

İZMİR ‘DE SİSMİK TEHLİKEYİ BELİRLEMEK İÇİN DEPREM SENARYOLARINA DAYALI YER HAREKETİ SİMÜLASYONLARI

Louise W. BJERRUM
louise.bjerrum@geo.uib.no

Prof. Dr. Kuvvet ATAKAN
kuvvet.atakan@geo.uib.no

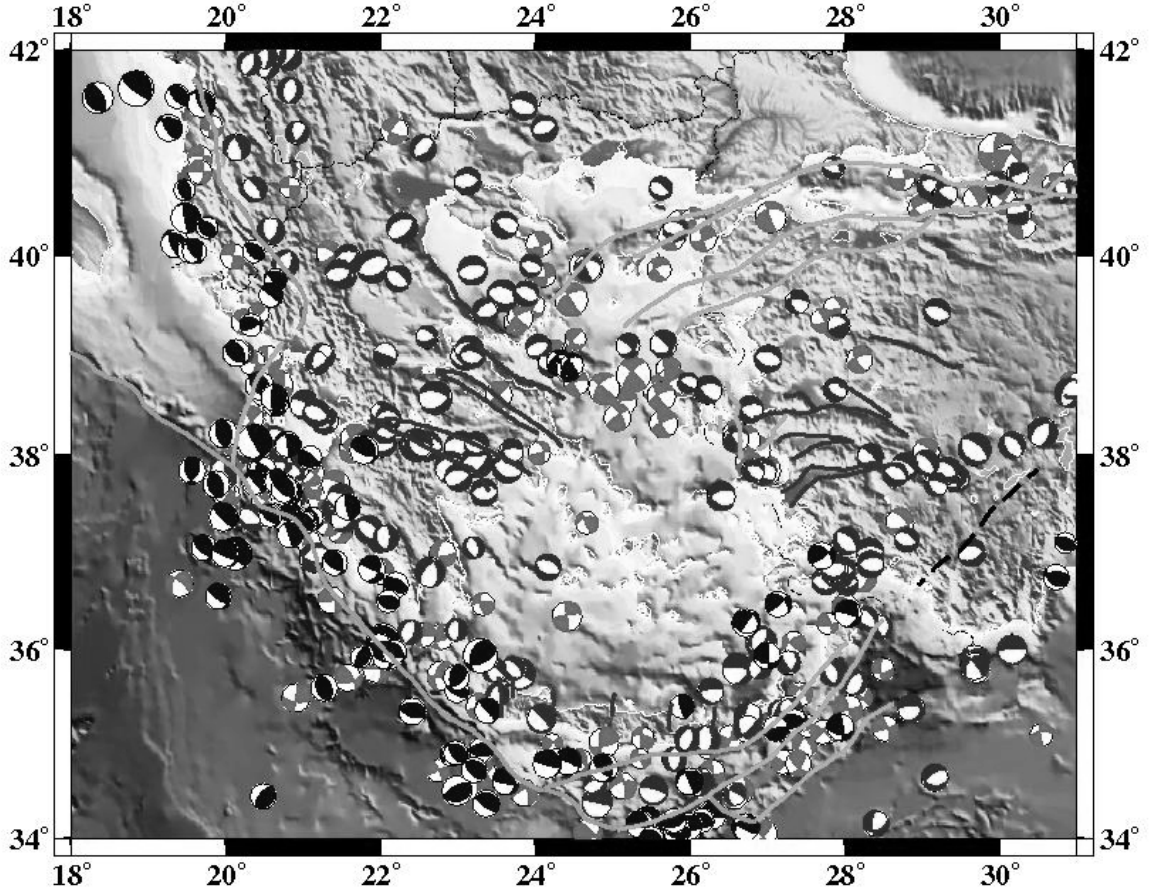
1.GİRİŞ

Ege-Anadolu bölgesi Avrupa ‘da sismik ve tektonik olarak en aktif alanlardan biridir ve önemli sismik tehlike ile karakterize edilir. Aktif faylar üzerindeki yerel ve bölgesel jeolojik çalışmalar ile Ege ve Anadolu bölgelerini kapsayan yüksek ayrımlı GPS verilerine dayanan yoğun bilgiler mevcuttur. GPS verileri Anadolu mikro levhasının en bilinen ve en çok araştırılan Kuzey Anadolu Fay Zonu boyunca meydana gelen deformasyonla batıya doğru hareket ettiğini göstermektedir. GPS verilerinin değişik yorumları bulunmaktadır; Bölge, Orta Batı Anadolu ‘daki göreceli olarak dar aktif deformasyon zonunun iyi çözülmesiyle tektonik deformasyonun çoğunu içeren göreceli olarak dar zonlarla ayrılmış çok sayıda mikro levhalara bölünmüştür (McClusky ve diğ., 2000).

Yıkıcı depremlerin jeolojik ve tarihsel dönemlerde gösterdiği gibi Batı Anadolu ‘daki aktif deformasyon bölgedeki değişik fay sistemlerinin yeniden hareketlenmesinin sonucudur. Yakın geçmişte İzmir ‘de felaket boyutunda üç deprem meydana gelmiştir. En sonuncusu 1778 ‘de meydana gelen bu depremler yaklaşık 50 yıllık sürelerle ayrılmışlardır (Ambraseys ve Finkel, 1995; Papazachos ve Papazachou, 1997; Papazachos ve diğ., 1997).

Deprem senaryolarına dayalı sayısal yer hareketi simülasyon yöntemleri, özellikle sismik tehlikenin yakındaki büyük bir fay tarafından kontrol edildiği bölgelerde uygulanmaktadır. İzmir birkaç aktif faya yakınlığı dolayısıyla bu konuda önemli derecede tehlikeye maruz kalmıştır. Bu çalışma İzmir ‘e yakın iyi tanımlanmış faylar boyunca deprem kırılma eğiliminin bir sonucu olarak zemin hareketi dağılımlarını belirlemeyi amaçlamaktadır. Bu çalışmada bölgedeki sismik tehlike İzmir kenti çevresinde bulunan aktif faylar üzerindeki dokuz farklı deprem senaryosuna dayanılarak deterministik olarak hesaplanmıştır. Uygulanan metodoloji İstanbul (Türkiye) ve Tottori (Japonya) ‘da başarıyla uygulanmış olan hibrid geniş-bandlı yer hareketi simülasyon tekniğine dayanmaktadır (Pulido ve Kubo, 2004; Pulido ve diğ., 2004; Sorensen ve diğ., 2007). Deprem kırılmasındaki karmaşıklık fay atımı ile ilgili fiziksel özellikleri tanımlayan değişik parametrelerle çok pürüzlü (asperity) modeller kullanılarak temsil edilmiştir. Giriş modelleri yol (sismik hızlar ve kabuktaki sönüm) ve kaynak (fay boyutları, geometrisi, mekanizması, pürüzlerin büyüklüğü ve yeri ve onların parametreleri) karakteristiklerine dayanmaktadır. Yer hareketi simülasyon sonuçlarının kıyaslanması İzmir ‘de sismik tehlikeyi kontrol eden fay kırılmalarında olabilecek karmaşık hasar konusunda yeni bilgiler verecektir.

