

İzmir Kuvvetli Yer Hareketi Deprem İstasyon Ağı: İzmirNET

Elçin GÖK^{*1}, Orhan POLAT²

¹ Dokuz Eylül Üniversitesi, Deprem Araştırma ve Uygulama Merkezi / İZMİR

² Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü/ İZMİR

Alınış Tarihi:17.04.2011, Kabul Tarihi:15.09.2011

Özet: Bu çalışma kapsamında, İzmir İl'inin ilk sismik ağı (İzmirNET) tarafından kaydedilen depremlerin lokasyonu yapılmıştır. Depremler, genelde yer kabuğunun ilk 20 km'sinde yoğunlaşmaktadır ve büyüklükleri $1.0 \leq M_L \leq 4.0$ arasındadır. Deprem etkinliğinin; Güzelbahçe'nin güneyinde, Narlıdere-Balçova çevresinde, Manavkuyu-Bornova civarında, Gaziemir-Buca hattının GD'sunda, Menemen çevresinde ve İzmir Dış Körfezinde kümelendiği gözlenmiştir. 22 depremin odak mekanizması çözümleri çoğunlukla, D-B doğrultulu normal veya doğrultu atım bileşenine sahip baskın normal fay vermektedir. Fay düzlemi çözümlerinden hareketle gerilme tensörü analizi yapılmış ve en büyük asal gerilme eksenini (σ_1) düşeye yakınken, orta (σ_2) ve küçük (σ_3) gerilme eksenleri yataya yakın bulunmuştur. Sonuçlar, çalışma alanının K-G doğrultulu açılma rejimine sahip olduğunu işaret etmektedir.

Anahtar Kelimeler: İvme-ölçer ağı, deprem etkinliği, gerilme tensörü

Strong-Ground Motion Earthquake Station Network of Izmir: IzmirNET

Abstract: Earthquakes which were recorded by the first seismic network of Izmir (IzmirNET) have been located in the frame of this study. Events are concentrated in the first 20 km of earth crust with a local magnitude (M_L) interval from 1.0 to 4.0. Swarm-type earthquake activity has been observed in the S of Güzelbahçe, in around Narlıdere-Balçova, Manavkuyu-Bornova area, SE of Gaziemir-Buca line, Menemen area and Izmir Outer Bay. Focal mechanism solutions of 22 earthquakes give normal or strike-slip component dominant normal faulting. Stress tensor analysis has been performed starting from the fault plane solutions, and detected that maximum principal stress axis (σ_1) is closer to the vertical while intermediate axis (σ_2) and minimum axis (σ_3) are closer to horizontal. Results indicate that the study area is under extension regime along N-S direction.

Keywords: Accelerometric network, earthquake activity, stress tensor

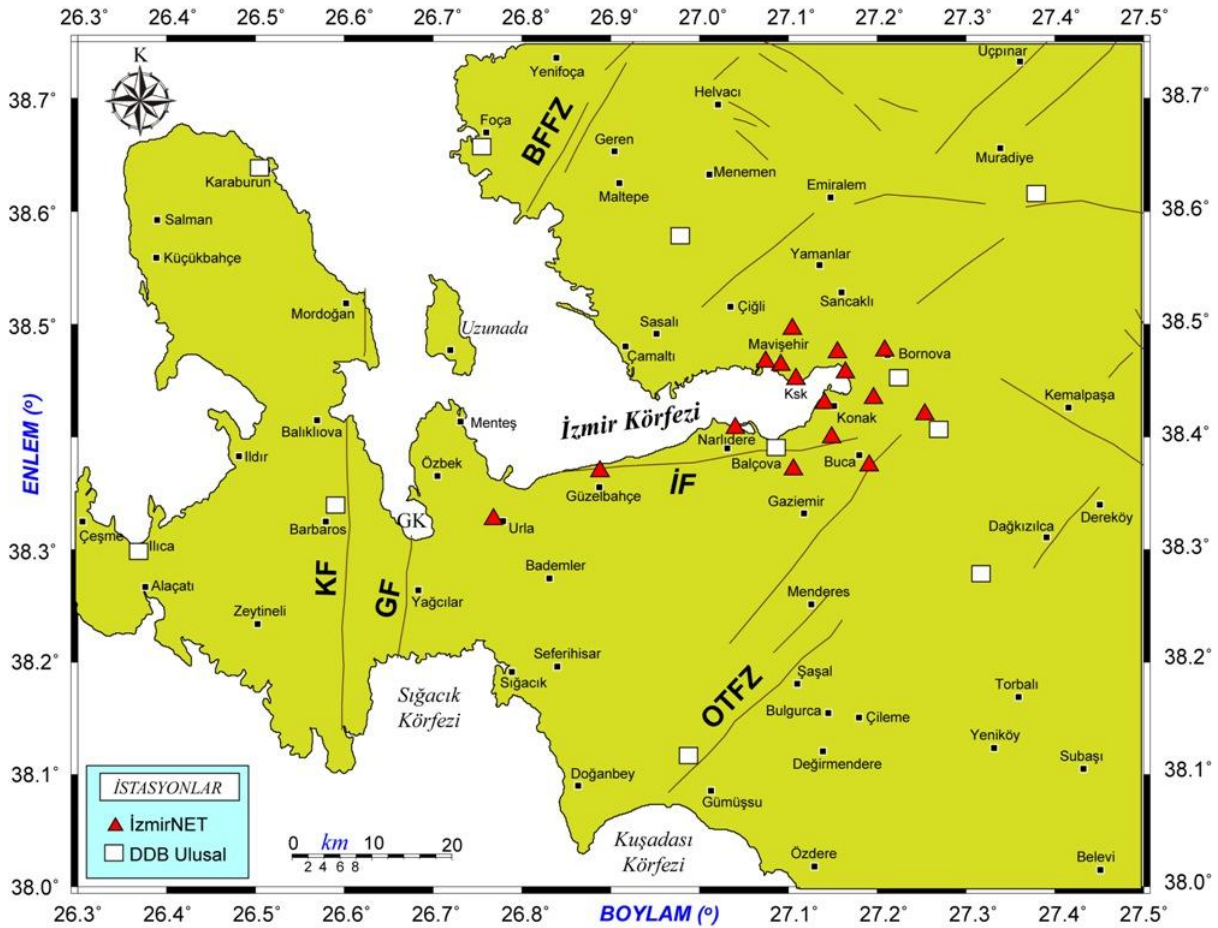
Giriş

T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AADYB) Deprem Dairesi Başkanlığı (DDB) ile Dokuz Eylül Üniversitesi (DEÜ) Deprem Araştırma ve Uygulama Merkezi (DAUM) işbirliğinde, T.C. Bayındırlık Bakanlığı ve İzmir Büyükşehir Belediyesi'nin müşteri kurum olduğu TÜBİTAK destekli Kamu Araştırma Geliştirme (KAMAG-1007) projesi kapsamında, İzmir kent merkezi yerleşim alanına ilk defa 16 adet kuvvetli yer hareketi deprem istasyonundan oluşan bir yerel sismik ağı (İzmirNET), 3 yıl süreyle işletilmek üzere Temmuz 2008'de kurulmuştur (Şekil 1, Polat vd., 2009). İzmir'in ilk deprem istasyon ağı olan bu proje kapsamında beş farklı bilimsel alanda çalışmalar yapılmaktadır. Bu alanlardan birisini Sismoloji çalışmalarını oluşturmaktadır.

Çalışma alanı genel hatları itibariyle 38.00° - 38.75° K enlemleri ile 26.30° - 27.50° D boylamları arasında kalan bölgeyi kapsamaktadır. İzmirNET deprem istasyonları, çoğunlukla körfez çevresindeki yerleşim alanlarına, deprem üreten ana tektonik unsurları çevreleyecek şekilde kurulmuştur.

