

Gölcük ve Düzce Depremleri... Yüzey Kırıkları ve Sismolojik Özellikler



Efteni Gölü güneyi, Cevizlik Mahallesi'nde deprem kırığının genel görünümü. Burada yer değiştirme düşey yönde 250 cm, sağ yönde ise 263 cm'dir. Düzce depremi sonrası (Foto 4).

Ülkemiz, Dünyanın önemli aktif deprem kuşaklarından biri olan Alp-Himalaya orojenik kuşağında yer alır. Coğrafyamızda, karmaşık jeolojik ve jeodinamik yapısından dolayı çok sayıda, önemli büyüklükte deprem oluşturabilecek boyutlarda aktif kırık (fay) zonu bulunuyor. Özellikle, Marmara denizi ve çevresinin Neojen-Kuvaterner dönemindeki yapısal ve paleocoğrafik evrimine ilişkin yapılan birçok araştırmada, bölgedeki paleocoğrafik değişimler genellikle Kuzey Anadolu Fayı (KAF)'nın yapısal evrimiyle özdeşleştiriliyor.

17 Ağustos 1999 Gölcük ve 12 Kasım 1999 Düzce depremleri, Bolu'nun batısında üç ana kola ayrılan Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ)'nin kuzey kolu üzerinde oluşan ve son yüzyılda ülkemizde önemli can kayıplarına ve ağır hasarlara neden olan büyük depremlerdendir (Şekil 1 ve 4). Bu depremler, nüfus ve sanayinin en yoğun olduğu Marmara bölgemizi etkiledi; çok sayıda can kaybı ve

milyarlarca dolarlık ekonomik zarara yol açtı. Son depremler, Kuzey Anadolu Fayı (KAF) üzerinde, 1939 yılında başlayan ve doğudan batıya doğru göç eden deprem etkinliğinin sürmekte olduğunu ortaya koydu. Yerbilimcilere göre bu bölgelerde oluşan depremler, sürpriz olarak değerlendirilmiyor. Bu nedenle, son depremler yazılı ve görsel yayın organlarında yapılan tartışmaların da etkisiyle, daha batıda olası yeni bir depremin habercisi olarak algılanmaya başlandı. Yeri ve geometrisi hakkında yeterli bilgi sahibi olmasak da KAF'ın Marmara Denizi'nden geçtiği ve bundan sonraki olası depremlerin bu fayın deniz içinde kalan bölüm-

lerinde gerçekleşeceği konusunda yerbilimciler aynı düşüncede. Bu öngörünün Marmara bölgesi ve çevresinde ortaya koyduğu yüksek risk nedeniyle, konu yerbilimcilerin yanı sıra kamuoyunda da çok tartışılır oldu. Başlangıçta konunun uzmanları arasında yapılan tartışmalar, medyanın da zorlamasıyla, uzmanlık alanı deprem sismolojisi ve saha jeolojisi olmayan birçok bilim adamının da katılımıyla alevlendi, giderek bilimsellikten uzaklaşan, kurgusal (spekülatif) yorumlara dönüştü.

Marmara denizinde olası depremlerin yeri ve faylanma mekanizmasının önceden kestirilebilmesi, öncelikle son depremlerin yüzey kırıkları ve sismolojik parametrelerinin iyi tanımlanmasına bağlıdır. Bu sayede daha iyi tahminler yapılabilir. Son günlerde yapılan tartışmalardaki yorumlar, bu depremlerde meydana gelen yüzey kırıklarının özellikleri ve bunların bölgesel aktif tektonik yapı içindeki konumlarının yeterince bilinmediği, buna bağlı olarak yapılan sismotektonik yorumların da eksik olduğunu gösteriyor. Buna karşın, gelecekte de benzer büyüklükteki depremlerin bölgede meydana geleceği bilimsel bir gerçektir.

