).

Μετά την κύρια σεισμική δόνηση εκδηλώθηκε σειρά μετασεισμών στην ευρύτερη περιοχή με τα επίκεντρα διατεταγμένα κυρίως σε μια διεύθυνση Α-Δ, ενώ ο μεγαλύτερος αριθμός των μετασεισμών εκδηλώθηκε στην περιοχή μεταξύ İzmit και Adapazarı (Birgoren & Tarhan, 1999).

Αμέσως μετά τη σεισμική δόνηση και την κατ' αρχήν διαπίστωση της έκτασης της καταστροφής άρχισαν οι διασσωστικές ενέργειες, οι οποίες σε μεγάλο ποσοστό έγιναν από κατοίκους των πόλεων και από τις τοπικές δυνάμεις. Εξειδικευμένες διασσωστικές ενέργειες άρχισαν 20 ώρες μετά το σεισμικό γεγονός κυρίως από ξένες αποστολές μεταξύ των οποίων και η Ελληνική που έφτασε από τις πρώτες στην περιοχή. Τις πρώτες ώρες μετά το σεισμό, η απόκριση για τη διαχείριση της κρίσης θεωρείται γενικά υποτυπώδης εξαιτίας της έκτασης της καταστροφής με μεγάλη συμμετοχή εθελοντών, ενώ στη συνέχεια οι πολιτικές και στρατιωτικές δυνάμεις ανέλαβαν τον συντονισμό για την αντιμετώπιση της κατάστασης.

Κλιμάκιο άμεσης επέμβασης του ΟΑΣΠ που απετέλεσαν οι συγγραφείς μετέβη στην Τουρκία την ημέρα του σεισμού και αποτέλεσε μαζί με τα κλιμάκια της Ε.Μ.Α.Κ. και του Ε.Κ.Α.Β., την Ελληνική διασσωστική ομάδα. Το κλιμάκιο είχε διττή αποστολή, αφενός να υποστηρίξει τεχνικά τις επιχειρήσεις διάσωσης και αφετέρου να αποκτήσει συνολική εικόνα της καταστροφής και να κάνει αρχικές εκτιμήσεις ως προς τις επιπτώσεις του σεισμού και τη μετασεισμική απόκριση. Στα πλαίσια αυτά εργάστηκε στις περιοχές Avcılar προάστιο δυτικά της Κωνσταντινούπολης, Izmit, Gölcük Adapazarı και Yalova.

ΤΟ ΣΕΙΣΜΟΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

Ο χώρος της Ελλάδας, της Κύπρου και της Τουρκίας βρίσκεται πάνω στην Ευρασιατική πλάκα, η οποία επωθείται προς το νότο στην πλάκα της Αφρικής που υποβυθίζεται. Παράλληλα, στην περιοχή της Συρίας, η πλάκα της Αραβίας διεμβολίζει την Ευρασιατική πλάκα κινούμενη προς τα βόρεια, με αποτέλεσμα ένα μεγάλο τμήμα του Τουρκικού χώρου να ωθείται πλευρικά-δυτικά προς το χώρο του Αιγαίου. Η κίνηση αυτή διευκολύνεται από την παρουσία της North Anatolian Fault Zone, το οποίο διασχίζει με μια γενική διεύθυνση Α-Δ, από την περιοχή της Αρμενίας έως τον Ελλήσποντο τον Τουρκικό χώρο, αποτελώντας παράλληλα μια πρώτης τάξεως ενεργό τεκτονική δομή μέσα στην Ευρασιατική πλάκα (Sengor 1979, Ambraseys 1970, Barka 1992). Η κίνηση κατά μήκος της North Anatolian Fault Zone είναι οριζόντια δεξιόστροφη (Εικ. 1) και έχει σαν αποτέλεσμα την εκδήλωση σημαντικού αριθμού σεισμών, οι οποίοι φτάνουν και υπερβαίνουν συχνά μεγέθη της τάξης των 7R. Ενδεικτικό είναι ότι από το 1939 έχουν γίνει 10 μεγάλοι σεισμοί ανάλογου μεγέθους, οι οποίοι προξένησαν σημαντικότερες καταστροφές.

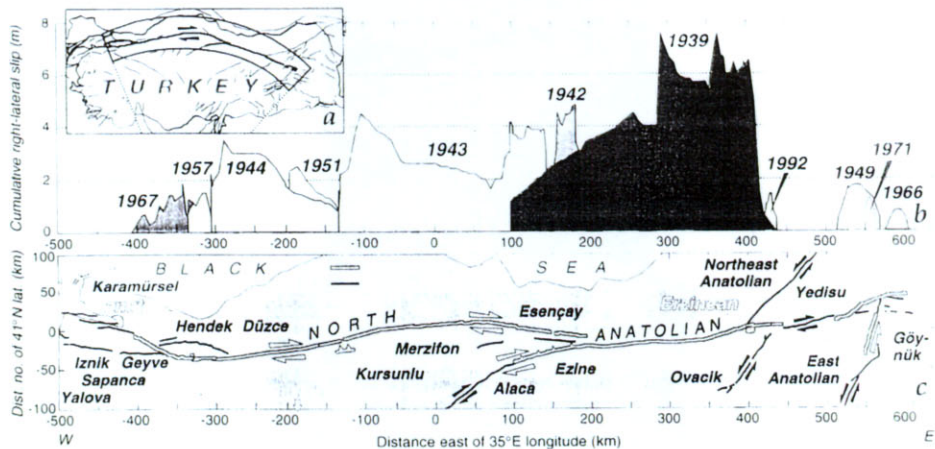
Κατά μήκος της NAFZ (North Anatolian Fault Zone) έχει παρατηρηθεί μια σταδιακή μετατόπιση της δραστηριότητάς της με εκδήλωση σεισμών από τα ανατολικά τμήματα (περιοχή Erzincan) προς τα δυτικά (περιοχή Izmit). Τα τελευταία μάλιστα χρόνια (Stein et al. 1997, Armijo et al. 1999) είχε διαπιστωθεί ότι είχαν συγκεντρωθεί τεκτονικές τάσεις και είχε προσδιοριστεί, με μεγάλη σχετική ακρίβεια, η βραχυπρόθεσμη ενεργοποίηση του ρήγματος στην επικεντρική περιοχή (Εικ. 2).

Η παρουσία της NAFZ σε όλο το μήκος της είναι εμφανής από την άμεση επίδρασή της στο ανάγλυφο και ειδικότερα τις ανωμαλίες που επιφέρει στο υδρογραφικό δίκτυο που οφείλονται στις ταπεινώσεις, ανυψώσεις και περιστροφές των ρηξιτεμαχών, λόγω της δεξιόστροφης οριζόντιας μετάθεσης των εκατέρωθεν πλευρών του ρήγματος. Οι κινήσεις αυτές έχουν δημιουργήσει σειρά ταπεινώσεων σε μακρο και μικρο-κλίμακα, όπως οι λίμνες Sapanca και Iznik, ενώ πιστεύεται ότι όλος ο κόλπος του Μαρμαρά και του Ελλήσποντου αντιστοιχεί σε μια τέτοια ενεργό τεκτονική μακροδομή (Armijo et al., 1999).

Η παρουσία της NAFZ στην ευρύτερη επικεντρική περιοχή τονίζεται, πρόσθετα, από τις εμφανίσεις ορισμένων γεωλογικών σχηματισμών και ειδικότερα των πρόσφατων Πλειο – Τεταρτογενών σχηματισμών, οι οποίοι έχουν μια επιμήκη ανάπτυξη με γενική διεύθυνση Α-Δ που συμπίπτει με αυτή της ρηξιγενούς ζώνης. Εκατέρωθεν των προηγούμενων σχηματισμών εμφανίζονται σχηματισμοί του υποβάθρου, οι οποίοι δομούν περιοχές με έντονο ανάγλυφο.



Εικ. 1 Γεωγραφικός χάρτης με τμήματα της Ν.Α.Φ.Ζ. στην ευρύτερη περιοχή Κωνσταντινούπολης, Ιζμίτ και Υαλόνα. Με τον αστερίσκο σημειώνεται η θέση του επικέντρου, ενώ διακρίνεται η δεξιόστροφη οριζόντια μετάθεση των εκατέρωθεν τεμαχών.