Batı Anadolu'nun neotektonizması, genel hatlarıyla Anadolu'nun Avrasya levhasına göre batıya kaçışı, batıda Ege Denizi boyunca saatin tersi yönünde dönerek GB yönünde Ege Arkı üzerine bindirmesi ile açıklanmaktadır. Miyosen'den beri K-G doğrultusundaki gerilme kuvvetleri etkisinde şekil değiştiren ve genişleyen Ege Bölgesi, Afrika ve Avrasya levhalarının yakınlaşması nedeniyle yılda 2cm hızla batıya doğru hareket etmektedir. Bu hareketin doğrultusu Ege bölgesindeki Akdeniz okyanusal litosferinin Ege Arkı boyunca dalması nedeniyle KD-GB yönelimlidir (Şengör vd., 1985; Taymaz vd., 1991; McClusky vd., 2000, Aktuğ ve Kılıçoğlu, 2006; Sözbilir vd., 2009). Batı Anadolu'da genelde D-B yönünde uzanan grabenler 30 - 35° eğimli normal faylardır ve bölgede yer kabuğu 25-30 km kalınlığındadır (Pamukçu ve Yurdakul, 2008). Bölgedeki güncel deformasyon ve buna bağlı sismisite diri faylar tarafından denetlenmektedir. Oluşan depremlerin odak derinliği 40-50km arasında değişmekle birlikte, genelde yer kabuğunun üst kesimlerinde yoğunlaşmaktadır. Büyük depremlerin ise 10-15 km'den daha derin olmadığı gözlenmiştir. Zaman ve uzay ortamında kümelenme tipi gösteren depremlerin manyetüdü, küçük ve orta büyüklüktedir (Eyidoğan, 1988; Polat vd., 2008). Odak mekanizması çözümleri önemli jeolojik yapılarla uyum gösterir.

* elcin.gok@deu.edu.tr



Şekil 1. İzmir'in ilk yerel sismik ağı olan İzmirNET (Polat vd., 2009) ve DDB (Deprem Dairesi Başkanlığı) kuvvetli yer hareketi deprem istasyonlarının dağılımı. BFFZ: Bergama-Foça Fay Zonu, GF: Gülbahçe Fayı, GK: Gülbahçe Körfezi, İF: İzmir Fayı, KF: Karaburun Fayı, OTFZ: Orhanlı-Tuzla Fay Zonu)

MTA'nın 2002 yılında hazırladığı 1/500.000 ölçekli jeoloji haritasında İzmir Körfezi ve çevresinde birçok doğrultuda yapısal süreksizlik mevcuttur. Bu süreksizliklerin bir kısmı, daha sonra yapılan çalışmalarda tanımlanmış ve aktiviteleri araştırılmıştır. Karmaşık bir tektonizmaya işaret eden ters faylar, ters veya normal bileşenli doğrultu atımlı faylar, D-B uzanımlı normal faylar ve doğrultu bileşenli ters veya normal faylar tanımlanmıştır (Emre vd., 2005; Ocakoğlu vd., 2005; Uzel vd., 2010). Gediz ve Büyük Menderes grabenlerinin batısında yer alan İzmir Körfezi, sığ sismik kesitlerden elde edilen verilere göre iç ve dış körfez şeklinde iki çukurluk olarak tanımlanır. Dış körfez Karaburun ters fayı ile sınırlanırken, İç körfez D-B uzanımlı İzmir normal fayı ile sınırlanır. İzmir Körfezi ve çevresinde hakim olan dört temel jeolojik birim; 1) Kuvaterner yaşlı çökeller, 2) Miyosen tortul birimler, 3) Miyosen volkanik birimler, 4) Miyosen öncesi temel kayalardır (Şekil 2; Sözbilir vd., 2008; Uzel ve Sözbilir, 2008).

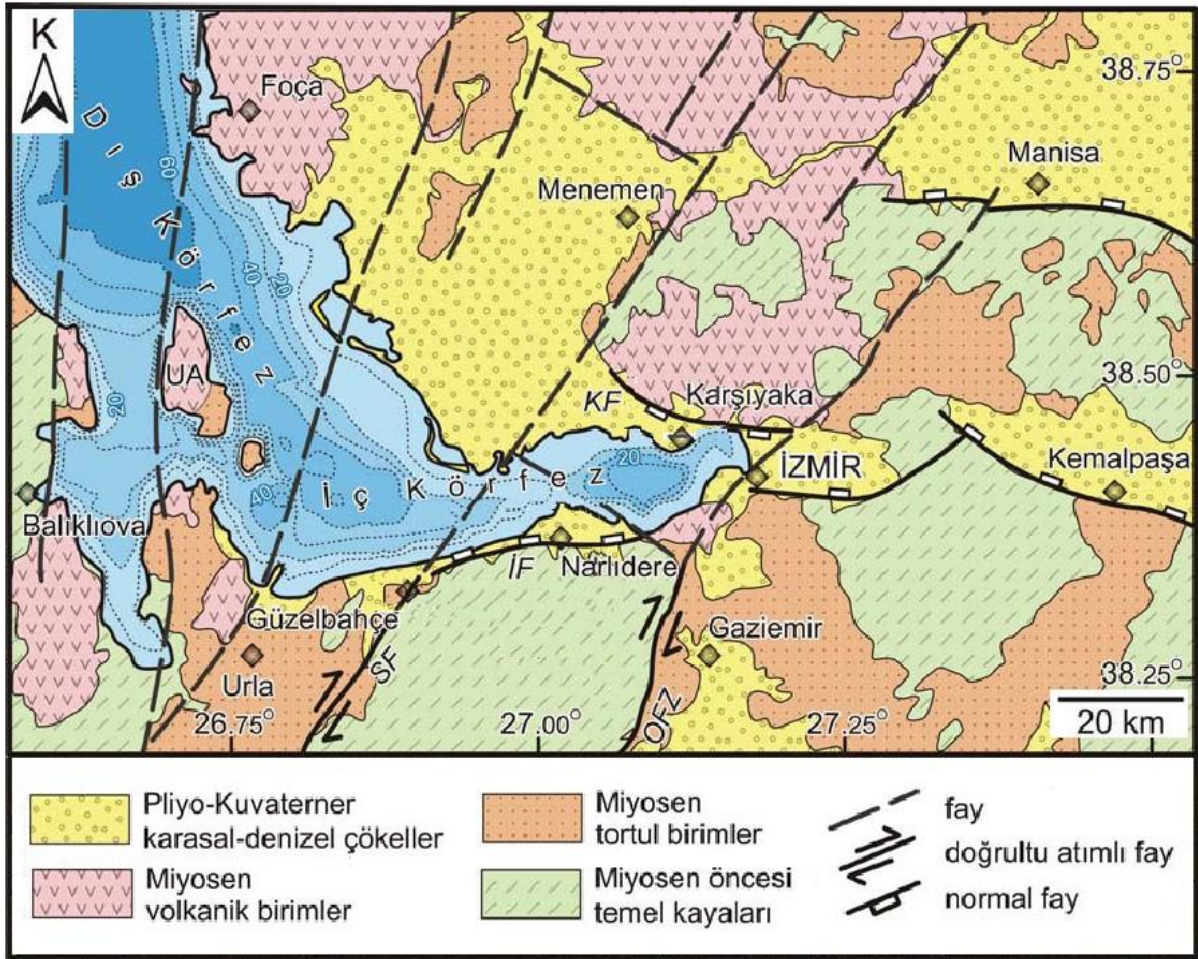
Pliyosen-Kuvaterner yaşlı (karasal-denizel çökeller); İzmir Körfezi'nin güneyinde Narlıdere-Güzelbahçe arasında kıyı hattına bakan dar bir band aralığında gözlenir. Körfezin kuzey'inde ise Karşıyaka'dan başlayıp, batıya Dış Körfez'e kadar uzanır. Körfezin

doğu tarafında Kuvaterner-Holosen yaşlı alüvyonlar ve Bornova çökelleri yer alır.

