

MARMARA BÖLGESİNİN VE İSTANBUL'UN DEPREM TEHLİKESİNİN SİSMO-TEKTONİK VERİLERE GÖRE DEĞERLENDİRİLMESİ

EVALUATION OF SEISMIC HAZARD OF
THE MARMARA REGION AND İSTANBUL CITY
IN TERMS OF SEISMOTECTONICS

Oğuz Gündoğdu¹, Haluk Eyidoğan²,
Niyazi Türkelli³, Doğan Kalafat³

ÖZET

Bu çalışmada, Marmara bölgesinde tarihsel (1900 yılı öncesi) ve aletsel dönem içinde (1900-1993) olmuş deprem episantır dağılımları ve büyüklüğü $M \geq 4$ olan depremlerin fay düzlemi çözümleri incelenmiştir. Bu sismolojik veriler tektonik verilerle birleştirilerek Marmara bölgesinin deprem oluşturma potansiyeli ve kaynak zonları dağılımı ve beklenen yer hareketleriyle ilgili niteliksel sonuçlara varılmaya çalışılmıştır.

Cisim dalgası büyüklüğü $M_b \geq 4$ olan 17 depremin fay düzlemi çözümü bulunmuştur. Çözümlerden elde edilen fay düzlemleri ile bölgede gözlene ve tahmin edilen olası genç faylar ile karşılaştırılmıştır. Marmara bölgesindeki depremselliğin etkin olan doğrultu atımlı ve eğim atımlı faylar ile denetlendiği anlaşılmaktadır. Gözlenen asismik zonlar ile deprem kümelenme zonları doğrultu atımlı ve eğim atımlı faylarla ilişkili olabilirler.

¹Dr., İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Avcılar, İstanbul.

²Prof. Dr., İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Maslak, 80626, İstanbul.

³Doç.Dr. ve Jeof. Yük. Müh., Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Merkezi, Jeofizik Bölümü, Çengelköy, İstanbul.

ABSTRACT

In this study, the epicentral distribution of the earthquakes which occurred during the historical (prior 1900) and instrumental period (1900-1993) were investigated and the fault mechanism solutions of the earthquakes were calculated. Correlating these seismological data with tectonic data, we attempted to reach qualitative results about the potential of earthquake occurrence, distribution of source zones and estimated ground motion characteristics for the Marmara region.

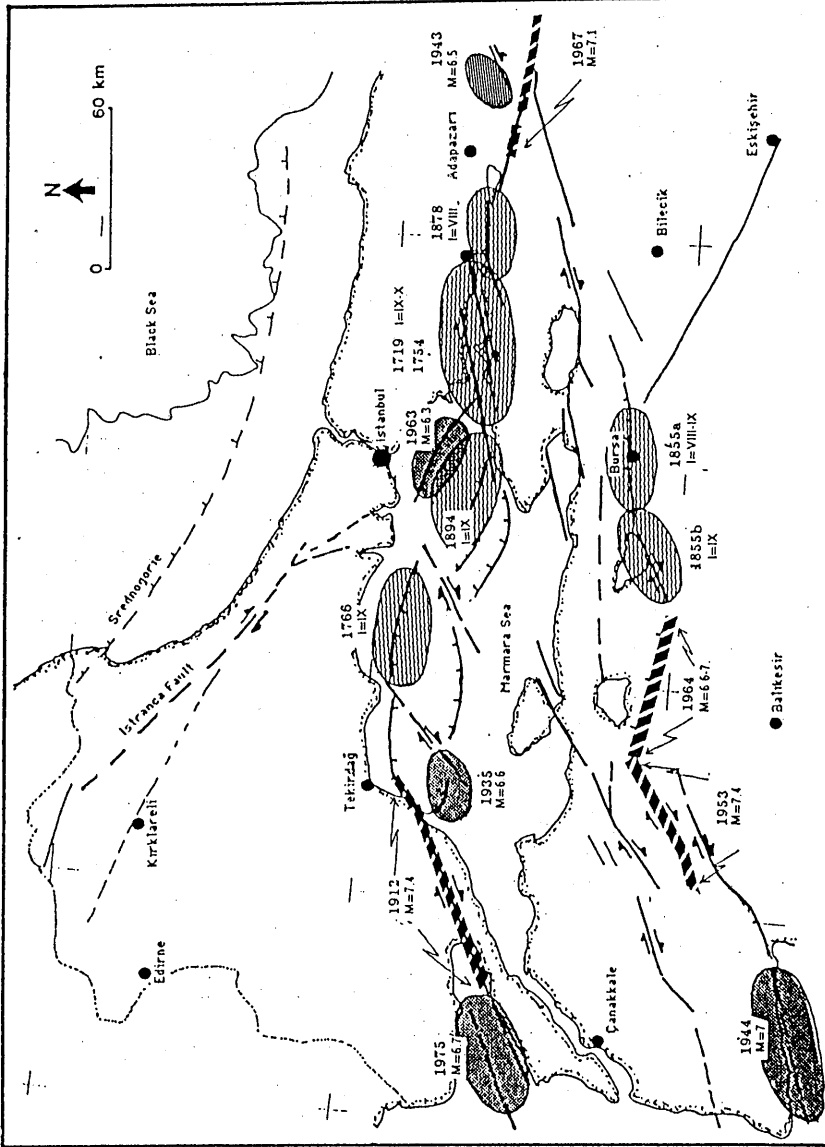
The fault mechanism solution for 17 earthquakes with magnitude $M_b \geq 4$ were calculated. The obtained fault planes were correlated with observed and estimated active faults in and around Sea of Marmara. It is found that the seismicity of the region were controlled by both active strike-slip and dip-slip faults. The zones of high seismic activity and apparently aseismic zones may have been associated with dip-slip and strike-slip faults.