*Bu Bildiri Jeofizik Mühendisleri Odası Adına Düzenlenmiştir.



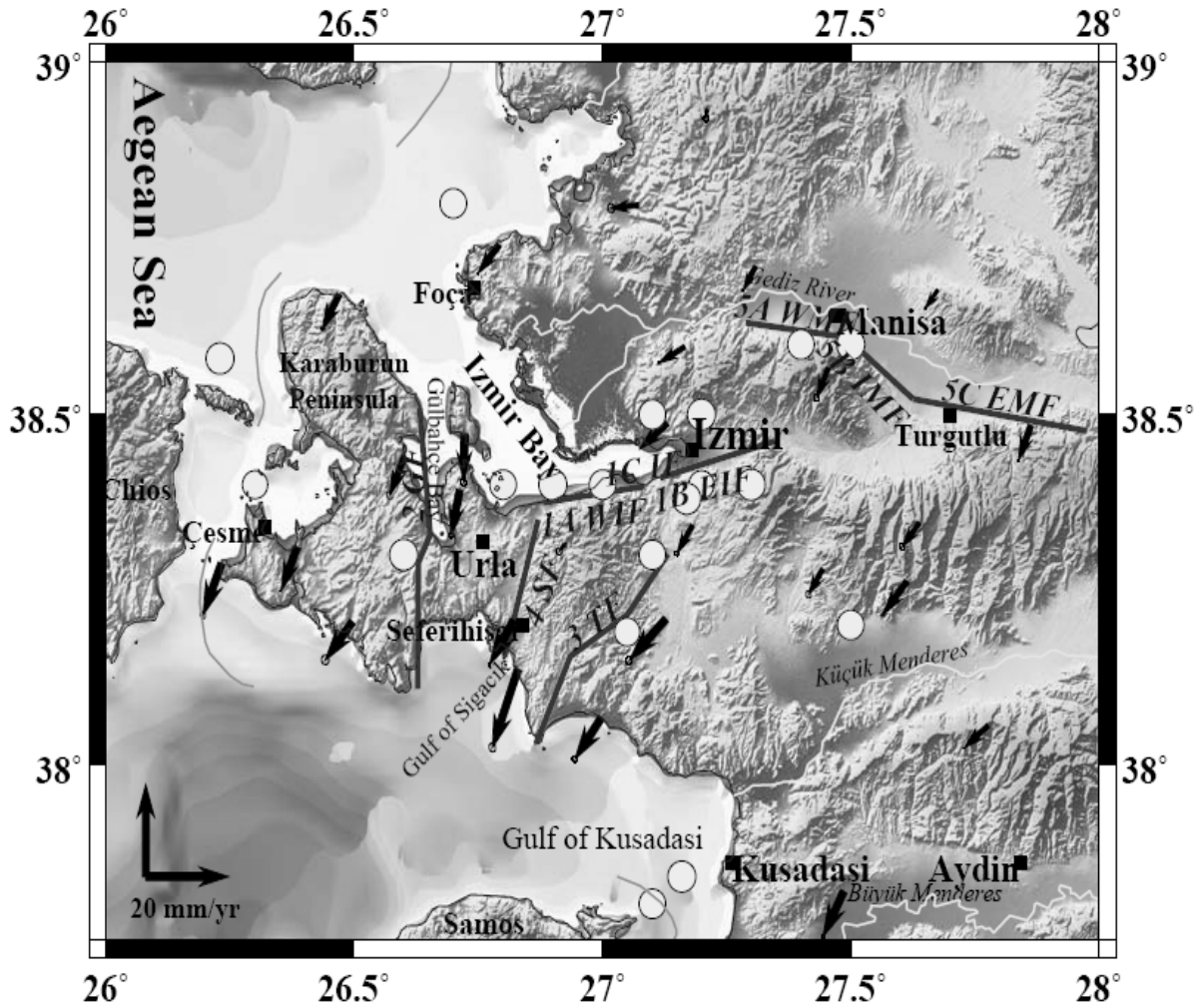
Şekil 1. Ege Bölgesi 'nde aktif faylar ve deprem odak mekanizmaları. Fay düzlemi çözümleri INGV, USGS ve Harvard moment tensör çözüm veri tabanlarından derlenmiştir.

1.1. İzmir Çevresinde Yerel ve Bölgesel Tektonik

Ege-Anadolu bölgesindeki büyük ölçekli tektonik deformasyon güneyde Helen dalma-batma zonu, Apulia-Adriyatik platformu ile kuzeybatı Yunanistan ve Arnavutluk arasındaki kıtasal çarpışma, Avrasya ile Afrika ve Arap levhalarının çarpışması sonucu oluşmaktadır. Avrasya levhası Arap levhasının çarpışması iki büyük yanal doğrultu atımlı fay olan Kuzey ve Doğu Anadolu fay zonlarıyla Anadolu bloğunun batıya doğru göç etmesine neden olur. Afrika levhası batıda Helen yayı boyunca Ege Denizi 'nin altına dalmaktadır. Kuzey Anadolu Fayı Türkiye 'nin kuzeybatısında Marmara Denizi içine girdiğinde daha karmaşık bir duruma ulaşır. Kuzey Ege Denizi 'nde en dikkati çeken doğrultu atımlı fay sistemi Kuzey Ege Çukuru 'nda yer almaktadır. Sistemin doğu bölümü daha çok doğu-kuzeydoğu yönlü yönelime sahipken, sistem batıda kuzeydoğu yönlü yönelime sahiptir (Nyst ve Thatcher, 2004; Taymaz ve diğ., 1991). Kuzey Ege Denizi 'ndeki depremlerin odak mekanizmaları Anadolu levhasının batıya göçünün bir sonucu olarak başlıca doğrultu atımlıdır. Helen yayı boyunca ve Apulia-Adriyatik platformu ile kuzeybatı Yunanistan ve Arnavutluk arasındaki kıtasal çarpışma zonu boyunca kuzeye doğru bindirme sonucu oluşmuş depremler bulunmaktadır. Kara kütlelerinin açılmasını vurgulayan normal faylanma olayları Ege Denizi 'nin her iki tarafında meydana gelmektedir. Ege Denizi 'nin çevresindeki alanda meydana gelen depremlerin fay düzlemi çözümleri ve aktif faylar Şekil 1. 'de ayrıntılı olarak gösterilmektedir.

