

ARMUTLU SİSMİK AĞI (ARNET) VE ARMUTLU-YALOVA-GEMLİK ÇEVRESİNİN TEKTONİK ÖZELLİKLERİ

B. Tunç¹, D. Çaka¹, S. Irmak¹, S. Tunç², H. Woith³, Ş. Barış¹, M. F. Özer¹, B. Lühr³, E. Günther³, H. Grosser³,
Jochen Zschau³

¹ Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, Türkiye
² Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi Ulusal Deprem İnceleme Müdürlüğü, İstanbul, Türkiye
³ Helmholtz Centre Potsdam, GFZ German Research Centre for Geosciences, Potsdam, Germany

berna@kocaeli.edu.tr

ÖZET:

Armutlu Yarımadası, Türkiye'nin en aktif tektonik yapılarından biri olan Kuzey Anadolu Fayı (KAF)'ın batı ucunda, oldukça yüksek mikro-deprem aktivitesine sahip olan ve termal alanlar ile karakterize edilen bir bölgedir. Bölgedeki neo-tektonik özellikler, mikro-deprem aktivitesi ve termal alanlar arasındaki ilişkilerin incelenmesi bu bölgedeki tektonik yapının ortaya konulmasında büyük önem taşımaktadır. Bölgede daha önce çeşitli kurumlar tarafından yerleştirilmiş deprem istasyonları olmasına rağmen, bahsedilen ilişkilerin daha ayrıntılı olarak ortaya konulabilmesi amacıyla 2005 yılında Armutlu Sismik Ağı, ARNET kurulmuştur. Armutlu Yarımadası ve yakın çevresine yerleştirilen 26 adet deprem istasyonundan oluşan ARNET sismik ağı, Kocaeli Üniversitesi Yer ve Uzay Bilimleri Araştırma Merkezi (KOU-YUBAM) ve Alman GeoForschungsZentrum (GFZ) kurumu ortaklığı ile işletilmektedir. Sismik ağa ait veriler, YUBAM laboratuvarlarında işlenmekte ve bu veriler kullanılarak Armutlu Yarımadası'nın tektonik özelliklerinin belirlenmesine yönelik deprem tomografisi, odak mekanizması çözümleri ve makaslama dalgası yayınımları konularında çalışmalar devam etmektedir. ARNET sismik ağı ve veriler kullanılarak yapılan ve gelecekte yapılacak çalışmaların, bölgenin tektonik özelliklerinin belirlenmesinde önemli katkılar sağlayacağı düşünülmektedir.

ANAHTAR KELİMELEER : Sismik Ağ, ARNET, Armutlu Yarımadası

1. GİRİŞ

Türkiye üzerine Kuzey Anadolu Fayı (KAF) ve Doğu Anadolu Fayı (DAF) olmak üzere iki önemli kırık sistemi bulunmaktadır. Bu iki kırık sisteminden KAF sağ yönlü doğrultu atım özelliği gösterirken, DAF sol yönlü doğrultu atım özelliği göstermektedir. Türkiye'nin genel tektonik özellikleri bu iki fay sisteminin etkisi altındadır. Marmara Bölgesi KAF'ın batı ucunda bulunmaktadır ve yüzyıllardan beri irili ufaklı çok sayıda deprem ile sarsılmaktadır. 1999 yılında Kocaeli (17.08.1999, Mw=7.4) ve Düzce (12.11.1999, Mw=7.1) bölgelerinde iki büyük deprem meydana gelmiştir. Her iki depremde de çok sayıda can ve mal kaybı olmuştur. Marmara Bölgesi'nin sosyal ve ekonomik anlamda öneme sahip olması, yüksek nüfus yoğunluğu ve bulundurduğu sanayi kuruluşları dikkate alındığında, bölgenin tektonik özelliklerinin ayrıntılı olarak ortaya konulması konusunu önemli kılmaktadır. Armutlu Yarımadası da, Marmara Bölgesi'nin doğusunda yer alan, tektonik yapısı, üzerinde bulundurduğu termal alanlar ile araştırılmaya değer bölgelerden biridir. 1999 depremlerinin ardından bölgede artış gösteren mikro-deprem aktivitesi, yeraltı su seviyesi ve basıncındaki değişim arasındaki bir ilişki olup olmadığı da dikkat çeken bir başka araştırma konusu olmuştur. Bu çalışmada, Armutlu Yarımadası ve yakın çevresine yerleştirilen deprem istasyonlarından oluşan ARNET sismik ağı ve bu ağa ait verilerin değerlendirilmesine yönelik çalışmalardan bahsedilecektir.

