

İZMİR'İN GÜNCEL DEPREM ETKİNLİĞİ

Doç.Dr. Orhan D. POLAT
orhan.polat@deu.edu.tr

Dr. Elçin GÖK
elcin.gok@deu.edu.tr

Yrd.Doç.Dr. Mehmet UTKU
mehmet.utku@deu.edu.tr

Prof.Dr. Günay ÇİFÇİ
gunay.cifci@deu.edu.tr

GİRİŞ

Bu çalışmanın amacı, 2008 yılında T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum (AFAD) Başkanlığı desteği, Dokuz Eylül Üniversitesi ve İzmir Büyükşehir Belediyesi işbirliği ile İzmir'e kurulan 16 adet ivme-ölçer istasyonu tarafından kaydedilen verilerden hareketle İzmir'in güncel deprem etkinliğinin analiz edilmesidir. Çalışma ağırlıklı olarak, istasyon lokasyonlarının bulunduğu ana yerleşim alanlarını kapsamaktadır.

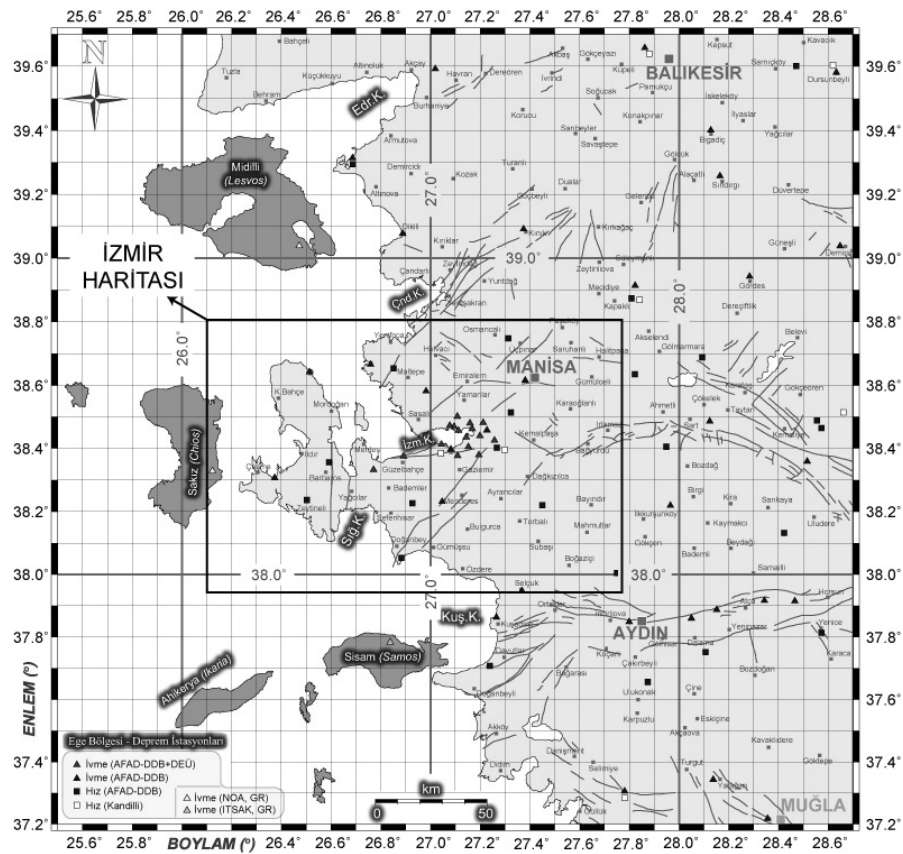
AFAD'ın da yoğun desteği ile 2013 itibarıyla sayısı 30'a yaklaşan kuvvetli yer hareketi deprem istasyon ağı (İzmirNET, Polat ve diğ. 2008) verileri, DEÜ Deprem Araştırma ve Uygulama Merkezi (DAUM) ile Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü Sismoloji Laboratuvarında (SismoLab) kurulu bilgi-işlem alt yapısı kullanılarak değerlendirilmektedir.

İZMİR'İN GÜNCEL DEPREM ETKİNLİĞİ

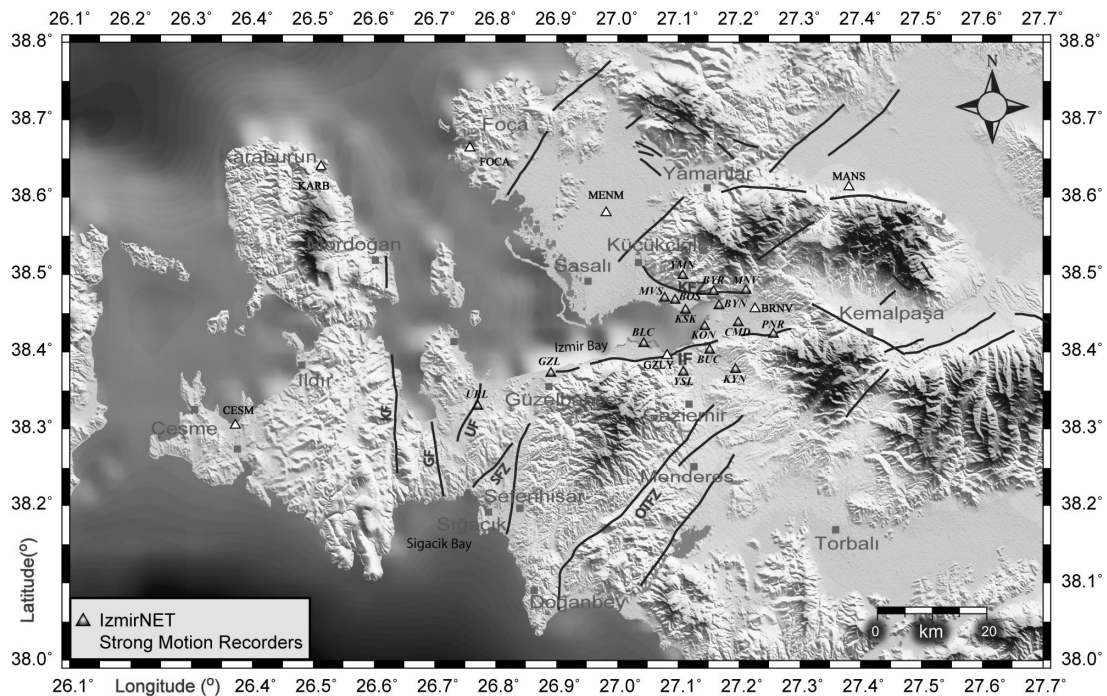
Sismoloji

İzmirNET ve AFAD Deprem Dairesi Başkanlığı (DDB, Ankara) tarafından kaydedilen depremlerin analizine yönelik çalışmalar bu bölümde verilmiştir. Çalışma alanı, Ege Bölgesinde yer almaktadır. Ege bölgesi topoğrafya haritasında da görüldüğü üzere bölgede etkin olan başlıca graben sistemleri Manisa'yı içine alan Gediz, Aydın'ı kapsayan Büyük Menderes ve her ikisinin arasında yer alan Küçük Menderes grabenleri. Bu tektonik yapılar boyunca faylanmalar D-B uzanımlı ve düşey normal atımlıdır. Sığacık Körfezi ve Çandarlı Körfezi batı ve doğu kesimlerinde de ise ağırlıklı olarak KD-GB uzanımlı ve yanal atımlıdır (Şekil 1). Araştırmaların yoğunlaştırıldığı İzmir haritasına ve yakın çevresine bakıldığında ise faylanmaların genelde K-G veya KD-GB uzanımlı olduğu görülür (Şekil 2). Sadece İzmir Körfezi güney kıyı çizgisini takip eden İzmir Fay'ı, D-B uzanımlı ve ağırlıklı olarak normal hareket bileşenine sahip bir fay'dır. Bu fay tarihsel dönemde, özellikle 10 Temmuz 1688'de değiştirilmiş Mercalli ölçeğine göre ürettiği X şiddetindeki depremle, kentte ağır hasara, can ve mal kaybına neden olmuştur. Aletsel dönemde Sığacık Körfezi'nin hemen batısında yer alan Karaburun Fayı K-G uzanımlıdır ve 1949'da 6.6 büyüklüğünde, kentte ciddi oranda hasar yaratan bir faylanma üretmiştir. Sığacık Körfezinin hemen doğusunda yer alan Gülbahçe Fay'ı KKD-GGB uzanımlıdır. Bu fayın güney kolu (ki deniz içinde devam etmektedir), 17-21 Ekim 2005 tarihlerinde büyüklüğü 5.9'a ulaşan bir dizi deprem üretmiştir ve Yağcılar Köyü'ne kadar uzanan bir alanda etkin olmuştur.