Ege Denizi 'nin her iki yanında gözlenen açılma tektoniği doğuda Gediz Grabeni ve Büyük Menderes Grabeni ile Batı Ege 'de Korint Körfezi gibi büyük doğu-batı uzanımlı normal fay sistemleri ile uyumludur. Graben yapılarının Türkiye 'nin batı kıyılarında batıya doğru olduğu bulunurken, Yunanistan 'da bu graben yapılarının açılması doğuya doğrudur.

Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü yakın zamanda İzmir 'in yakın çevresinde 40 'tan fazla aktif fayı belirlemiştir (Emre ve diğ., 2005). Aktuğ ve Kılıçoğlu (2006) daha sık yeni bir ağ (2001-2004) ve önceki verilere (1992 ve daha yeni) dayanan yerel GPS araştırması ile İzmir 'in yakın civarındaki hız alanını araştırmışlardır. Bu ağın coğrafik kapsamı bu çalışmada 1(A-C)IF, 2 GF ve 3 TF senaryolarında değinilen Şekil 2 'deki İzmir fayı, Gülbahçe fayı ve Tuzla fayı gibi bölgedeki üç büyük fay üzerinde özel bir öneme sahiptir.



Şekil 2. Referans çerçeve olarak durağan Anadolu bloğu ile İzmir yakın çevresindeki GPS alanı siyah oklarla gösterilmektedir (Aktuğ ve Kılıçoğlu (2006) 'dan). 47-1992 yılları arasında İzmir 'de önemli yer sarsıntılarının neden olan tarihsel depremler küçük dairelerle gösterilmektedir (Papazachos ve diğ., (1997), Papazachos ve Papazachou, (1997) ve Ambraseys ve Finkel, (1995) 'den). Deprem senaryolarında simülasyonu yapılan faylar gri çizgilerle gösterilmektedir. Senaryo isimleri Tablo 1. 'de verilmiştir.

GPS ağının ayrıntılı coğrafik kapsamı batı Anadolu 'nun bütününe tek bir rijid blok olarak bakmak yerine küçük ölçekte blok rotasyonlarını haritalayabilme avantajına sahiptir. GPS ölçüm ağı İzmir körfezi boyunca uzama ve açılmanın oranını haritalamak için oluşturulmuştur. Hız alanı Anadolu sabit referans çerçevesine göre Şekil 2 'de verilmiştir. Şekilden İzmir ve civarında blok rotasyonların olduğu görülmektedir, özellikle Seferihisar ve Tuzla faylarının her iki yanındaki göreceli hızlar önemlidir. Doğudan batıya ve kuzeyden güneye hızlardaki artış körfezin açılmasını onaylayan İzmir körfezi boyunca hız alanındaki artış gibi belirgindir.

1.2 Depremsellik

Batı Anadolu 'daki tektonik deformasyon bölgesel ve yerel ölçekte (Şekil 1) yüksek oranda sismik aktivite üretmektedir. Tarihsel dönemler boyunca İzmir ve çevresinde çok yıkıcı birkaç depremin olduğu bilinmektedir (Şekil 2). Papazachos ve diğ., (1997) , Papazachos ve Papazachou, (1997) ve Ambraseys ve Finkel, (1995) 'den derlenen makrosismik kayıtlardan İzmir çevresinin güçlü yer hareketlerinin etkisi altında kaldığı ve şehrin birkaç kez hasar gördüğü açıktır. Şekil 2 'de görülen tarihsel olaylar İzmir ve Tuzla fayları üzerindeki aktivitenin açık bir işareti olarak görülmektedir. Hiposantrı İzmir 'e yakın en son büyük deprem 6.4 moment büyüklüğü ile 1778 'de, bu depremden önceki iki olay da 35 ve 65 yıl zaman farkıyla (1688 ve 1723 yıllarında) meydana gelmiştir. Şehrin yakınında bu oldukça yoğun büyük deprem dağılımı olasılıkla alandaki faylar arasındaki etkileşimle açıklanabilir ve bir faydaki stresin açığa çıkması bir sonraki kırılmayı harekete geçiren stres transferi ile sonuçlanır. Ancak, şehirde son 220 yıl süresince şehrin civarındaki faylarda önemli miktarda biriken gerilmeyi açığa çıkaracak büyük bir deprem meydana gelmemiştir.

Yakın zamanda, 2005 sonbaharında 17 ile 31 Ekim tarihleri arasında Sığacık Körfezi 'nde yaklaşık 50 olaydan oluşan yüksek bir sismik aktivite gözlenmiş ve üç gün içinde moment büyüklüğü 5.4 'den büyük üç deprem meydana gelmiştir (Benetatos ve diğ., 2006). Büyük üç depremin odak mekanizmaları Sığacık Körfezi 'nde kuzeydoğu güneybatı uzanımlı faylar üzerinde doğrultu atımlı bir hareketi işaret etmektedir. Ancak böyle yapılar henüz sismik yansıma araştırmalarıyla tanımlanmamıştır.

1.3 Metodoloji (Yöntem)

Bu çalışmada İzmir ve civarı alanın sismik tehlikesi deprem kırılma senaryolarına dayanan yer hareketi simülasyonları ile kestirilmiştir. Bu simülasyonlar farklı frekans aralıkları için hesaplanmış, yöntem olarak Pulido ve Kubo (2004) ve Pulido ve diğ., (2004) 'ün yaklaşımı izlenmiştir. Alçak frekanslı yer hareketi (0.1-1.0 Hz) fay düzleminin birçok bağımsız nokta kaynak olarak davranan birçok alt faylara bölünmesiyle elde edilmiştir. Alçak frekans hareketi için sismogramlar ayrık dalga sayısı kuramı ile sayısal olarak elde edilmiştir (Bouchon, 1981). Toplam yer hareketi her alt fay içinde sabit bir kırılma hızın varsayıldığı farklı katkılar eklenerek bulunmuştur. Tanımı aşağıda verilen bu yöntem verilen bir odak mekanizması ve kaynak zaman fonksiyonu için yatay tabakalı bir hız yapısındaki dalga yayılımını hesaplar. Yüksek frekanslı yer hareketi (1-10 Hz) alçak frekanslı yer hareketi koşulunda olduğu gibi sonlu pürüzlü bir modelden hesaplanmıştır. Nokta kaynaklı yer

*Bu Bildiri Jeofizik Mühendisleri Odası Adına Düzenlenmiştir.