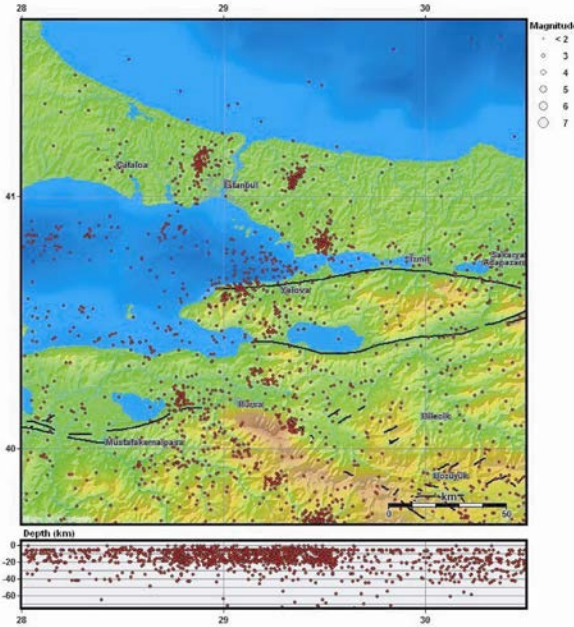
2. BÖLGENİN TEKTONİĞİ ve DEPREMSELLİĞİ

Armutlu Yarımadası, Marmara Bölgesi'nin doğusunda ve 1999 Kocaeli kırığının batı ucunda yer almaktadır. KAF'ın iki kolu, yarımada'nın kuzey ve güneyinden geçmektedir. Yarımada, bu tektonik yapıların da etkisiyle oldukça aktif bir depremselliğe ve karmaşık tektonik özelliğe sahiptir.

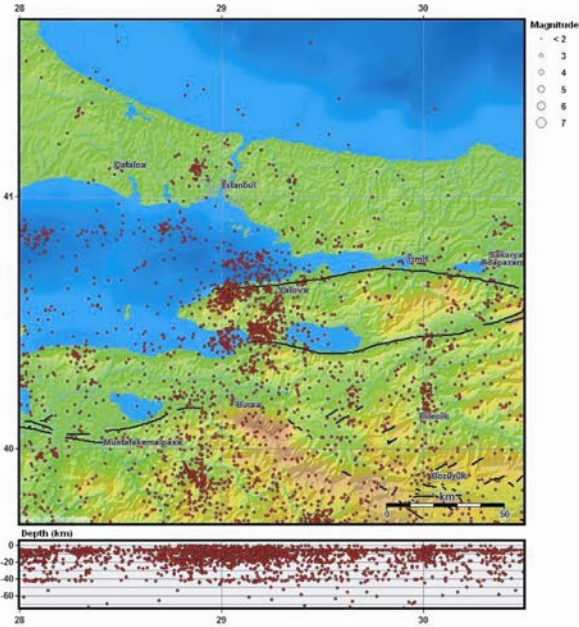
Anadolu'da neo-tektonik dönem, Arap ve Avrasya levhalarının Erken Miyosen den Orta Miyosene kadar olan dönemde çarpışması ile başlamıştır (Şengör 1979, Şengör 1980, Şengör ve Yılmaz 1981, Görür 1992, Yılmaz 1992). Bu çarpışmanın etkisiyle Anadolu Bloğu'nun doğu kısmında kalınlaşma meydana gelmiştir ve KAF ve DAF sistemleri oluşmuştur (McKenzie 1972, Dewey ve Şengör 1979, Şengör 1980). KAF ve DAF sistemlerinin etkisiyle Anadolu Bloğu, batıya doğru yılda 2 mm hızla hareket etmektedir. Bu hareketin de etkisiyle, Ege Bölgesi'nde bir açılma rejimi ve horst-graben yapıları görülmektedir (McKenzie 1972, Şengör 1980, Reilinger 1997). Armutlu Yarımadası, KAF'ın iki kolu arasında horst yapısı göstermektedir (Eisenlohr 1997).

