

ZM R KÖRFEZ GÜNEY KIYI BÖLGES ZEM NLER N N D NAM K DAVRANI ININ NCELENMES

Mehmet Kuruo lu¹

Tu ba Eski ar²

¹ Ö r.Gör.Dr., n aat Mühendisli i Bölümü, Geoteknik Anabilim Dalı, Dokuz Eylül Üniversitesi, zmir

² Dr., n aat Mühendisli i Bölümü, Geoteknik Anabilim Dalı, Ege Üniversitesi, zmir

e-mail: mehmet.kuruoglu@deu.edu.tr, tugba.eskisar@ege.edu.tr

ÖZET

zmir ili, tarihsel dönemden günümüze kadar geçen sürede pek çok kuvvetli depreme maruz kalmı tır. zmir Körfezinin kıyı bölgeleri, derin ve suya doygun alüvyon birikimleri üzerinde yer almaktadırlar. Körfezin güney kıyı bölgesi, ehlin nüfusunun yo un oldu u yerle im alanlarını bünyesinde barındırmaktadır ve bölgede betonarme yapıların yo unlu u fazladır. Derin alüvyon birikimleri üzerinde yerle en yapılara etkiyen deprem yükleri hesaplanırken, yerel zemin ko ullarının dinamik yer tepkisi üzerindeki etkisinin detaylı olarak incelenmesi, özellikle çalı ma alanındaki kalın, suya doygun, gev ek/yumu ak yapıdaki alüvyon katmanların mevcut oldu u zemin ko ulları için, oldukça önem ta ıtmaktadır. Bu nedenle, çalı mada zmir Körfezi güney kıyı bölgesi zeminlerinin dinamik yer tepkisi üzerinde yerel zemin ko ullarının etkisinin incelenmesi amaçlanmı tır. Bu amaca uygun olarak, öncelikle çalı ma alanını olu turan bölgenin jeolojik yapısı, faylanma karakteristi i, bölge zeminlerinin geoteknik özellikleri detaylı olarak incelenmi tir. Bölge zeminlerinin, genel olarak NEHRP artnamesine göre D ve E sınıflarına dahil oldukları belirlenmi tir. Arazide yapılan sondajlar ve laboratuvar deney bulgularına dayanılarak dinamik zemin modelleri olu turulmu tur. Bu zemin modelleri üzerinde dinamik yer tepki analizleri, tek boyutlu e de er-do rusal yöntemi esas alan EERA yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmi tir. Dinamik analizlerde, zmir ve yakın çevresinde olu mu orta büyüklükteki depremlerden 1977 zmir ($M_L = 5.3$), 2003 Urla ($M_d = 5.6$) ve 2005 Uzunkuyu-Urla ($M_L = 5.9$) depremlerinin ivme kayıtları kullanılmı tır. Ayrıca, çalı ma alanına yakın olması nedeniyle zmir Fayı'nda olu abilecek $M_w = 6.5$ büyüklü ünde senaryo depreminin olu turaca ı etkiler de dinamik analizler ile hesaplanmı tır. Dinamik yer tepki analizlerinin bulguları de erlendirilmi ve zmir Körfezi güney kıyı zeminleri için dinamik parametrelerin de i imini veren haritalar üretilmi tir. Dinamik zemin modelleri üzerinde uygulanan yer tepki analizleri, 1977 zmir depremi sonucunda Konak ve Alsancak bölgelerinde olu mu hasarlar ile uyumlu bulgular vermi tir. 2003 ve 2005 depremleri, çalı ma alanına uzak mesafeli depremler olduklarından spektral büyütme etkisi belirgin biçimde ortaya çıkmı tır. Spektral büyütme oranlarının 5-6 kata kadar çıkabilece i saptanmı tır. $M_w = 6.5$ büyüklü ünde bir depremin zmir Fayı'nda olu ması durumunda ise, en yüksek yüzey ivmesinin belirli konumlarda 0.6g de erine ula abilece i ve a abilece i bulgulanmı tır. Bu çalı ma, incelenen bir alanda yerel zemin ko ullarının zeminlerin dinamik davranı ı üzerinde oldukça etkili oldu unu göstermi tir. Çalı manın en önemli katkılarından birisi, derin alüvyon katmanlar üzerinde yerle mi benzer alanlar için sahaya özgü tasarım spektrumu olu turulmasının öneminin vurgulanmasıdır.

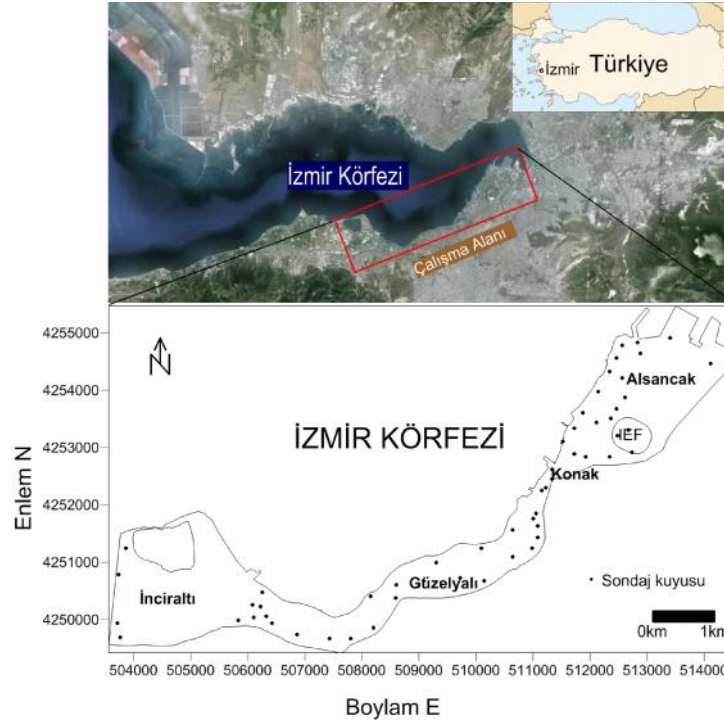
ANAHTAR KEL MELER: Yerel zemin ko ulları, dinamik yer tepki analizi, kuvvetli yer hareketi, spektral büyütme, tasarım spektrumu.