hareketleri yarı stokastik bir yaklaşım kullanılarak hesaplanmıştır (Boore, 1983). Sonuç olarak, her nokta kaynak için yüksek frekanslı yer hareketi toplamı ampirik Green fonksiyonu yöntemi uygulanmasıyla elde edilmiştir (Irikura, 1986). Alçak frekanslı yer hareketlerinin yayılım modeli kuramsal ikili çifti izler. Buna karşın, yüksek frekanslar için yayılım modeli izotropik ve küreseldir (Pitarka ve diğ., 2000). Pulido ve Kubo (2004) SV ve SH dalgaları için yayılım modellerinin değişimini göz önüne alabilmek amacıyla alçak frekans modelinden yüksek frekans modeline düzgün bir geçişi veren bir yöntem geliştirmişlerdir. Yer hareketi simülasyonları için bu hibrid yaklaşım gerçekçi sonuçlar üretmiştir (Pulido ve Kubo, 2004; Pulido ve diğ., 2004; Sorensen ve diğ., 2007).

2. SENARYO DEPREM PARAMETRELERİ

Bu çalışmada İzmir ve civarındaki faylar üzerinde dokuz deprem senaryosu oluşturulmuş ve ilişkili yer hareketleri hesaplanmıştır. İzmir ‘deki tehlikenin hesaplanması amaçlandığından şehre en yakın ve en ilişkili beş fay seçilmiştir. Tüm deprem senaryolarının kırılma başlangıç noktası İzmir için en kötü durum senaryolarını üretecek şekilde belirlenmiştir.

2.1 Simülasyon Parametreleri

Bu çalışmada kullanılan kabuk ve üst manto hız modeli olarak orta kabuk düşük hız zonu ve 33 km kalınlığında bir kabuk olduğu varsayılmıştır (Horasan ve diğ., 2002). Düşük hızlı simüle edilmiş sismik dalgaların sönümü yüksek frekanslar için frekansa bağımlı sönüm ilişkisinin uygulandığı hız modelindeki Q değerlerinden saptanmıştır (Akıncı ve diğ., 1995). 10 Hz ‘e kadar frekanslar simüle edilmiştir. Oluşum zamanı normal faylar ve doğrultu atımlı faylar için sırasıyla 1.0 s ve 3.0 s olarak seçilmiştir. Kırılma hızları her iki fay tipi için sırasıyla 2.5 km/s ve 3.0 km/s olarak seçilmiştir (Pulido ve diğ., 2004; Somerville ve diğ., 1999).

Önceki çalışmalardan fay pürüzlerinin toplam büyüklüğünün toplam kırılma alanının %22 ‘si civarında olduğu bulunmuştur (Somerville ve diğ., 1999). Bu çalışmadaki senaryo depremlerinin çoğunda her fayda sadece bir pürüz bulunmaktadır ve birden fazla pürüz olması durumunda segment alanının %22 ‘si ile ilişkili bir pürüz büyüklüğü benimsenmiştir. Her bir pürüzün büyüklüğünün bu seçimi deprem yer hareketi simülasyonunun gerçekleştirildiği önceki çalışmalarla uyumludur (Pulido ve Kubo, 2004; Pulido ve diğ., 2004; Sorensen ve diğ., 2007).

Farklı deprem senaryoları için sismik moment değeri %40 ‘ı pürüzler (yüksek atım) ve %60 ‘ı arka plan fay düzlemine (düşük atım) uygulanmış fay uzunluğuna bağlı olarak her deprem senaryosuna uygulanan moment büyüklüğünden hesaplanmıştır (Kanamori, 1977; Wells ve Coppersmith, 1994). Normal faylardaki senaryolar için ortalama stres azalması 3.0 MPa olarak saptanmıştır (Tselentis ve Zahradnik, 2000). Stres azalması doğrultu atımlı faylar üzerindeki senaryolar için sismik momentten bulunmuştur (Das ve Kostrov, 1986). Pürüzler ve fay düzlemi arasındaki stres azalım oranı 0.05 olarak kullanılmıştır (Dalguer ve diğ., 2004). Simülasyon parametrelerinin tümü Tablo 1 ‘de özetlenmektedir.

*Bu Bildiri Jeofizik Mühendisleri Odası Adına Düzenlenmiştir.

Tablo 1. Dokuz farklı deprem senaryosu için kaynak parametreleri. İzmir ve Manisa fayları normal faylar, diğer üç fay ise doğrultu atımlı karakterdedir. Frekans bağımlı sönüm değeri $Q=82 \cdot f^{10}$ ile ve 10 Hz 'e kadar frekanslar için yer hareketleri simüle edilmiştir. Gülbahçe ve Tuzla fayları için fay düzlemi çözümleri 1C senaryosu için batıdan doğuya doğru verilmişken kuzey, orta ve güney segmentler olarak verilmiştir.

Senaryo Fayı	Moment Büyüklük	Sismik Moment (Nm)	Fay Düzlemi Çözümü Doğrultu/Eğim/Rake	Ortalama Stres Azalması (MPa)	Pürüzlülük Stres Azalması (MPa)
1A Batı İzmir	6.5	$6.2 \cdot 10^{18}$	263°/60°/-100°	3.0	11.6
1B Doğu İzmir	6.5	$8.2 \cdot 10^{18}$	257°/60°/-100°	3.0	11.6
1C İzmir	6.9	$2.3 \cdot 10^{19}$	263°/60°/-100° 250°/60°/-100° 257°/60°/-100°	3.0	11.6
2GF Gülbahçe	6.9	$3.2 \cdot 10^{19}$	180°/80°/-10° 211°/80°/-10° 173°/80°/-10°	8.0	31.0
3TF Tuzla	6.9	$2.6 \cdot 10^{19}$	29°/80°/-167° 63°/80°/-167° 44°/80°/-167°	7.9	30.5
4SF Seferihisar	6.6	$1.1 \cdot 10^{19}$	199°/80°/-149°	7.9	28.8
5A Batı Manisa	6.5	$6.2 \cdot 10^{18}$	276°/48°/-83°	3.0	11.6
5B I. Manisa	6.4	$4.5 \cdot 10^{18}$	304°/48°/-83°	3.0	11.6
5C Doğu Manisa	6.6	$9.2 \cdot 10^{18}$	277°/48°/-83°	3.0	11.6

3. YER HAREKETİ SİMÜLASYON SONUÇLARI

Dokuz farklı deprem senaryosu için en yüksek yer hareketi (PGM) değerleri ve simülasyonda ortaya çıkan deprem sinyalinin toplam süresi Tablo 2 'de verilmiştir. Burada en yüksek yer hareketi değerleri senaryo tarzında ve İzmir 'in merkezindeki bir istasyon için simüle edilmiş olarak verilmiştir. Üç doğrultu atımlı senaryoların simülasyonları en yüksek yer ivmelerini (PGA) üretmiştir, buna karşın 42 km uzunluğundaki İzmir fayının tamamının senaryosu en yüksek pik yer hızını (PGV) ve PGA 'nın çok yüksek değerini üretmiştir. 6.6 moment büyüklüğüne sahip Seferihisar fayı üzerindeki senaryo İzmir fayı (1C) üzerindeki 6.9 moment büyüklüğünün deprem senaryosundan daha büyük yer hareketleri ürettiği gerçeği doğrultu atımlı faylar üzerinde normal faylar üzerindeki daha büyük yer hareketleri ürettiğini açıklayan önceki çalışmalarla uyumludur (Brune ve Anoosheepoor, 1999; Mcgarr, 1984).