GİRİŞ

Mevcut jeolojik ve sismolojik bilgilere göre Marmara Bölgesinin tektonik ve deprem etkinliğinin, Kuzey Anadolu Fayının batıya uzanan kolları ve güneyindeki güneybatı Anadolu açılma zonunun denetiminde olduğu bilinmektedir (Barka ve Kadinsky-Cade 1988, Barka 1991, Eyidoğan 1988), (Şekil 1). Bölge genç tektonik hareketlerin yoğun olduğunu gösteren çok sayıda küçük deprem etkinliği sergilemektedir (Üçer 1990). Zaman zaman büyük depremlerin de bölgede yer aldığı görülmektedir (Soysal ve diğ. 1981, Ambraseys ve Finkel 1991). Birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinin önemli bir alanı kapsadığı bu bölgede yoğun nüfus barındıran ve Türkiye'nin en yoğun endüstri ve ticaret merkezleri olan İstanbul, Kocaeli, İzmit, Bursa, Çanakkale ve Tekirdağ gibi şehirler bulunmaktadır. Bu nedenle deprem olgusu Marmara bölgesi için hergün biraz daha önem kazanmaktadır.

Marmara bölgesinin önemli bir bölümünü Marmara Denizi kapladığı için karadaki jeolojik ve jeofizik bulguların deniz tabanındaki uzantıları ve biçimleri konusundaki bilgilerimiz yeterli değildir. Son yıllarda Marmara Denizi ve çevresinde jeolojik, jeofizik ve jeodezik araştırmalara ağırlık verilmeye başlanmakla birlikte sonuçları almak zaman alacaktır.

Depremlerin fay mekanizması çözümleri mevcut episantır haritası ile karşılaştırılarak bir bölgedeki, özellikle denizle kaplı bölgelerde, etkin ve genç