Armutlu Yarımadası üzerinde bazı jeotermal alanlar bulundurmaktadır. Bunlardan en sıcak olanları, Yarımada'nın kuzey (Yalova-Termal) ve batı ucundadır (Armutlu). Bu sıcak su alanlarının yüzey suyu sıcaklıkları 60°C-70°C'a ulaşmaktadır. Gemlik, Orhangazi, Keramet ve Soğucak termal alanları ise bölgenin güney ve doğusunda yer almaktadır ve sıcaklıkları 20°C-30°C civarındadır. Bu termal alanların yerleri ile bölgesel fayların yerleri karşılaştırıldığında, aralarında bir ilişki olabileceği düşünülmektedir (Eisenlohr 1997).

Aletsel ve tarihsel dönem deprem kayıtlarına bakıldığında, Armutlu Yarımadası ve çevresinin aktif bir depremselliğe sahip olduğu görülmektedir. Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü kataloglarından alınan verileri incelendiğinde, özellikle 1999 depremleri ardından bölgedeki mikro-deprem aktivitesinin artış ve kümelenmeler gösterdiği dikkat çekmektedir (Şekil 1a ve b).

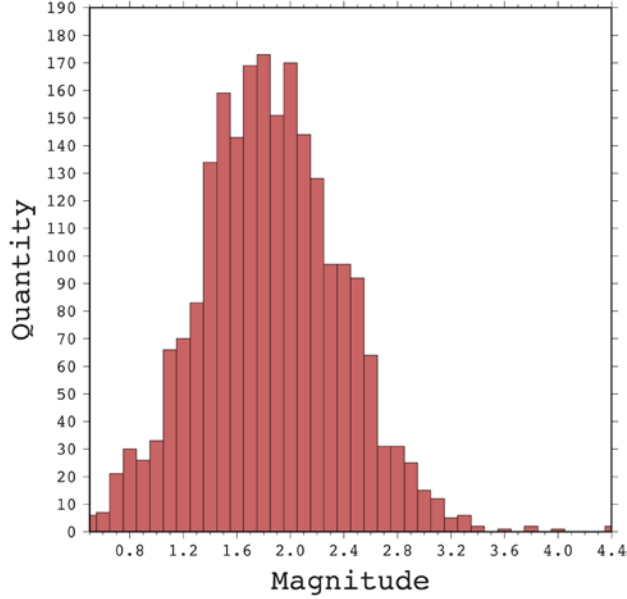


Şekil 1a. Armutlu Yarımadası'nın 2002-2005 Mayıs dönemindeki depremselliği.



Şekil 1b. Armutlu Yarımadası'nın 2005 Haziran-2009 Ekim dönemindeki depremselliği.

KAF'ın iki kolunun batı uçlarında meydana gelen bu kümelenmelerin bölgedeki termal alanlar ile ilişkili olabileceği düşünülmektedir. Depremlerin derinlik kesitlerine bakıldığında, sismojenik zonun yaklaşık olarak 10-20km derinlikte olduğu görülmektedir. Yine bölgede meydana gelen depremlerin büyüklükleri incelendiğinde, orta büyüklükteki depremlerin yanı sıra, genellikle küçük ve mikro-deprem olarak sınıflandırılan, 0.5 ve 4.5 arasında değişiklikleri görülmektedir (Şekil 2).