Εικ. 2 Η Ν.Α.Φ.Ζ. και οι διαδοχικές περιόδους ενεργοποίησης των επιμέρους τμημάτων της (Stein et al. 1997).

Στην ευρύτερη περιοχή του Izmit (Νικομήδειας), όπως είναι ευνόητο, λόγω της παρουσίας της ενεργού ρηξιγενούς ζώνης, έχουν εκδηλωθεί, σύμφωνα με τα υφιστάμενα στοιχεία των 2.000 τελευταίων χρόνων, τα ακόλουθα καταστροφικά σεισμικά γεγονότα (Ambraseys 1970, Ambraseys & Finkel 1995):

29 (24 Νοεμβρίου): Σεισμός κατέστρεψε την Νικομήδεια.

69: Η Νικομήδεια καταστράφηκε από σεισμό.

121: Η Νικομήδεια καταστράφηκε ολοσχερώς από σεισμό.

128: Η Νικομήδεια καταστράφηκε από σεισμό.

269: Η Νικομήδεια και η ευρύτερη περιοχή ερημώθηκε από σεισμό.

362 (2 Δεκεμβρίου): Η Νικομήδεια καταστράφηκε ολοσχερώς από σεισμό.

446 (26 Ιανουαρίου): Καταστροφικός σεισμός έλαβε χώρα στον κόλπο της Νικομήδειας.

478 (25 Σεπτεμβρίου): Η Ελληνόπολη και η Νικομήδεια καταστράφηκαν ολοσχερώς με πολλές ανθρώπινες απώλειες.

554 (16 Αυγούστου): Ένας καταστροφικός σεισμός προκάλεσε την κατάρρευση του μεγαλύτερου τμήματος της Νικομήδειας.

740 (26 Οκτωβρίου): Οι πόλεις Νικομήδεια, Πραένετος και Νίκαια καταστράφηκαν από σεισμό.

989 (25 Οκτωβρίου): Σεισμός στα ανατολικά της θάλασσας του Μαρμαρά προκάλεσε σημαντικές καταστροφές στη Νικομήδεια.

1064 (23 Σεπτεμβρίου): Η περιοχή μεταξύ της Κωνσταντινούπολης και της Νικομήδειας καταστράφηκε από σεισμό.

1567 (1 Οκτωβρίου): Σεισμός με επίκεντρο στη λίμνη Saranca προκάλεσε καταστροφές στην περιοχή μεταξύ της Κωνσταντινούπολης και της Νικομήδειας (Izmit).

1672 (25 Μαΐου): Σεισμός προκάλεσε καταστροφές στη Νικομήδεια (Izmit).

1719 (25 Μαΐου): Μεγάλος σεισμός στο ανατολικό τμήμα της θάλασσας του Μαρμαρά κατέστρεψε τις πόλεις Yalova, Pazarköy, Karamürsel, Kazikli, Izmit και Saranca.

1754 (2 Σεπτεμβρίου): Μεγάλος σεισμός εκδηλώθηκε στον κόλπο του Izmit. Πολλά χωριά καταστράφηκαν ολοσχερώς και περίπου 2.000 άνθρωποι σκοτώθηκαν.

1878 (19 Απριλίου): Σεισμός προκάλεσε καταστροφές στη Νικομήδεια (Izmit).

1894 (10 Ιουλίου): Καταστροφικός σεισμός στον κόλπο του Izmit προκάλεσε εκτεταμένες καταστροφές στην περιοχή μεταξύ Κωνσταντινούπολης και Adapazarı. Οι περισσότερες καταστροφές εντοπίστηκαν μεταξύ Heybeliada, Yalova και Saranca, όπου τα περισσότερα χωριά καταστράφηκαν ολοσχερώς με μεγάλες ανθρώπινες απώλειες.

1943 (20 Ιουνίου): Ο σεισμός του Hendek ($M_s=6.4$ και επίκεντρο 40.43N-30.48E) προκάλεσε μεγάλες καταστροφές ($I_o=VIII$) στην περιοχή μεταξύ Adapazarı, Hendek, Akyazi και Arifiye.

1957 (26 Μαΐου): Ο σεισμός του Abant είχε μέγεθος $M_s=7.0$ και επίκεντρο 40.57N-31.00E. Μαζί με το σεισμό εκδηλώθηκε σεισμική διάρρηξη μήκους 40 χιλιομέτρων με μέγιστο και μέσο άλμα περίπου 165 εκατοστά και 55 εκατοστά αντίστοιχα. Ο σεισμός προκάλεσε σχεδόν ολοσχερή καταστροφή σε μια στενή κοιλάδα μήκους 40 χιλιομέτρων μεταξύ της λίμνης Abant και του Dokurcun, με εντάσεις που έφταναν $I_o=X$ βαθμούς.

1963 (18 Σεπτεμβρίου): Ο σεισμός της Yalova, $M_s=6.4$ και επίκεντρο 40.65N-29.15E, προκάλεσε εκτεταμένες καταστροφές ($I_o=VIII$) στην περιοχή μεταξύ Cinarcik, Armutlu, Kaplıcası και Yalova.

1967 (22 Ιουλίου): Ο σεισμός του Mudurnu ($M_s=7.1$ και επίκεντρο 40.60N-30.80E) έλαβε χώρα στην δυτική προέκταση της σεισμικής διάρρηξης που δημιουργήθηκε κατά το σεισμό του 1957. Ο σεισμός δημιούργησε μια σεισμική διάρρηξη μήκους 80 χιλιομέτρων με μέγιστο και μέσο άλμα περίπου 260 εκατοστά και 90 εκατοστά αντίστοιχα. Προκάλεσε σοβαρές καταστροφές στην κοιλάδα του Mudurnu ($I_o=X$) σε συνδυασμό και με τις εκτεταμένες ρευστοποιήσεις των ποτάμιων αποθέσεων σε απόσταση μέχρι και 25 χιλιόμετρα από τη ρήγμα.

ΤΟ ΣΕΙΣΜΙΚΟ ΡΗΓΜΑ

Ο σεισμός της 17ης Αυγούστου 1999 είχε επίκεντρο τα περίχωρα της πόλης του Izmit και προκλήθηκε από την ενεργοποίηση της North Anatolian Fault Zone και ειδικότερα ενός τμήματός της,

το οποίο δεν είχε ενεργοποιηθεί σε προηγούμενους σεισμούς του αιώνα. Στο τμήμα αυτό, πριν από το σεισμό είχε ανιχνευθεί μια μέση ερπυστική μετακίνηση της τάξης των 10-15mm ανά έτος σύμφωνα με μετρήσεις GPS (Straub et. al., 1997). Πληροφορίες αναφέρουν ότι σεισμικές διαρρήξεις είχαν εμφανιστεί κατά τους σεισμούς του 1719 και του 1754. Σύμφωνα με τις ενόργανες καταγραφές και την επεξεργασία τους, το επίπεδο διάρρηξης έχει διεύθυνση Α-Δ, κατακόρυφη σχεδόν θέση και δεξιόστροφη οριζόντια κίνηση.

Σύμφωνα με τα στοιχεία υπαίθρου, η σεισμική διάρρηξη είχε μήκος περίπου 50 χιλιόμετρα κατακόρυφη θέση και η οριζόντια δεξιόστροφη μετατόπιση των εκατέρωθεν τεμαχίων κυμαίνεται από 1.9 έως 3 μέτρα, γεγονός που επιβεβαιώνει τα ενόργανα δεδομένα (Εικ. 3). Το σεισμικό ρήγμα είναι δυνατό να διακριθεί σε 2 κλάδους, στον ανατολικό και στο δυτικό. Ο πρώτος εμφανίστηκε μεταξύ του ποταμού Sakarğa νότια της πόλης Adarazarđ και καταλήγει στη λίμνη Saranpa. Έχει μήκος 15 περίπου χιλιόμετρα κατακόρυφη διάταξη, οριζόντια δεξιόστροφη μετατόπιση των εκατέρωθεν τεμαχίων της τάξης των 150 εκατοστών και γενική διεύθυνση Α-Δ. Εκδηλώθηκε στην επιφάνεια σε χαλαρούς Τεταρτογενείς σχηματισμούς και προξένησε σημαντικές καταστροφές στο οδικό δίκτυο με πλέον εντυπωσιακές αυτές στην εθνική οδό Κωνσταντινούπολης – Άγκυρας, ενώ πρόσθετα προξένησε εκτεταμένες καταστροφές σε κατασκευές, δίκτυα και εγκαταστάσεις. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η υπερυψωμένη γέφυρα στη διασταύρωση της εθνικής οδού στο ύψος του Artifiye που κατέρρευσε, τέμνεται από το σεισμικό ρήγμα.