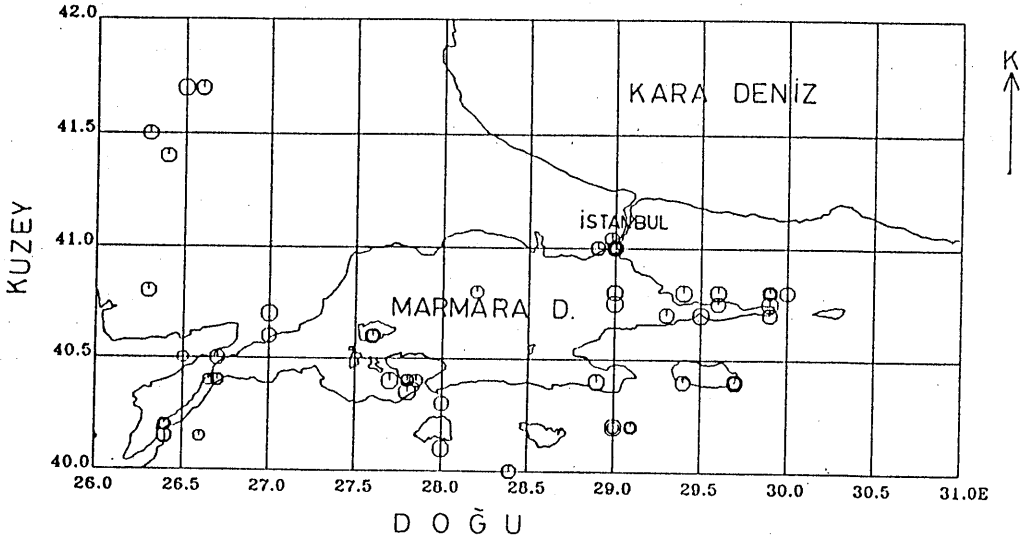


Şekil 1. Marmara bölgesinde son 300 yıldır oluşan önemli depremlerin sismotektonik kaynak alanları ve bu depremlerin ilişkili olduğu fayların konumları. Kesikli kalın çizgiler bu yüzyılda oluşan depremlerin yüzey kırıklarını göstermektedir. Bu şekilde göre deprem ekinliği Kuzey Anadolu Fay zonunun kolları ile ilişkilidir. Şekil Barka (1991) den alınmıştır.

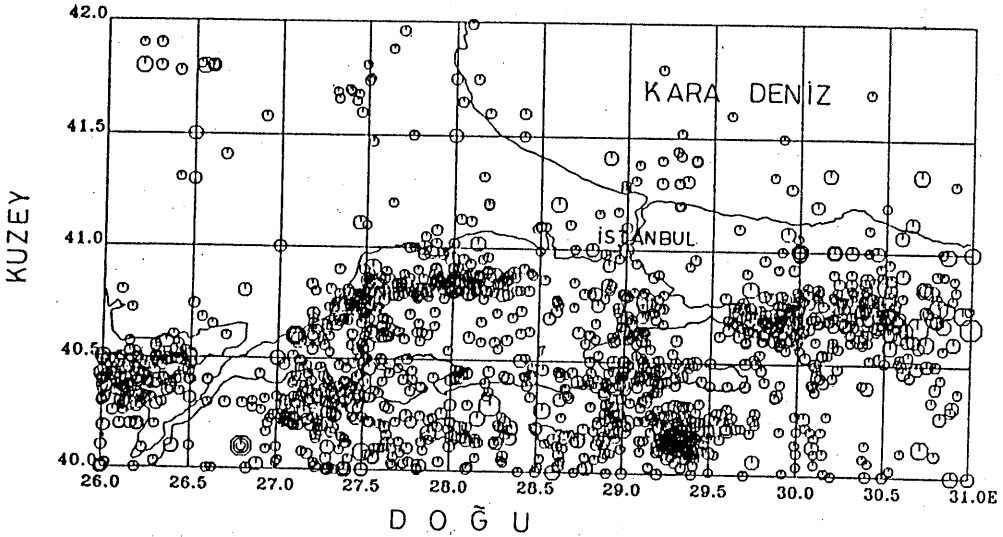
fay türlerini ve özelliklerini tanımak olasıdır. Marmara bölgesindeki depremlerin faylanma mekanizması çözümleri ancak 1960 sonrası orta ve büyük depremler için bulunabilmiştir. Bölgedeki çok sayıda olan küçük depremler için fay mekanizması çözümlerinin bulunabilmesi ancak 1975 sonrası B.Ü. Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsünün kurduğu MARNET sismik ağına çalışmaya başlaması ve diğer deprem istasyonların sayısının artırılması ile olanaklı olmuştur. Bu çalışma sırasında bölgedeki $M_b \geq 4.0$ büyüklüğündeki depremlerin faylanma mekanizması çözümleri incelenmiş, elde edilen çözümler, 1900-1993 yılları arasındaki deprem etkinliğinin episantr haritaları ve mevcut jeolojik bilgilerin ışığında yorumlanmıştır. Ayrıca tarihsel bilgilere gönderme yapılarak İstanbul ve çevresinin deprem tehlikesi tartışılmıştır.