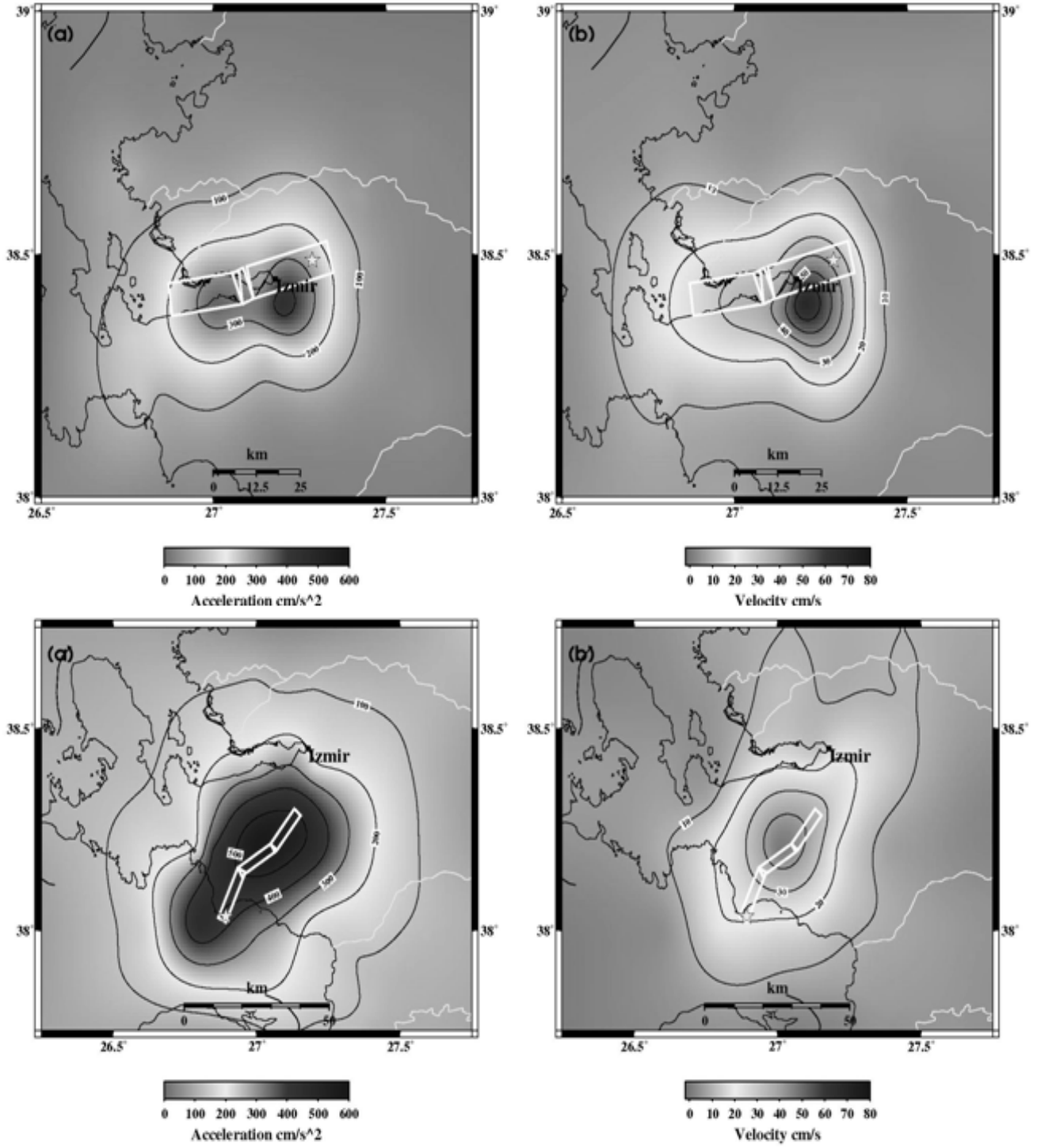
Tablo 2. İzmir ‘in merkezinde simüle edildiği gibi ve en yüksek yer ivme ve hız (PGA ve PGV) senaryosu için çıktı değerleri. Sinyal süresi İzmir ‘in merkezindeki istasyon içindir.

Deprem Senaryosu	Pik Yer İvme (PGA) Senaryosu (cm/s ²)	Pik Yer Hız (PGV) Senaryosu (cm/s)	PGA İzmir (cm/s ²)	PVA İzmir (cm/s)	Sinyal Süresi (İzmir) (s)
1A Batı İzmir	256	35	144	10	5
1B Doğu İzmir	262	28	227	24	7
1C İzmir	438	68	387	53	13
2GF Gülbahçe	559	40	125	6	11
3TF Tuzla	574	47	253	13	6
4SF Seferihisar	526	32	94	3	12
5A Batı Manisa	255	26	56	7	8
5B I. Manisa	209	12	35	3	11
5C Doğu Manisa	274	29	21	3	11

İzmir ‘deki sismik tehlikenin kestirimi en yüksek yer hareketi (PGM) değerleri ve sinyal sürelerinden İzmir ‘in merkezinde bulunan bir istasyon için her bir senaryodan hesaplanan dalga formları temel alınarak yapılmıştır. Bu değerler İzmir ‘de en büyük yer hareketini üreten Tuzla fayı ve İzmir fayı (1C) üzerindeki deprem senaryolarını gösterir ve İzmir fayı üzerindeki sinyal süresi en uzun olarak simüle edilmiştir. Bu senaryolardan İzmir ‘e ulaşan enerji diğer deprem senaryolarından çok daha büyüktür ve bundan dolayı bu senaryolar sismik tehlike göz önüne alındığında İzmir için en kötü durum senaryoları olarak kabul edilmişlerdir. Bu faylar üzerindeki deprem senaryoları için en yüksek yer hareketi (PGM) dağılımı Şekil 3 ‘de görülmektedir. En yüksek yer hareketleri değerleri açıkça senaryo faylarına alanın yakınlığını kısmen açıklayan 1B EIF ve 1C IF senaryoları için İzmir ‘de gözlenmiştir. Böyle durumlarda sönüm etkisi minimumdur.