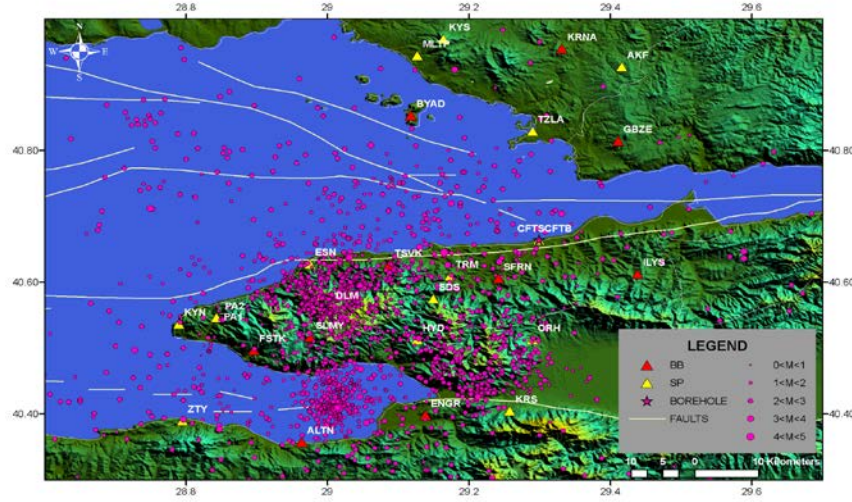


Şekil 2. Armutlu Yarımadası'nda ARNET tarafından kaydedilen depremlerin büyüklüklerinin histogram dağılımı

Burada kullanılan depremlerin büyüklükleri (Mb) 0.5 ile 4.4 arasında sınırlandırılmıştır. Dağılımdan görüldüğü gibi, bölgede meydana gelen depremlerin büyüklükleri genellikle 1.0 ve 3.0 arasında değişmektedir. ARNET kataloğunda $M_b < 0.5$ olan 6 adet deprem daha bulunmaktadır. Bunun yanında, 22.10.2006 tarihinde, 14:00:21'de Gemlik'de meydana gelen $M_L = 5.2$ büyüklüğündeki deprem de katalogta bulunmaktadır. Ancak, en küçük ve en büyük magnitüd arasındaki boşluk nedeniyle histogram üzerinde bu depremleri göstermek mümkün olmamıştır.

3. ARNET SİSMİK AĞI

Armutlu Yarımadası'ndaki deprensellik, jeotermal aktivite ve tektonik özellikler arasındaki ilişkiyi daha iyi anlayabilmek amacıyla Armutlu Sismik Ağı (ARNET) 2005 yılının Eylül ayında kurulmuştur. Kocaeli Üniversitesi Yer ve Uzay Bilimleri Araştırma Merkezi ve Alman Araştırma Merkezi GeoForschungZentrum (GFZ) işbirliği ile işletilen sismik ağ 26 adet deprem istasyonu bulundurmaktadır. ARNET sismik ağına ait deprem istasyonlarının bölgeye dağılımı Şekil 3'de, istasyonların genel özellikleri ise Tablo1'de listelenmiştir.



Şekil 3. Armutlu Yarımadası'nın depremselliği ve ARNET istasyonlarının bölgedeki konumları.

Şekil 3'de aynı zamanda, Ekim 2005-Aralık 2010 tarihleri arasında ARNET sismik ağı tarafından kaydedilen depremler de gösterilmiştir. Buradaki deprem dağılımları, Boğaziçi Üniversitesi verileri ile elde edilen dağılım ile karşılaştırıldığında, depremlerin gösterdiği kümelenmelerin aynı bölgelerde yoğunlaştıkları görülmektedir.

ARNET, Armutlu Yarımadası ve çevresine yerleştirilmiş, 25 adet sismik istasyonu ve 1 adet hidrotermal istasyondan (IPA2) oluşmaktadır. Sismik ağı, 16 tanesi kısa periyot, 10 tanesi geniş band olmak üzere 26 adet weak motion sismometre ve 6 adet ivmeölçerden oluşmaktadır. Kısa periyot sismometrelerin Reftek sayısallaştırıcıları, 2009 yılında Güralp sayısallaştırıcılar ile değiştirilmiştir. Böylece, sismik ağın duyarlılığını önemli ölçüde geliştirmiştir. Kısa periyot sismometreler için band genişliği 1Hz-50Hz, geniş band sismometreler için 0.033Hz-50Hz, ivmeölçerler için ise DC-100Hz olarak belirlenmiştir. 2008 yılında Çiftlik istasyonuna (CFT) 98m derinliğinde bir kuyu içerisine Lennartz Le-3Dlite kuyu sismometresi yerleştirilmiştir. Bu istasyonda iki adet cihaz bulunmaktadır. Bunlardan bir tanesi kuyu içerisine yerleştirilen kısa periyot sismometre (Lennartz Borehole) (CFTB) ve diğeri de kuyu ağzına yerleştirilmiş olan bir ivmeölçerdir (Guralp CMG5T ivmeölçer). IPA2 istasyonunda, 500m derinliğindeki bir kuyu ağzına yerleştirilen basınç sensörü ve bir sismograf yerleştirilmiştir. Bu istasyonda, sismometre ile depremler kaydedilirken, eş zamanlı olarak kuyudaki yer altı suyu seviyesindeki ve basıncındaki değişim gözlemlenmektedir.