MARMARA BÖLGESİNİN DEPREMSELLİĞİ

Tarihsel dönemde (M.Ö.2100-M.S.1900) Marmara bölgesinde maksimum şiddeti $I_0 \geq V$ olan deprem sayısı 225 tir (Soysal ve diğ. 1981). Bu depremlerin Şekil 2'de verilen dağılımlarına bakıldığında episantrların birçoğunun üst üste geldiği ve bu kümelenmelerin İstanbul, Kocaeli çevresi, Bursa, Kapıdağ yarımadası ve Tekirdağ dolaylarında olduğu gözlenmektedir. Bu görünümün nedeni, tarihsel depremlerin yerlerinin kayıt tutanlar tarafından doğrudan yerleşim bölgelerine atanmasından kaynaklanmaktadır. Bölgede gözlenmiş ve önerilen genç kırık hatları gözönünde bulundurulduğunda (Şekil 1), bu tarihsel depremlerin aynı noktada yığılmış olanlarının pek çoğunun sözü edilen kırık hatları ile ilişkilendirilmesi daha anlamlı olabilir. Son yıllarda yapılan çalışmalar bu değerlendirmeyi destekler niteliktedir (Ambraseys ve Finkel, 1991). Aletsel dönemde 1900 ile 1993 yılları arasında oluşan ve büyüklüğü $M \geq 3$ olan depremlerin sayısı 1663 tür. Bu depremlerin Şekil 3 de verilen dağılımlarına bakıldığında Marmara denizi ve çevresinde yoğun bir deprem etkinliği gözlenmektedir. Kuzey Marmara'da, İzmit ve Saros körfezinde, Kapıdağ yarımadasının batısında, Çınarcık açıklarında, Gemlik körfezinde ve Bursa'nın doğusunda deprem kümelenmeleri ve dizilmeleri görülmektedir. Aletsel dönem içinde olmuş en büyük deprem 1912 Şarköy-Mürefte depremidir ($M_s=7.3$). Çok geniş bir alanı etkileyen bu depremden 15 gün önce duyulabilir nitelikte 25 adet öncü şok olmuştur (Gündoğdu 1986). Bu depremin makrosismik episantr alanının bulunduğu yerde aletsel dönemde asismik bir davranış gözlenmektedir. Bunun nedeni bölgedeki yamulma enerjisinin salınmış olmasıdır. Benzer sismik boşluklar Adalar-Büyük Çekmece arasında ve Çınarcık-İzmit körfezi arasında görülmektedir (Barka ve Toksöz 1989). Adalar-Büyük Çekmece arasındaki



Şekil 2. Marmara bölgesinde 1900 öncesinde (tarihsel dönem) olmuş ve şiddeti $I_0 \geq V$ olan depremlerin episantr dağılımı.



Şekil 3. Marmara bölgesinde 1900 ile 1993 yılları arasında (aletsel dönem) olmuş ve büyüklüğü $M \geq 3$ olan depremlerin dağılımları.