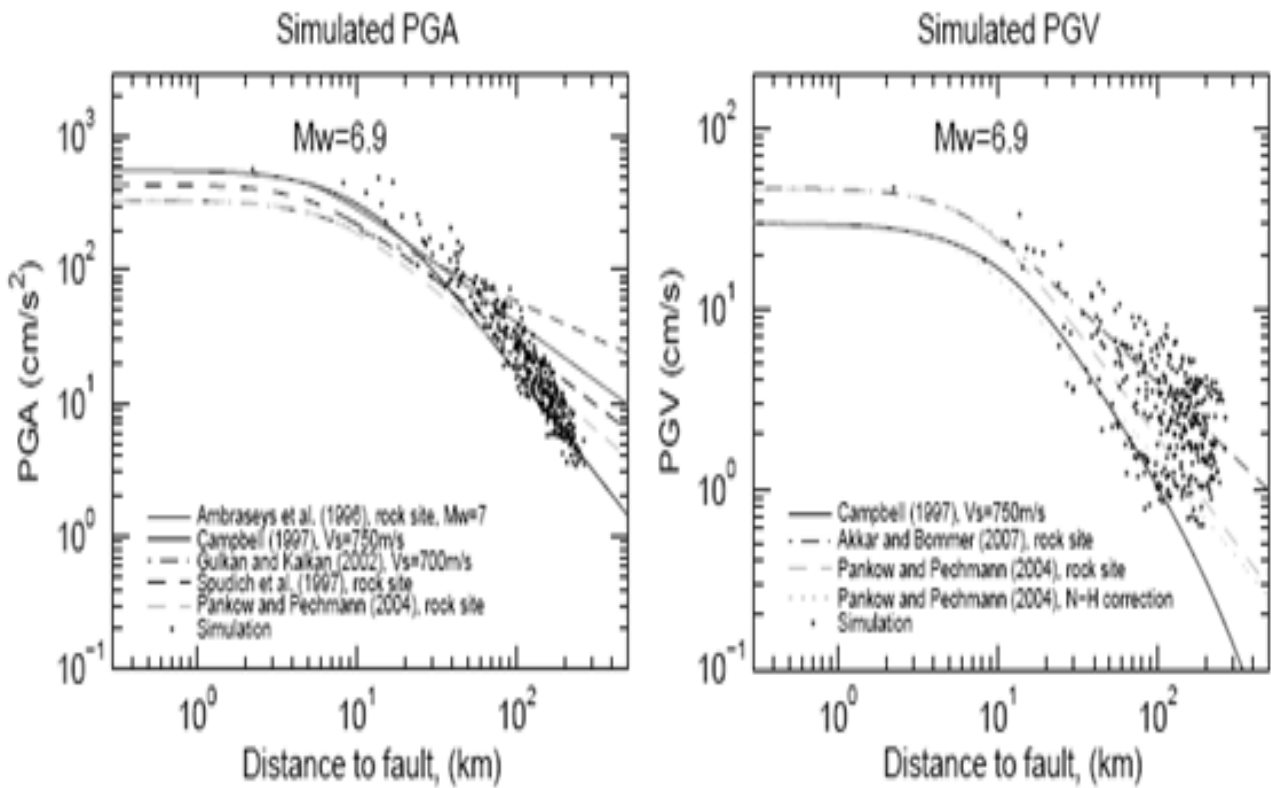
Dokuz deprem senaryoları için simülasyon sonuçları PGA ‘lar ve PGV ‘ler için beş değişik ampirik sönümlenme ilişkileri için kıyaslanmıştır (Akkar ve Bommer, 2007; Ambraseys, ve diğ., 1996; Campbell, 1997; Gülkan ve Kalkan, 2002; Pankow ve Pechmann, 2004; Spudich, ve diğ., 1997). Bu faydan 400 km uzaklıklara kadar Tuzla fayındaki simülasyon için şekil 4’te gösterilmiştir. Tüm ampirik ilişkiler, yer hareketlerinin temel kayaç için simüle edilmesinden dolayı, sert kayaç koşullarına göre ayarlanmıştır. Bu sonuçlar ampirik sönüm ilişkilerindeki PGA değerlerine çok iyi uyumludur. Bununla beraber faya 30 km’den daha fazla uzaklıklar için PGA ‘lar sönüm ilişkileri kestirimlerinden daha yüksektir. PGV ‘ler için simüle edilen değerler daha geniş dağılıma sahiptirler, bununla beraber simülasyon sonuçları değişik sönüm ilişkileri kestirimlerindeki dağılımın geniş aralığında yer alırlar. Buna ek olarak simüle edilen PGV değerlerinin eğilimleri özellikle uzak mesafelerde ampirik ilişkilerin daha yüksekindedir. Normal fay depremleri için simülasyon durumunda simüle edilen yer hareketleri genel olarak ampirik ilişkilerden biraz daha alçaktır; daha önce açıklandığı üzere bu durum yanal atımlı olaylarla kıyaslandığında normal faylardaki daha düşük yer hareketleri gözlemleri ile uyumludur. Simüle edilen yer hareketleri ve ampirik kestirimler arasında genel olarak oldukça iyi bir benzerlik olduğu görülmektedir.

*Bu Bildiri Jeofizik Mühendisleri Odası Adına Düzenlenmiştir.



Şekil 3. 1C İzmir fayı (üst) ve 3TF Tuzla fayı (alt) deprem senaryoları için PGA (sol) ve PGV (sağ) dağılımları.