* Bu bildiri Jeofizik Mühendisleri Odası adına düzenlenmiştir.

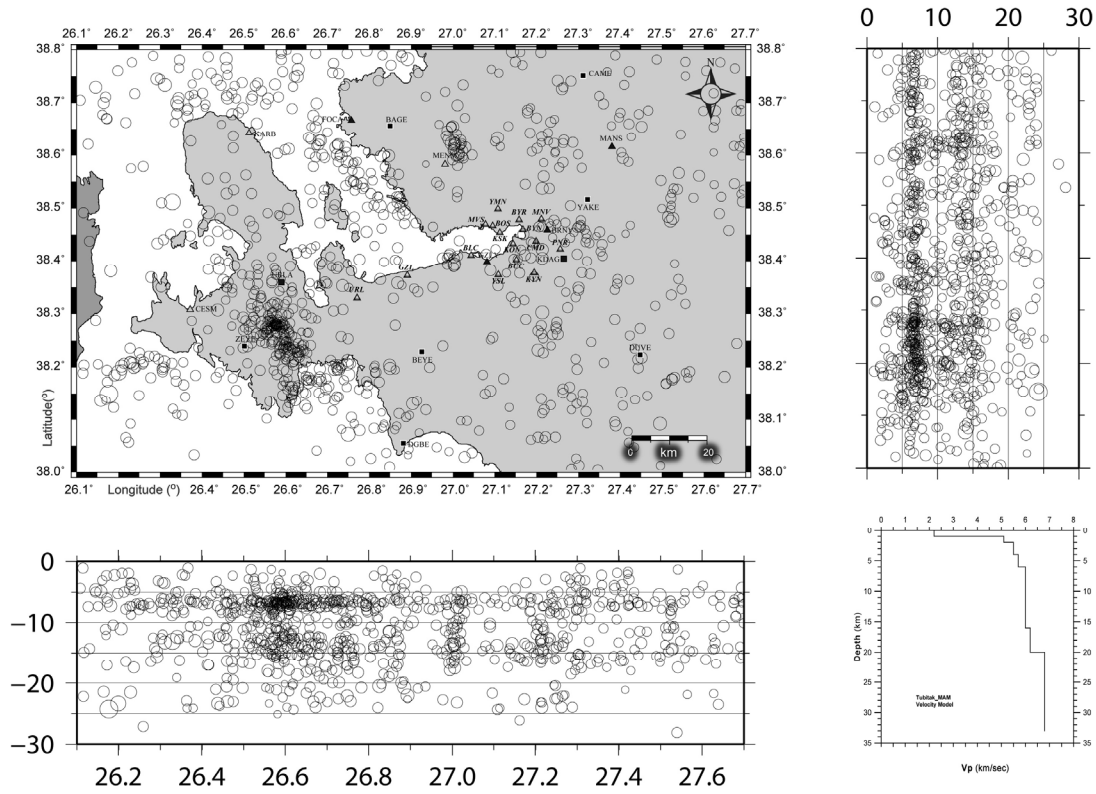


Şekil 2 Ege Bölgesi kıyı haritası ve önemli yerleşimler (Gök, 2011).



Şekil 3 İzmir ve yakın çevresinin topoğrafya haritası USGS-SRTM3'den GMT grid formatına dönüştürülmüş 3sn~90m duyarlıklı DEM verisi. IF: İzmir Fayı, KF: Karaburun Fayı, GF: Gülbahçe Fayı, KFZ: Karşıyaka Fayı Zonu, OTFZ: Orhanlı-Tuzla Fay Zonu, SFZ: Seferihisar Fay Zonu, UF: Urla Fayı (Gök, 2011).

* Bu bildiri Jeofizik Mühendisleri Odası adına düzenlenmiştir.



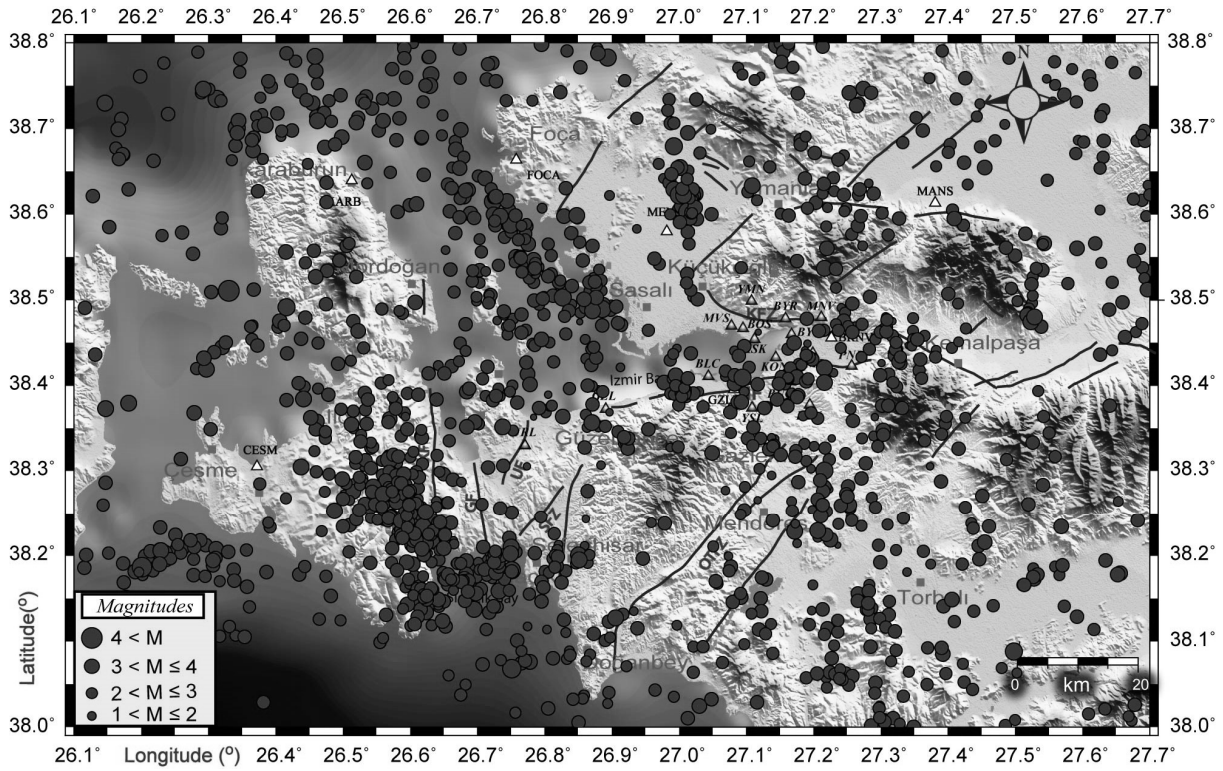
Şekil 4 Ağustos 2008 - Mayıs 2011 tarihleri arasında çözümlemesi yapılan 942 depremin episantır dağılımı ve enlem-boylam bazında derinliklerin değişimi (Gök, 2011).