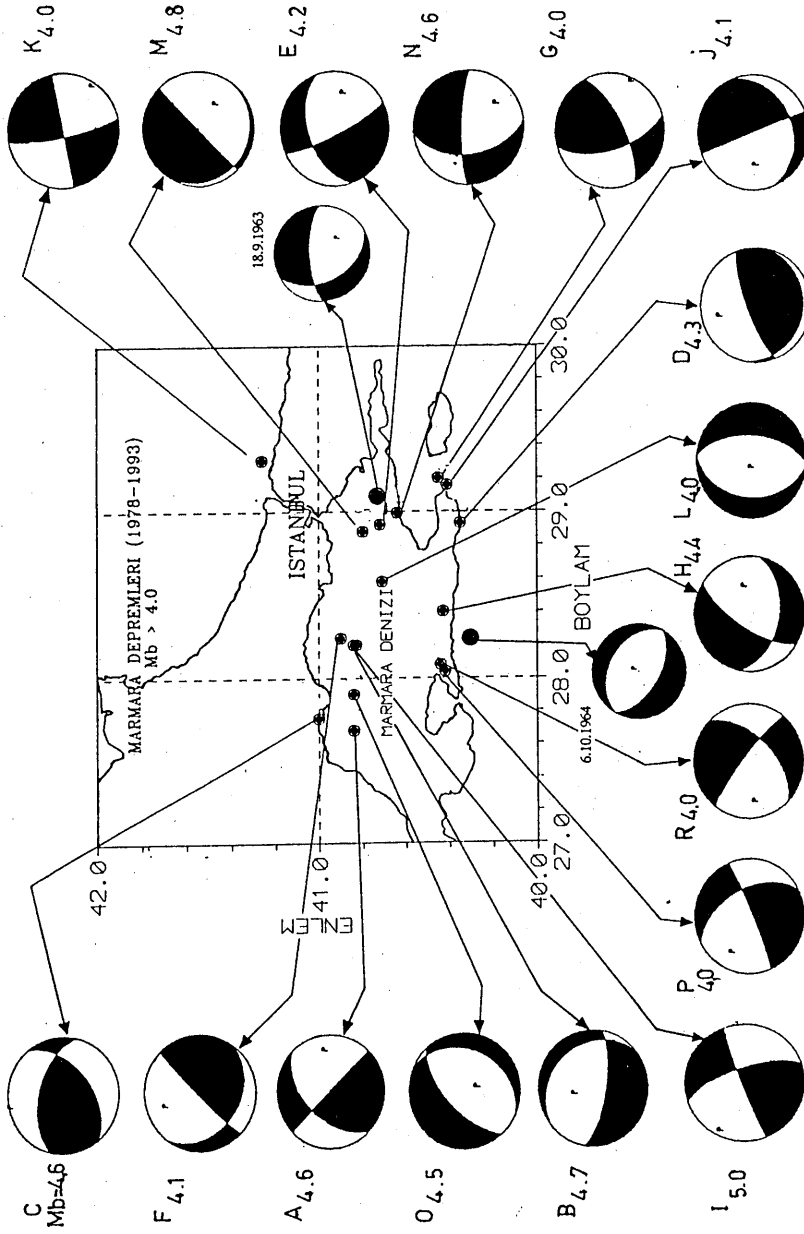
asismik davranışı 1894 İstanbul depremi ile ilişkilendirmek bir olasılıktır. Son yıllarda deprem kayıt yeteneğinin artmasına bağlı olarak İstanbul boğazı çevresinde ve boğazın Karadeniz açıklarında deprem etkinliği gözlenmektedir. Yeni jeolojik bulgular İstanbul boğazı ve çevresinde etkin fayların varlığının kanıtlarını ortaya koymaktadır (Oktay ve diğ. 1990, Yılmaz 1994, Kişisel görüşme).

Mevcut bilgileri niteliksel bir yaklaşımla yorumladığımızda Marmara bölgesinin etkin ve şu anda etkin görünmeyen deprem kaynak bölgelerini barındırdığını ve bu potansiyel alanların İstanbul Metropolü dahil olmak üzere Marmara bölgesindeki diğer yerleşim alanlarını da tehdit etmekte olduğuna işaret edebiliriz. İstatistiksel değerlendirmeler incelendiğinde (Tezcan ve diğ. 1991, Burton ve diğ. 1984) Marmara bölgesinin ortalama bir insan ömrü içinde büyük depremlerle karşılaşma olasılığı oldukça yüksek olarak bulunmaktadır.