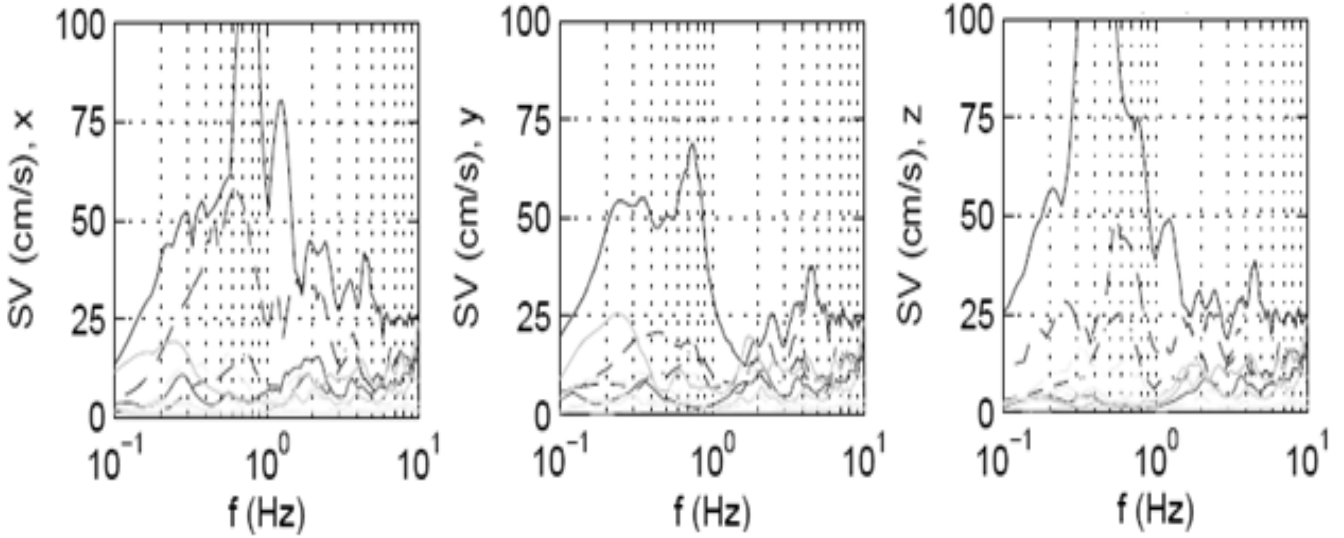
İzmir merkezli dokuz senaryo depremleri için hız tepkisi spektrumları şekil 5'te gösterilmiştir. İzmir fayının değişik fay bölümleri haricinde tüm senaryolar için, ana pikler olmaksızın çok düşük spektral hızlar görülmektedir. Bununla beraber her iki yatay bileşenlerin 0.1 ila 0.4 Hz arasındaki frekansları için Tuzla Fayı üzerindeki deprem senaryosu 3TF (açık gri)'nde minör pikler vardır. Öte yanda mutlak spektral hız değerleri bu piklerde yalnızca 25 cm/s civarındadır. Şekil 4c'deki etkin deprem senaryoları değişik İzmir fayı segmanları üzerinde simüle edilmiştir (siyah). Bilhassa senaryolar 1B EIF (--) ve 1C IF (-) için kuvvetli pikler 0.2 ila 0.1 Hz frekansları aralığında gözlenmiştir. En batıdaki segmandakileri en zayıf olmasına rağmen, pikler iki segmanın beraber kırıldığındaki senaryo 1C IF için en kuvvetlidir. Senaryo 1A-C IF için düşey bileşen üzerindeki pikler kırılma sırasındaki düşey yer değiştirmesi, bu senaryoların normal faylanma mekanizması ile uyumlu olduğunu gösterir.



Şekil 4. Metinde bahsedildiği üzere ampirik sönüm ilişkilerine göre kestirilen yer hareketlerine göre simüle edilen (siyah noktalar) pik yer ivmesi (üst) ve hız (alt) kıyaslanmıştır. Kıyaslama deprem senaryosu 3 TF, Tuzla fayı için yapılmıştır.

Bu çalışmada tüm yer hareket simülasyonları temel kayaç koşulları için gerçekleştirilmiştir ve dolayısıyla olası mevzi yer etkileri hesaba katılmamıştır. Batı Anadolu'daki kuzey-güney açılması nedeniyle büyük graben yapıları oluşmuştur. İzmir Körfezi'nin oluşumu benzer açılma tektoniği ile ilişkilidir ve zaman içinde basen oluşumu sonuçlanmıştır. Bölgedeki mevcut morfoloji açıkça iki belirgin özellik gösterir. Yüksek topografyaya sahip bölgeler temel kayaç mostraları ile ilişkili olup bunun yanında alçak alanlar biriken çökeltileri temsil etmektedir. İzmir Büyükşehir alanın geniş bölümü bu çökeltiler üzerinde yer almaktadır.

Ayrıca, İzmir Körfezi kuzey kısmında belirgin fluvial çökeltiler Gediz Nehri deltasında görülür. İzmir fayı üzerindeki tepki spektrumlarında (şekil 5) gözlenen piklerdeki frekanslar ile daha önce bölgede yapılan çalışmalarda bulunan temel frekans aralığı ile çakıştığını göstermiştir. Modellenen yer hareketlerinin bu frekans aralığında belirgin olarak büyütülmesi beklenmelidir.



Şekil 5. Tüm dokuz senaryolar için hız tepki spektrumlarının kıyaslanması. Senaryo 1A-C (siyah), Senaryolar 1A (--), 1B (-.) ve 1C (çizgili hat) ve Senaryo 3TF (açık gri). Yatay bileşenler x olarak doğu-batı ve y olarak kuzey-güney ve z düşey bileşendir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada İzmir civarı faylarındaki dokuz deprem senaryosuna dayalı yer hareketleri hesaplanmıştır. İzmir merkezindeki sismik tehlike için en kötü durum senaryosu için Senaryo 1C IF bulunmuştur. 291 cm/s^2 en yüksek yer ivmeleri ve 48 cm/s^2 en yüksek yer hızları tahmin edilmiştir. Simüle edilen tepki spektrumlarının frekans içeriği, alüvyonlu bölgelerdeki potansiyel zemin etkilerinde beklenen temel frekanslar ile çakışması dolayısı ile yer hareketlerinde önemli derecede artış beklenmelidir. Yer hareketleri simülasyonlarında kullanılan sönüm ilişkisi yanal atımlı faylanma depremleri için yapılan senaryolar için pik yer ivmeleri durumundaki ampirik ilişkiler ile uyum göstermektedir, bunun yanı sıra normal faylanma depremleri için elde edilen simülasyon değerleri beklenenden daha düşük bulunmuştur. Son olarak Manisa fayı (senaryo 5A-C MF) üç segmanı üzerinde yapılan deprem senaryolarında İzmir merkezi için sadece kısmi bir etkinin göz önüne alınması gerektiği bulunmuştur.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın orijinali Ekim 2008'de Çin'de düzenlenen 14cü Dünya Deprem Mühendisliği Kongresinde sunulmuş ve yayınlanmıştır. Yazarlar sayın Prof. Dr. Coşkun Sarı 'ya metni Türkçe 'ye tercüme ettiği için teşekkür borçludur.