Çalışma alanının genelinde meydana gelen depremlerin episantır dağılımları incelendiğinde, altı tane kümelenme alanı tespit edilmiştir. Bunlar;

- 1) Güzelbahçe güneyi
- 2) Narlıdere-Balçova civarı
- 3) Gaziemir-Buca hattı GD'sunda kalan kesim
- 4) Manavkuyu-Bornova civarı
- 5) Menemen çevresi
- 6) Karaburun-Foça arasında kalan İzmir Dış Körfezi

Güzelbahçe güneyinde (26.90°D - 38.33°K) meydana gelen depremler, K-G yönelimli bir çizgisellik arz etmektedir. Depremlerin genelde ilk 15 km'de yoğunlaştığı ve 25 km derinliğe kadar ulaştığı gözlenmiştir. Narlıdere-Balçova civarı, İzmir'in ve Ege Bölgesinin jeotermal etkinlik bakımından aktif bölgelerinden birisidir. Jeotermal alanlar, depremlerin oluşumunda önemli bir etkiye sahiptir ve bu gibi alanlarda kısa sürede çok sayıda mikro-deprem etkinliği gözleme olanağı vardır. Kırıklı ve karmaşık bir tektonik yapıya sahip olan Narlıdere-Balçova bölgesinde, büyüklük aralığı $1.0 \leq M_L \leq 3.1$ arasında değişen depremler çoğunlukla jeotermal kökenlidir ve ortalama derinlikleri 1 ile 10 km civarındadır. Gaziemir-Buca hattı GD'sunda kalan kesimde, diğer bölgelerle karşılaştırıldığında göreceli olarak saçılmış bir deprem etkinliği gözlenmektedir. İzmir fayının GD'sunda ve OTFZ'nun üzerinde yer alan bu kesimdeki depremlerin derinlikleri 25 km'ya kadar gitmektedir. Bölgede kurulu İzmirNET ve DDB istasyon ağı, bu kadar küçük ve lokal bir alan için yeterli olmadığından, çözümlemesi

yapılan lokasyonlar daha az güvenilirdir. Bu bölgede yeterince gözlem yapıldığında ve kayıt elde edildiğinde, daha doğru yoruma gidilebilir.



Şekil 5 Ağustos 2008 ve Mayıs 2011 tarihleri arasında çözümlenmesi yapılan depremlerin topografya haritası üzerindeki dağılımı (Gök, 2011)

Manavkuyu-Bornova civarı İzmir Körfezi doğusunda, Bornova havzası çevresinde yoğunlaşmaktadır. Kümelenme alanları ağırlıklı olarak İzmir'i tehdit etme potansiyeli yüksek Karşıyaka, Kemalpaşa ve İzmir Faylarının Bornova havzasında çakıştığı üçgen çevresinde meydana gelmektedir.

Menemen sismojenik zonu, bu proje kapsamında gözlenen kümelenme alanları içinde en belirgin olanlardan biridir. Deprem etkinlik zonunun uzanımı K-G doğrultuludur ve Menemen havzasında yer almaktadır. Bilinen tektonik haritalarda veya bilimsel çalışmalarda, bu depremleri üreten K-G uzanımlı bir fay hattının varlığı henüz tespit edilmemiştir. Depremlerin odak derinlikleri 5-18 arasındadır ve Güney'den Kuzey'e gidildikçe derinlikler artmaktadır.

İzmir Dış Körfez'de KB-GD yönelimli bir çizgisel sismojenik zon gözlenmiştir. Nispeten saçılmış bir deprem etkinliği görüntüsü arz etse de, Karaburun-Foça arasında KB-GD doğrultulu devam etmektedir. Bu zonun boyutları yaklaşık 30x8 km'dir. Denizde gözlenen bu aktivitenin tek başına bir çizgisellik mi, yoksa kendi içinde birden fazla tektonik sistem barındıran bir sistem mi olduğuna yönelik nihai yorumlar için; deniz jeofiziği ve jeolojisi araştırmalarından elde edilecek bulgulara ihtiyaç vardır.

İzmirNET verileri kullanılarak elde edilen deprem etkinlik haritasında detaylandırılan sismojenik zonlara ilave olarak; ZEYİ-Barbaros-Yağcılar üçgeninde, Balıklıova-İldır batısında (denizde) ve Sığacık Körfezinde deprem etkinliği gözlenmiştir. Sığacık; özellikle 17-21 Ekim 2005 (M=5.9) deprem dizini sonrası sismik aktivitenin yoğun olarak gözlemlendiği bölgedir. Faylanma sonucu oluşan deprem aktivitesinin Kuzey'deki Yağcılar Köyüne kadar

* Bu bildiri Jeofizik Mühendisleri Odası adına düzenlenmiştir.

ulaştığı ve Gülbahçe Fayı'nın güney kolunun kırıldığı rapor edilmiştir. Ancak daha sonra yapılan ulusal ve uluslararası çalışmalar depreme neden olan faylanmanın, KB-GD ve KD-GB doğrultu eşlenik fay sitemlerinin Sığacık Körfezinde birleşmesiyle oluşan negatif çipek yapısından kaynaklandığını ortaya koymuştur.

Diğer sismik etkinlik bölgeleri; kuzeydeki Balıklıova-Ildır-Barbaros ve bunun güneyindeki ZEYEi-Barbaros-Yağcılar üçgenleridir. Bu bölgede Kuzeyde saçılmış bir deprem etkinliği gözlenirken, Güneydeki aktivite daha dar (çoğunlukla Karaburun ve Gülbahçe fayları arasında kalan) bir alanda kümelenmiştir.

İzmir sismik etkinlik alanlarının daha iyi gözlenebilmesi ve deprem tehlikesi yorumlarının ileri düzeyde yapılabilmesi için, kurulan yerel sismik ağ geometrisinin geliştirilmesi gerekmektedir. Depremselliği yüksek olan bu bölgede, proje süresince İzmirNET ve AFAD-DDB'nin diğer ulusal deprem istasyonları tarafından yeteri sayıda ve kalitede kayıt alınabileceği beklenmektedir.

Sismotektonik

Proje süresince İzmirNET + AFAD-DDB tarafından kaydedilen depremlerden belli kriterleri sağlayan kayıtların odak mekanizması çözümlerine ilişkin analizler bu bölümde verilmiştir. Deprem üreten bu tür kümelenme alanlarının ve fay sistemlerinin mekanizmasının, deprem tehlikesini daha iyi anlamaya yönelik olarak incelenmesi gerekmektedir. Bu görüş ve ihtiyaçlardan hareketle, çalışma alanında kaydedilen ve belli koşulları sağlayan 27 depremin fay düzlemi çözümleri, P-dalgası ilk hareket yönü kullanılarak incelenmiştir (Tablo1). Odak mekanizması çözümünde; RMS lokasyon hata oranlarının düşük olması, GAP açıklık değerlerinin 180°'den küçük olması ve en az 14 istasyona ait P-dalgası ilk hareket yönü (polarite) okumalarının yapılmış olması kriterleri, başlangıç koşulları olarak ele alınmıştır. Odak mekanizması çözümlerinde, DDB ulusal kuvvetli yer hareketi deprem istasyonlarına ait polarite okumaları da kullanılmıştır. İncelenen 27 depremin 19u, baskın normal veya az doğrultu atım bileşenine sahip baskın normal oblik faylanma mekanizmasına sahiptir. 6 deprem, baskın doğrultu atım bileşenli (az ters bileşen) mekanizmasına sahip sahipken, İç Körfezin doğu tarafında meydana gelen 1 deprem, baskın ters ama az doğrultu atım bileşen mekanizması vermiştir. Depremlerin bir tanesi (No.6) dış körfezde, bir tanesi körfezi kuzeyinde (No.19) yer alırken, diğerleri ise genelde Körfezin güney ve doğu kesimlerinde yoğunlaşmıştır (Şekil 6).

İzmir deprem etkinliği haritasında İç Körfezin güneyinde yer alan Narlıdere-Balçova kümelenme bölgesindeki üç depremin (No. 3, 4) fay düzlemi çözümleri incelendiğinde, D-B uzanımlı normal fay mekanizmasına sahip olduğu gözlenmiştir. Aynı durum biraz daha doğuda İç Körfez'de yer alan diğer üç deprem (No. 12, 14, 15) için de geçerlidir. İzmir Fayı üzerinde yer alan ve jeotermal etkinliğin yüksek olduğu bu bölgedeki tüm depremlerin faylanma kinematığı, D-B doğrultulu İzmir Fayı ile uyumludur. Kümelenme alanı içinde yer alan (5) no'lu deprem, KB-GD yönelimli ve sağ doğrultu atım bileşene sahip baskın normal faylanma vermiştir. Narlıdere-Balçova kümelenme bölgesindeki etkinliğin yaklaşık 4 km GB'sında yer alan (13) no'lu deprem, İzmir Fayına nispeten uzak olsa da, bu fayın doğrultusu ile uyumlu olacak şekilde D-B uzanımlı sağ yönlü doğrultu atım bileşenine sahip baskın normal faylanma mekanizmasına sahiptir.