MARMARA BÖLGESİNDEKİ KÜÇÜK DEPREMLERİN FAY MEKANİZMASI ÇÖZÜMLERİ

Marmara Bölgesinde olmuş ve büyüklüğü $M \geq 4.0$ olan depremlerin Kandilli Rasathanesi, İTÜ ve TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi tarafından algılanan kayıtları yeniden incelenmiş ve P dalgalarının ilk hareket bilgileri derlenmiştir. Bu bilgilere Türkiye dışında bulunan ve ISC tarafından ilk hareket bilgileri rapor edilen deprem istasyonlarının 6^0 ve daha yakın olanlarının da verileri eklenmiştir. Veri tarama çalışması sırasında, 1978-1993 yılları arasında olmuş 17 adet depremin ($4 \leq M_b \leq 5$) faylanma mekanizmasının bulunabileceği anlaşılmıştır. Fay mekanizması çözümü bulunacak depremlerin yerleri yeniden hesaplanmıştır. Çizelge 1'de, bu çalışmada fay mekanizma çözümü bulunan depremlerin dökümü verilmektedir.

Şekil 4, bu çalışmada incelenen küçük depremlerin saptanan fay mekanizma çözümleri dağılımını göstermektedir. İzdüşümler alt yarım küre üzerine yapılmıştır. Genel olarak incelendiğinde bölgedeki fay çözümlerinde doğrultu atımlı ve normal fayların çoğunlukta olduğu görülmektedir. Mürefte-Şarköy hattı üzerinde yerleşen C depremi ve F depremi için ters faylanma çözümü elde edilmiştir. A depremi için elde edilen çözümün KD-GB yönündeki fay düzlemi Barka ve Kadinsky-Cade (1988) tarafından belirtilen çek ayır (pull-apart) yapıları karşılık doğrultu atımlı faylarla ilişkili olabilir. O ve B depremlerin çözümleri ise Kuzey Marmaradaki derin çukurların D-B uzanımlı sınırlarını belirleyen normal faylarla



Şekil 4. Marmara bölgesinde 1978-1993 yılları arasında olmuş ve büyüklüğü $M \geq 4$ olan depremlerin bireysel fay düzlemi çözümleri. Çözümler alt yarım küreye Schmidt izdüşüm projeksiyonu tebnği ile yapılmıştır. Episantr yerleri yeniden sapıtmıştır. Odak derinlikleri 10 km alınarak hesaplanan geliş açları kullanılmıştır. Deprem parametreleri ve fay düzlemi çözümleri ile ilgili bilgiler Çizelge 1 de verilmiştir.

ilişkilendirilebilir. I depremi çözümü A çözümü gibi belirgin bir doğrultu atımlı faylanma karakteri göstermektedir. Doğu Marmara'daki M, E ve N

Çizelge 1. Marmara denizi ve çevresinde 1978-1993 yılları arasında olmuş ve büyüklüğü $M \geq 4$ olan depremlerin parametreleri. Burada D, km olarak odak derinliği; No, yer bulma işlemi için kullanılan gözlem sayısı; GAP, istasyonların azimut açığı; RMS, parametrelerin RMS hatası; ERH, episanırdaki \pm hata değeri; ERZ, derinlikteki \pm hata değeri; QM, duyarlıktaki kalite değeri.