Tablo1. ARNET sismik ağındaki bulunan istasyonların listesi.

NO	STATION NAME	STATION CODE	LATITUDE	LONGITUDE	ELEVATION (m)	PROVINCE	TYPE	COMM. TYPE	VEL ACC P
1	KAYISDAGI	KYS	40,9696500	29,1643000	429	ISTANBUL	SP	ONLINE	VA
2	AKFIRAT	AKF	40,9273333	29,4165000	210	ISTANBUL	SP	OFFLINE	V
3	ESENKOY	ESN	40,6280000	28,9751667	200	YALOVA	SP	ONLINE	VA
4	IHLAS POMPA1	IPA1	40,5458333	28,8415000	85	YALOVA	SP	OFFLINE	P
5	IHLAS POMPA2	IPA2	40,5465000	28,8430000	85	YALOVA	SP	OFFLINE	V/P
6	KOYUNDERE	KYN	40,5370000	28,7896667	48	YALOVA	SP	OFFLINE	VA

7	ORHANGAZI	ORH	40,5133333	29,2896667	170	BURSA	SP	ONLINE	VA
8	KARSAK	KRS	40,4050000	29,2581667	170	BURSA	SP	ONLINE	VA
9	ZEYTINBAGI	ZTY	40,3900000	28,7948333	70	BURSA	SP	ONLINE	VA
10	HAYDARIYE	HYD	40,5131667	29,1270000	390	BURSA	SP	OFFLINE	V
11	TERMAL	TRM	40,6095000	29,1735000	204	YALOVA	SP	ONLINE	V
12	DELMECE	DLM	40,5625600	29,0038800	728	YALOVA	SP	OFFLINE	V
13	KURNA	KRNA	40,9550000	29,3316667	150	ISTANBUL	BB	ONLINE	V
14	GEBZE	GBZE	40,8150000	29,4113333	200	KOCAELI	BB	OFFLINE	V
15	CIFTLIK (S)(brh)	CFTS	40,6641667	29,2993333	0	YALOVA	SP	ONLINE	VA
15	CIFTLIK (B)(brh)	CFTB	40,6641667	29,2993333	-98	YALOVA	SP	ONLINE	V
16	SAFRAN	SFRN	40,6061667	29,2418333	115	YALOVA	BB	ONLINE	V
17	TESVIKIYE	TSVK	40,6266667	29,0873333	70	YALOVA	BB	ONLINE	V
18	ILYASKOY	ILYS	40,6128333	29,4390000	240	YALOVA	BB	ONLINE	V
19	SELIMIYE	SLMY	40,5168667	28,9757667	460	YALOVA	BB	OFFLINE	V
20	FISTIKLI	FSTK	40,4975000	28,8955000	60	YALOVA	BB	ONLINE	V
21	ENGURUCUK	ENGR	40,3985000	29,1386667	75	BURSA	BB	ONLINE	V
22	ALTINTAS	ALTN	40,3578333	28,9638333	30	BURSA	BB	ONLINE	V
23	BUYUKADA	BYAD	40,8538333	29,1181667	175	ISTANBUL	BB	ONLINE	V
24	SU DUSEN	SDS	40,5753100	29,1499600	204	YALOVA	SP	OFFLINE	V
25	TUZLA	TZLA	40,8211865	29,2072150	7	ISTANBUL	SP	ONLINE	V
26	MALTEPE	MLTP	40,9440717	29,1268667	39	ISTANBUL	SP	ONLINE	V

ARNET sismik ağına ait istasyonlardan 18 tanesinin verisi online olarak YUBAM laboratuvarına gelmektedir. Veri aktarımı ADSL aracılığıyla yapılmaktadır. Ağın diğer istasyonları için online veri akışının sağlanması çalışmaları halen devam etmektedir. Online istasyonların tamamında, sayısallaştırıcı, veri iletişim modülü ve ADSL modem, telefon hattı kullanılarak kontrol edilebilmektedir. Bu sayede, istasyonlarda meydana gelebilecek iletişim sorunları, ofisten araziye gitmeden kolaylıkla çözülebilmektedir. Bu da önemli ölçüde zaman ve mali kaynak tasarrufu sağlamaktadır.