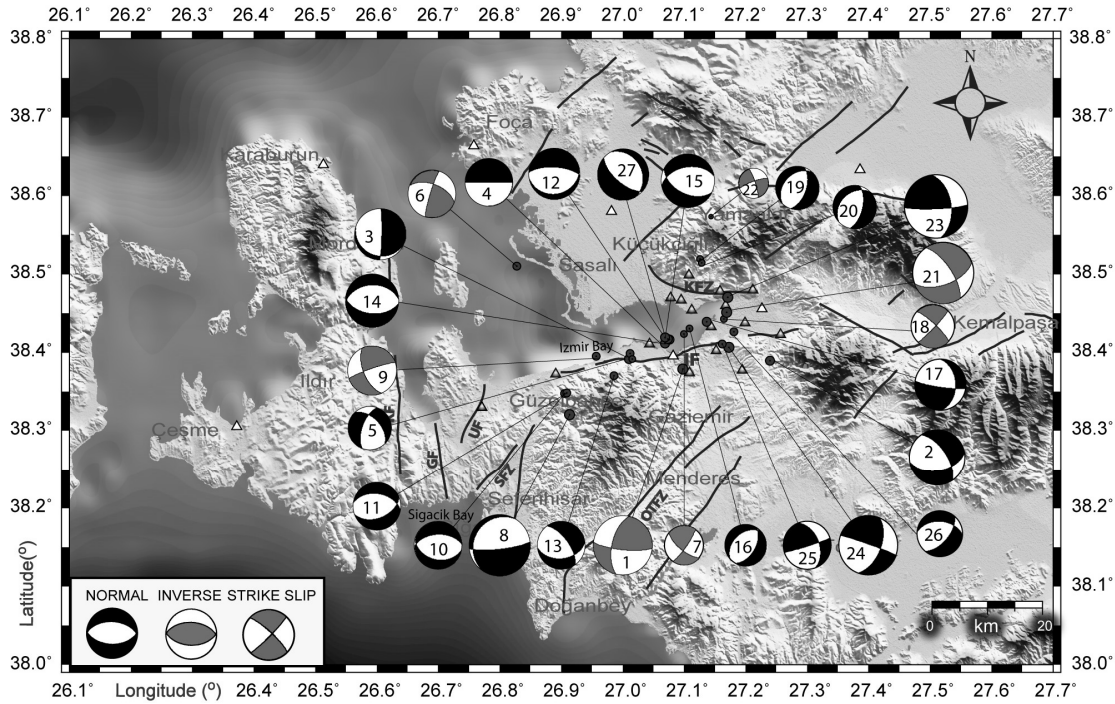
Jeotermal etkinliğin yüksek olduğu Narlıdere-Balçova gibi alanlarda akışkan enjeksiyonu, fay düzlemlerinde kaymaya yol açan gerilme artışına neden olmaktadır. Meydana gelen depremlerin odak mekanizma çözümleri, büyük çoğunlukla normal veya az/çok doğrultu atım

* Bu bildiri Jeofizik Mühendisleri Odası adına düzenlenmiştir.

bileşeni olan baskın normal faylanmayı işaret etmektedir.

Tablo 1 Ağustos 2008 - Mart 2010 tarihleri arasında İzmirNET deprem istasyon ağından elde edilen 27 depremin ($2.5 \leq M_L \leq 3.6$) odak mekanizması çözüm parametreleri (Gök, 2011)

Date and Time	Longitude	Latitude	Depth	Azimuth	Dip	Rake	MI	RMS	GAP
1_20080810_02h22	27.098	38.376	10.6	193.0	60.0	14.0	3.0	0.19	111
2_20081009_03h15	27.240	38.387	24.0	80.0	51.0	-145.0	3.3	0.07	178
3_20081118_20h06	27.010	38.389	13.5	1.0	86.0	-74.0	3.2	0.17	151
4_20081118_20h11	27.012	38.396	17.8	1.0	1.0	-179.0	3.1	0.19	113
5_20081119_06h07	27.016	38.389	2.8	200.0	62.0	-46.0	2.2	0.18	104
6_20090204_00h19	26.828	38.508	14.9	197.0	83.0	146.0	3.0	0.18	106
7_20090215_14h01	27.100	38.421	18.4	129.0	69.0	10.0	3.1	0.11	165
8_20090227_14h51	26.914	38.318	25.3	83.6	80.0	-78.0	3.3	0.17	108
9_20090401_23h27	26.957	38.393	7.0	157.0	62.0	-8.0	2.5	0.08	118
10_20090522_16h11	26.906	38.345	7.0	101.0	39.0	-80.0	2.7	0.18	135
11_20090527_14h54	26.909	38.346	7.0	69.0	48.0	-111.0	2.5	0.12	160
12_20090822_19h21	27.069	38.409	7.0	79.0	22.0	-103.0	3.6	0.16	139
13_20090822_19h29	26.986	38.368	7.1	324.0	65.2	-53.1	2.6	0.09	171
14_20090828_00h44	27.076	38.414	7.0	96.0	50.0	-84.0	2.9	0.16	175
15_20090830_08h06	27.074	38.415	6.9	116.0	49.0	-65.0	2.9	0.08	103
16_20091125_18h35	27.109	38.428	7.0	228.8	39.9	-75.9	2.7	0.16	101
17_20091219_14h43	27.137	38.437	26.3	359.0	41.0	-12.0	2.7	0.13	113
18_20091219_18h42	27.165	38.44	7.0	313.0	79.0	-6.0	2.5	0.17	98
19_20091221_07h33	27.126	38.517	7.0	223.7	35.8	-69.2	2.8	0.18	112
20_20091221_12h21	27.129	38.512	8.5	228.0	34.0	-60.0	2.5	0.14	115
21_20100123_19h24	27.171	38.468	25.7	87.5	83.6	39.6	3.5	0.20	98
22_20100306_18h26	27.143	38.569	15.2	250.1	78.9	-10.2	2.5	0.20	172
23_20090708_19h29	27.169	38.449	6.9	326.0	68.0	-34.0	3.1	0.13	84
24_20091218_00h28	27.173	38.404	11.0	289.5	87.1	-34.1	2.5	0.19	109
25_20091220_06h17	27.162	38.408	7.0	72.4	86.7	41.9	2.5	0.16	161
26_20100522_21h21	27.181	38.424	8.0	274.4	45.5	-45.5	2.5	0.18	91
27_20100815_13h49	27.069	38.417	9.0	333.0	27.0	-71.0	2.6	0.07	114



Şekil 6 Proje kapsamında odak mekanizması çözümü yapılan 27 depremin İzmir topografya haritası üzerindeki dağılımı (Gök, 2011)

OTFZ üzerinde meydana gelen (1) no'lu deprem, odak mekanizması çözümüne göre doğrultu atımlı faylanmaya sahiptir ve bu özelliği ile mevcut fay kinematığı ile uyum içindedir. Benzer durum, bu zonun KD'sunda yer alan (18) no'lu deprem için de geçerlidir. Her iki deprem, KD-GB uzanımlıdır ve sağ yönlü doğrultu atımlı fay mekanizmasına sahiptir. Bazı depremlerin fay düzlemi çözümlerinin, mevcut yapısal unsurlar ile ilişkisi net değildir. Bunlardan (7) no'lu deprem doğrultu atım bileşene sahip baskın ters fay, (16) no'lu deprem doğrultulu tam normal ve (17) no'lu deprem ise doğrultu atım bileşenine sahip baskın normal fay mekanizması vermiştir. Gaziemir-Buca GD'sunda saçılmış deprem etkinliği gösteren bölgede meydana gelen depremin (No. 2), doğrultu atım bileşenine sahip baskın normal faylanma mekanizmasına sahip olduğu anlaşılmıştır.

İzmir Fayının batı kesimlerinde Güzelbahçe'nin güneyinde yer alan sismik etkinlik alanı incelendiğinde, üç depremin (8, 10, 11) fay doğrultularının D-B yönlü olduğu gözlenmiştir. Bu durum, K-G hattında belirgin çizgisellik gösteren deprem aktivitesinin doğrultusu ile uyumlu değildir. 10 ve 11 no'lu iki deprem, KD-GB doğrultulu Seferihisar Fay (SF) Zonuna 2 km uzaktadır. 8 no'lu deprem ise yaklaşık 5 km mesafededir. Bu depremlerin üçü de, D-B doğrultulu baskın normal faylanma mekanizmasına sahiptir.