	TARİH	OLUS. Z.	ENLEM	BOYLAM	D	Mb	No	GAP	RMS	ERH	ERZ	QM
A	780615	02642.67	40-50.59	27-40.69	10	4.6	27	53	0.81	2.2	3.8	D1
B	810312	4 559.11	40-50.33	28-12.09	17	4.7	33	48	0.69	1.9	3.0	D1
C	820712	144611.45	41- 0.00	27-45.16	10	4.6	26	46	0.56	1.6	3.8	D1
D	820727	102313.99	40-20.95	28-55.52	10	4.3	27	106	0.60	2.1	4.5	D1
E	850411	131144.62	40-43.17	28-55.26	2	4.2	25	89	0.79	3.2	6.5	D1
F	860627	183337.37	40-54.17	28-14.60	13	4.1	29	48	0.63	2.0	7.0	D1
G	870903	162453.05	40-26.94	29-11.73	4	4.0	25	52	0.66	2.3	7.2	D1
H	871027	31529.73	40-25.70	28-23.84	10	4.4	34	52	0.61	1.7	2.6	C1
I	880424	204933.40	40-49.58	28-11.78	13	4.0	28	37	0.65	1.9	3.3	D1
J	890127	94835.57	40-24.42	29- 9.79	10	4.1	31	53	0.62	2.1	2.7	D1
K	900610	113644.34	41-15.34	29-18.75	10	4.0	37	100	0.92	3.1	3.4	D1
L	910107	51514.99	40-42.48	28-34.65	17	4.3	35	47	0.64	1.8	2.8	D1
M	910212	95458.07	40-47.93	28-52.52	10	4.8	38	38	0.70	2.0	3.3	D1
N	910303	83926.19	40-38.19	28-59.18	17	4.6	32	34	0.53	1.5	2.2	C1
O	910308	92312.87	40-50.36	27-53.79	10	4.5	34	59	0.61	1.7	2.7	D1
P	930318	71939.37	40-25.40	28- 2.34	10	4.5	14	111	0.46	2.4	2.5	C1
R	930318	75139.09	40-26.41	28- 5.08	15	4.0	17	109	0.36	2.0	2.1	C1

çözümleri hem doğrultu atımlı hem de normal fay bileşenlerini taşıyan oblik faylanmaları göstermektedir. E depremi çözümü 1963 Çınarcık depremi mekanizma çözümüne benzer bir mekanizma vermektedir. Güney Marmara'daki P,R ve H depremleri mekanizma çözümlerinde ise normal faylanma bileşeninin baskın olduğunu ve T eksenlerinin K-G doğrultulu yerleştiğini görmekteyiz. Bu depremlerin belli bir oranda 1964 Manyas depremi çözümüne uyum gösterdikleri söylenebilir. L depremi K-G yönlü bir normal faylanmayı simgelemektedir. Güneydoğu Marmara'daki D depremi D-B doğrultulu bir ters faylanma hareketini göstermektedir. G ve J depremlerinde ters faylanma ve doğrultu atım bileşenleri birlikte bulunmaktadır. D-B doğrultulu fay düzlemi üzerinde sağ yönlü doğrultu atım görülmektedir. Karadeniz kıyısındaki K depremi ise belirgin biçimde doğrultu atımlı faylanmayı simgelemektedir.

Yukarıda sıralanan fay mekanizması çözümleri incelendiğinde Marmara bölgesinde eğim atımlı ve doğrultu atımlı faylanma etkinliğini bir

arada görmekteyiz. Bu sonuç Marmara Denizi için öne sürülen karmaşık tektonik hareketlerin varlığını desteklemektedir. Normal fay ve doğrultu atımlı fayların birarada bulunması bölgenin hem kuzey-güney yönlü açılma hem de doğrultu atımlı hareketlerin etkisi altında olduğunu göstermektedir. Bu sonuç daha önce yapılan jeolojik ve jeofizik çalışmalarla uygunluk içindedir. Burada bulunan fay mekanizması çözümlerinin, bölgede yakın istasyon sayısının az olması nedeniyle çok duyarlı olduğunu iddia etmemekle birlikte bu verilerin dışında daha duyarlı ve farklı bir veri yoktur. Daha fazla orta büyüklükteki depremin fay mekanizması çözümlerinin yapılabilmesi için Marmara bölgesindeki deprem istasyon sayısının artırılması gerekmektedir.

TARTIŞMA VE SONUÇLAR

- Bu çalışma sırasında Marmara bölgesi ile ilgili olarak;
- tarihsel depremlerin (1900 öncesi) dağılımları ve etki alanları,
 - aletsel dönem (1900-1993) deprem etkinliği,
 - gözlenen ve önerilen diri fay zonlarının dağılımları,
 - saptanan odak mekanizması çözümleri