KAYNAKLAR

- Akıncı, A., Ibanez, J.M., Del Pezzo, E. and Morales, J. (1995). Geometrical spreading and attenuation of Lg waves: a comparison between western Anatolia (Turkey) and southern Spain. *Tectonophysics* **250:1**, 47-60.
- Akkar, S. and Bommer, J.J. (2007). Empirical Prediction Equations for Peak Ground Velocity derived from strong-Motion Records from Europe and the Middle East. *Bulletin of the Seismological Society of America* **97:2**, 511-530.
- Aktug, B. and Kilicoglu A. (2006) Recent crustal deformation of Izmir, Western Anatolia and surrounding regions as deduced from repeated GPS measurements and strain field. *J. Geodyn.* **41(5)**: 471-484.
- Ambraseys, N., Simpson, K. and Bommer, J. (1996). Prediction of horizontal response spectra in Europe. *Earthquake engineering and structural dynamics* **25:371-400**.
- Ambraseys, N.N. and Finkel, C.F. (1995), The Seismicity of Turkey and Adjacent Areas, A Historical Review, 1500-1800, Muhittin Salih EREN, Istanbul.
- Benetatos, C., Kiratzi, A., Ganas, A., Ziazia, M., Plessa, A. and Drakatos, G. (2006). Strike-slip motions in the Gulf of Sigacik (western Turkey): Properties of the 17 October 2005 earthquake seismic sequence. *Tectonophysics* **426:263-279**.
- Boore, D.M. (1983). Stochastic simulation of high-frequency ground motions based on seismological models of the radiated spectra. *Bulletin of the Seismological Society of America* **73:6**, 1865-1894.
- Bouchon, M. (1981). A simple method to calculate Green's functions for elastic layered media. *Bulletin of the Seismological Society of America* **71:4**, 959-971.
- Brune, J.N. and Anooshehpour, A. (1999). Dynamic geometrical effects on strong ground motion in a normal fault model. *Journal of Geophysical Research* **104:B1**, 809-815.
- Campbell, K.W. (1997). Empirical Near-Source Attenuation Relationships for Horizontal and Vertical Components of Peak Ground Acceleration, Peak Ground Velocity, and Pseudo-Absolute Acceleration Response Spectra. *Seismological Research Letters* **68:1**, 154-179.
- Gülkan, P. and Kalkan, E. (2002). Attenuation modeling of recent earthquakes in Turkey. *Journal of Seismology* **6:397-409**.
- Horasan, G., Gulen, L., Pinar, A., Kalafat, D., Ozel, N., Kuleli, H.S. and Isikara, A.M. (2002). Lithospheric Structure of the Marmara and Aegean Regions, Western Turkey. *Bulletin of the Seismological Society of America* **92:1**, 322-329.
- Kanamori, H. (1977). The energy release in great earthquakes. *Journal of Geophysical Research* **82:B20**, 2981-2988.

Mcclusky, S., Balassanian, S., Barka, A., Demir, C., Ergintav, S., Georgiev, I., Gurkan, O., Hamburger, M., Hurst, K., Kahle, H., Kastens, K., Kekelidze, G., King, R., Kotzev, V., Lenk, O., Mahmoud, S., Mishin, A., Nadariya, M., Ouzounis, A., Paradissis, D., Peter, Y., Prilepin, M., Reilinger, R., Sanli, I., Seeger, H., Tealeb, A., Toksöz, M.N. and Veis, G. (2000). Global Positioning System constraints on plate kinematics and dynamics in the eastern Mediterranean and Caucasus. *Journal of Geophysical Research* **105:B3**, 5695-5719.

Mcgarr, A. (1984). Scaling ground motion parameters, state of stress, and focal depth. *Journal of Geophysical Research* **89:6**, 6969-6979.

Nyst, M. and Thatcher, W. (2004). New constraints on the active tectonic deformation of the Aegean. *Journal of Geophysical Research* **109:B11**, 406-430.

Pankow, K.L. and Pechmann, J.C. (2004). The SEA99 Ground-Motion Predictive Relations for Extensional Tectonic Regimes: Revisions and a New Peak Ground Velocity Relation. *Bulletin of the Seismological Society of America* **94:1**, 341-348.

Papazachos, B. and Papazachou, C. (1997), The Earthquakes of Greece, *Technical books Edition, Thessaloniki*. Papazachos, B.C., Papaioannou, C.A., Papazachos, C.B. and Savvaidis, A.S. (1997), Atlas of Iseismal Maps for Strong Shallow Earthquakes in Greece and Surrounding Area (426BC-1995), *Technical books Editions, Thessaloniki*.

Pitarka, A., Somerville, P., Fukushima, Y., Uetake, T. and Irikura, K. (2000). Simulation of Near-Fault

Strong-Ground Motion Using Hybrid Green's Functions. *Bulletin of the Seismological Society of America* **90:3**, 566-586.

Pulido, N. and Kubo, T. (2004). Near-fault strong motion complexity of the 2000 Tottori earthquake (Japan) from a broadband source asperity model. *Tectonophysics* **390:1-4**, 177-192.

Pulido, N., Ojeda, A., Atakan, A. and Kubo, T. (2004). Strong ground motion estimation in the Sea of Marmara region (Turkey) based on a scenario earthquake. *Tectonophysics* **391**:357-374.

Somerville, P., Irikura, K., Graves, R., Sawada, S., Wald, D., Abrahamson, N., Iwasaki, Y., Kagawa, T., Smith, N. and Kowada, A. (1999). Characterizing Crustal Earthquake Slip Models for the Prediction of Strong Ground Motion. *Seismological Research Letters* **70:59 - 80**.

Spudich, P., Fletcher, J.B., Hellweg, M., Boatwright, J., Sullivan, C., Joyner, W.B., Hanks, T.C., Boore, D.M., Mcgarr, A., Baker, L.M. and Lindh, A.G. (1997). SEA96 - A New Predictive Relation for Earthquake Ground Motions in Extensional Tectonic Regimes. *Seismological Research Letters* **68:1**, 190-198.

- Sørensen, M.B., Atakan, K. and Pulido, N. (2007). Simulated Strong Ground Motions for the Great M 9.3 Sumatra-Andaman Earthquake of 26 December 2004. *Bulletin of the Seismological Society of America* **97:1A**, S139-151.
- Taymaz, T., Jackson, J. and Mckenzie, D. (1991). Active tectonics of the north and central Aegean Sea. *Geophysical Journal International* **106:433-490**.
- Tselentis, G.A. and Zahradnik, J. (2000). The Athens Earthquake of 7 September 1999. *Bulletin of the Seismological Society of America* **90:5**, 1143-1160.
- Wells, D.L. and Coppersmith, K.J. (1994). New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement. *Bulletin of the Seismological Society of America* **84:4**, 974-1002.