Doğu Marmara Bölgesinin Aktif Fayları

Marmara denizi ve çevresinin jeolojik ve sismotektonik yapısı hakkında çok değişik yorumlar yapılıyor. Doğu Marmara bölgesinin aktif fayları Şekil 1'de gösterilmektedir. 1999 Gölcük ve Düzce depremleri ve yüzey kırıkları -Akyazı ovasına rastlayan 20 km'lik

Tablo 1: 17 Ağustos 1999 Gölcük Depremi Yüzey Kırıklarının Özellikleri (Şekil 1 - 2).

Segment Adı	Uzunluk (km)	Kırılma (Faylanma) Türü	Maksimum Atım (cm)	Maksimum Atım Bölgesi	Atımın Azalma Yönü
Gölcük	30 Kara (6.5)	SYDA*	417	Doğu	Batı
Tepetarla	Kara 16.5	SYDA*	310	Batı	Doğu
Arifiye	21	SYDA*	490	Batı	Doğu
Karadere	15	SYDA*	210	Batı	Doğu
Aksu	8.5	SYDA*	160	Batı	Doğu
Gölyaka	8	SYDA*	30	Batı	Doğu
Kavaklı	3	Normal fay	260	Orta	Doğu
Sapanca	3	Normal fay	20	Doğu Yanısı	Doğu
Akyazı	10	Sağ yönlü ve açılma bileşenli	40	Batı	Doğu

*Sağ Yönlü Doğru Atım

bölümü dışında – bölgedeki varlığı çok iyi bilinen, KAF zonu üzerinde yer alan faylarda meydana gelen hareketler sonucu oluşmuştur. Erzin-can'dan Bolu'ya kadar çizgisel uzanım- lı kırıklardan oluşan KAF, Bolu batı- sından itibaren, kabaca Doğu-Batı yönünde uzanan iki ana kola ayrılır. Bolu ovası, Kaynaşlı, Akyazı üzerinden İz- mit körfezine ulaşan uzanımı, fayın kuzey kolunu oluşturur. Bu bölgedeki faylar Düzce fayı ile İzmit-Adapazarı ve Çınarcık segmentleridir (fay parça- ları). Kuzeydoğu ucunda Gümüşova ve Yiğilca bindirmelerine geçen Hen- dek fayı da kuzey koldaki sistemin bir parçasıdır. Güney koldaysa doğudan batıya doğru Abant, Dokurcun, Gey- ve-İzmit, Gemlik ve Zeytinbağı seg- mentleri bulunur (Şekil 1). Bolu ile Marmara Denizi arasında iki büyük fay ile sınırlanmış (fay kaması şeklinde gelişmiş olan bölge) Almacık dağı ve Armutlu yarımadası yükseltilerini sı- nırlandıran KAF'nın bu iki kolu, orta bölümde kuzeybatı-güneydoğu uza- nımlı Dokurcun segmentiyle birbirine bağlanır.

Güney kesimde Abant segmenti üzerinde yakın geçmişte, 1957 (Ms=7.0) ve Dokurcun-Mudurnu seg- menti üzerinde 1967 (Ms=7.1) yılların- da yüzey kırılması da gerçekleşen iki yıkıcı deprem meydana gelmişti. Ku- zey kolda ise 1943 Hendek depremi (Ms= 6.3) dışında son yüzyılda yıkıcı deprem olmamıştı. 17 Ağustos 1999 Gölcük ve 12 Kasım 1999 Düzce dep- remleri kuzey koldaki Çınarcık, İzmit- Adapazarı ve Düzce fayları üzerinde gerçekleşmişti (Şekil 1 ve 5). Her iki depremde gelişen yüzey kırıklarının toplam uzunluğu 220 km'dir. 17 Ağus- tos 1999 Gölcük depremi yüzey kırık-



Şekil 1: Doğu Marmara bölgesinin aktif fayları ve 17 Ağustos 1999 Gölcük ve 12 Kasım 1999 Düzce depremlerinin yüzey kırıkları (Emre ve diğ. 1998'den değiştirilerek alınmıştır).