1. G R

Deprem kaynaklı sismik dalgalar farklı tabakalardan geçerek yeryüzüne do ru ilerlerken yerel zemin ko ulları yer hareketinin özelliklerini etkilemektedir. Bu tabakalar yer hareketinin genli ini ve tepki spektrumu özelliklerini zemin tabakalarının kalınlıklarına, zemin türüne ve yer hareketinin seviyesine ba lı olarak orta

büyükte gerçekte en depremlerde dahi de i tirebilir (Erdik ve Durukal, 2004; Pitilakis, 2004; Eker vd., 2012). Geçmi te yerel zemin ko ullarının etkisiyle birçok depremde yer hareketindeki büyütmenin iddetli hasara sebep oldu u rapor edilmi tir. Bunlara örnek olarak 1985 Mexico City, 1989 Loma Prieta, 1995 Kobe, 1999 Kocaeli ve Düzce depremleri verilebilir (Koçkar ve Akgün, 2012). Bu depremler sonucu olu an hasarlardan çıkarılabilecek ders, yerel zemin ko ullarının do ru olarak belirlenmesinin sismik tehlike analizlerinin güvenilirli ini önemli ölçüde etkilemesidir.

Geçmi te, zmir ili ve çevresinde yıkıcı depremler meydana gelmi tir. Bunlardan en önemlileri 1688 ($I_0 = X$; $M = 6.8$) ve 1778 ($I_0 = IX$; $M = 6.4$) yıllarında gerçekte en depremlerdir (Ambraseys ve Finkel 1995; Emre vd. 2005). 236 yıldır yaygın hasara neden olan büyük ölçekli bir depremin meydana gelmedi i zmir’de yakla ık on yılda bir orta büyüklükte depremler görülmektedir (BÜ-KRDAE, 2015; AFAD, 2015). Bölgedeki sismik aktivite, olası büyük bir deprem için ara tırma yapılmasını gerekli kılmaktadır. Buna ek olarak, zmir Körfezi’nin güney kıyısında yapı sto unun oldukça yo un olması ve özellikle körfezin güneybatı kesiminde halen devam etmekte olan yapıla ma, zmir körfezinin güneyindeki yerel zemin ko ullarının dinamik zemin davranı ı üzerindeki etkilerinin incelenmesini zorunlu hale getirmektedir (ekil 1).



ekil 1. Çalı ma alanı ve sondaj lokasyonları (koordinatlar UTM, zon 35’e aittir)

Bu çalı mada, zmir Körfezi’nin güneyindeki zeminlerin dinamik parametreleri ve tepki spektrumları, önceden gerçekte mi orta büyüklükteki yakın ve uzak odaklı depremlerin kayıtları kullanılarak ve zemin hareketinin e de er do rusal yöntem prensipleri do rultusunda de erlendirilmesi ile geli tirilmi tir. Dinamik yer tepki analizlerinin ardından çalı ma alanı içerisinde yer alan bazı alüvyon konumlarında, deprem yönetmeli imizde (DBYBHY, 2007) tanımlanan tasarım spektrumunun sınırlarına ula ıldı ı / sınırlarının a ıldı ı tespit edilmi tir.

Çalı ma alanı olarak seçilen zmir Körfezi'nin güney kıyı kesimi, yer hareketini belirgin bir eklede büyütebilecek özellikte yumu ak / gev ek derin alüvyon birimlerinden olu maktadır. Bölge içinde yer alan yapıların ço unlu u 1970'lerde in a edilmi olup büyük olasılıkla 1940-1975 yönetmeliklerine uygun olarak yapılmı lardır. Bu yönetmelikler 2007 deprem yönetmeli ine göre gerek in aat mühendisli indeki geli meler, gerekse depreme dayanıklı yapı tasarımı bakımından günümüz artlarına göre oldukça geride kalmaktadır. Mevcut deprem yönetmeli imizde birçok bakımdan iyile tirme yapılmı olup, özellikle geoteknik deprem mühendisli i açısından önceki yönetmeliklere nazaran güncel bilimsel yöntemlere yer verilmi tir. Bununla birlikte, çalı ma alanlarındaki yerel zemin ko ullarının de i ken olması, deprem yönetmeli imizde tanımlanan zemin sınıflarına göre önerilen tasarım spektrumlarının karakteristik periyot sınırlarını da etkilemektedir. Çalı mamızda, bu duruma örnek te kil edecek sonuçlar ortaya çıkmı tir.

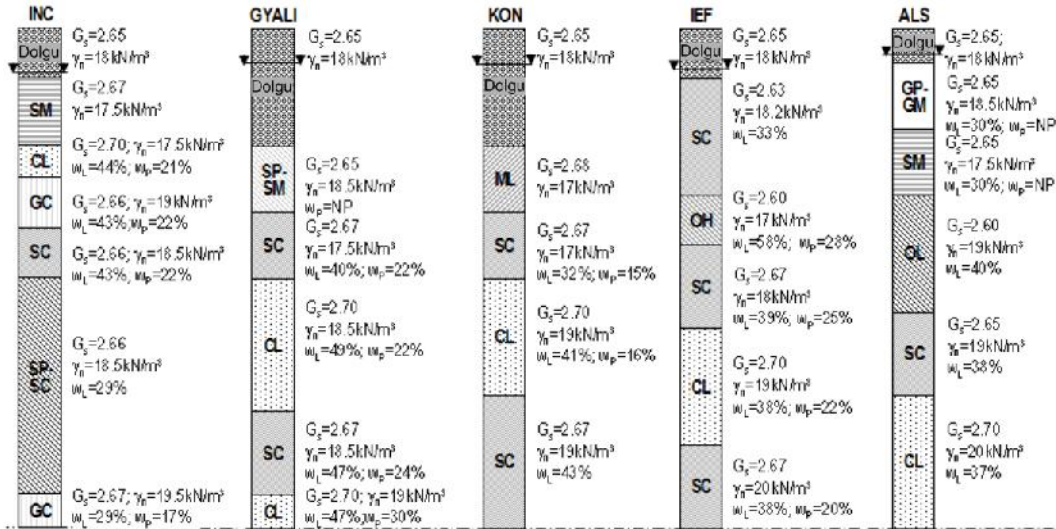
2. ÇALI MA ALANININ JEOLJ S VE GEOTEKN K ÖZELL KLER

zmir ve yöresinde temel kayaç birimini Üst Kretase ya lı Bornova Karma ı ı olu turmaktadır (Erdo an, 1990; Koca, 1995; Kıncal, 2005). Bu karma ık birim, bir filli matris ile içerisindeki de i ik boyutlu platform türü kireçta ı bloklarından olu mu tur. Bu kayalar yörede en ya lı kaya grubu olan Menderes Masifi'nin metamorfikleri üzerine itilmi durumdadır. Menderes Masifi üzerine bindirmeyle gelen Bornova Karma ı ı kayaları (zmir - Ankara Zonu kayaları) Manisa'dan Seferihisar'a kadar uzanan geni bir bölgede yayılım sunmaktadır. Bölgesel temeli olu turan tüm birimler, Neojen ya lı tortullar ve volkanik kayaçlar tarafından uyumsuz olarak örtülmü tür. Çalı ma alanının yerel jeolojisi, Paleosen filli zonu ve Miyosen kumta ı/çamurta ı ile çevrelenmi Kuvaterner alüvyondan olu maktadır (Sözbilir vd., 2008, 2009; Uzel vd., 2012). zmir Fayı kireçta ı/kumta ı birimleri ile Kuvaterner alüyon birimlerinin ara kesitinde bulunmakta ve kıyı eridine paralel olarak uzanarak normal fay özelli i göstermektedir.