Ο δεύτερος κλάδος (δυτικός) εμφανίστηκε από τη λίμνη Saranpa μέχρι την ακτογραμμή στα ανατολικά προάστια της πόλης Gölciik. Έχει μήκος περί τα 30 χιλιόμετρα κατακόρυφη διάταξη, οριζόντια δεξιόστροφη μετατόπιση της τάξης των 300 εκατοστών και γενική διεύθυνση Α-Δ. Εκδηλώθηκε σε χαλαρούς πρόσφατους σχηματισμούς και προξένησε σημαντικές καταστροφές στο οδικό δίκτυο, σιδηροδρομικές γραμμές, γέφυρες, δίκτυα ύδρευσης – αποχέτευσης, βιομηχανικές εγκαταστάσεις καθώς επίσης και σε έργα εξωραϊσμού. Σημαντικές όμως ήταν οι καταστροφές κατά μήκος του ίχνους του ρήγματος σε μεγάλο αριθμό κατασκευών, οι οποίες κατέρρευσαν ολοσχερώς, ενώ σημαντικές ήταν οι καταστροφές και εκατέρωθεν του ρήγματος. Σε απόσταση μερικών δεκάδων μέτρων από το ρήγμα παρατηρήθηκε μια μείωση της έντασης, η οποία όμως κατά θέσεις επηρεάζετο από άλλους παράγοντες, όπως τη φύση εδαφών θεμελίωσης, την εκδήλωση συνοδών γεωδυναμικών φαινομένων, τις διαφοροποιήσεις στο είδος και στην ποιότητα των κατασκευών, κλπ.

Κατά μήκος και των δύο κλάδων του σεισμικού ρήγματος υπήρχαν χαρακτηριστικές - εντυπωσιακές μεταθέσεις δενδροστοιχιών, έργων περιφράξης, δρόμων, πεζοδρομίων, έργων διευθέτησης χειμάρρων, τα οποία διευκόλυναν μεταξύ των άλλων στον υπολογισμό των γεωμετρικών και κινηματικών χαρακτηριστικών του σεισμικού ρήγματος (Εικ. 4, 5).

Είναι σημαντικό ότι κατά μήκος της ζώνης παραμόρφωσης της ρηξιγενούς σεισμικής επιφάνειας παρατηρήθηκαν φαινόμενα απόκλισης - διασποράς των γεωμετρικών και κινηματικών χαρακτηριστικών, τα οποία είναι αποτέλεσμα της παρουσίας μη ομογενών μέσων και ειδικότερα της διαφορετικής συμπεριφοράς γεωλογικών σχηματισμών στη διάτμηση. Το κινηματικό και δυναμικό πεδίο είναι υπεύθυνο για τη δημιουργία τεκτονικών μικροδομών Riedel, P-wave και en echelon, ανάλογων εκείνων που παρατηρήθηκαν σε πειραματικά μοντέλα. Είναι χαρακτηριστικό ότι κατά μήκος του σεισμικού ρήγματος παρατηρήθηκαν εδαφικά χάσματα οφειλόμενα σε τοπικές συνθήκες εφελκυσμού καθώς επίσης και αναβολές οφειλόμενες επίσης σε τοπικές συνθήκες συμπίεσης στις οποίες αναλύεται το διατμητικό πεδίο. Ένα αντιπροσωπευτικό παράδειγμα είναι η περιοχή νότια του δρόμου που συνδέει το Gölciik με το Izmit, όπου παρατηρήθηκε βύθιση μιας επιμήκους επιφάνειας 200×50 μέτρα κατά μήκος του σεισμικού ρήγματος, εξαιτίας μιας en echelon διάταξης. Στην συγκεκριμένη περιοχή λόγω της βύθισης που ήταν της τάξης των 120 εκατοστών περίπου κατέρρευσαν πολλές κατασκευές μεταξύ των οποίων 1 τέμενος, 1 σχολικό κτίριο, έργα υποδομής και κατοικίες.

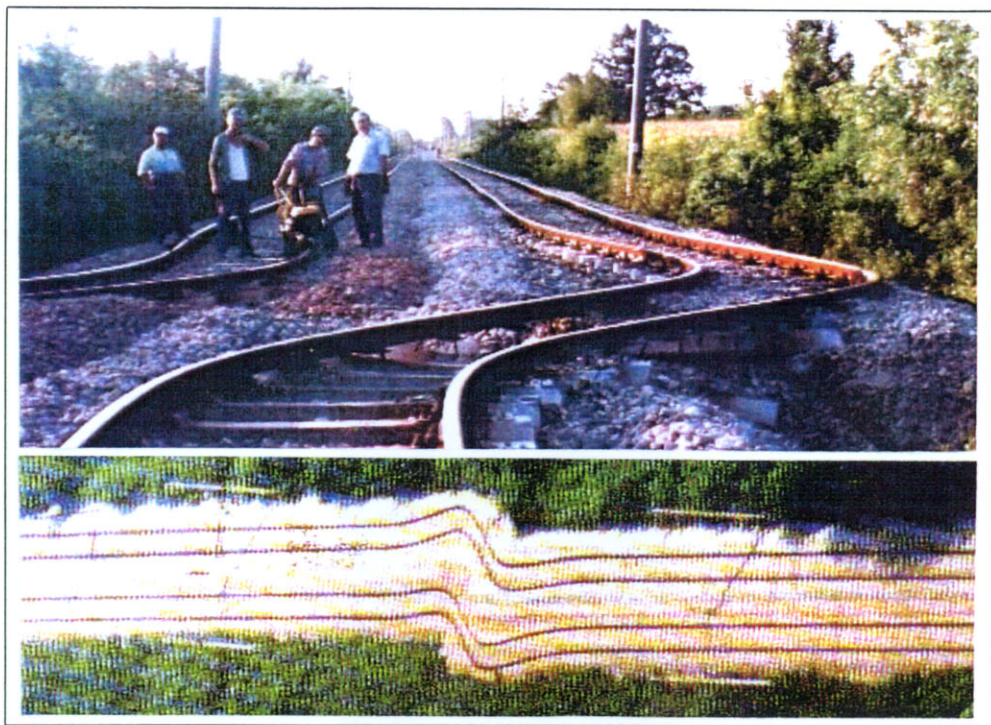
Σε μακρο-επίπεδο ανάλογες διατάξεις θεωρούνται υπεύθυνες για ανυψώσεις και βυθίσεις μεγάλων ρηξιτεμαχίων με πλέον χαρακτηριστική περίπτωση τη βύθιση της παράκτιας περιοχής της πόλης Gölciik, όπου και εισχώρησε η θάλασσα (Εικ. 6).



Εικ. 3 Εμφάνιση του σεισμικού ρήγματος με γενική διεύθυνση Α-Δ, στα ανατολικά προάστια της πόλης Gölcük.



Εικ. 4 Η σειρά των σιδερένιων στύλων διαχωρίστηκε σε δύο τμήματα που βρέθηκαν σε διαφορετική θέση, λόγω της δεξιόστροφης οριζόντιας μετατόπισης του ρήγματος κατά 2.10 μέτρα.



Εικ. 5 Χαρακτηριστική παραμόρφωση της σιδηροδρομικής γραμμής Νικομήδειας – Άγκυρας από την διέλευση του δεξιόστροφου σεισμικού ρήγματος.