Miyosen tortulları Urla çevresinde, Gaziemir'in doğusunda, Karşıyaka'nın batısında (Bornova'nın KD kesimleri) yaygın, Menemen-Foça arasında kalan kesimlerde ise cepler halinde gözlenir. Bu temel birimi; kireçtaşı, kil, marn, konglomera temsil eder.

Balıklıova'nın güneyinde, Urla'nın KB'sında, Narlıdere'nin batısında, Karşıyaka'nın kuzeyi ile Foça ve yakın çevresinde yer alan temel birimler Miyosen yaşlı volkaniklerdir. Bu birimler; andezit bileşimindedir ve lav, tüf, aglomeralar ile temsil edilirler.

Miyosen öncesi temel kayalar ise en batıda Balıklıova'da, Urla'nın batısında yer alan Güzelbahçe Körfezi'nin güneyinde, Narlıdere'nin güneybatı kesimlerinde, Kemalpaşa'nın kuzeyinde, batısında ve Menemen'in doğusunda yer alır. Bu birimler, Kretase yaşlı İzmir Flişi, dolomitik kalker, mikalı kumtaşı ile kuvars-kalsit içerikli mineraller ile temsil edilirler.



Şekil 2. İzmir Körfezi ve çevresinin basitleştirilmiş jeoloji haritası; İF: İzmir Fayı, KF: Karşıyaka Fayı, OFZ: Orhanlı Fay Zonu, SF: Seferihisar Fayı, UA: Uzun Ada, (Sözbilir vd., 2008'den değiştirilmiştir)

İzmir İl'i, nüfus ve sanayi yoğunluğu, endüstriyel kapasitesi ve ulusal ekonomiye yaptığı katkısı açısından İstanbul ve Ankara'dan sonra üçüncü büyük şehirdir. Kent, aktif faylara oldukça yakın konumdadır ve Kuvaterner-Neojen yaşlı genç çökeller üzerinde hızla büyümektedir. Geçmişte can ve mal kayıplarına yol açan yıkıcı depremlere maruz kalan İzmir'de; M.S. 11 ile 1900 yılları arasındaki tarihsel dönemde hasar yapan 4'den büyük 887 deprem rapor edilmiştir. En fazla hasar ve can kaybı, 20.000 ölüm ile M.S. 17 ve 688 yıllarında meydana gelmiştir. Bunun dışında 23 Şubat 1653, 10 Temmuz 1688 ve 15 Ekim 1883 depremlerinde de 10.000'den fazla kişi yaşamını yitirmiştir. Makrosismik verilerin %83'ü, hasar yaratan depremlerin, İzmir Körfezi güneyinde meydana geldiğini ortaya koymaktadır. 1900 yılı sonrasına ait aletsel dönem deprem kayıtlarının %95'inin büyüklüğünün, 5,5 ve aşağısı olduğu ortaya konmuştur. Odak derinliklerinin % 86'sı, ilk 30 km'de meydana gelmiştir. Hasar yaratan depremler ise; 23 Nisan 1970 Manisa, 31 Mart 1928 Torbalı, 21 Eylül 1939 Dikili, 23 Temmuz 1949 Karaburun, 2 Mayıs 1953 Karaburun, 28 Mart 1969 Kula, 6 Kasım 1992 Doğanbey-Menderes, 14 Kasım 1997 Ege Denizi ve 17-21 Ekim 2005 Sığacık Körfezi depremleridir (Polat vd., 2008). Bölgede son yıllarda yapılan deniz jeofiziği ve jeolojisi araştırmalarında, bölgede doğrultu atımlı fayların, en az

normal atımlı faylar kadar önemli olduğunu ortaya konmuştur (Ocakoğlu vd., 2005). Odak mekanizması verileri; baskın normal atımlı faylara ek olarak doğrultu atım ve az sayıda ters faylanmalara da işaret etmektedir. Mekanizma çözümlerinin tekdüze olmaması yer kabuğunun heterojen yapısından kaynaklanmaktadır.

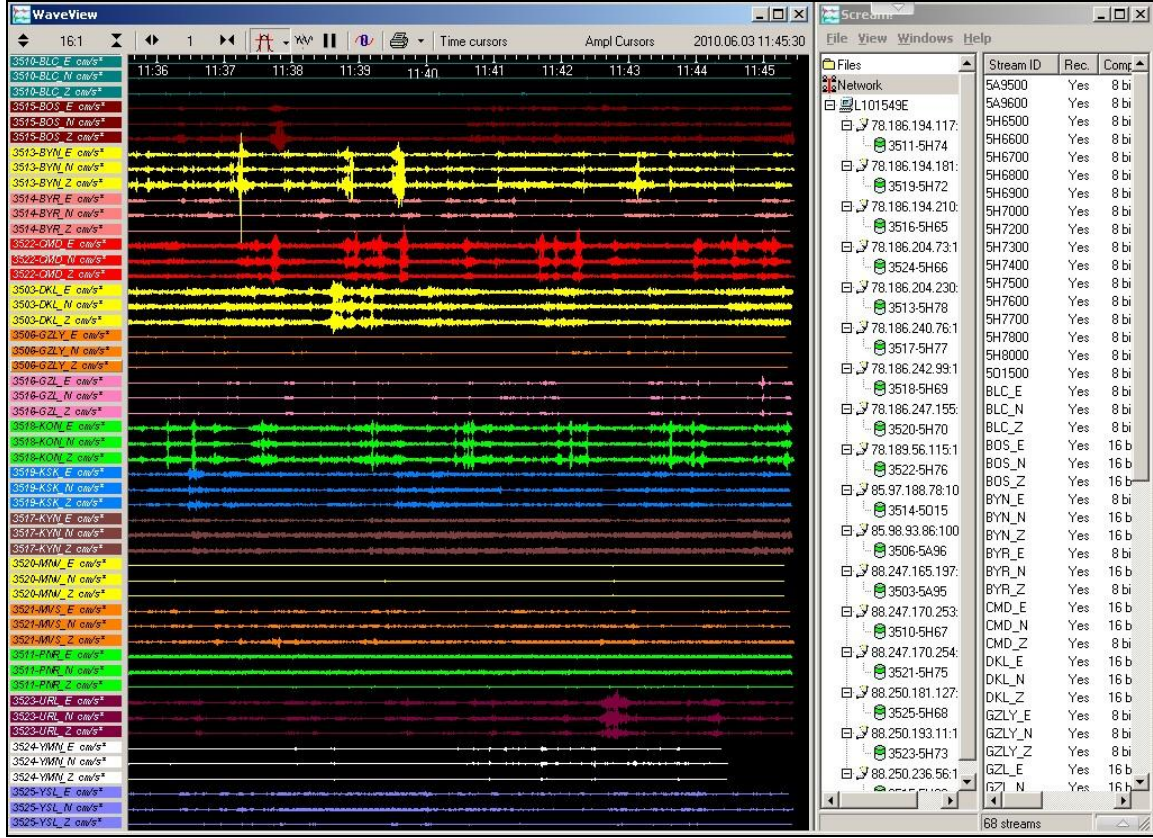
Materyal ve Metot

İzmirNET, bir kuvvetli yer hareketi deprem istasyon ağıdır ve temel kuruluş görevi; İzmir yerleşimini temsil eden farklı jeolojik birimlerin sismik davranışını incelemek, depremleri kaydetmek, sismik etkinliğini gözlemek ve bölgenin deprem tehlikesini daha iyi anlamaya yönelik araştırmalar yapmaktır. Bu yerel ağ, bölgede daha geniş çapta sürmekte olan mevcut proje çalışmalarına (İnan vd., 2007) metropol kent ölçeğinde detay bilgiler sunacak olması bakımından da ayrıca önemlidir. İzmirNET, ileride oluşturulacak İzmir Erken Uyarı ve Hasar Tahmin Sistemi için temel altlık teşkil edecektir (Polat vd., 2009; Gok vd., 2010).