Anakaya derinlikleri jeolojik birimlerle uyum arz etmektedir. nciraltı kıyısında ana kaya 115 m'de, Alsancak'ta ise 100 m'de tespit edilmi tir (TÜB TAK 106G159, 2012). Konak ve Alsancak semtleri derin alüvyon birikimleri üzerinde yer almaktadır ve Güzelyalı'ya do ru ana kaya yüzeye yakla maktadır. Bu bölgede bazı konumlarda Neojen andezitik kayaçların yüzlek verdi i gözlenmektedir. Yer altı su seviyesi nciraltı kıyı eridinden itibaren 2.8 m'den ba layarak iç kesimlere do ru ilerlendikçe 8.7 m'ye dü mektedir. Konak'ta 1.5-2.5 m civarında ölçülen yer altı su seviyesi, Alsancak'ta ise 1.0-4.0 m arasında de i kenlik göstermektedir. Körfezin güneyindeki kıyı eridi ço unlukla yapay dolgudan ibaret olup, yer altı su seviyesi 1.0 m civarındadır. Çalı ma alanının geoteknik özellikleri jeolojik ve geoteknik etütlerden elde edilen verilere dayanmaktadır (Yalçın, 2008; Bozkurt, 2010; Gedik Ltd., 2012). Çalı ma alanı kendi içinde be bölgeye ayrılarak mevcut sondaj kuyularına ait bilgiler çerçevesinde idealize zemin profilleri olu turulmu tur. dealize zemin profilleri, her bir bölgenin geoteknik özelliklerini yansıtmaktadır (ekil 2). Zemin profillerinin olu turuldu u bölgeler sırası ile Alsancak kıyı eridi, zmir Enternasyonal Fuar Alanı (IEF), Konak, Güzelyalı ve nciraltı'dır. Sondaj ve laboratuar verileri yardımıyla profillerin üst 30 metresindeki zemin sınıfları ve bazı indeks özellikleri belirlenmi tir. dealize profiller incelendi inde, yüksek/dü ük plastisiteli kil/silt ve killi kum/killi çakıl tabakalarının ardalanması ekinde oldu u görülmektedir. Üst 30 m'deki e de er kayma dalgası hızları Alsancak kıyı eridinde 150–200 m/s, di er alanlarda ise 225–275 m/s kadardır. Gev ek depolanmı daneli zeminler ve dü ük plastisiteli killer dü ük kayma mukavemetini i aret etmektedir. Güzelyalı kıyı eridinin güney kısmında ortalama kayma dalgası hızı 760 m/s de erini geçmektedir, bu bilgi aglomera ve andezitlerin yüzlek verdi i konumlar ile uyumludur. SPT-N₃₀ de erleri 10 - 50 arasında de i mekle birlikte, ilk 20 m'de 10 - 20 aralı nda toplandı ı görülmektedir.

Çalı ma alanı NEHRP (2003) artnamesine uygun olarak SPT-N darbe sayısı, ortalama kayma dalgası hızı ve serbest basınç dayanımına göre sınıflandırılmı tir. Bu sınıflandırmaya göre Alsancak ve Konak bölgeleri, E zemin sınıfına girmektedir. Bu bulgu genel jeoloji haritasında alüvyonun gözlendi i bölgeler ile uyumludur. Alanın kalan kısmı D zemin sınıfındadır. Bununla birlikte, Güzelyalı kıyı eridi boyunca yapay dolgu sebebiyle bazı yerel lokasyonlarda E zemin sınıfı görülebilmektedir.

Ayrıca DBYBHY’ye (2007) göre de bir sınıflandırma yapılmıştır. Zemin yüzeyinden itibaren 10 m’den daha kalın gevrek kum, siltli kum ve çakıl tabakalarından oluşan Alsancak, Konak ve Ninciraltı kıyı kesimleri Z4 zemin sınıfına, alanın kalanı ise 15 m’den daha kalın orta sıkı kum ve çakıl, sert kil ve killi kum tabakalarından oluştuğu için Z3 sınıfına dahil olmaktadır.



ekil 2. Çalı ma alanında bulunan be bölgeye ait idealize zemin profilleri

3. KUVVETLİ YER HAREKETLERİ VE DİNAMİK YER TEPKİ ANALİZLERİ

Kuvvetli yer hareketleri yakın ve uzak mesafeli olaylar olarak sınıflandırılabilir. Çalı mamızda yakın mesafe depremi olarak İzmir Fayı üzerinde gerçekleşen 16.12.1977 tarihli İzmir Depremi ($M_L=5.3$) kaydı seçilmiştir. 1977 İzmir depreminde yüzlek veren ana kayadaki düzeltilmiş en yüksek ivme $0.21g$ olarak kaydedilmiştir (Ambraseys vd., 2002). Genlik dağılımında en büyük depremler $6-15$ Hz bant aralığında olmakla birlikte, temel frekans 9.91 Hz'dir. Bu deprem histogramının yüksek frekans harmonik içeriği yakın mesafe deprem hareketinin etkilerini saptamak için iyi bir seçenektir. Ardından bu deprem kaydı, İzmir Fayı üzerinde gerçekleşmesi muhtemel bir senaryo depremine ($M_w=6.5$) modifiye edilmiştir. 20 km \times 10 km boyutlarında ve kuzey ile 60° dalma açısına sahip bir kırılma alanı senaryo depreminde dikkate alınmıştır. Wells ve Coppersmith (1994) tarafından önerilen yöntemle göre, yüzey kırığı uzunluğu 18.4 km olarak hesaplanmıştır (Kuruoğlu, 2004).