Εικ. 6 Βύθιση της παράκτιας περιοχής Gölçük κατά μήκος του σεισμικού ρήγματος, λόγω της παρουσίας Riedel, P-wave και en echelon τεκτονικών δομών στη ζώνη διάτμησης.

ΙΣΧΥΡΗ ΕΔΑΦΙΚΗ ΚΙΝΗΣΗ

Στην ευρύτερη περιοχή υπήρχε ένα πλήθος σταθμών οι οποίοι κατέγραψαν το σεισμικό γεγονός. Μέχρι στιγμής και με βάση τα διαθέσιμα στοιχεία (Birgoren & Tarhan, 1999), διαπιστώνεται κατ' αρχήν ότι οι μέγιστη οριζόντια επιτάχυνση καθώς επίσης και η μέγιστη κατακόρυφη επιτάχυνση ήταν για το μέγεθος του σεισμού σχετικά χαμηλές και έφτασαν αντίστοιχα τα 0.32g και τα 0.24g στο σταθμό Yarımca ο οποίος βρίσκεται πολύ κοντά στην επικεντρική θέση.

Πλήρη στοιχεία της χρονικής εξέλιξης των επιταχύνσεων, μετατοπίσεων και ταχυτήτων υπάρχουν διαθέσιμα για τους σταθμούς Ambarlı (ATS), Arcelyk (ARC) οι οποίοι απέχουν 110 και 60 χιλιόμετρα αντίστοιχα από τον επικεντρικό χώρο καθώς επίσης και για το σταθμό Yarımca (YPT), ο οποίος βρίσκεται στο χώρο των διωλιστηρίων και απέχει μερικά χιλιόμετρα από τον επικεντρικό χώρο, ενώ απέχει μόλις 1-2 χιλιόμετρα από το ίχνος του σεισμικού ρήγματος (Εικ. 7).

Από την πρώτη αξιολόγηση των δεδομένων διαπιστώνεται ότι στο σταθμό Ambarlı (ATS) η ισχυρή εδαφική κίνηση καταγράφηκε σαν ένα γεγονός με σχετικά μεγάλη διάρκεια και μέγιστη οριζόντια επιτάχυνση 252.6mg. Κοντά στο συγκεκριμένο σταθμό βρίσκεται και το προάστιο Ancilar στο οποίο εκδηλώθηκαν πολλές καταρρεύσεις. Αντίθετα σε όλη την υπόλοιπη Κωνσταντινούπολη δεν παρατηρήθηκαν ζημιές, γεγονός το οποίο αποδίδεται στις πολύ μικρές τιμές μέγιστων οριζόντιων επιταχύνσεων (Εικ.7) που έχουν καταγραφεί στους υπόλοιπους σταθμούς της Πόλης (σταθμοί BOT, DHM, YKP).

Στο σταθμό Arcelyk (ARC) στις καταγραφές χρονικής εξέλιξης της επιτάχυνσης αρχίζουν να διακρίνονται δύο γεγονότα τα οποία πιθανότατα οφείλονται σε δύο διαδοχικές θραύσεις κατά μήκος του σεισμικού ρήγματος.

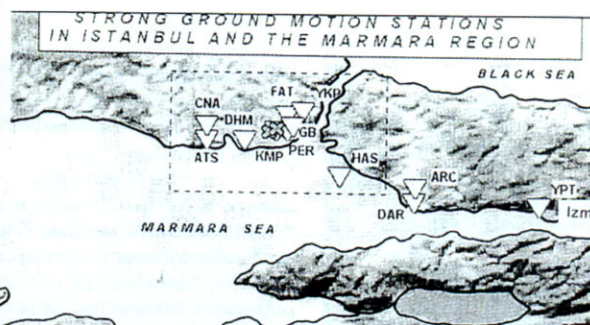
Τέλος, στο σταθμό Yarımca (YPT), εμφανίζονται σαφώς δύο γεγονότα με διαφορά της τάξης των 30 δευτερολέπτων. Παράλληλα, από τον υπολογισμό των μετακινήσεων προκύπτει ότι οι συνολικές εδαφικές μετακινήσεις στο συγκεκριμένο σταθμό ήταν τεράστιες και έφτασαν στη διεύθυνση Α-Δ τα 130 εκατοστά, γεγονός το οποίο θεωρείται απόλυτα συμβατό με τα δεδομένα της έρευνας στην επιφάνεια του ρήγματος, όπου η απόλυτη μετακίνηση υπερέβη τα 2 μέτρα. Σημειώνεται ότι η απόσταση οργάνου και επικεντρικής θέσης ήταν μερικά χιλιόμετρα, ενώ η απόσταση από το σεισμικό ρήγμα 1-2 χιλιόμετρα. Επίσης, η μεγάλη μετακίνηση ανιχνεύθηκε και από άλλες παρατηρήσεις πεδίου.

ΣΥΝΟΔΑ ΓΕΩΔΥΝΑΜΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ

Κατά τη διάρκεια του σεισμού της 17ης Αυγούστου εκδηλώθηκε μια σειρά από γεωδυναμικά φαινόμενα στην ευρύτερη επικεντρική περιοχή. Ορισμένα από τα φαινόμενα αυτά έχουν όχι μόνο ιδιαίτερο επιστημονικό ενδιαφέρον, αλλά πρόσθετα αύξησαν σε μεγάλο ποσοστό τις κάθε είδους επιπτώσεις. Τα φαινόμενα αυτά είναι τα ακόλουθα:

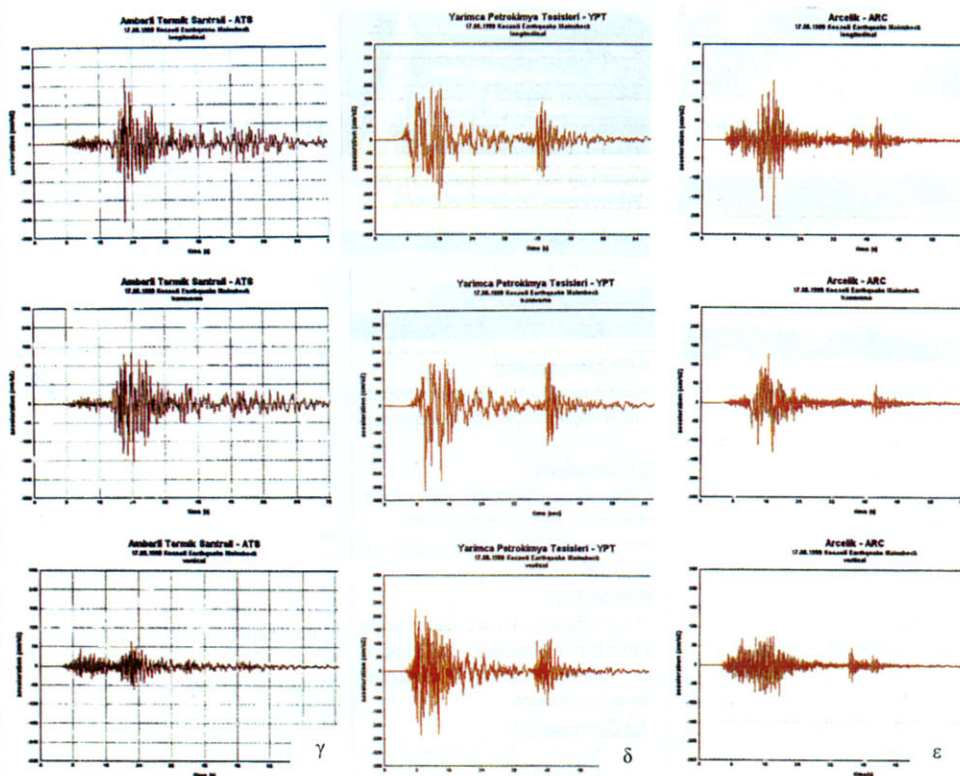
α. *Εδαφικές Διαρρήξεις.* Σε πάρα πολλά σημεία σε όλη την επικεντρική περιοχή εκδηλώθηκαν εδαφικές διαρρήξεις κυρίως σε χαλαρούς πρόσφατους σχηματισμούς με πλέον χαρακτηριστικές αυτές στην περιοχή γύρω από τη λίμνη Sapanca και στην παράκτια ζώνη μεταξύ Gölcük, Degirmendere και Yalova. Οι διαρρήξεις αυτές είχαν μήκος που έφτανε και τα 150 μέτρα, εύρος τα 50 εκατοστά, προτιμητέες διευθύνσεις B90°-B110° οφείλονταν συνήθως στη συμπύκνωση των χαλαρών σχηματισμών, σε φαινόμενα πλευρικής αστάθειας, κ.ά. και θεωρούνται αποτέλεσμα της δόνησης. Προκάλεσαν σημαντικές ζημιές σε μικρού όγκου κατασκευές, στο οδικό δίκτυο, σε δίκτυα υποδομής και σε έργα εξωραϊσμού κυρίως των παράκτιων περιοχών.