karşılaştırmalı olarak incelendiğinde bölgenin deprem oluşturma potansiyelinin yüksek olduğu ve yanal atımlı hareketlerle düşey atımlı hareketlerin bir arada bulunduğu bir sismotektonik ortam olduğu anlaşılmaktadır. Belirginleşen deprem kümelenmeleri ve dizilimler olmakla birlikte; veriler bir arada değerlendirildiğinde Marmara denizinde deprem kaynak zonlarının çok sayıda, çeşitli ölçekte ve tüm bölgeye dağılmış olarak bulunduğu öne sürülebilir. İstanbul Metropolitan alanının kuzey bölgeleri mevcut verilere göre günümüzde daha düşük bir deprem etkinliği sergilemektedir. İncelenen bölgede oluşacak büyük depremlerin ürettiği hareketler içinde düşey ve yatay yöndeki yer hareketleri baskın olabilir. Depremlerin yer kabuğunun üst bölümlerinde yer alması nedeniyle Marmara denizi içindeki büyük depremlerde kıyadaki yerleşim birimleri Tsunami etkisi altında kalabilir.

Yukarıdaki verilerin ışığında görülmektedir ki, şirleşmenin yoğun olduğu Marmara bölgesinde depremlerin yakın ve uzak etkileri de gözönünde bulundurularak depremle ilgili çalışmaların çok yönlü ve disiplinli olacak şekilde önem ve ivedilikle ele alınması gereklidir.

KAYNAKLAR

- Ambrascys, N.N ve Finkel, C.F.**, 1991, "Long-term seismicity of İstanbul and the Marmara region", Engin. Scis. Earthq. Report 91/8, Imperial College.
- Barka, A.A.**, 1991, "İstanbul'un depremselliğini oluşturan tektonik yapılar ve İstanbul için bir mikrobölgeleme denemesi", İstanbul ve Deprem Sempozyumu, 4 Mayıs 1991, İMO İstanbul Şubesi, 35-56.
- Barka, A.A. ve Kadinsky-Cade, K.**, 1988, "Strike-slip fault geometry in Turkey and its influence on earthquake activity", Tectonics, 7, 663-684.
- Barka, A.A. ve Toksöz, N.**, 1989, Seismic gaps along the North Anatolian Fault, Abstract, IASPEI meeting in İstanbul, Turkey, S9-1.
- Burton, P.W, McGonigle, R., Makropoulos, K.C. ve Üçer, S.B.**, 1984, "Seismic risk in Turkey, the Aegean and the eastern Mediterranean: the occurrence of large magnitude earthquakes", Geophys. J. R. astr. Soc., 78,475-506.
- Eyidoğan, H.**, 1988, "Rates of crustal deformation in western Turkey as deduced from major earthquakes", Tectonophysics, 148, 83-92.
- Gündoğdu, O.**, 1986, "Türkiye depremlerinin kaynak parametreleri ve aralarındaki ilişkiler", Doktora Tezi, İÜ Müh. Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Avcılar, İstanbul.
- Oktaç, F.Y., Sakınç, M. ve Meriç, E.**, 1990, "Geological evaluation of İstanbul late Quaternary basins (Kuşdili, Ayamama and Büyükdere)", Abstract, Inter. Earth Sciences Cong. on Aegean Regions., İzmir, Turkey, 123-124.
- Soysal, H., Sipahioğlu, S., Kolçak, D. ve Altınok, Y.**, 1981, "Türkiye tarihsel deprem kataloğu", Tubitak Proje No: TBAG 341, 86 sayfa.
- Tezcan, S., Acar, Y. ve Çivi, A.**, 1991, "İstanbul için deprem riski analizi", İstanbul ve deprem sempozyumu, TMMOB İnşaat Müh. Odası, İstanbul Şubesi, 97-119.
- Üçer, S.B.**, 1990, "Marmara bölgesinin deprem etkinliği ve aktif tektonikle ilişkisi", Doktora Tezi, İstanbul üniversitesi.

TEŞEKKÜR

TMMOB İnşaat Mühendisleri Odasına, Organizasyon Komitesi adına Prof. Dr. Nuray AYDINOĞLU'na, Şekil 1 kullanmama izin veren ve yapıcı eleştiri ile makalenin son durumuna gelmesinde yardımcı olan Doç. Dr. Ayku BARKA'ya teşekkür ederim.