Uzak mesafe depremleri olarak ise 10.04.2003 Urla ($M_d=5.6$) ve 20.10.2005 Uzunkuyu-Urla ($M_L=5.9$) depremleri dikkate alınmıştır. Bu depremler doğru atımlı faylar tarafından üretilmiş olup, İzmir ve çevresinde orta ölçekli yer hareketlerine sebep olmuştur. Tablo 1'de tüm depremlerin odak koordinatları ve dış merkez mesafeleri sunulmaktadır. 2003 Urla depreminin en yüksek yüzey ivmesi $0.08g$ olarak ölçülmüştür. Genlik dağılımının en büyük depremi $0.4-2.8$ Hz bant aralığında ve temel frekansı 0.78 Hz'dir. 2005 Uzunkuyu-Urla depreminin en yüksek yüzey ivmesi $0.03g$ olarak ölçülmüştür. Genlik dağılımının en büyük depremi $0.5-2.5$ Hz bant aralığında ve temel frekansı 0.63 Hz'dir. Bu depremlerin düşük frekans içerikleri, uzak mesafe deprem hareketlerini incelemek için uygundur.

Yer tepki analizlerini gerçekleştirmeden önce taban kayası seviyesindeki en yüksek ivmeler tahmin edilmelidir. Depremin büyüklüğü, çalı ma alanına mesafesi, faylanma mekanizması ve yerel zemin koşulları, taban kayası seviyesindeki en yüksek ivmenin hesaplanmasında dikkate alınmıştır. Güncel azalım ilçilerinden Campbell ve Bozorgnia (2008), Abrahamson ve Silva (2008), Boore ve Atkinson (2008) ile Ambraseys vd. (2005) tarafından

önerilenler kullanılmıdır. Ayrıca, ülkemizdeki deprem kayıtlarını içeren veri tabanlarından üretilen Ulusay vd. (2004), Aydan (2001) ile Kalkan ve Gülkan (2004) azalım ili kileri de hesaplamalara dahil edilmiştir (Tablo 2).

Tablo 1. Çalıma mada ele alınan depremler ile ilgili bilgiler

Deprem	Büyükölük	Faylanma türü	Odak koordinatları (UTM biriminde)		Dı merkez uzaklı ı (km)	Derinlik (km)	Yüzey kırı ı uzunlu u, L (km)	Uzanim
			Boylam	Enlem				
1977 zmir	5.3 (M _L)	Normal	518851	4254216	11	24	2.7	D-B
2003 Urla	5.6 (M _d)	Do rultu atımlı	496324	4230354	26	11	4.2	KD-GB
2005 Uzunkuyu	5.9 (M _L)	Do rultu atımlı	478179	4222734	43	8	10	KD-GB

Tablo 2. Taban kayası seviyesinde farklı azalım ili kileri ile tahmin edilen en yüksek ivmeler

Deprem	En yüksek taban kayası ivmesi (g)							Ortalama
	Ambraseys vd. (2005)	Abrahamson ve Silva (2008)	Boore ve Atkinson (2008)	Campbell ve Bozorgnia (2008)	Ulusay vd. (2004)	Aydan (2001)	Kalkan ve Gülkan (2005)	
1977 zmir (M _L =5.3)	0.12	0.12	-	0.14	0.11	-	0.13	0.125
2003 Urla (M _d =5.6)	0.06	0.056	0.068	0.068	0.09	0.05	0.08	0.07
2005 Uzunkuyu (M _L =5.9)	0.037	0.029	0.033	0.033	0.06	0.03	0.05	0.04
zmir Fayı Senaryo (M _w =6.5)	0.21	0.34	0.21	0.34	0.20	0.16	0.21	0.24

Tüm azalım ili kileri kullanılarak yapılan incelemeler ı ında 1977 zmir Depremi için ana kaya seviyesindeki ortalama ivme 0.125g, senaryo depremi büyüölü ü (M_w=6.5) için ana kaya ortalama ivme de eri 0.24g olarak tahmin edilmiştir. Uzak mesafe depremleri için ana kaya seviyesindeki ortalama ivmeler 0.04g ile 0.07g arasında hesaplanmıdır.

Ana kaya seviyesine kadar zemin tabakaları tanımlanmı , zemin ortamındaki ba langıç gerilmelerini hesaplayabilmek için her sondaj konumundaki yer altı su seviyesi de göz önüne alınmıdır. Ardından, dinamik yer tepki analizleri e de er-do rusal yöntemi esas alan EERA (Bardet vd., 2000) programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

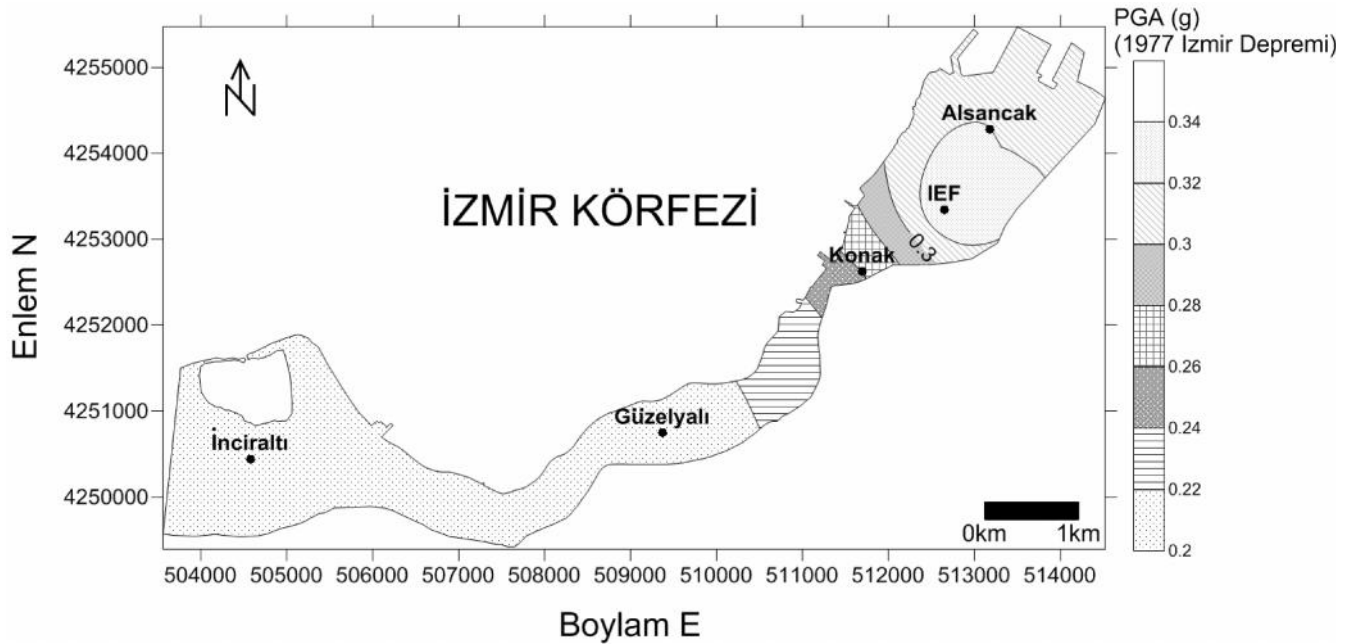
En büyük kayma modölünü hesaplamak için zeminin türü, mühendislik ve indeks özellikleri dikkate alınmıdır. Çakıl, kum ve NP siltler için ortalama efektif gerilme ve ba ıl sıklı ı dikkate alan Seed ve Idriss (1970) denklemi kullanılmıdır. Kohezyonlu zeminler için ise zemin tabakasının ön yükleme oranını (OCR) ve plastisite indeksini (I_p) içeren Hardin ve Drnevich (1972) ile Vucetic ve Dobry (1991) ili kileri kullanılmıdır. Modöl azalım e rileri ve sönüm oranı de erleri ise Ishibashi ve Zhang (1993) ili kileri ile belirlenmiştir.