İzmirNET, yaklaşık 50x20 km boyutundaki bir alana kurulmuştur. Tüm istasyonlar, yapı bağımsız (free-field) olacak şekilde doğrudan jeolojik birim üzerine konuşlandırılmıştır. Ege Bölgesinin uç sıcaklık ve

iklim şartlarına uygun özel galvaniz kulübe ile donatılan istasyonlar; 3-bileşenli Güralp CMG-5TD ivme sensör ve kayıtlı düzeneğine, 24-bit AD sayısal dönüştürücüye ve GPS zaman algılayıcısına sahiptir. Kayıtlılar saniyede 100 örnek (sps) almakta ve GCF (Güralp Compressed Format) uzantılı sürekli kayıt

yapmaktadır. Anlık gözlem, DEÜ-İzmir ve DDB-Ankara'da oluşturulan gözlem laboratuvarlarında yapılmaktadır. Verilerin transferi, bakımı ve kontrolü için SCREAM yazılımı kullanılmaktadır (Şekil 3).



Şekil 3. Üç bileşenli sismolojik istasyonlardan gelen eş-zamanlı verilerin, deprem izleme laboratuvarındaki ekran görüntüsü

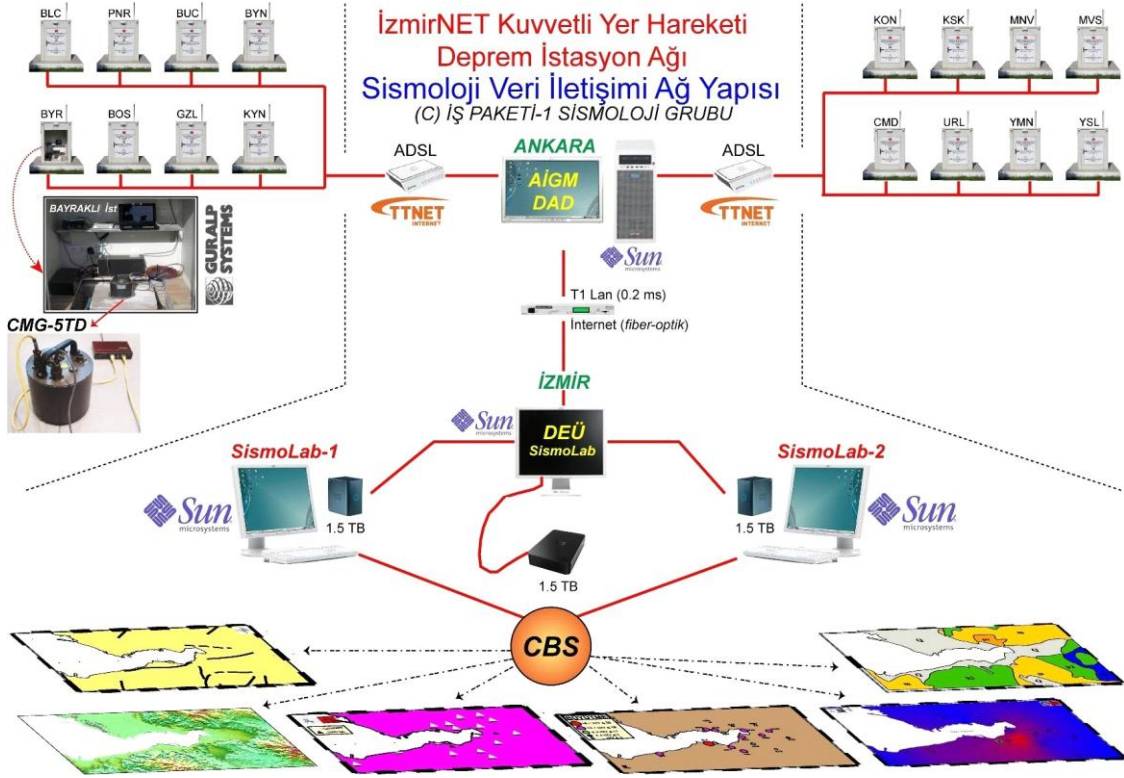
GCF formatı, birçok konvansiyonel dönüştürücü programı ile uyumlu olduğu için veriler SAC (Seismic Analysis Code) ve SEISAN gibi sismolojik analiz yazılımları uygun formatlara dönüştürülebilmektedir. İstasyonlardan gelen veriler Ankara'ya AADYB-DDB'na ADSL telefon hattı ile iletilmekte, oradan da internet alt yapısı ile eş-zamanlı (on-line) olarak DEÜ Sismoloji Laboratuvarına aktarılmaktadır (Şekil 4).

Bulgular ve Tartışma

İzmirNET yerel istasyon ağında deprem verilerinin analizinin başladığı Ağustos 2008'den Mart 2011 başına kadarki 2.5 yıllık dönemde meydana gelen 600'den fazla deprem arasında, en iyi lokasyon çözümlemesi yapılan 518 deprem, bu çalışma kapsamında analiz edilmiştir (Şekil 5). Deprem lokasyonlarının iyileştirilmesine katkı sağlaması amacıyla, yakın çevredeki DDB'na ait istasyon okumaları da kullanılmıştır. Lokasyonu yapılan

depremlerin %77'sinin rms hata oranı 0.15'e eşit veya küçük değerde, %33'lük orana karşılık gelen 175 depremin rms değeri ise 0.15'den büyüktür. Bu çalışma kapsamında analizi yapılan depremlerin %97'si, yer kabuğunun ilk 20 km'sinde yoğunlaşmaktadır. 34 km odak derinliğine sahip az sayıdaki depremlerin ise çoğunlukla 26.95°D boylamının batısında olduğu gözlenmiştir. İncelenen depremlerin büyüklük aralığı $1.0 \leq M_L \leq 4.0$ arasında değişmektedir. Çalışma dönemi içinde meydana gelen en büyük deprem, 8 Aralık 2009 (06h06 GMT) tarihinde Uzunada kuzeyinde (26.69°D - 38.57°K), $M_L=4.0$ büyüklüğünde kaydedilmiştir.

Depremlerin episantr dağılımı incelendiğinde bazı sismolojik kümelenme alanları tespit edilmiştir (Şekil 5). Bunlar; 1) Güzelbahçe güneyi, 2) Narlıdere-Balçova civarı, 3) Gaziemir-Buca hattı GD'sunda kalan kesim, 4) Manavkuyu-Bornova civarı, 5) Menemen çevresi, 6) İzmir Dış Körfez.



Şekil 4. İzmirNET deprem istasyon ağı veri iletişim alt yapısı (Gök vd., 2009)

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.