Dış Körfez kuzeyinde yer alan (6) no'lu deprem sağ yönlü doğrultu atımlı bir faydır. Gülbahçe Körfezinin güneyinde çatallandıktan sonra Kuzey'e doğru iki kol halinde devam eden faylardan, Urla'dan geçen doğu kolun (Urla Fayı) denizdeki uzantısı üzerindedir. Ayrıca bu deprem, Dış Körfez sismik etkinlik alanı içinde fay düzlemi çözümü yapılan tek depremdir ve deniz jeofiziği araştırmaları kapsamında halen devam etmekte olan olası KB-GD uzanımlı fay zonunu desteklemektedir. Urla Fay hattının denizdeki uzantısı ile yapısal uyum içindedir.

İzmir Körfezi kuzeyinde meydana gelen ve analizi yapılan son 3 depremden ikisi Karşıyaka kuzeyinde yer almaktadır (No. 19, 20). Her iki deprem birbiri ile aynı mekanizma özelliğine

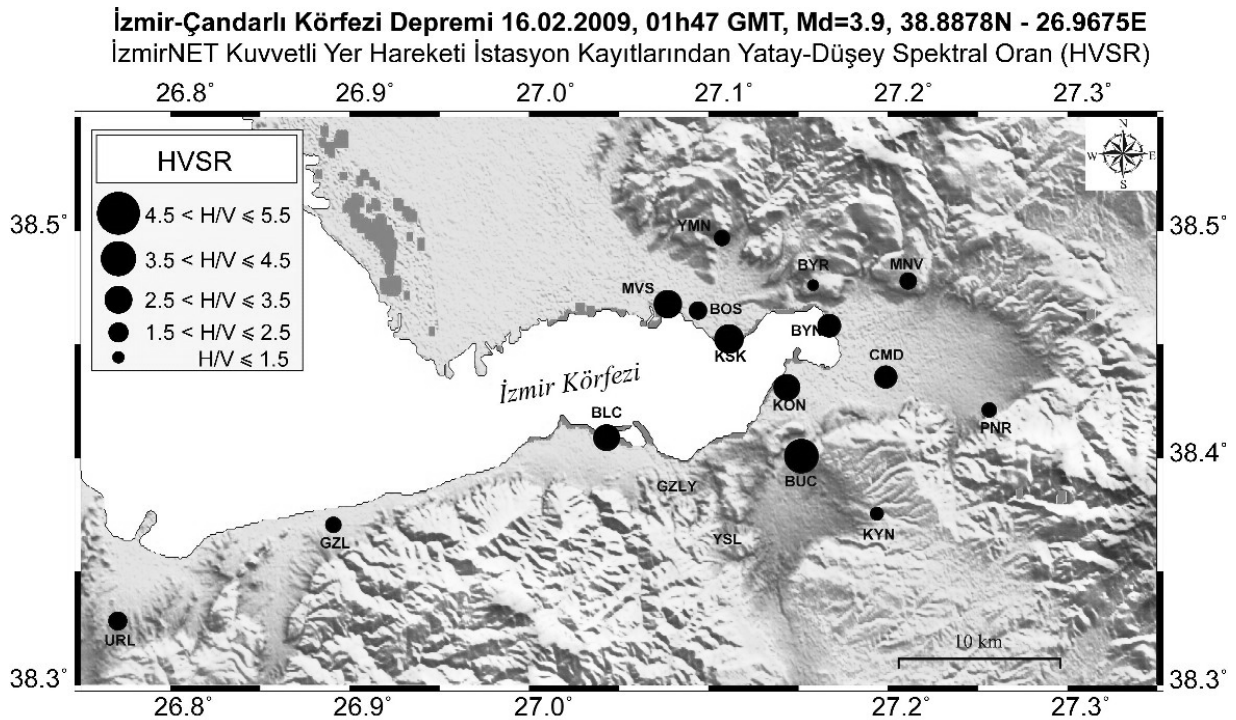
sahiptir ve KD-GB doğrultulu normal fay karakterine sahiptir. (23) no'lu deprem ise OTFZ ile SFZ arasındaki D-B doğrultulu Karşıyaka normal fayı üzerindedir. Odak mekanizması çözümüne göre bu deprem, normal fay bileşenine sol yönlü baskın doğrultu atımlı faydır.

İzmirNET'de son 3 yıllık proje süresince fay düzlemi çözümü yapılan 27 mekanizma verisinden elde edilen sonuçlar, mevcut deniz jeolojisi ve jeofiziği çalışmalarından elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmış ve uyumlu oldukları gözlenmiştir.

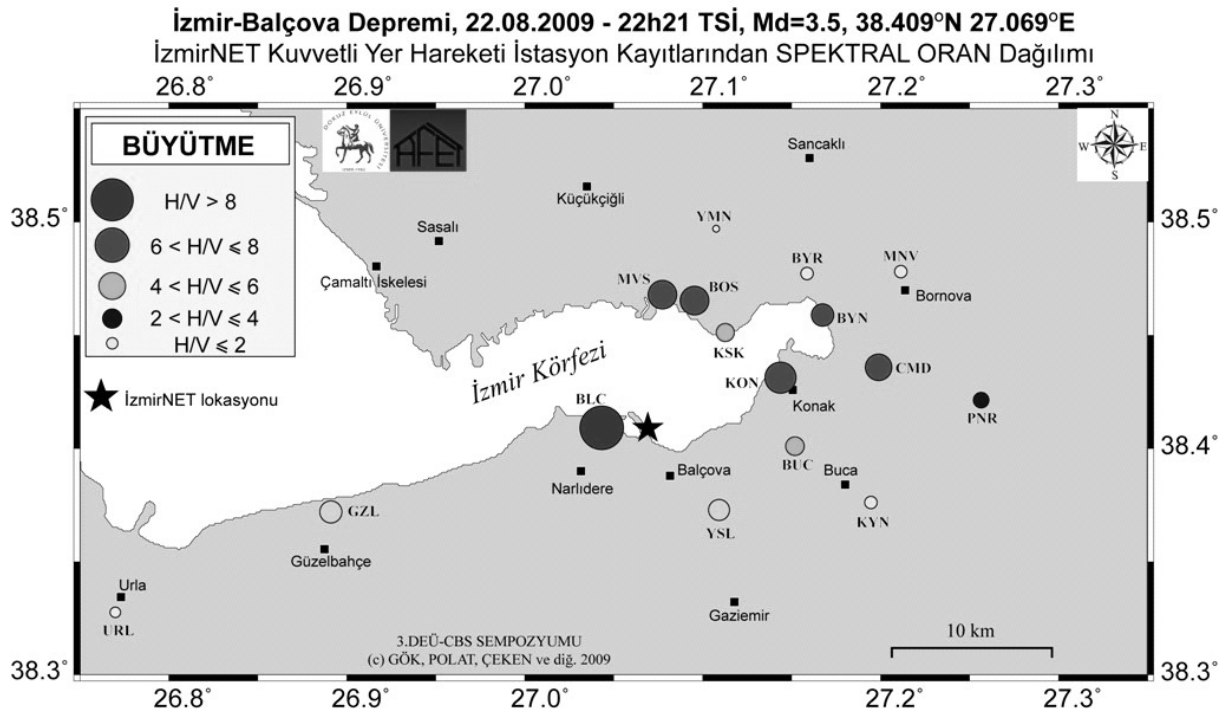
Jeofizik Verilerden Zemin Özellikleri

Proje süresince İzmirNET+ADAD-DDB tarafından kaydedilen depremlerin, farklı zeminlere ait en büyük ivmeler (PGA) ve büyütme değerleri, ivme-ölçer (strong-motion) deprem istasyonu kayıtçıları tarafından ölçülen verilere dayalı olarak elde edilmiştir. 16.02.2009 tarihinde meydana gelen 3.9 büyüklüğündeki Çandarlı Körfezi depreminde ölçülen yatay düşey spektral oran (HVSR) büyütme değerlerinin dağılımı Şekil 7'de gösterilmiştir. Özellikle Konak, Karşıyaka, Mavişehir gibi yerleşim alanı zeminlerini temsil eden lokasyonlarda yüksek büyütme gözlenmiştir. Şekil 8'de ise 22.08.2009 tarihinde meydana gelen 3.5 büyüklüğündeki Balçova depreminde yatay düşey spektral oran (HVSR) büyütme değerlerinin dağılımı harita üzerinde gösterilmiştir.