Dinamik yer tepki analizi sonucunda en yüksek yüzey ivmesi (PGA, g), en büyük spektral ivme (S_{amax,s}, g) ve spektral büyütme oranı (S_{amax,s} / S_{amax,r}) tüm sondaj konumları için bulunmuştur.

4. ANALİZ BULGULARI VE TARTIŞMA

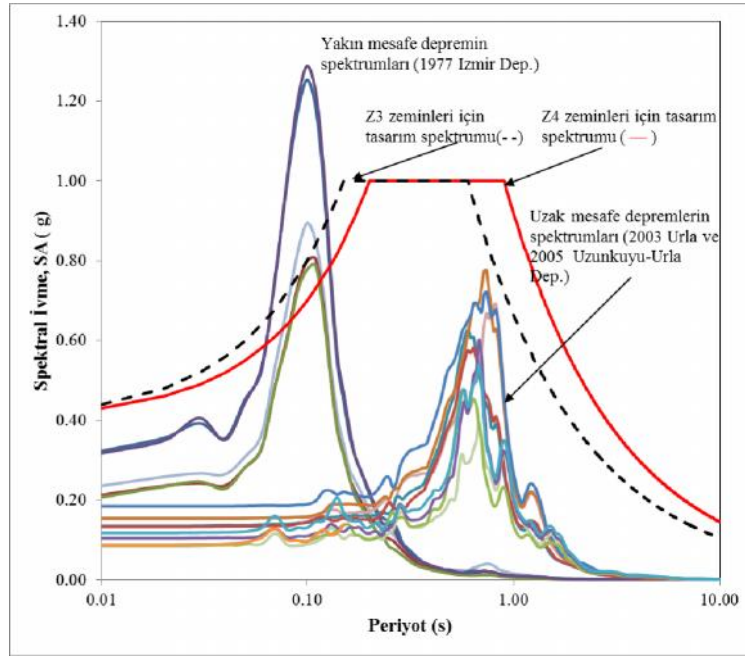
Dinamik yer tepki analizleri; 1977 İzmir, 2003 Urla ve 2005 Uzunkuyu-Urla deprem kayıtları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, büyüklüğü $M_w=6.5$ olarak dikkate alınan senaryo depreminin İzmir Fayı'nın doğu ve batı kolları üzerinde gerçekleşmesi durumu da analizlere dahi edilmiştir.

1977 İzmir Depremi ($M_L=5.3$) kaydı kullanılarak yapılan dinamik yer tepki analizi sonuçlarına göre, en yüksek yüzey ivmesi İnciraltı'nda $0.21g$, İzmir Fuar Alanı'nda (IEF) $0.34g$ olarak belirlenmiştir (ekil 3). 1977 depreminin hemen ardından İnciraltı ve Güzelyalı arasında bulunan kayıt istasyonunda düzeltilmiş en yüksek yüzey ivmesi $0.21g$ olarak kaydedilmiştir (Ambraseys vd., 2002). Bu açıdan, analiz bulguları ile ölçülen ivme değerlerinin uyumlu olduğu görülmektedir. 1977 İzmir depreminin oda noktası, Alsancak ve İzmir Fuar Alanı kesimlerinin güneydoğusunda ve yaklaşık 5 km uzaklıktadır. Bu durum, bu bölgelerde yüzey ivmelerinin daha yüksek belirlenmesine açıklık getirmektedir. Bu çalışmada, deprem anında Alsancak ve Konak semtlerinin $0.3g$ 'den daha büyük ivmeler etkisinde kaldığını da göstermektedir.



ekil 3. 1977 İzmir Depremine ait en yüksek yüzey ivmesi (PGA, g) dağılımı

Deprem Yönetmeliğimiz (DBYBHY, 2007) Z1'den Z4'e kadar tüm zemin sınıfları için tasarım spektrumları önermektedir. Çalışma alanı içerisinde Z3 ve Z4 zemin sınıfları mevcuttur. Z3 zemin sınıfı için spektrum karakteristik periyotları $0.15-0.60$ s'dir. Z4 zemin sınıfı için ise bu değerler $0.20-0.90$ s'dir. Yakın ve uzak mesafe depremleri için hesaplanan spektral ivmeler ekil 4'te verilmektedir. Konak semtinde Z4 zemin sınıfı mevcut olup, spektral ivmeler spektrumun bir miktar üzerine çıkmaktadır. Alsancak ve İzmir Ent. Fuar alanı için spektral ivmeler, Z4 zemin sınıfı için tanımlanan spektrum değerlerini yaklaşık %50 oranında aşmaktadır ve $1.3g$ değerine ulaşmaktadır. Z3 zemin sınıfı için bir inceleme yapıldığında İnciraltı ve Güzelyalı semtleri için bulunan değerler tasarım spektrumunun içinde kalmaktadır. Bu semtlerde deprem sonrasında önemli bir yapısal hasar rapor edilmemiştir. Oysa, Alsancak ve Konak semtlerinde gözlemlenen hasarlar, tasarım spektrumundaki spektral ivme değerlerinin aşılmasına dair iyi birer kanıttır. 1977 yılı için yapı stoğu düşünüldüğünde, yapılarda gözlenen olası hasarların yetersiz mühendislik hizmetinin sonucu olduğu düşünülebilir.



ekil 4. 1977 İzmir, 2003 Urla ve 2005 Uzunkuyu-Urla depremlerine ait elastik ivme tepki spektrumları ve Deprem Yönetmeli'nde önerilen tasarım spektrumları ile karşılaştırılması

İzmir şehri için şu andaki yapı stoğu çok daha yoğun olup, birçok yüksek katlı yapı inşa edilmiş bulunmaktadır. Bu çalışmada dikkate alınan senaryo depremine benzer bir deprem gerçekleşirse, 1977 İzmir Depreminden daha yaygın hasar yaratacağı açıktır. Senaryo depremi için yapılan analizler sonucunda, en yüksek yüzey ivmelerinin 0.4-0.66g aralığında olabileceği belirlenmiştir. Eğer İzmir Fayı'nın doğu kolu kırılırsa, hasar çoğunlukla Alsancak ve Konak semtlerinde yoğunlaşacak, diğer taraftan batı kolu kırılırsa en büyük hasar merkezaltı ve Balçova semtlerinde görülebilecektir. Bu durumda, merkezaltı semti 0.66g'lik bir yüzey ivmesine maruz kalabilir. Senaryo depremine ilişkin analiz bulgularına ait bilgiler Tablo 3'te verilmektedir.