Narlidere-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 elde etme olanağı vardır. Giammanco vd., (2008) tarafından jeotermal bir bölgede yapılan çalışmada, akışkan basıncının deprem kümelenmeleri ile ilişkisi araştırılmış ve basınçlı gaz çıkışlarının, aynı zamanda deprem hiposantırlarının da meydana geldiği 7-12 km derinliklerde olduğu tespit edilmiştir. Kırıklı ve karmaşık bir tektonik yapıya sahip olan Narlıdere-Balçova bölgesinde, büyüklük aralığı $1.0 \leq M_L \leq 3.1$ arasında değişen depremler de büyük çoğunlukla jeotermal aktivite ile ilişkilidir ve depremlerin ortalama derinliği 10 km civarındadır. Büyüklüğü 5.8’e ulaşan ana şokların ve hasar yapma potansiyeli yüksek artçıların oluşumuna neden olan gerilme birikiminde ve sismosite artışında da önemli bir role sahiptir (Aksarı vd., 2010).

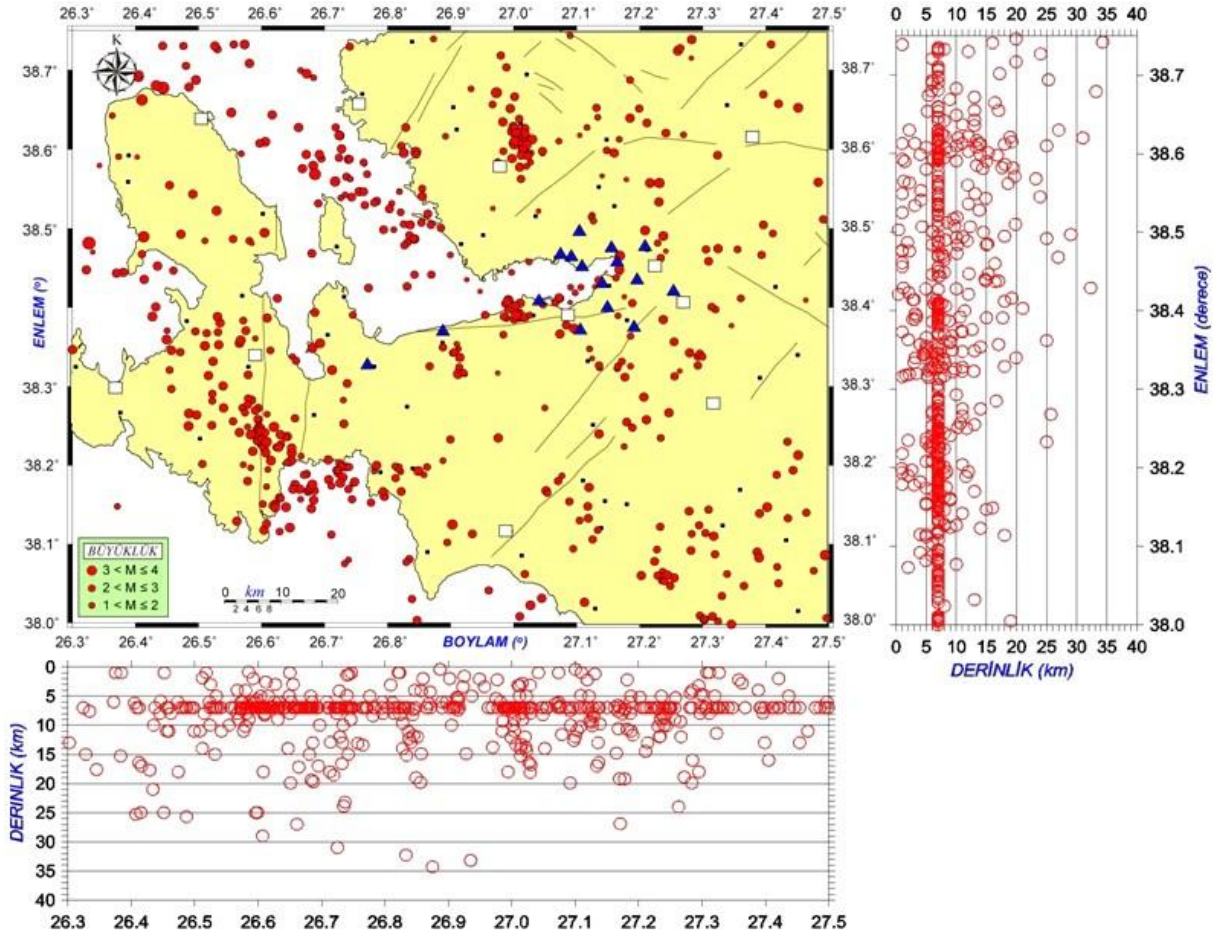
Gaziemir-Buca hattı GD’sunda kalan kesimde, diğer bölgelerle karşılaştırıldığında göreceli olarak saçılmış bir deprem etkinliği gözlenmektedir. İzmir fayının GD’sunda ve OTFZ’nun üzerinde yer alan bu kesimdeki depremlerin derinlikleri 25km’ya kadar gitmektedir. Bu bölgede kurulu bulunan İzmirNET ve DDB istasyon ağı çok fazla yeterli olmadığından, elde

edilen lokasyonlar daha az güvenilirdir. Bu bölgede yeterince deprem lokasyonu yapıldığında, daha doğru yoruma gidilebileceği umulmaktadır.

Manavkuyu-Bornova civarı, İzmir Körfezi doğusunda, Bornova çökelleri üzerinde yer almaktadır. İzmir’i tehdit etme potansiyeli olan sismojenik zon oluşumları gözlenmiştir. Lokasyonu yapılan depremler sayıca az olsa da, Körfez kıyı hattından doğuya doğru, belli kümelenme alanları seçilebilmektedir.

Menemen sismojenik zonu, bu proje kapsamında gözlenen kümelenme alanları içinde, belki de ulusal gözlem kurumları tarafından da tespit edilebilen zonlardan en belirgin olanıdır. Depremlerin odak derinlikleri, 20 km’ye kadar ulaşmaktadır ve bu zon içinde Kuzey’den Güney’e (38.65°’den 38.55°K) doğru, depremlerin derinlikleri de artmaktadır.

İzmir Dış Körfez’de KB-GD yönelimli bir çizgisel sismojenik zon gözlenmiştir. Nispeten saçılmış bir deprem etkinliği görüntüsü arz etse de, Çamaltı-Uzunada arasındaki denizel alandan başlayıp, Foça’nın GB’sına (deniz tarafına) doğru devam etmektedir. Bu zonun uzunluğu yaklaşık 30km ve eni 8 km’dir. Denizde gözlenen bu aktivitenin tek başına bir çizgisel hat mı, yoksa kendi içinde birden fazla tektonik sistem barındıran bir kümelenme bölgesi mi olduğuna yönelik nihai yorumlar; sürmekte olan deniz jeofiziği, jeolojisi ve sismotektonik araştırmalardan elde edilecek bulgularla değerlendirildikten sonra yapılacaktır.