Her iki şekildeki ortak sonuç; Balçova, Bornova, Karşıyaka, Mavişehir gibi derin havzalar üzerinde bulunan yerleşim alanlarının altındaki zeminler; depremin uzaklığına, büyüklüğüne ve derinliğine bağlı olarak deprem etkisini 4-5 kat, hatta Mavişehir gibi eski nehir yatağı üzerinde bulunan alanlarda 8 kata kadar büyütebileceğinin, ölçümlere dayalı olarak elde edilmiş olmasıdır.



Şekil 7 Çandarlı Körfezi depreminde İzmir'in farklı zeminleri için ölçümlere dayalı büyütme değerlerinin dağılımı (Gök, 2011)

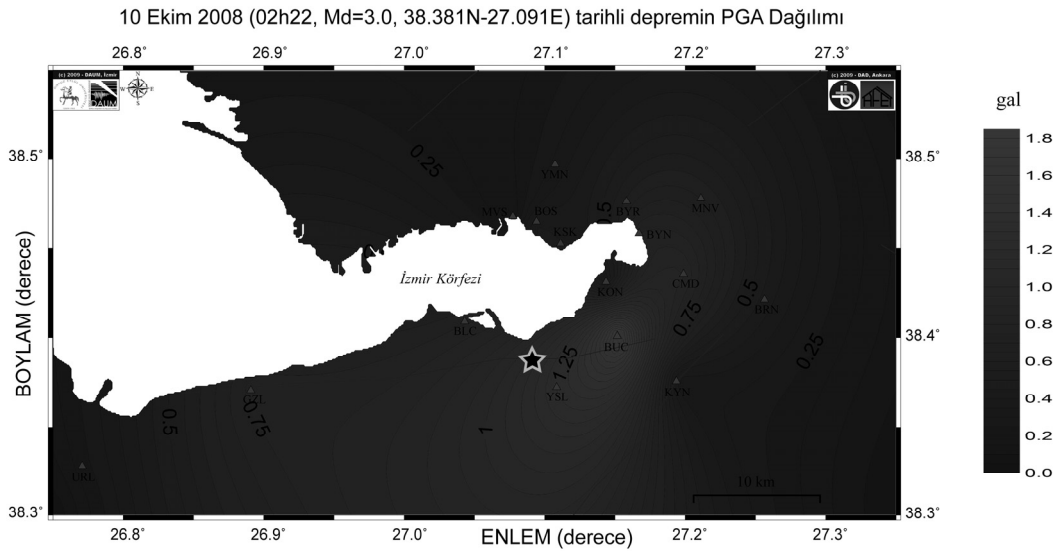


Şekil 8 Balçova depreminde (siyah yıldız) İzmir'in farklı zeminleri için ölçümlere dayalı büyütmeye değerlerinin dağılımı (Gök, 2011)

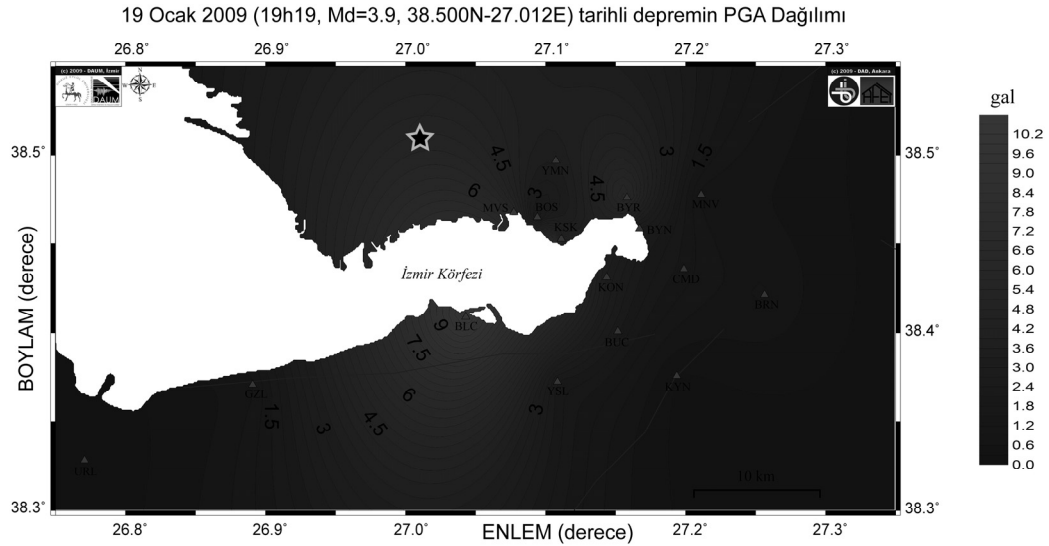
Benzer bir sonuç, farklı depremler sırasında İzmir zeminlerinin gösterdiği en büyük ivme değerlerinin (PGA) ölçümlere dayalı dağılımı, Şekil 9, 10 ve 11'deki haritalarda verilmiştir.

10.10.2008 tarihinde meydana gelen M3.0 büyüklüğündeki Balçova depreminde ölçülen PGA değerlerinin Güzelbahçe tarafında doğru artacak şekilde körfezin güney kesimlerinde ve doğudaki Bornova havzasında artış gösterdiği gözlenmiştir (Şekil 9).

19.01.2009 tarihinde meydana gelen M3.9 büyüklüğündeki Çiğli depreminde ölçülen PGA değerleri, körfezin K-G aksında artışa neden olmuş ve 10 gal'i aşan değerlere ulaşmıştır. Bu yüksek değerler nispeten daha doğuda yer alan Bayraklı sahil kesiminde de aynı değerlerde gözlenmiştir. Balçova ve çevresindeki zeminlerin, deprem dalgalarının yönelim etkisinden de hareketle, 10 gal'den daha fazla ivmelenmelere maruz kaldığı anlaşılmıştır (Şekil 10).

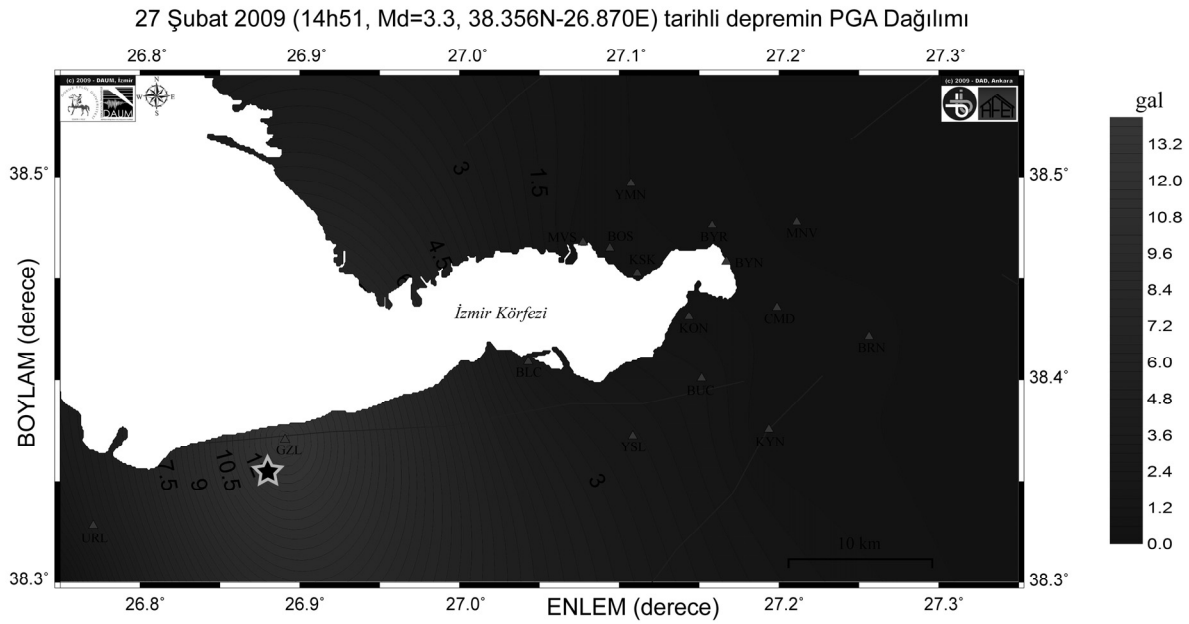


Şekil 9 10.10.2008 Balçova depreminde (siyah üçgen) İzmir'in farklı zeminlerinin ölçümlere dayalı olarak elde edilen PGA haritası (Gök, 2011)



Şekil 10 19.01.2009 Çiğli depreminde (siyah üçgen) İzmir'in farklı zeminlerinin ölçümlere dayalı olarak elde edilen PGA haritası (Gök, 2011)

27.02.2009 tarihinde meydana gelen Güzelbahçe depreminin büyüklüğünün, Çiğli depreminden daha küçük (M3.3) olmasına rağmen, ivme-ölçer kayıtçılar tarafından ölçülen ivme değerlerinin 13 gal'den fazla olması, Urla-Güzelbahçe kıyı havzasındaki zeminlerin de çok daha büyük bir depremlerde ciddi oranlarda ivmelenmelere maruz kalacağını ortaya koymuştur (Şekil 11).