Station	Peak Ground Acceleration	
	Max-Horizontal	Max-Vertical
ARÇELİK (ARC)	211.365 mg	83.252 mg
AMBARLI (ATS)	252.564 mg	80.078 mg
BOTAP (BOT)	98.877 mg	23.560 mg
ÇEKMECE (CNA)	177.307 mg	57.678 mg
HAVA ALANI (DHM)	90.210 mg	55.115 mg
YAPI KREDİ (YKP)	41.07 mg	27.100 mg
YARIMCA (YPT)	322.205 mg	241.089 mg



α

β



Εικ. 7 Οι μέγιστες επιταχύνσεις έτσι όπως καταγράφηκαν σε σταθμούς της ευρύτερης περιοχής (α). Οι θέσεις των σταθμών καταγραφής της ισχυρής εδαφικής κίνησης (β). Καταγραφές των επιταχύνσεων στο σταθμό Ambarlı (ATS) με επικεντρική απόσταση 110 χλμ. που βρίσκεται κοντά στο προάστιο Avcılar της Κωνσταντινούπολης στο οποίο εκδηλώθηκαν συσσωρευμένες καταρρεύσεις (γ). Καταγραφές των επιταχύνσεων στο σταθμό Arcelik (ARC), ο οποίος βρίσκεται σε απόσταση 60 χλμ. από το επίκεντρο (δ). Καταγραφές των επιταχύνσεων, στο σταθμό Yarımca (YPT), ο οποίος βρίσκεται σε απόσταση μερικών χιλιομέτρων από το επίκεντρο και 1.5 χλμ. περίπου από το ίχνος του σεισμικού ρήγματος (ε).

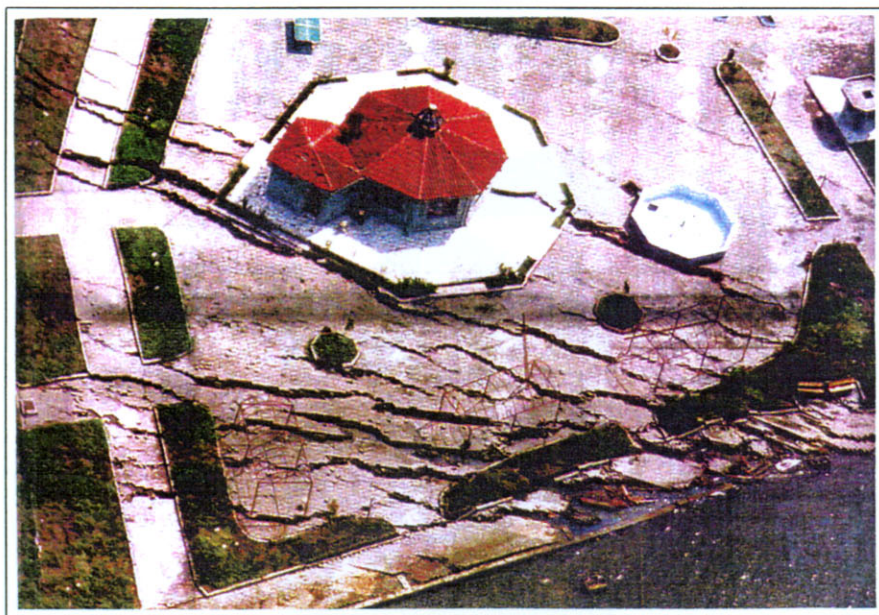
β. *Φαινόμενα Ρευστοποίησης*. Ρευστοποιήσεις παρατηρήθηκαν στην επίπεδη πεδινή περιοχή γύρω από τη λίμνη Saranca καθώς επίσης και στην παράκτια περιοχή ανατολικά της Yalova (Degirmendere). Οι ρευστοποιήσεις ήταν κατ' αρχήν ανιληπτές από την παρουσία λεπτομερών σχηματισμών που εκχύθηκαν στην επιφάνεια και πολλές φορές συνοδεύτηκαν από εμφάνιση εδαφικών διαρρήξεων καθώς και ανώμαλων κυματοειδών παραμορφώσεων στην επιφάνεια. Εκτεταμένες ρευστοποιήσεις παρατηρήθηκαν στην πόλη Adapazarı, όπου πολλά κτίρια έλαβαν χαρακτηριστικές κλίσεις λόγω απώλειας στήριξης.

γ. *Κατολισθήσεις*. Παρά το γεγονός ότι το μέγεθος του σεισμού ήταν σημαντικό, εντούτοις δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές έκτασης κατολισθήσεις στην επικεντρική περιοχή. Σε ορισμένα πολύ απότομα πρανή από κατακερματισμένους βραχώδεις σχηματισμούς, εκδηλώθηκαν μόνο καταπτώσεις μικρών τεμαχίων. Αυτό κυρίως οφείλεται πιθανότατα σύμφωνα με τα υφιστάμενα δεδομένα στις μικρές επιταχύνσεις του σεισμού, οι οποίες δεν μπόρεσαν να ενεργοποιήσουν κινήσεις μεγάλων εδαφικών ή βραχωδών μαζών.

δ. *Καθιζήσεις*. Φαινόμενα καθιζήσεων εκδηλώθηκαν σε αρκετές θέσεις στην επικεντρική περιοχή και κυρίως εκεί όπου εμφανίζονται οι πρόσφατοι χαλαροί σχηματισμοί. Μαζί με τις καθιζήσεις εκδηλώθηκαν φαινόμενα πλευρικών εκτάσεων (Εικ. 8) και εδαφικών διαρρήξεων ως αποτέλεσμα της διαφορικής συνίχισης των στρώσεων των γεωλογικών σχηματισμών. Σημαντικές καθιζήσεις εκδηλώθηκαν στις περιοχές γύρω από την πόλη Adapazarı, στην παραλίμνια περιοχή Saranca και στην παράκτια περιοχή ανατολικά της Yalova. Η έκταση των περιοχών που υπέστησαν καθίζηση ποικίλει από μερικές εκατοντάδες μέτρα έως μερικές χιλιάδες τετραγωνικά μέτρα ανά θέση. Είχαν σαν αποτέλεσμα την καταστροφή τμημάτων του οδικού δικτύου, χώρων εξωραϊσμού, κατάρρευση μικρών και μεγάλων οικοδομών καθώς επίσης και την καταστροφή δικτύων υποδομής. Μια ιδιαίτερη περίπτωση καθιζήσεων, η οποία συνοδεύεται από γενικότερη καθοδική κίνηση που βύθισε παράκτια τμήματα της πόλης Gölcük θα περιγραφεί στη συνέχεια.

ε. *Κύματα Tsunamis*. Αμέσως μετά το σεισμό εκδηλώθηκε παλινροιακό κύμα βαρύτητας, το οποίο πρόσβαλε τις παράκτιες περιοχές του κόλπου του Μαρμαρά. Το παλινροιακό κύμα προήλθε από το σεισμικό ρήγμα το οποίο εντοπίστηκε στην παράκτια ζώνη ανατολικά του Gölcük και το οποίο συνεχίζεται και στον πυθμένα – υποθαλάσσιο χώρο. Εκτιμάται ότι τα κύματα τσουνάμι ενισχύθηκαν από την ταυτόχρονη καταβύθιση της παράκτιας ζώνης του Gölcük - Degirmendere. Το ύψος των κυμάτων στην ίδια περιοχή έφτασε τα 4 μέτρα. Από την εκδήλωση του φαινομένου μεγεθύνθηκαν οι επιπτώσεις της σεισμικής κίνησης τόσο με την αύξηση του αριθμού των θυμάτων, όσο και με την κατάρρευση πολλών κατασκευών, αλλά και με την καταστροφή τεχνικών υποδομής έργων στον παράκτιο χώρο. Αριθμός πλοίων ξεβράστηκαν στον χερσαίο χώρο (Εικ. 9).