Senaryo depremi ile hesaplanan en yüksek spektral ivmeler, tasarım spektrumuna eşittir. Ekil 5'te görüldüğü üzere, en yüksek spektral ivmeler 1.5-1.8g aralığında toplanmıştır.

Uzak mesafe depremleri bu çalışmada için ayrı bir öneme sahip olup, 2003 Urla ve 2005 Uzunkuyu-Urla depremlerine ait bulgular ayrıca ele alınmıştır. Tek boyutlu dinamik yer tepki analizi sonuçlarına göre en yüksek yüzey ivmeleri 0.1-0.15g ve spektral ivmeler 0.5-0.8g arasındadır. Uzak mesafe depremleri yakın mesafe depremine (1977 İzmir) göre doğrudan olarak daha düşük yüzey ivmeleri üretmiştir.

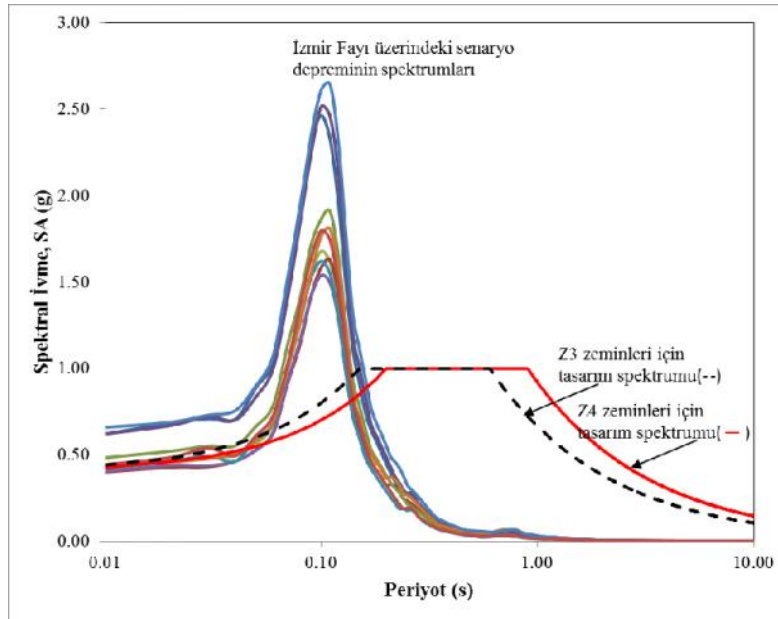
Suya doymuş, derin alüvyon birikimleri çalışmada alanının büyük bir kısmını kaplamaktadır. Bu zemin tabakalarının hakim periyotları 0.8-1.3 s arasında hesaplanmıştır. Yapım yılı 1970'lere dayanan Alsancak ve Konak semtlerindeki 7-10 katlı yapıların çoğunluğunun periyotları, zemin hakim periyotları ile çakışabilir. Gevrek/yumuşak birimler üzerinde yer alan bu eski yapıların varlığı ve zeminlerin yüksek periyotları orta/büyük ölçekteki bir deprem sırasında oluşabilecek rezonans etkisinin artırılmasını gerektirmektedir.

2003 Urla deprem kaydı, yer hareketinde yüksek periyotlu harmoniklerin baskın olduğunu göstermiştir. Erdemsel analizlerde enerjinin büyük bir kısmının Fourier spektrumunda 0.7-1.25 s aralığındaki harmonikler tarafından taşındığı görülmüştür. 2005 Uzunkuyu-Urla depreminin harmonikleri Fourier spektrumunda 0.5-0.9 s

arasındadır. Büyütmenin de i kenlerini olu turan zemin yüzeyindeki ve ana kayadaki spektral ivmeler uygun Fourier spektrumlarından elde edilmiştir. Alüvyon birikimler yer hareketini uzak odaklı deprem olu ması durumunda 4-6 kat büyütebilmektedir. 1977 İzmir Depreminde ise spektral büyütme yalnızca 1.8-3 arasındadır. İzmir Fayı üzerinde $M_w=6.5$ büyüklü ünde bir deprem olu sa dahi spektral büyütme, uzak odaklı depremlerin mertebesine ula amamaktadır.

Tablo 3. İzmir Fayı Senaryo Depremi için Analiz Bulguları ($M_w = 6.5$)

İzmir Fayı'nın doğu kolunda kırılma:					
Semt Adı	Dış merkez uzaklığı (km)	Taban kayası ivmesi (g)	En yüksek yüzey ivmesi, PGA (g)	Spektral ivme (g)	Spektral büyütme
Alsancak	6.0	0.30	0.62	2.46	2.41
EF Alanı	6.5	0.30	0.62	2.51	2.47
Konak	8.0	0.28	0.44	1.68	1.76
Güzelyalı	11.5	0.24	0.40	1.63	1.99
nciraltı	16.0	0.19	0.48	1.91	2.96
İzmir Fayı'nın batı kolunda kırılma:					
Alsancak	15.0	0.19	0.42	1.62	2.51
EF Alanı	14.0	0.20	0.44	1.80	2.78
Konak	12.0	0.25	0.41	1.54	1.81
Güzelyalı	9.0	0.28	0.44	1.81	1.90
nciraltı	5.0	0.30	0.66	2.64	2.59



ekil 5. İzmir Fayı senaryo depremine ait elastik ivme tepki spektrumları ve Deprem Yönetmeli inde önerilen tasarım spektrumları ile karşılaştırılması