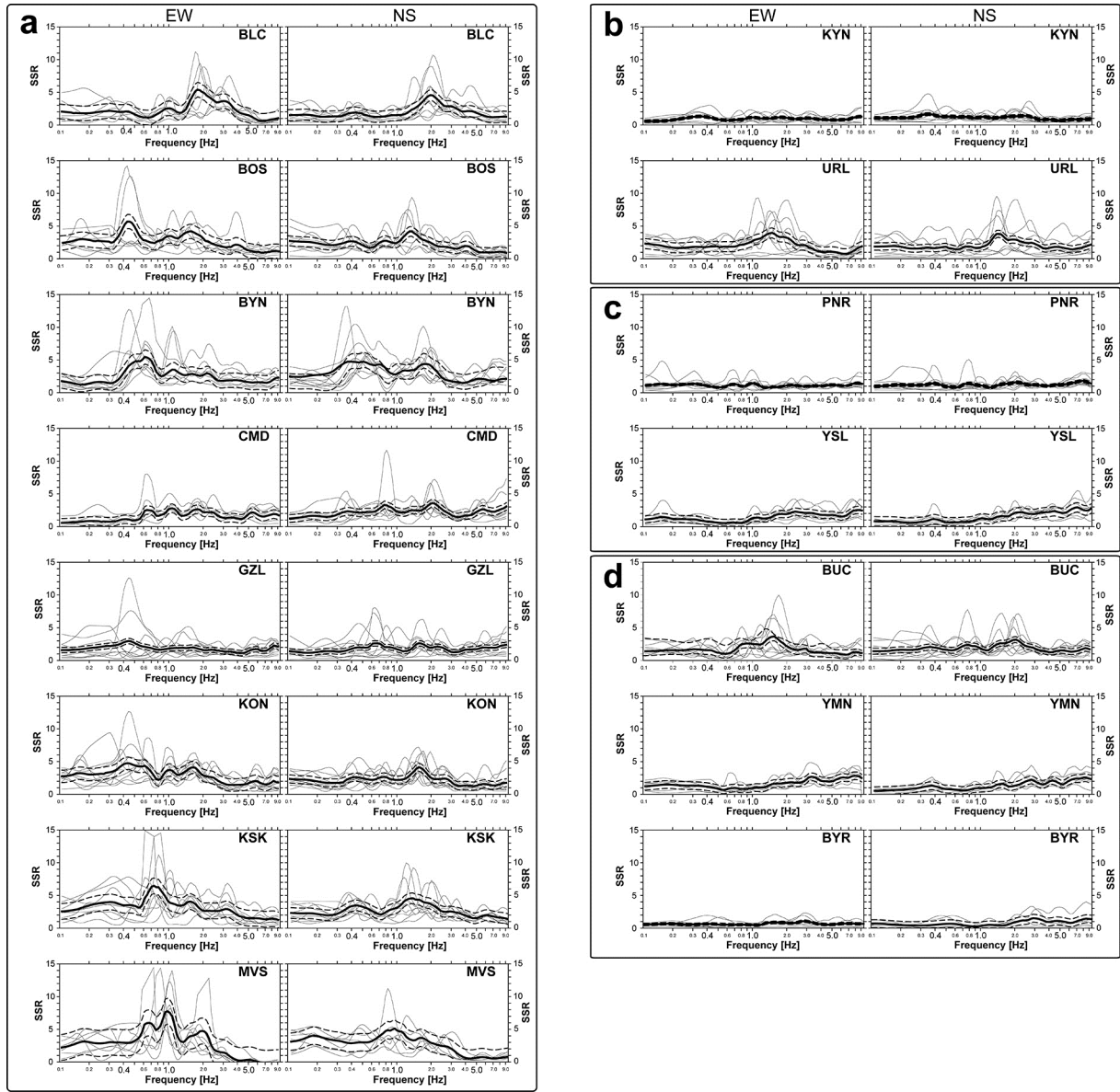


Şekil 11 27.02.2009 Güzelbahçe depreminde (siyah üçgen) İzmir'in farklı zeminlerinin ölçümlere dayalı olarak elde edilen PGA haritası (Gök, 2011)

İzmir'e 80 km uzaktaki 17-21 Ekim 2005 (M5.9) Sığacık Körfezi depremlerinde, Bornova'da ölçülen en büyük ivme (PGA) değerinin yaklaşık 30 gal olduğu düşünüldüğünde, İzmir'in merkezinde, yakınlarında meydana gelebilecek orta büyüklükteki depremlerde veya daha uzakta oluşabilecek şiddetli depremlerde, İzmir zeminlerinin ciddi oranda hasar yaratabileceği anlaşılmaktadır. Bu nedenle küçük depremlerde dahi, İzmir'de 13 gal'e ulaşan PGA değerlerinin ölçülmesi, kentte çok daha ayrıntılı jeofizik etütlerin ve jeofizik ağırlıklı bilimsel araştırmaların yapılmasını zorunlu kılmaktadır.

Zemin Niteliğini Ortaya Koymaya Yönelik SSR ve HVSr Çalışmaları

İvme-ölçer deprem istasyonları tarafından kaydedilen deprem verilerinden hareketle, İzmir'in zemin özelliklerini daha iyi anlamaya yönelik ek çalışmalar da yapılmıştır. Önce belli koşul ve kriterleri sağlayan 10 adet deprem seçilmiştir. Bu depremler, SSR (referans istasyon) yöntemi baz alınarak kullanılmış ve İzmir yerleşim alanını temsil eden farklı zeminlere ait büyüme ve hakim frekanslar elde edilmiştir. Sonuçlar Şekil 12'de verilmiştir.



Şekil 12 On depreme ait SSR (referans istasyon) yöntemine göre İzmirNET kuvvetli yer hareketi istasyonları tarafından temsil edilen İzmir zeminlerine ait, ölçümlere dayalı elde edilen büyütme ve hakim frekans değerleri. a) Kuvaterner yaşlı alüvyonlar üzerinde yer alan istasyonlar, b) Miyosen kumtaşları, çamurtaşları, marn üzerindeki istasyonlar, c) Paleosen fliş ve kireçtaşları üzerindeki istasyonlar, d) Miyosen volkanikler ve andezitler üzerindeki istasyonlar (Gök, 2011)

En dikkat çekici sonuçlar; Balçova (BLC), Bostanlı (BOS), Bayraklı sahil kesimleri (BYN), Güzelbahçe (GZL), Konak (KON), Karşıyaka (KSK), Mavişehir (MVS) gibi genç alüvyon birimlerin deprem sırasında yüksek oranda büyütme göstermesi nedeniyle alınmıştır. Bu birimler tarafından temsil edilen istasyonlarda hakim frekans değerleri, düşük frekanslarda yüksek pik'ler vermiştir. Mavişehir'de yaklaşık 1 Hz (1 sn periyot) frekansta, ortalama 7-8 kat büyütme değerleri gözlenmiştir. Bu sonuçlar tek bir depremin değil, özel olarak belli kriterlere göre seçilmiş 10 ayrı depremin ortalamasıdır. Bu 10 deprem için hazırlanan zemin sınıflaması ayrı bir tablo halinde, Amerikan NEHRP zemin sınıflama sistemine göre ayrıca verilmiştir (Tablo 2).