στ. *Καθοδικές - Ανοδικές κινήσεις*. Ο σεισμός, όπως είναι φυσικό, είναι αποτέλεσμα των γεωδυναμικών διεργασιών, οι οποίες εξελίσσονται στην ευρύτερη επικεντρική περιοχή. Το σεισμικό ρήγμα ήταν οριζόντιας δεξιόστροφης ολισθήσεως με μήκος επιφανειακής εμφάνισης πάνω από 50 χιλιόμετρα και με τη σεισμική εστία σε βάθος από 15-17 χιλιόμετρα. Όπως έχει περιγραφεί, το ίχνος του ρήγματος σε πολλές θέσεις είχε en echelon διάταξη και σχημάτιζε μορφές Riedel και P-wave, που προξένησαν στα ενδιάμεσα ρηξιτεμάχια βυθίσεις, ανόδους και περιστροφές σε κλίμακα τόσο μερικών δεκάδων μέτρων, όσο και χιλιομέτρων. Αποτέλεσμα ενός τέτοιου φαινομένου ήταν και η καταβύθιση του παράκτιου τμήματος της πόλης Gölcük (Εικ. 6). Η μέγιστη βύθιση στη συγκεκριμένη περιοχή, η οποία παρατηρήθηκε ήταν της τάξης των 3 μέτρων με αποτέλεσμα τμήματα κατασκευών, λιμενικά έργα, αθλητικές εγκαταστάσεις, οδικό δίκτυο και έργα εξωραϊσμού να βυθιστούν στη θάλασσα. Κατά θέσεις, λόγω των λοιπών γεωδυναμικών φαινομένων, όπως καθιζήσεων, πλευρικών εκτάσεων, πιθανών ρευστοποιήσεων και εδαφικών διαρρήξεων, το μέγεθος ήταν μεγαλύτερο και έφτανε τα 5 μέτρα. Παράλληλα τα κύματα tsunamis προσέβαλαν σημεία που ήδη είχαν βυθιστεί με αποτέλεσμα το συνολικό ύψος εμφάνισης ζημιών να υπερβεί τα 10 μέτρα.



Εικ. 8 Εδαφικές διαρρήξεις και πλευρική έκταση σε παράκτιες χαλαρές αποθέσεις στην περιοχή Gölçük.



Εικ. 9 Καταστροφές από κύματα tsunamis και καθοδικές κινήσεις στην παράκτια περιοχή δυτικά του Gölçük. Διακρίνεται το πλοίο που ξεβράστηκε.

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΟ ΔΟΜΗΜΕΝΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΤΙΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Με βάση τα υφιστάμενα στοιχεία υπάρχουν πολλοί παράγοντες βάσει των οποίων θα μπορούσε να εξηγηθεί γιατί ο σεισμός του Izmit ήταν τόσο καταστροφικός, ορισμένοι από τους οποίους σχετίζονται με τα χαρακτηριστικά του ίδιου του σεισμού. Ωστόσο, οι σημαντικότεροι παράγοντες που καθόρισαν το μέγεθος της καταστροφής σχετίζονται με το ότι έπληξε μια περιοχή πυκνοκατοικημένη με έντονη αστικοποίηση τα τελευταία χρόνια, καθώς και με το είδος και την ποιότητα του κτιριακού αποθέματος. Για το σκοπό αυτό θεωρείται σκόπιμο να γίνει μια σύντομη αναφορά στην κατάσταση που επικρατεί στην Τουρκία σε ότι αφορά στην οικιστική ανάπτυξη και το πολεοδομικό περιβάλλον, καθώς και στις διαδικασίες παραγωγής του δομημένου περιβάλλοντος.

Η Τουρκία είναι χώρα με σημαντική δημογραφική αύξηση. Τα τελευταία χρόνια ο συνολικός πληθυσμός αυξήθηκε με ετήσιους ρυθμούς της τάξης του 2,3%, ενώ ο αστικός πληθυσμός με ρυθμό περίπου 6%. Ειδικότερα, ο πληθυσμός της Κωνσταντινούπολης και της ενδοχώρας της (πόλεις Izmit και Adapazarı) αυξανόταν με ρυθμούς περίπου διπλάσιους αυτών της χώρας (Coburn, 1995), κυρίως λόγω της εσωτερικής μετανάστευσης.

Τα δεδομένα αυτά οδήγησαν σε ταχείς ρυθμούς παραγωγής οικιστικού κελύφους και επέκτασης των πόλεων. Η έντονη αστικοποίηση σε συνδυασμό με την μικρή αγοραστική δύναμη των νεοεγκατεστημένων πληθυσμών, οδήγησαν σε πρόβλημα αυθαιρέτων. Εκτιμάται ότι το περισσότερο από το 1/3 των κατοίκων των αστικών περιοχών ζει σε περιοχές αυθαιρέτων κτιρίων μέχρι τριών ορόφων "gecekondu", νομιμοποιημένων εκ των υστέρων ή όχι, που καταλαμβάνουν πολλές φορές επικίνδυνα εδάφη (Parker, 1995).

Ιδίως στις περιοχές που αστικοποιούνται με γρήγορους ρυθμούς, κάθε προσπάθεια πολεοδομικού σχεδιασμού υπολείπεται των δυναμικών ρυθμών αύξησης της πόλης, καθώς και των αλλαγών στον χώρο που συμβαίνουν ταχύτερα από τις αναθεωρήσεις των πολεοδομικών σχεδίων. Ενδεικτικά αναφέρεται το παράδειγμα των πόλεων Bursa και Κωνσταντινούπολης, όπου κατά κανόνα ζώνες που σύμφωνα με το γενικό πολεοδομικό σχέδιο προβλέπονται για χρήση αμιγούς κατοικίας μετατρέπονται στην πράξη σε ζώνες μικτών χρήσεων. Ουσιαστικά σε πολλές περιοχές έχει στην πράξη εγκαταλειφθεί η ιδέα της υλοποίησης των πολεοδομικών σχεδίων. Η χωροθέτηση πάντως των δημοσίων κτιρίων, των έργων υποδομής και των μεγάλων ιδιωτικών οικιστικών προγραμμάτων, εγκρίνεται από τους δήμους και οι σχετικές διαδικασίες είναι σχετικά αποτελεσματικές (Coburn, 1995).

Χάρτης σεισμικής ζώνωσης και αντισεισμικές προδιαγραφές για την κατασκευή κτιρίων παρήχθησαν από το τουρκικό Υπουργείο Δημοσίων Έργων το 1945 και αναθεωρήθηκαν πολλές φορές από τότε. Από το 1968 έγινε υποχρεωτική η εφαρμογή του αντισεισμικού κανονισμού, ο οποίος αναθεωρήθηκε ριζικά πάλι το 1975. Τελευταία αναθεώρηση του αντισεισμικού κανονισμού έγινε το 1997. Ο νέος κανονισμός παρουσιάζει ομοιότητες με τον Αμερικανικό Κανονισμό 1994 Uniform Building Code (Sezen, 1999).

Ο χάρτης σεισμικής ζώνωσης (Earthquake Zoning Map) που ισχύει σήμερα χωρίζει τη χώρα σε 5 ζώνες με βάση την μέγιστη αναμενόμενη ένταση σε κλίμακα MSK, κάθε ζώνης (Εικ. 10). Ο έλεγχος της εφαρμογής των κανονισμών για τα ιδιωτικά κτίρια είναι αρμοδιότητα των δήμων. Η μελέτη και τα σχέδια υπογεγραμμένα από μηχανικό που δηλώνει το σύμφωνο με τους κανονισμούς, υποβάλλονται στο δήμο προς έλεγχο. Δεν προβλέπεται έλεγχος εφαρμογής της μελέτης στην πράξη. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι σύμφωνα με εκτιμήσεις το ποσοστό των κτιρίων στις αστικές περιοχές που έχει κατασκευαστεί σύμφωνα με τους κανονισμούς είναι λιγότερο από 25% (Coburn, 1995).