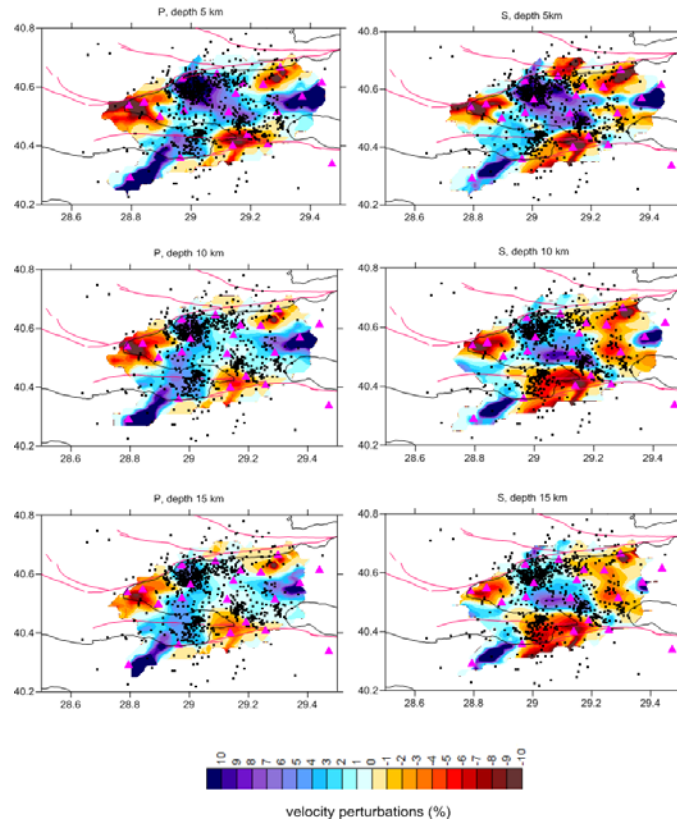
3.1 Veri İşlem Aşamaları

ARNET sismik ağından elde edilen veriler, YUBAM laboratuvarlarında, zSacWin algoritması kullanılarak değerlendirilmektedir. zSacWin algoritması, M. Yılmaz (2007, kişisel iletişim) tarafından, P ve S dalgaları varış zamanlarını kullanarak deprem parametrelerinin belirlenmesine yönelik geliştirilmiş bir algoritmadır. Bu algoritma kullanılarak, tüm istasyonlara ait sürekli veri içerisinde deprem verileri seçilmekte ve oluş zamanı, depremin konumu, büyüklüğü ve odak mekanizması çözümü gibi bazı deprem parametreleri belirlenebilmektedir. Bu işlemin ardından veriler, SAC, MiniSEED ve GCF formatlarında “sürekli veri” olarak saklanmaktadır. Bunun yanında, seçilmiş olan faz okumaları da “katalog verisi” olarak yedeklenmektedir.

ARNET kataloğu, 2005-2010 yılları arasındaki faz okumalarını bulundurmaktadır ve günümüzde, Armutlu Yarımadası ve çevresi için elde edilmiş güvenilir bir veri seti elde edilmiştir.

Bunun yanında, veri depolama ve otomatik deprem konumu belirlemek için, 2009 yılı Eylül ayında, SeisComp3 yazılımının son versiyonu kurulmuştur. Bu yazılım GEOFON sismik ağı için geliştirilmiştir ancak günümüzde dünyadaki pek çok kurum tarafından yaygın olarak kullanılmaktadır. SeisComp3, veri depolama, veri kalitesinin anında kontrolü, eş zamanlı veri işleme, deprem alarmı, otomatik deprem seçimi ve konumunun belirlenmesi, eş zamanlı olmayan faz okuması yapılabilmesi gibi çok sayıda olanak sağlamaktadır. SeisComp3 yazılımının ARNET sismik ağına uyarlanması işlemi tamamlanmış, ancak henüz test aşamasında olan bazı uygulamaları nedeniyle online veri değişimine açılmamıştır.