* Bu bildiri Jeofizik Mühendisleri Odası adına düzenlenmiştir.

Tablo 2 İzmirNET deprem istasyon lokasyonlarında, 10 ayrı depreme ait SSR çalışması

Jeoloji	İstasyon	Hakim Frekans Fo, Hz	Büyütme (SSR-10)	Zemin Sınıfı NEHRP
Alüvyon	BLC	1.8	5.6	D
Alüvyon	BOS	0.6	5.8	E
Alüvyon	BYN	0.61	5.7	E
Alüvyon	CMD	1.1	2.8	D
Alüvyon	GZL	0.6	3.1	E
Alüvyon	KON	0.6	4.9	E
Alüvyon	KSK	0.72	6.6	E
Alüvyon	MVS	0.98	7.9	F
Kumtaşı+Marn	KYN	Düz	2.0	B-A
Kumtaşı+Marn	URL	1.3	4.1	C
Fliş+Kireçtaşı	PNR	8.2	1.8	B-A
Fliş+Kireçtaşı	YSL	8.4	2.7	B
Andezit	BYR	3.0	1.5	B-C
Andezit	MNV	REF	REF	A
Andezit-Kumtaşı sınırı	BUC	1.3	3.8	C-D
Andezit-Alüvyon sınırı	YMN	6.5	3.4	B-C

sonucu elde edilen zemin hakim frekans ve büyütme değerleri (Gök, 2011)

Jeofizik (deprem veya mikrotremor) etütler sonucu, eğer bir zeminin hakim frekansı $F_0=1.0$ Hz (veya baskın periyodu $T_0=1$ sn) olarak ölçülmüşse, Amerikan NEHRP zemin sınıflama sisteminde bu zeminler, yapı taşıma gücü son derece zayıf olan “özel zemin” olarak adlandırılan Turba Bataklık zeminler şeklinde adlandırılmış ve F-tipi zeminler olarak sınıflandırılmıştır (Tablo 3). İlgili tablodan da görüleceği üzere NEHRP’de, halen güncelleme çalışmaları devam eden Türk Deprem Yönetmeliği Zemin Sınıflama Tablosunda yer almayan çok daha ayrıntılı zemin sınıflamalarına yer verilmiştir. F-tipi zemin sınıfı, çok kritik bir zemin sınıflaması olarak ayrıca ve özel olarak ele alınmıştır. Hakim frekans değerinin 1.0 Hz olması nedeniyle özel olarak incelenen bu zemin, sıvılaşma niteliğine sahip kum veya bataklıktır. Yeraltı su seviyesinin, 6 m’den daha az olabileceği rapor edilen NEHRP’te, mevcut yapıların inşa kalitesine bağlı olmak üzere bu bölgelerde zeminin sismik davranışının, yerleşim alanları için büyük tehdit unsuru olduğuna yer verilmiştir. İzmir’de yapılan jeofizik çalışmalarda Mavişehir için zemin sınıfının F-tipi zemin olduğu ortaya konmuştur. Zeminin hakim frekansının 1.0 Hz’de deprem etkisini ortalama 7-8 kat büyüttüğü ölçümlere dayalı olarak ortaya konmuştur.

Tablo 3 On adet depremden elde edilen hakim frekans (Fo) değerlerine göre önerilen NEHRP zemin sınıflaması (Gök, 2011)

Zemin	Zemin Tanımı	Baskın Periyot	Hakim Frekans	Yorum
A	Sert Kaya	< 0.1 s	10 Hz	Sert, sağlam, bozulmamış kaya $V_s > 1500$ m/s
B	Kaya	< 0.2 s	5.0 Hz	Aşınmamış kaya, < 6 m zemin derinliği ($V_s > 760$ m/s)
C-1	Aşınmış/Yumuşak Rock	< 0.4 s	2.5 Hz	Aşınmış zon, > 6 m ve < 30 m zemin derinliği ($360 < V_s < 700$ m/s)
C-2	Sığ Sıkı Zemin	< 0.5 s	2.0 Hz	Zemin derinliği (h): $6 < h < 30$ m
C-3	Orta derinlikli sıkı zemin	< 0.8 s	1.3 Hz	Zemin derinliği (h): $30 < h < 60$ m
D-1	Derin Sıkı Holosen yaşlı zemin Kum ve Kil olabilir	< 1.4 s	0.7 Hz	Zemin derinliği (h): $60 < h < 200$ m
D-2	Derin Sıkı Pleistocene yaşlı zemin, Kum ve Kil olabilir	< 1.4 s	0.7 Hz	Zemin derinliği (h): $60 < h < 200$ m
D-3	Çok derin sıkı zemin	< 2.0 s	0.5 Hz	Zemin derinliği (h): $h > 200$ m
E-1	Orta derin yumuşak kil	< 0.7 s	1.4 Hz	Yumuşak kil seviyesinin derinliği (h): $3 < h < 12$ m
E-2	Derin yumuşak kil seviyesi	< 1.4 s	0.7 Hz	Yumuşak kil seviyesinin derinliği: $h > 12$ m
F	Özel, örneğin olası sıvılaşabilir kum veya turba (bataklık)	$= 1.0$ s	$= 1.0$ Hz	Sığ su seviyesi tablası (zw)'na sahip, holosen yaşlı gevşek kum ($zw < 6$ m) veya organik turba (bataklık)

SONUÇ

İzmir sismik etkinlik alanlarının daha iyi gözlenebilmesi ve deprem tehlikesi yorumlarının ileri düzeyde yapılabilmesi için, kurulan yerel sismik ağ geometrisinin (İzmirNET'in) daha da geliştirilmesi gerekmektedir. Özellikle denizlerde meydana gelen ve büyük depremlerin habercisi konumundaki mikro-depremlerin fay hareket mekanizmalarını şimdiden anlayabilmek için, körfez çevresine (en az 10 adet olmak üzere) yeterli sayıda deprem istasyonu kurulumuna gereksinim bulunmaktadır. **İzmir'in güncel deprem etkinliğini daha iyi anlamaya yönelik çalışmalara sadece T.C. Başbakanlık AFAD Deprem Dairesi Başkanlığının değil, yerel idarecilerin ve asıl karar verici konumda bulunan yerel yöneticilerin de desteği şarttır.**

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, TÜBİTAK-KAMAG (Proje No: 106G159) tarafından finanse edilmiştir ve T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum (AFAD) Başkanlığı desteği, Dokuz Eylül Üniversitesi ve İzmir Büyükşehir Belediyesi işbirliği ile hayata geçirilmiştir. Çalışmanın tüm aşamasındaki katkılarından ötürü DEÜ-DAUM Müdürü Prof.Dr. Zafer Akçığ'a, AFAD Deprem Dairesi (DDB) Başkanı Dr. Murat Nurlu'ya, AFAD-DDB Kuvvetli Yer Hareketi Grup Başkanı Sayın Ulubey Çeken'e, tüm AFAD ve DEÜ çalışanları ile emeği geçen herkese teşekkür ederiz. Bu çalışma, DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsünde sözkonusu proje bazlı doktora çalışmasını tamamlayan Dr. Elçin GÖK'ün tez çalışmaları kapsamında sunulmuştur.

KAYNAKLAR

Gök, E., Investigation of Earthquake Hazard and Seismic Site Characteristic in the Examples of Bursa ve İzmir, PhD Thesis, Dokuz Eylül University Institute of Science, İzmir 2011, 170 p.

Gök, E., Polat, O., Çeken, U., Yılmaz, D., Arslan, B., Tüzel, Z. ve Akçığ, Z., "İzmirNET Kuvvetli Yer Hareketi Deprem İstasyon Ağında CBS Tabanlı Sismolojik Haritalama Çalışmaları", 3.DEÜ-CBS Sempozyumu, 10-11 Aralık 2009, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, pp 143-154.

Polat, O., Ceken, U., Uran, T., Gok, E., Yilmaz, N., Beyhan, M., Koc, N., Arslan, B., Yilmaz, D. and Utku, M., "IzmirNet: A Strong-Motion Network in Metropolitan İzmir, Western Anatolia, Turkey", Seismological Research Letters, September 2009, Vol. 80, 5, pp 831-838.