5. SONUÇLAR

Deprem kaynakları, yerel jeoloji ve yerel zemin koşulları dikkate alınarak İzmir Körfezi'nin güney kıyı bölgesi zeminlerinin dinamik davranışı değerlendirilmiştir. Sondaj ve laboratuvar verileri yardımıyla hem NEHRP (2003), hem de Deprem Yönetmeliğimize (DBYBHY, 2007) göre zemin sınıfları belirlenmiş, çalınma alanındaki 5 bölge için idealize zemin profilleri oluşturulmuştur. İzmir ehrinin jeolojisi ve tektonik yapıları hakkında İzmir Fayı'nın ana sismik kaynak olduğu belirlenmiştir. Bu fay, İzmir Körfezi'nin güney kıyısına paralel olarak uzanmaktadır ve geçmişte orta/büyük ölçekli depremler üretmiştir. İzmir Fayı ile ilgili 1977 İzmir Depremi kaydı mevcuttur. Çalınma alanına uzak mesafede olan diğer sismik kaynaklar da değerlendirilmiştir. 2003 Urla depreminin olduğu Seferihisar Fay Zonu ile yakınındaki Tuzla-Orhanlı Fay Zonu ve 2005 Uzunkuyu-Urla depremini oluşturan Gülbahçe Fay Zonu, önemli uzak mesafe kaynakları olarak değerlendirilmiştir. Yakın ve uzak mesafe sismik kaynakları üzerinde gerçekleştirilen üç adet orta ölçekli deprem dikkate alınarak tek boyutlu dinamik yer tepki analizleri yapılmıştır. Aletsel sismik dönemde çalınma alanı civarında büyük bir depreme ait kayıt bulunamaması sebebiyle, İzmir Fayı üzerinde gerçekleştirilecek bir senaryo depremi kaydı oluşturularak analizler tekrarlanmıştır. Ana kaya seviyesindeki en yüksek ivmeler güncel azalım ileri kileri kullanılarak tahmin edilmiştir. Her bir zemin profili için en yüksek yüzey ivmesi, spektral ivme ve spektral büyütme de erleri dinamik yer tepki analizleri ile hesaplanmıştır. Bu çalı mada elde edilen bulgular kısaca aşağıda özetlenmiştir.

Senaryo depremi ve orta ölçekli depremler göz önüne alındığında suya doymuş, kalın ve gevrek/yumuşak alüvyon birikimler üzerine kurulu yerleşim alanlarına örnek olan Alsancak ve Nispetiye semtleri sismik risk altındadır. İzmir Fayı'nın doğu kolu üzerinde gerçekleştirilecek $M_w=6.5$ büyüklüğünde bir deprem, Güzelyalı-Konak arasında 0.4g ve Alsancak'ta 0.6g mertebelerinde en yüksek yüzey ivmeleri üretebilecektir. Ana kayanın yüzeye yakın olduğu (10-30m) Güzelyalı'daki ivme de erleri daha düşük hesaplanmıştır. İzmir Fayı'nın batı kolunda gerçekleştirilecek $M_w=6.5$ büyüklüğünde bir depremde ise, Nispetiye'deki en yüksek yüzey ivmesi 0.66g'ye ulaşabilmektedir. $M_w=6.5$ büyüklüğündeki deprem gerçekleştirilirse, en büyük spektral ivmeler 1.5-1.8g arasında, spektral büyütmeler de 1.8-3.0 arasında olabilir.

Spektral büyütmelerin değerlendirilmesi sonucunda, uzak mesafe depremlerinde büyütmelerin daha fazla olduğu bulgulanmıştır. Yönelim yerleşim olan kıyı erisinde spektral büyütmeler 4-6 kat arasında hesaplanmıştır. Büyütme de erlerinin artmasına etki eden faktörler olarak, suya doymuş, gevrek/yumuşak alüvyon birikimlerinin varlığı ile deprem hareketinin düşük frekans harmoniklerinin etkisi olduğu ifade edilebilir.

Yakın mesafe depremlerinde, tasarım spektrumu karakteristik periyodunun küçük de erine karşılık gelen e ik aılmaktadır. Uzak mesafe depremlerinde oluşan spektral ivmeler de, tasarım spektrumu karakteristik periyodunun üst sınırına ulaşmaktadır. Enerji daha kuvvetli bir uzak mesafe depremi meydana gelirse, tasarım spektrumu karakteristik periyodunun üst sınırı a ılabilir. Bu çalı ma, yerel zemin koşullarının sahaya özgü olduğu ve ilgililenilen alan için özel olarak değerlendirme yapılması gerektiğini göstermektedir. Derin alüvyon birikimleri üzerinde yer alan alanlar için sahaya özgü tasarım spektrumunun üretilmesi tavsiye edilir.

Çalınma alanında yönelim yapılaşma mevcut olup, nüfus artışı ile birlikte yeni yapılaşma alanlarına ihtiyaç duyulması sebebiyle bu çalı manın bulguları, gerek incelenen alanda, gerekse benzer jeolojik ve geoteknik özelliklere sahip diğer alanlarda yerel zemin koşullarının değerlendirilmesinin önemini göstermektedir. Çalı ma alanında yeni yerleşim alanlarının planlanması için alınması gereken önlemler, üretilen haritalar yardımıyla belirlenebilir. İzmir ehrinin güney kıyı kesimini inceleyen bu çalı ma, dinamik zemin davranışının yorumlanmasında yakın ve uzak odaklı depremlerin rolünü ve yerel zemin koşulları dikkate alınarak üretilen haritaların önemini göstermektedir. Seçilen bir alan için bu tür haritaların hazırlanması ve sunulması, mühendislerce depreme dayanıklı yapı tasarımında güvenilir parametrelerin seçilmesine olanak verecektir.