Şekil 5. Ağustos 2008 - Mart 2011 tarihleri arasında çözümlenmesi yapılan 518 depremin lokasyon haritası

İzmirNET verileri kullanılarak elde edilen 2.5 yıllık deprem etkinlik haritasında detaylandırılan sismojenik zonlara ilave olarak; Zeytineli-Barbaros-Yağcılar üçgeninde, Balıklıova-Ildır-Barbaros üçgeninde ve Sığacık Körfezi'nde de deprem etkinliği gözlenmiştir. Sığacık; özellikle 17-21 Ekim 2005 (M=5.9) deprem dizini sonrası sismik aktivitenin yoğun olarak gözlemlendiği bir bölgedir. Faylanma sonucu oluşan deprem aktivitesinin Kuzey'deki Yağcılar Köy'üne kadar ulaştığı ve Gülbahçe Fayı'nın güney kolunun kırıldığı rapor edilmiştir (Emre vd., 2005). Ancak daha sonra yapılan ulusal ve uluslararası çalışmalar depreme neden olan faylanmanın, KB-GD ve KD-GB doğrultu eşlenik fay sistemlerinin Sığacık Körfezinde birleşmesiyle oluşan negatif çiçek yapısından kaynaklandığını ortaya koymuştur (Benetatos vd., 2006, Aktar vd., 2007, Sözbilir vd., 2005, 2009). İzmirNET verilerinde benzer sonuçlar gözlenmiş ve depremlerin Sığacık Körfezi merkez olmak üzere KB-GD uzanımlı sol yönlü ve KD-GB uzanımlı sağ yönlü doğrultulu atımlı fay sistemleri üzerinde geliştiği gözlenmiştir. Demircili-Yağcılar Fay Zonu (Sözbilir vd., 2009) Kuzey kolunda ise, herhangi bir sismik aktivite (son 2.5 yıllık İzmirNET deprem verilerinde) gözlenmemiştir.

Diğer sismik etkinlik bölgeleri; kuzeydeki Balıklıova-Ildır-Barbaros ve bunun güneyindeki Zeytineli-

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 ağda kaydedilen depremlerin sayısının ve kalitesinin artması gerekmektedir. Depremselliği yüksek olan bu bölgede, proje süresince İzmirNET ve DDB ulusal deprem istasyonları tarafından yeterli sayıda ve kalitede kayıt alınabileceği beklenmektedir. 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 22 depremin fay düzlemi çözümleri, P-dalgası ilk hareket yönü kullanılarak incelenmiştir (Çizelge 1). 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.

Çizelge 1. Ağustos 2008 - Mart 2010 tarihleri arasında İzmirNET deprem istasyon ağından elde edilen 22 depremin ($2.1 \leq M_L \leq 3.2$) odak mekanizması çözüm parametreleri

No	Tarih	Zaman (GMT)	Enl. (°)	Boyl. (°)	H (km)	M_L	GAP	RMS	İST	Doğrultu (°)	Dalım (°)	Kayma (°)
1	20080810	0222	38.376	27.098	12.6	3.0	83	0.22	20	193.0	60.0	-14.0
2	20081009	0315	38.387	27.240	8.8	2.8	155	0.21	16	80.0	51.0	-145.0
3	20081118	2006	38.389	27.010	3.2	2.6	80	0.26	15	1.0	86.0	-74.0
4	20081118	2011	38.396	27.012	3.2	2.4	78	0.28	14	1.0	1.0	-179.0
5	20081119	0607	38.389	27.016	2.8	2.2	180	0.24	16	200.0	62.0	-46.0
6	20090204	0019	38.508	26.828	9.7	2.4	179	0.25	19	197.0	83.0	146.0
7	20090215	1401	38.421	27.100	12.0	2.0	96	0.20	16	129.0	69.0	10.0
8	20090227	1451	38.318	26.914	5.2	3.1	84	0.23	21	83.6	80.0	-78.0
9	20090401	2327	38.393	26.957	3.4	2.5	177	0.28	17	157.0	62.0	-8.0
10	20090522	1611	38.345	26.906	6.8	2.4	179	0.24	18	101.0	39.0	-80.0
11	20090527	1454	38.346	26.909	7.0	2.4	83	0.24	19	69.0	48.0	-111.0
12	20090822	1921	38.409	27.069	6.3	2.6	92	0.25	16	79.0	22.0	-103.0
13	20090822	1929	38.368	26.986	9.3	2.4	165	0.10	16	324.0	65.2	-53.1
14	20090828	0044	38.414	27.076	6.7	2.7	83	0.15	16	96.0	50.0	-84.0
15	20090830	0806	38.415	27.074	6.1	2.7	106	0.17	15	116.0	49.0	-65.0
16	20091125	1835	38.428	27.109	4.9	2.1	126	0.22	14	228.8	39.9	-75.9
17	20091219	1443	38.437	27.137	16.4	2.6	118	0.17	16	359.0	41.0	-12.0
18	20091219	1842	38.440	27.165	14.8	2.2	150	0.14	15	313.0	79.0	-6.0
19	20091221	0733	38.517	27.126	9.5	2.2	95	0.17	18	223.7	35.8	-69.2
20	20091221	1221	38.512	27.129	8.5	2.2	117	0.19	19	228.0	34.0	-60.0
21	20100123	1924	38.468	27.171	26.9	3.2	84	0.18	16	87.5	83.6	-39.6
22	20100306	1826	38.569	27.143	59.2	1.5	130	0.13	18	250.1	78.9	-10.2

İncelenen 22 depremin 15'i, normal veya doğrultu atım bileşene sahip baskın normal faylanma mekanizmasına sahiptir. 6 deprem, doğrultu atım bileşenli fay düzlemi çözümüne sahipken, İç Körfezin doğu tarafında meydana gelen 1 deprem, doğrultu atım bileşene sahip baskın ters faylanma vermiştir. Depremlerin beş tanesi İzmir Körfezi kuzeyinde yer alırken, 16 tanesinin körfezin güneyinde ve doğusunda yoğunlaştığı gözlenmiştir (Şekil 6).

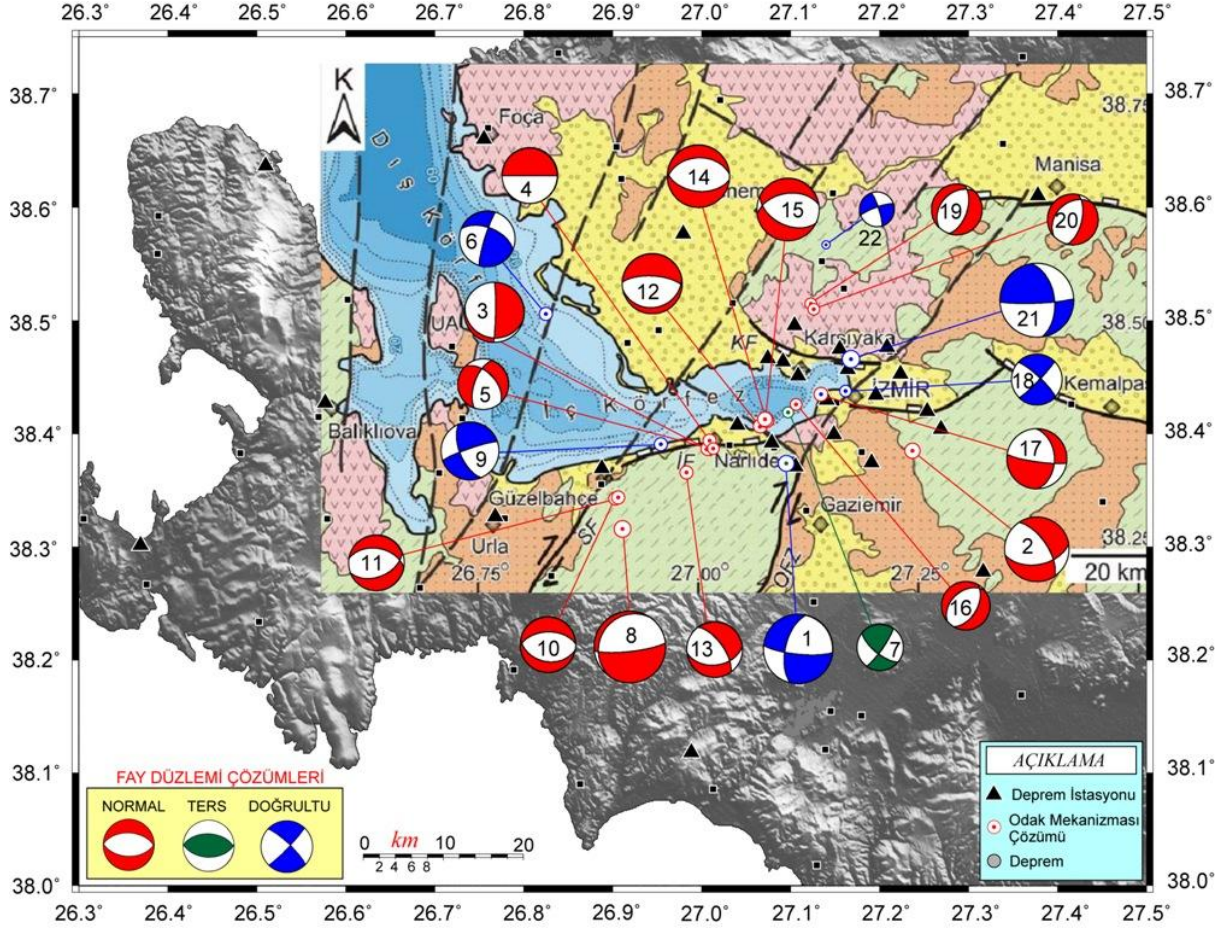
İzmir deprem etkinliği haritasında İç Körfezin güneyinde yer alan Narlıdere-Balçova kümelenme bölgesindeki üç depremin (No. 3, 4) fay düzlemi çözümleri incelendiğinde, D-B uzanımlı normal fay mekanizmasına sahip olduğu gözlenmiştir. Aynı durum biraz daha doğuda İç Körfez'de yer alan diğer üç deprem (No. 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 bileşeni olan baskın normal faylanmayı işaret etmektedir (Aksarı vd., 2010; Cuenot vd., 2006). 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.