Τα ανωτέρω στοιχεία συμφωνούν με την εικόνα των περιοχών που επισκέφτηκε το κλιμάκιο. Στις πληγείσες περιοχές, αλλά και έξω από την Κωνσταντινούπολη, ο οικοδομικός όγκος φαινόταν σχετικά νέος. Μεγάλες οικιστικές αναπτύξεις, προφανώς από μεγάλες ιδιωτικές εταιρίες, εκτεινόταν έξω από την πόλη. Στις περιοχές όπου παρατηρήθηκαν πολλές καταρρεύσεις τα κτίρια ήταν κυρίως

πολυώροφα με κύρια χρήση κατοικία. Οι οικιστικές και πληθυσμιακές πυκνότητες ήταν μεγάλες. Στις παραθαλάσσιες περιοχές η δόμηση έφτανε ως τη θάλασσα και μεγάλο μέρος του οικιστικού αποθέματος αποτελούσαν παραθεριστικές πολυκατοικίες.

Το δομικό σύστημα που επικρατούσε στις πληγείσες περιοχές ήταν οι πλαισιακές κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα με τοιχοποιία πλήρωσης από άοπλη οπτοπλινθοδομή. Σε νέα κτίρια υπήρχαν τοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος, ωστόσο η κατασκευή τοιχείων ακόμη και σε πολυώροφα κτίρια δεν ήταν γενικευμένη. Η τοιχοποιία πλήρωσης κατά κανόνα δεν ακολουθούσε το σκελετό από οπλισμένο σκυρόδεμα, αλλά εξείχε δημιουργώντας “χαγιάτια”. Στο ισόγειο η τοιχοποιία πλήρωσης ήταν κατανεμημένη ανάλογα με τις ανάγκες της χρήσης που στεγαζόταν (συνήθως κατάστημα) ή καταστήματος, είτε έλειπε λόγω ύπαρξης πιλοτής. Εν γένει η ποιότητα κατασκευής, τόσο ως προς τον φέροντα οργανισμό, όσο και ως προς τα στοιχεία πλήρωσης και τα μη φέροντα στοιχεία, δεν ήταν πάντα καλή, γεγονός που δεν εκπλήσσει σε περιοχές με ταχύτατους ρυθμούς οικιστικής ανάπτυξης.

ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΩΝ

Όπως αναφέρθηκε, ο κύριος όγκος των καταστροφών αναπτύσσεται σε μια επιμήκη ζώνη μήκους 140 χιλιομέτρων που αρχίζει από τη Yalova και καταλήγει στο Adapazarı, έχει δε πλάτος 15 χιλιόμετρα. Οι σημαντικότερες των καταστροφών παρατηρήθηκαν στις πόλεις Adapazarı, İzmit, Gölcük και Yalova καθώς επίσης και σε όλο τον ενδιάμεσο αστικοποιημένο χώρο.

Με βάση τα έως τώρα δεδομένα, κυρίαρχο ρόλο στην εκδήλωση των καταστροφών μέσα στη συγκεκριμένη ζώνη έπαιξαν οι ακόλουθοι παράγοντες:

α. Η παρουσία της σεισμικής ρηξιγενούς ζώνης κατά μήκος και εκατέρωθεν της οποίας κάθε είδους κατασκευές κατέρρευσαν ή έπαθαν σημαντικότερες ζημιές.

β. Οι τοπικές εδαφικές συνθήκες και κυρίως η παρουσία πρόσφατων χαλαρών γεωλογικών σχηματισμών. Είναι χαρακτηριστικό ότι στο βραχώδες υπόβαθρο οι καταστροφές στην επικεντρική ζώνη ήταν εξαιρετικά μικρές.

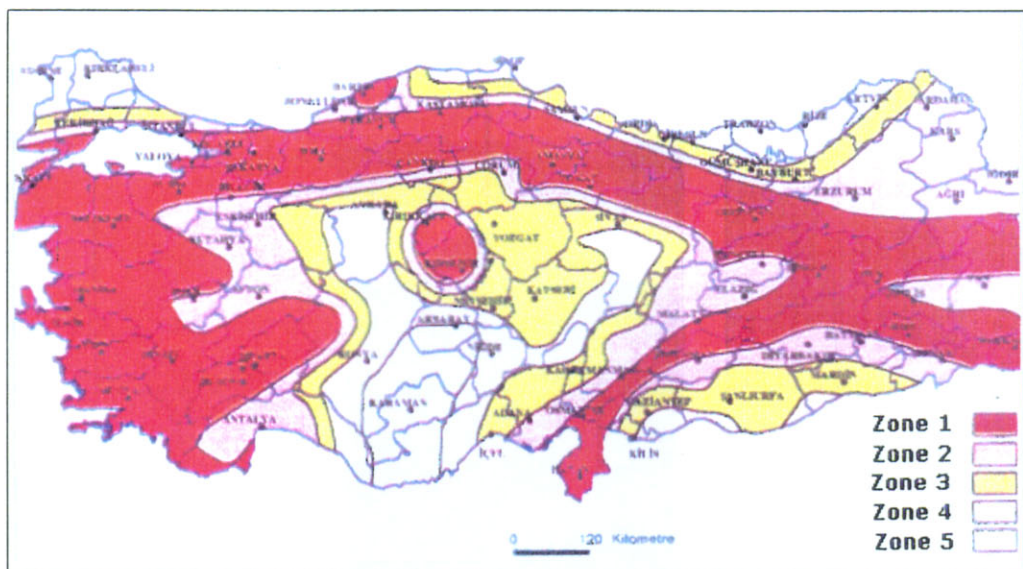
γ. Η παρουσία και εκδήλωση συνοδών σεισμικών γεωδυναμικών φαινομένων και ειδικότερα η εκδήλωση καθιζήσεων, κυμάτων tsunamis, εδαφικών διαρρήξεων και καταβυθίσεων ολόκληρων περιοχών, φαινόμενα τα οποία συνδέονται άμεσα με τη σεισμική κίνηση.

Η καθοριστική επίδραση των ανωτέρω φαινομένων εκδηλώνεται τόσο σε μακρο-κλίμακα όσο και σε μικρο-κλίμακα με πλέον χαρακτηριστικές τις περιπτώσεις των πόλεων Gölcük και Adapazarı, όπου άλλα οικοδομικά τετράγωνα ισοπεδώθηκαν, ενώ άλλα γειτονικά έμειναν ανέπαφα.

Τέλος, θα πρέπει να αναφερθεί ότι συσσωρευμένες βλάβες παρατηρήθηκαν στο προάστιο Ancilar της Κωνσταντινούπολης. Στη συγκεκριμένη περιοχή, το έδαφος θεμελίωσης είναι κυρίως μαργαίκοι σχηματισμοί στους οποίους σύμφωνα με τις παρατηρήσεις δεν παρατηρήθηκαν εδαφικές διαρρήξεις ή άλλα συνοδά γεωδυναμικά φαινόμενα. Οι βλάβες είναι πιθανότατα αποτέλεσμα συνδυασμού τοπικών εδαφικών συνθηκών και τρόπου δόμησης.

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΠΡΩΤΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΤΥΠΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΒΛΑΒΩΝ

Οι επιπτώσεις του σεισμού είναι τέτοιας μορφής και τόσο πολλές ώστε θα χρειαστεί αρκετός χρόνος και μελέτη για την εξαγωγή οριστικών συμπερασμάτων.



Εικ. 10 Χάρτης Σεισμικής Ζώνωσης της Τουρκίας.



Εικ. 11 Πολυώροφο κτίριο στην περιοχή δυτικά της πόλης Gölçük, το οποίο υπέστη μερική κατάρρευση. Διακρίνονται βλάβες σε όλα τα υποστηλώματα καθ' ύψος.