Bölgedeki karmaşık tektonik yapı ve yüksek mikro-deprem aktivitesi dikkate alındığında, bölgeye ait yerel bir hız yapısının belirlenmesi ve ani hız değişimlerinin görüldüğü yerlerin belirlenmesi önem taşımaktadır. ARNET verileri, kaliteli olmaları ve deprem dağılımları ile istasyon dağılımlarının iyi olması nedeniyle tomografik ters çözüm için oldukça uygundur. Bu nedenle, bölgeye ait 3 boyutlu hız yapısı, tomografik ters çözüm yöntemi ile belirlenmeye çalışılmış, bu işlem için, Koulakov ve diğ., 2006 tarafından geliştirilen LOTOS algoritmasının son versiyonu olan LOTOS-11 kullanılmıştır. Bu algoritmanın, bir-boyutlu hız modelinin belirlenmesi, yüksek çözünürlük ve çeşitli test seçeneklerinin olması gibi bazı avantajları da bulunmaktadır. Çalışmanın ayrıntıları devam etmesine rağmen, ilk sonuçlar elde edilmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. Armutlu Yarımadası'na ait ilksel tomografik ters çözüm sonuçları.

Şekil 4’de 5, 10 ve 15 km derinlikler için yatay hız değişimleri gösterilmiştir. Daha önceki depremsellik haritalarında görünen deprem kümelenmeleri burada da görülmektedir ve bu kümelenmelerin genellikle yüksek hızlı bölgelere karşılık geldikleri düşünülmektedir. Bölgedeki termal alanların beklendiği gibi yüksek hızlı bölgelerde oldukları görülmektedir.

4. SONUÇ

Marmara Bölgesi, Türkiye’nin en aktif depremselliğe sahip bölgelerinden biridir. Özellikle, 1999 yılında meydana gelen iki önemli depremin ardından artçı sarsıntılar 3 yıl boyunca da devam etmiş ve bölgenin depremselliğini önemli ölçüde arttırmıştır. Armutlu Yarımadası da bu deprem aktivitesinden etkilenmiştir. Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi’ne ait veriler kullanılarak bölgedeki deprem aktivitesi incelendiğinde, 1999 kırığının genel olarak sakin olmasına rağmen batı ucunda mikro-deprem aktivitesinin yüksek olduğu görülmüştür. ARNET sismik ağına ait 2005-2010 yıllarını kapsayan verilerin dağılımı incelendiğinde ise, depremlerin bazı saçılmalar ve gruplanmalar gösterdiği görülmüştür. Bölgenin jeolojisi ve tektoniği hala tartışılan konular arasındadır. Mikro-deprem dağılımlarının göstermiş olduğu saçılmalara, bölgedeki küçük ve orta büyüklüklerde çeşitli kırık sistemlerinin ve karmaşık tektonik yapının neden olduğu düşünülmektedir.

IPA2 istasyonu sürekli olarak veri alan bir istasyondur. Çeşitli depremler için, deprem öncesi ve sonrası yer altı suyundaki değişimler gözlenmiştir. Bu konudaki incelemeler halen devam etmesine rağmen, genel olarak basınçta dinamik azalmı ardından statik artış gözlenmektedir.

ARNET tarafından kaydedilen depremlere ait varış zamanları kullanılarak, tomografik ters çözüm yöntemi ile, bölgeye ait 3 boyutlu hız yapısı belirlenmiştir. Tomografik ters çözüm işlemi sonucunda, bölgede bilinen sıcak su alanlarının yerleri, tomografi sonuçları ile desteklenmiş durumdadır. Bu çalışmada Armutlu Yarımadası için elde edilen tomografi sonuçları ile, Marmara Bölgesi için yapılan tomografi sonuçlarının Armutlu Yarımadası’na ait çözümleri karşılaştırıldığında da, çözümlerin önemli ölçüde uyum içerisinde oldukları görülmüştür (Nakamura ve diğ., 2002, Barış ve diğ., 2005, Tunç 2008). Bu sonuçlara göre, kabuğun üst kısımları genellikle düşük hız yapısı göstermektedir. Bu durum, bölgedeki kırılğan metamorfik kayalar işaret etmektedir. Tomografik ters çözüm sonuçlarından aynı zamanda, bölgenin yatay ve düşey yönde ani hız değişimler gösterdiği ortaya konulmuştur.