Şekil 6. İzmirNET ve DDB ulusal istasyon okumaları kullanılarak yapılan 22 depremin odak mekanizması çözümü

İzmir Fayının batı kesimlerinde Güzelbağçe'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 kol (Urla Fayı) üzerindedir. Bu deprem, Dış Körfez sismik etkinlik alanı içinde fay düzlemi çözümü

yapılan tek depremdir ve olası Urla Fay hattının denizdeki uzantısı ile yapısal uyum içindedir.

İzmir Körfezi kuzeyinde meydana gelen ve analizi yapılan son 3 depremden ikisi Karsiyaka kuzeyinde yer almaktadır (No. 19, 20). Her iki deprem birbiri ile aynı mekanizma özelliğine sahiptir ve KD-GB doğrultulu normal fay karakterine sahiptir. 21) no'lu deprem ise OTFZ ile SF Zonu arasındaki D-B doğrultulu Karsiyaka normal fayı üzerindedir. Odak mekanizması çözümüne göre bu deprem, normal fay bileşenine sol yönlü baskın doğrultu atımlı faydır.

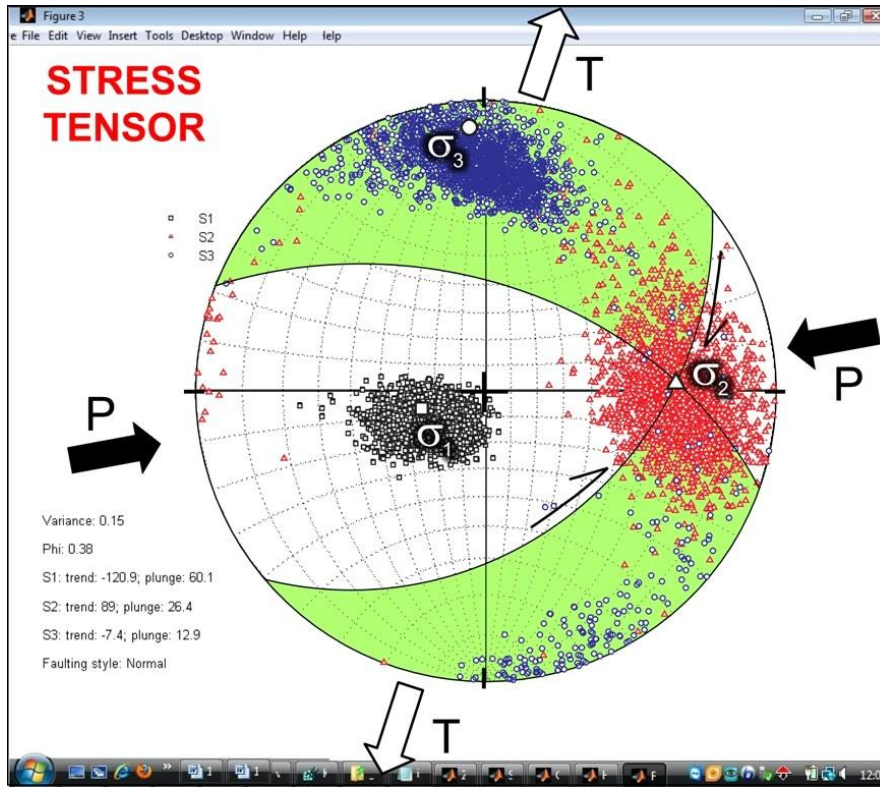
İzmirNET'de son 2.5 yıllık sürede kaydedilen deprem verilerinden, uygun kriter ve koşulları sağlayan 22 depremin odak mekanizması çözümlerinden elde edilen sonuçlar, nihai yorum olarak algılanmamalıdır. Ortaya kona sismolojik bulguların; deniz jeofiziği ve jeolojisi

çalışmalarından elde edilen sonuçlarla birlikte yorumlanması gerekmektedir ve buna yönelik çalışmalar halen devam etmektedir.

Öte yandan, odak mekanizması çözümlerinden elde edilen 22 odak mekanizması bilgilerinden hareketle Michael (1987) algoritması kullanılarak gerilme tensörü analizi çalışması da yapılmış ve bölgede hakim olan gerilme rejimi incelenmiştir. Bu amaçla, fay düzlemi çözüm parametreleri (doğrultu, eğim yönü ve kayma değerleri) kullanılmıştır. Eğim yönü değerleri için, Çizelge 1'de verilen doğrultu açısı değerlerine $+90^\circ$ ilave edilmiştir.

Elde edilen sonuca göre, İzmir çevresinin hakim gerilme rejimi, yaklaşık K-G doğrultulu baskın açılma rejimidir (Şekil 7).

Asal gerilme eksenlerinin dağılımı incelendiğinde, en büyük asal gerilme ekseninin (σ_1) düşeye (merkeze) daha yakın olduğu görülmüştür. Merkezde olması, tam normal faylanma-açılma rejimini işaret etmiş olurdu. Bu durumda küçük (σ_3) ve orta asal gerilme eksenlerinin (σ_2) dış çember üzerinde olması beklenirdi. İzmir için yapılan gerilme tensörü çalışmasında; σ_2 ve σ_3 gerilme eksenleri, her ne kadar tam dış çember üzerinde değillerse bile, merkezden de oldukça uzaktır. Böylesi bir model; çalışma alanında hakim olan gerilme rejiminin; doğrultu atım bileşenine sahip baskın bir normal faylanma (açılma rejimi) olduğunu ortaya koymaktadır.