Ειδικότερα, ο σεισμός έπληξε κυρίως ορισμένου τύπου κτίρια, δηλαδή πολυώροφα κτίρια (5 έως 8 ορόφων) με φέροντα οργανισμό από οπλισμένο σκυρόδεμα (πλαίσια ή υποστηλώματα και μνηκτοειδείς πλάκες) και τοίχους πλήρωσης από οπτοπλινθοδομή (Εικ. 11, 12). Στην συντριπτική πλειοψηφία τους τα κτίρια που κατέρευσαν δεν είχαν ή είχαν ελάχιστα, τοιχεία ακαμψίας. Τα κτίρια αυτού του τύπου έχουν κατά κανόνα μεγάλη ιδιοπερίοδο. Δεν εκπλήσσει επομένως το γεγονός ότι παρατηρήθηκαν πολλές καταρρεύσεις σε κτίρια αυτής της μορφής χτισμένα σε χαλαρά εδάφη, δεδομένου ότι από τις καταγραφές φαίνεται ότι ο σεισμός είχε μεγάλη διάρκεια και η εδαφική κίνηση μεγάλη περίοδο.

Πολλά από τα κτίρια που κατέρευσαν είχαν πιλοτές ή εύκαμπτο ισόγειο όροφο λόγω ύπαρξης καταστήματος. Δεν παρατηρήθηκε εφαρμογή ειδικών προδιαγραφών και κανόνων όπλισης λόγω ύπαρξης πιλοτής (Εικ. 13, 14). Αστοχία της θεμελίωσης παρατηρήθηκε σε πολλά κτίρια και σε ορισμένες περιπτώσεις προκλήθηκε ακόμη και ανατροπή του κτιρίου.

Κρίνεται σκόπιμο να επισημανθεί ότι οι περισσότερες πλαισιακές κατασκευές είχαν ισχυρές δοκούς και σχετικά ασθενή υποστηλώματα. Οι βλάβες στα άκρα των υποστηλωμάτων οφείλονται σε αυτό ακριβώς το γεγονός.

Η όπλιση στοιχείων του φέροντος οργανισμού σε πολλά κτίρια δεν ήταν αυτή που προβλέπουν οι σύγχρονοι κανονισμοί. Ιδιαίτερα προβλήματα παρατηρήθηκαν στην όπλιση των κόμβων σχετικά με την αγκύρωση των οπλισμών των δοκών, τα μήκη αγκύρωσης του οπλισμού των υποστηλωμάτων, τις αποστάσεις και την αγκύρωση των συνδετήρων. Κακή ποιότητα σκυροδέματος παρατηρήθηκε σε ορισμένα κτίρια, ωστόσο δεν υπάρχουν δεδομένα για να γενικευθεί η παρατήρηση αυτή. Κακή ποιότητα κατασκευής παρατηρήθηκε επίσης σε αρκετές περιπτώσεις (Εικ. 15).

Η συνολική εντύπωση ήταν ότι η αναλογία κτιρίων που κατέρευσαν σε σχέση με τα κτίρια που υπέστησαν βλάβες, ήταν μεγάλη. Αυτό μπορεί να οφείλεται σε μειωμένη πλαστιμότητα των κτιρίων και σε αδυναμία ανακατανομής των εντάσεων -και λόγω της μη ύπαρξης τοιχείων- με συνέπεια τη γρήγορη δημιουργία "μηχανισμού" από τη στιγμή που κάποια μέλη του φέροντος οργανισμού αστόχησαν.

Πρόσθετα παρατηρήθηκε ότι σε μεγάλο ποσοστό των πολυώροφων κτιρίων οι πλάκες ήταν μνηκτοειδείς ή με μικρού ύψους περιμετρικά δοκάρια και δεν εξασφάλιζαν την πλαισιακή λειτουργία (Εικ. 16). Οι πλάκες αυτές στις περισσότερες περιπτώσεις ήταν δοκιωτές με γέμισμα από οπτοπλινθους και επομένως αυξημένο βάρος. Τα παραπάνω συντέλεσαν στο να προκύψουν ελάχιστα κενά (θύλακες επιβίωσης) στα ερείπια μετά την κατάρρευση. Παρόλο που δεν υπάρχουν ακόμη σχετικά στοιχεία πιστεύεται ότι το γεγονός αυτό θα έχει συντελέσει σε αυξημένο συντελεστή θνησιμότητας.

Τέλος, το μέγεθος των κτιρίων και ο μεγάλος αριθμός ενοίκων σε συνδυασμό με τα κτιριοδομικά χαρακτηριστικά τους που δεν βοηθούσαν στη γρήγορη εκκένωση τους, μπορεί να αποτέλεσαν παράγοντες που οδήγησαν σε αύξηση του αριθμού των τραυματιών και των θυμάτων, ειδικά στις περιοχές κοντά στο επίκεντρο όπου ουσιαστικά τα κτίρια υπέστησαν "μετασεισμό" περίπου 15 δευτερόλεπτα μετά τον σεισμό.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Ambraseys N. (1970). Some characteristic features of the North Anatolian Fault Zone. *Tectonophysics*, 9, p. 143-165.
- Ambraseys N. & Finkel C. (1995). The seismicity of Turkey and Adjacent Areas: A historical review, p. 1500-1800. Istanbul: Muhittin Salih EREN, 1995.
- Armijo R., Meyer B., Hubert A. & Barka A. (1999). Westward propagation of the North Anatolian fault into the northern Aegean: Timing and kinematics. *Geology*, 27, 3, p. 267-270.



Εικ. 12 Υπό κατασκευή κτίριο που κατέρρευσε. Είναι εμφανής ο μηχανισμός κατάρρευσης.



Εικ. 13 Κτίριο στο Adarazarı με εύκαμπτο ισόγειο όροφο που κατέρρευσε.



Εικ. 14 Κτίριο στο Adapazarı με πιλοτή που συνθλίφτηκε. Σχετικά ισχυρές οι τοιχοποιίες της ανωδομής.



Εικ. 15 Λεπτομέρεια δόροφου κτιρίου υπό κατασκευή στη Yalova. Εμφανής η κακή ποιότητα της κατασκευής.



Εικ. 16 Υπό ανέγερση κτίριο στο Gölcük. Διακρίνονται μυκητοειδείς πλάκες με νεύρωση και γέμισμα από οπτόπλινθους. Σημειώνεται η κατάρρευση του ξυλοτύπου στον τελευταίο όροφο.

- Barka A. (1992). The North Anatolian Fault Zone. *Annales Tectonicae*, 6, p. 164-195.
- Birgoren G. & Tarhan C. (1999). Kocaeli earthquake-Turkey. Fifth report: 22-08-1999. <http://Kandilli.koc.net/earthquake1.htm>, <http://koeri.boun.edu.tr/earthqk/smn1.htm>.
- Coburn A. (1995). Disaster prevention and mitigation in Metropolitan areas: Reducing vulnerability in Turkey. In Parker, R., Kreimer, A., Munasinghe, M. (eds.) 1995: Informal settlements, environmental degradation and disaster vulnerability. The World Bank Pbl. Washington.
- Εφημερίδα ΕΞΠΡΕΣ (1999). Μετασεισμική Τουρκία: Η κοινωνική συνοχή το μεγαλύτερο θύμα. 29 Αυγούστου 1999, 8σ.
- Parker R. (1995). Disaster vulnerability: Lessons from four Turkish urban areas. In: Parker R., Kreimer A., Munasinghe M. (eds.). Informal settlements, environmental degradation and disaster vulnerability. The World Bank Pbl. Washington.
- Sengor A. (1979). The North Anatolian transform fault: its age, offset and tectonic significance. *Journal of the Geological Society of London*, 136, p. 269-282.
- Sezen H. (1999). NISEE Web Site 22/08/1999.
- Stein R., Barka A. & Dieterich H. (1997). Progressive failure on the North Anatolian fault since 1939 by earthquake stress triggering. *Geophysical Journal International*, 128, p. 594-604.
- Straub C., Kahle H.-G. & Schindler C. (1997). GPS and geological estimates of the tectonic activity in the Marmara Sea region, NW Anatolia. *Journal of Geophysical Research*, 102, p. 27587-27601.