Tomografik ters çözüm çalışmasının ilk sonuçları incelendiğine, daha önceki depremsellik haritalarında görünen deprem kümelenmelerinin bu sonuçlarda da karşılaşılmaktadır. Kümelenmelerin genellikle yüksek hızlı bölgelere karşılık geldikleri, bölgedeki termal alanların ise, beklendiği gibi düşük hız farklılıklarının olduğu bölgelere karşılık geldikleri görülmektedir. Yatay yönde ani hız değişimlerinin olması, bölgenin tektonik olarak ne kadar karmaşık bir yapıya sahip olduğunu desteklemektedir.

Bölgede meydana gelen depremlerin odak mekanizmaları incelendiğinde, genellikle sağ yönlü doğrultu atım gösteren faylanmalar ve kısmen normal ve ters faylanmalar görülmektedir. Bu sonuç da bölgenin karmaşık tektonik yapısını destekler niteliktedir.

KAYNAKLAR

Barış, S., Nakajima, J., Hasegawa, A., Honkura, Y., Ito, A., Üçer, S. B., (2005). “Three-Dimensional Structure of Vp, Vs and Vp/Vs in the upper Crust of the Marmara Region, NW Turkey”, Earth Planets Space, 57, 1019–1038.

- Dewey, J.F., Şengör, A.M.C., (1979). “Aegean and Surrounding Regions: Complex Multi-plate and Continuum Tectonics in a Convergent Zone”, Geol. Soc. Am. Bull., 90, 84-92.
- Eisenlohr, T., (1997). “The thermal springs of the Armutlu Peninsula (NW Turkey) and their relationship geology and tectonic”, In: Active Tectonics of Northwestern Anatolia- The Marmara Poly-project (eds. C. Schindler & M. Pfister), p. 197-228, ETH-Zürich.
- Görür, N., (1992). “A Tectonically Controlled Alluvial Fan which Developed into a Marine Fan-delta Basin at a Complex triple junction: Miocene Gildirli Formation of the Adana Basin, Turkey”, Sediment. Geol., 81, 243-252.
- Koulakov, I., and Sobolev, S. V., Asch, G., (2006). “P and S velocity images of the litosphere-asthenosphere system in the Central Andes from local-source tomographic inversion”, Geophys. J. Int., 167, 106-126.
- McKenzie, D., (1972). “Active Tectonics of the Mediterranean Region”, Geophys.J. R. Astr. Soc. 30, 109–185.
- Nakamura, A., Hasegawa, A., Ito, A., Üçer, B., Barış, Ş., Honkura, Y., Kono, T., Hori, S., Pektaş, R., Komut, T., Çelik, C., Işıkara, A.M., (2002). “P-Wave Velocity Structure of the Crust and Its Relationship to the Occurrence of the 1999 İzmit, Turkey, Earthquake and Aftershocks”, Bulletin of the Seismological Society of America, 92, 1, 330-338.
- Reilinger, R.E., McClusky, S.C., Oral, M.B., King, R., Toksöz, M. N., Barka, A., Kinik, I., Lenk, O., and Sanlı, I., (1997). “Global Positioning System Measurements of Present Day Crustal Movements in the Arabia-Africa-Eurasia Plate Collision Zone”, J. Geophys. Res., 102(B5), 9983-9999.
- Şengör, A.M.C., (1979). “The North Anatolian Transform Fault: Its Age, Offset and Tectonic Significance”, Geol. Soc., London, 136, 269-282.
- Şengör, A.M.C., (1980). “Türkiye’nin Neotektoniğinin Esasları”, Türkiye Jeol. Kurumu Konf., 2, 40.
- Şengör, A.M.C., Yılmaz, Y., (1981). “Tethyan Evolution of Turkey: A Plate Tectonic Approach”, Tectonophysics, 75, 181-241.
- Tunç, B., (2008). “Determination of the Three Dimensional Velocity Structure of the Marmara Region by Tomographic Method”, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi.
- Yılmaz, Y., (1992). “New Evidence and Model on the Evolution of the Southeast Anatolian Orogen”, Geol. Soc. Am. Bull., 105, 251-271.