Şekil 7. Odak mekanizması çözümlerinden hareketle Michael (1987) algoritmasına göre elde edilen gerilme tensörü analizi ve hakim gerilme rejimi

Sonuçlar

Bu çalışma kapsamında İzmirNET yerel kuvvetli yer hareketi deprem istasyon ağı tarafından kaydedilen deprem verileri incelenmiştir. Son 2.5 yıllık dönemde meydana gelen 518 deprem analiz edilmiştir. Lokasyonu yapılan depremlerin rms hata oranı düşüktür. Analizi yapılan depremler çoğunlukla yer kabuğunun ilk 20 km'sinde yoğunlaşmaktadır. Güzelbahçe güneyinde, Narlıdere-Balçova civarında, Gaziemir-Buca hattında, Manavkuyu-Bornova

civarında, Menemen çevresinde ve İzmir Dış Körfez'de deprem etkinliği gözlenmiştir. 22 depremin fay düzlemi çözümleri, P-dalgası ilk hareket yönü kullanılarak incelenmiştir. Ağırlıklı olarak normal veya doğrultu atım bileşene sahip baskın normal faylanma veren odak mekanizmaları elde edilmiştir. Bu çözümlerden hareketle gerilme tensörü analizi çalışması da yapılmış ve bölgede hakim olan gerilme rejiminin K-G doğrultulu baskın açılma rejimi olduğu ortaya konmuştur (Gök, 2011).

Teşekkür

Bu araştırma, DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Öğrencisi Elçin GÖK'ün, doktora tez çalışmasının bir bölümü kapsamında yapılmıştır ve 106G159 no'lu TÜBİTAK-KAMAG projesi tarafından desteklenmiştir. Bilimsel katkı ve önerilerinden dolayı Hasan Sözbilir ve Günay Çifçi'ye; idari desteklerinden ötürü Zafer Akçığ'a, Murat Nurlu'ya, Ulubey Çeken'e, Murat Keçecioglu'na ve proje personeline teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Aksarı, D., Karabulut, H. ve Özalaybey, S. 2010. Stress interactions of three moderate size earthquakes in Afyon, southwestern Turkey. *Tectonophysics*, 485, 141-153.
- Aktar, M., Karabulut, H., Ozalaybey, S. ve Childs, D. 2007. A conjugate strike-slip fault system within the extensional tectonics of Western Turkey. *Geophys. J. Int.*, 171, 3, 1363-1375.
- Aktuğ, B. ve Kılıçoğlu, B. 2006. Recent crustal deformation of İzmir, Western Anatolia and surrounding regions as deduced from repeated GPS measurements and strain field. *Journal of Geodynamics*, 41, 471-484.
- Benetatos, C., Kiratzi, A., Ganas, A., Ziazia, M., Plessa, A. ve Drakatos, G. 2006. Strike-slip motions in the Gulf of Sığacık (Western Turkey). Properties of the 17 October 2005 earthquake seismic sequence. *Tectonophysics*, 426, 263-279.
- Cuenot, N., Charlety, J., Dorbath, L and Haessler, H. 2006. Faulting mechanisms and stress regime at the European HDR (Hot Dry Rock) site of Soultz-sous-Forets-France, *Geothermics*, 35, 561-575.
- Emre, Ö., Özalp, S., Doğan, A., Özaksoy, V., Yıldırım, C. ve Göktaş, F. 2005. İzmir Yakın Çevresinin Diri Fayları ve Deprem Potansiyelleri. MTA Rapor No: 10754, Ankara.
- Eyidoğan, H. 1988. Rates of crustal deformation in Western Turkey as deduced from major earthquakes. *Tectonophysics*, 148, 83-92.
- Giammanco, S., Palano, M., Scaltrito, A., Scarfi, L. ve Sortino, F. 2008. Possible role of fluid overpressure in the generation of earthquake swarms in active tectonic areas: The case of the Peloritani Mts. Sicily, Italy). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 178, 795-806.
- Gök, E. 2011. Investigation Of Earthquake Hazard And Seismic Site Characteristic In The Examples Of Bursa And Izmir. Doktora Tezi, DEÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 130s.
- Gök, E., Polat, O., Çeken, U., Yılmaz, D., Arslan, B., Tüzel, Z. ve Akçığ, Z. 2009. GIS-Based Seismological Mapping Studies at the IzmirNET Strong-Ground Motion Seismic Network. Üçüncü DEÜ-CBS Symposium, İzmir.
- McClusky, S., Balassanian, S., Barka, A. et al. 2000. Global positioning system constraints on plate kinematics and dynamics in the eastern Mediterranean and Caucasus. *Journal of Geophysical Research*, 105, 5695-5719.
- Michael, A.J. 1987. Use of focal mechanisms to determine stress: a control study, *Journal of Geophysical Research*, 92, 357-368.
- Ocakoğlu, N., Demirbağ, E. ve Kuşçu, İ. 2005. Neotectonic structures in İzmir Gulf and surrounding regions (Western Turkey). evidences of strike-slip faulting with compression in the Aegean extensional regime. *Marine Geology*, 219, 155-171.
- Polat, O., Gök, E. ve Yılmaz, D. 2008. Earthquake Hazard of Aegean Extension Region, Turkey. *Turkish J. Earth Sci.*, 17, 593-614.
- Polat, O., Ceken, U., Uran, T., Gok, E., Yilmaz, N., Beyhan, M., Koc, N., Arslan, B., Yilmaz, D. ve Utku, M. 2009). IzmirNet: A Strong-Motion Network in Metropolitan Izmir, Western Anatolia, Turkey. *Seismological Research Letters*, 80, 5, 831-838.
- Sözbilir, H., Sümer, Ö., Uzel, B., Ersoy, Y., Erkül, F., İnci, U. ve Helvacı, C. 2005. İzmir'deki deprem dizilerinin nedeni, faylardaki çiçek yapısı. *Cumhuriyet Bilim Teknik Dergisi*, 976, 18-19.
- Sözbilir, H., Uzel, B., Sümer, Ö., İnci, U., Ersoy, E.Y., Koçer, T., Demirtaş, R., Özkaymak, Ç. 2008. D-B uzanımlı İzmir Fayı ile KD-Uzanımlı Seferihisar Fayı'nın Birlikte Çalıştığına Dair Veriler: İzmir Körfezi'ni Oluşturan Aktif Faylarda Kinematik ve Paleosismolojik Çalışmalar. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 51, 2, 91-114.

- Sözbilir, H., Sümer, Ö., Uzel, B., Uzel, B., Ersoy, Y., Erkül, F., İnci, U., Helvacı, C., Özkaymak, Ç. 2009. 17-20 Ekim 2005-Sığacık Körfezi (İzmir) depremlerinin sismik jeomorfolojisi ve bölgedeki gerilme alanları ile ilişkisi. Türkiye Jeoloji Bülteni, 52, 2, 217-238.
- Şengör, A.M.C., Görür, N. ve Şaroğlu, F. 1985. Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, 37, 227-264.
- Taymaz, T., Jackson, J.A. ve McKenzie, D.P. 1991. Active tectonics of the North and Central Aegean Sea, Geophys. J. Int., 106, 433-490.
- Uzel, B. ve Sözbilir, H. 2008. A First Record of a Strike-slip Basin in Western Anatolia and Its Tectonic Implication: The Cumaovası Basin. Turkish J. Earth Sci., 17, 559-591.
- Uzel, B., Sözbilir, H. ve Özkaymak, Ç., 2011. Neotectonic Evolution of an Actively Growing Superimposed Basin in Western Anatolia: The Inner Bay of İzmir. Turkish J. Earth Sci. (baskıda).
- Pamukcu, O. ve Yurdakul, A. 2008. Isostatic Compensation in Western Anatolia with Estimate of the Effective Elastic Thickness. Turkish J. Earth Sci., 17, 545-557.