KAYNAKLAR

- Abrahamson, N., Silva, W. (2008). Summary of the Abrahamson and Silva NGA ground motion relations. *Earthquake Spectra* **24** (1), 67-97.
- AFAD (2015). T.C. Ba bakanlık, Afet ve Acil Durum Yönetimi Ba kanlı ı, Deprem Dairesi, Ulusal Kuvvetli Yer Hareketi Gözlem A ı, <http://www.kyh.deprem.gov.tr/buyukdepremen.htm>
- Ambraseys, N.N., Douglas, J., Sarma, S.K., Smit, P.M. (2005). Equations for the estimation of strong ground motions from shallow crustal earthquakes using data from Europe and the Middle East: horizontal peak ground acceleration and spectral acceleration. *Bull. Earthq. Eng.* **3** (1), 1–53.
- Ambraseys N.N., Finkel, C.F. (1995). The seismicity of Turkey and adjacent areas, A historical review: 1500-1800, Eren Yayınları, stanbul, ISBN: 975-7622-38-9, 125 s.
- Ambraseys, N.N., Smit, P., Sigbjornsson, R., Suhadolc, P., Margaris, B. (2002). Internet-Site for European Strong-Motion Data, EVR1-CT-1999-40008. European Commission, Research-Directorate General XII, Environment and Climate Programme, Bruxelles, Belgium, www.isesd.cv.ic.ac.uk/ESD/frameset.htm
- Aydan, Ö. (2001). Comparison of suitability of submerged tunnel and shield tunnel for subsea passage of Bosphorus. *Jeoloji Mühendisliği* **25** (1), 1–17.
- Bardet, J.P., Ichii, K., Lin, C.H. (2000). EERA – A computer program for Equivalent-linear Earthquake site Response Analyses of layered soil deposits; University of Southern California, Department of Civil Engineering.
- Bjerrum, L.W., Atakan, K. (2008). Scenario based ground motion simulations for assessing the seismic hazard in Izmir, Turkey. Proceeding of the 14th World Conference on Earthquake Engineering October 12–17, 2008, Beijing, China (Paper no 121).
- Boore, D.M., Atkinson, G.M. (2008). Ground motion prediction equations for the average horizontal component of PGA, PGV, PGD and 5%-damped PSA at spectral periods between 0.01 s to 10 s. *Earthquake Spectra* **24**(1), 99-138.
- Bozkurt, B.H. (2010). A Geotechnical Earthquake Engineering Investigation in the Southern Coast of Izmir Bay Area, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 119 s.
- BÜ-KRDAE (2015). Bo aziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Ara tırma Enstitüsü, Deprem Katalo u, <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo>
- Campbell, K.W., Bozorgnia, Y. (2008). NGA Ground motion model for the geometric mean horizontal component of PGA, PGV, PGD and 5% damped linear elastic response spectra for periods ranging from 0.01 to 10 s. *Earthquake Spectra* **24**(1), 139-171.
- DBYBHY, (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, T.C. Ba bakanlık, Afet ve Acil Durum Yönetimi Ba kanlı ı (AFAD), Ankara, <http://www.deprem.gov.tr/>
- Eker, A.M., Akgün, H., Koçkar, M.K. (2012). Local site characterization and seismic zonation study by utilizing active and passive surface wave methods: A case study for the northern side of Ankara, Turkey. *Engineering Geology* **151**, 64-81.
- Emre, Ö., Özalp, S., Do an, A., Özaksoy, V., Yıldırım, C., Gökta , F. (2005). İzmir ve yakın çevresinin diri fayları ve deprem potansiyelleri, MTA Jeolojik Ara tırmalar Bölümü, Rapor No: 10754, 86 s.
- Erdik, M., Durukal, E. (2004). Strong Ground Motion (Chapter 3), in “Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering”, Edt. A. Ansal, 67-100, Kluwer Academic Publishers.
- Erdo an, B. (1990). Stratigraphic Properties and Tectonic Evolution of Izmir-Ankara Suture Zone between Izmir and Seferihisar, *TPJD Bülteni* **2**(1) 1-20.
- Gedik Ltd., (2012). İzmir’in Güneyine ait Jeolojik ve Geoteknik Raporlar.
- Hardin, B.D., Drnevich, V.P. (1972). Shear Modulus and Damping in Soils: Design Equations and Curves, *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE*, **98**(1) SM7, 667-692.
- Ishibashi, I., Zhang, X. (1993). Unified dynamic shear moduli and damping ratios of sand and clay. *Soils Found.* **33**(1), 182–191.
- Kalkan, E., Gülkan, P. (2004). Empirical attenuation equations for vertical ground motion in Turkey. *Earthquake Spectra* **20**(3), 853–882.

- Kıncal, C. (2005). Evaluation of units around Izmir Inner Bay with respect to Engineering Geology by using Geographic Information Systems and Remote Sensing Techniques. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 342 s.
- Koca, M.Y. (1995). Slope Stability Assessment of the Abandoned Andesite Quarries in and around the Izmir City Center. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 430 p.
- Koçkar, M.K., Akgün, M. (2012). Evaluation of the site effects of the Ankara basin, Turkey. *Journal of Applied Geophysics*, **83**, 120-134.
- Kuruoğlu, M. (2004). Geographic Information System (GIS) based Database Development and Evaluation Study for Soils of Northern Coast of Izmir Bay. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 151 s.
- NEHRP (2003). Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings, FEMA 450.
- Pitilakis, G. (2004). Site Effects, Recent Advances in Earthquake Geotechnical Engineering and Microzonation, Ed. A. Ansal, Springer Netherlands, 139-197.
- Seed, H.B., Idriss, I.M. (1970). Soil Moduli and Damping Factors for Dynamic Response Analyses. Report EERC 70-10, Earthquake Engineering Research Center, Univ. of California, Berkeley.
- Sözbilir, H., Uzel, B., Sümer, Ö., İnci, U., Ersoy, E., Koçer, T., Demirtaş, R., Özkaymak, Ç. (2008). D-B uzanımlı İzmir fayı ile KD-GB uzanımlı Seferihisar Fayı'nın birlikte çalıştığına dair veriler: İzmir Körfezi'ni oluşturan aktif faylarda Kinematik ve Paleosismolojik Çalışmalar, Batı Anadolu. *Türkiye Jeoloji Bülteni* **52(2)**, 91-114.
- Sözbilir, H., Sümer, Ö., Uzel, B., Ersoy, E., Erkul, F., İnci, U., Helvacı, C., Özkaymak, Ç. (2009). 17-20 Ekim 2005 Sıvacık Körfezi depremlerinin sismik jeomorfolojisi ve bölgedeki gerilme alanları ile ilişkisi, Batı Anadolu. *Türkiye Jeoloji Bülteni* **53(2)**, 217-238.
- TÜB TAK 106G159 (2012). İzmir Metropolü ile Aliağa ve Menemen İçlerinde Güvenilir Yapı Tasarımı için Zeminin Sismik Davranışlarının Modellenmesi, KAMAG 1007 Projesi Sonuç Raporu, Dokuz Eylül Üniversitesi Deprem Araştırma ve Uygulama Merkezi, İzmir.
- Ulusay, R., Tuncay, E., Sönmez, H., Gökçeoğlu, C. (2004). An attenuation relationship based on Turkish strong ground motion data and iso-acceleration map of Turkey. *Eng. Geol.* **74**, 265–291.
- Uzel, B., Sözbilir, H., Özkaymak, C. (2012). Evolution of an actively growing superimposed basin in Western Anatolia: The Inner Bay of Izmir. *Turkish Journal of Earth Sciences* **21(4)** 439–471.
- Vucetic, M., Dobry, R. (1991). Effect of soils plasticity on cyclic response. *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE*, **117(1)**, 898-907.
- Wells, D.L., Coppersmith, K.J. (1994). New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement. *Bull. Seismol. Soc. Am.* **4 (84)**, 975–1002.
- Yalçın, A. (2008). A Geotechnical Earthquake Engineering Investigation in the Southeastern Coast of Izmir Bay Area, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 159 s.