ları Laledere deltası (Yalova) ile Gölyaka arasında yaklaşık 140 km uzunluğundadır ve Düzce'nin yaklaşık 6 km güneybatısında Gölyaka yakınlarında biter (Şekil 1, 2, 3 ve Tablo 1). Bu kırığın batıdaki devamına, deniz altında yer alan Çınarcık segmenti de eklen- diğinde, 17 Ağustos 1999 depreminde gelişen kırıkların uzunluğu 180 km'ye ulaşır.

12 Kasım 1999 Düzce depremi Gölyaka'yla Kaynaşlı'nın doğusu ara- sında kalan bölgede 43 km uzunlu- ğunda bir yüzey kırığı oluşturmuştur (Şekil 3). Bu kırıklar üzerinde hem dü- şey hem de yanal yönlü farklı yerde- ğiştirmeler gelişmiştir. 12 Kasım 1999 Düzce depremi yüzey kırıkları, Düzce fayının batı ucunda 17 Ağustos 1999 depremi kırıklarının sonlandığı bölge- den başlar ve doğuya doğru ilerler. Bu özelliğiyle ilk depremde gelişmiş kı-

rıkların kesintisiz devamı biçiminde- dir. Gölyaka yöresinde yaklaşık 10 km'lik bölümde iki deprem kırığı bir- birini üzerlemiştir (birbiriyle çakış- mıştır).

17 Ağustos 1999 Gölcük depre- minde kırılan Düzce fayı üzerindeki yanal yerdeğiştirmeler çatlaklar biçi- minde doğuya doğru azalım gösterir- ler. Ancak, 12 Kasım 1999 Düzce dep- remi, süregelen kırık üzerinde değil, sağa sıçrayarak gelişmiştir ve bu böl- gelerde düşey yönlü yerdeğiştirmeler egemendir. En büyük düşey yerdeği- ştirmeler Eften Gölü'nün güneyinde görülür (Foto 1).

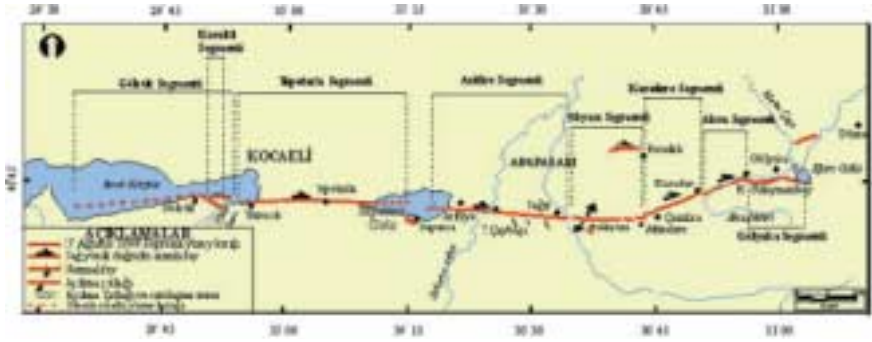
17 Ağustos 1999 Gölcük depre- minden sonra doğu kesimde Düzce ve Hendek fayları üzerine stres transfer edildiği (gerilme aktarıldığı), dolayı- sıyla bu faylardaki olası deprem riski- nin arttığı bilinmekteydi.



Düzce depremi sonrası, Fındıklı köyü (Kaynaşlı) deprem kırığının genel görünümü (Foto 1).



Dağdibi köyü yöresinde deprem kırığı üzerinde meydana gelmiş açılma çöküntüleri (Foto 2).



Şekil 2: 17 Ağustos 1999 Gölcük depremi yüzey kırığı haritası (Emre ve diğ., 1999a).

Gölcük-İzmit Depremi Yüzey Kırıkları

Bu depremde gelişen yüzey kırıkları belirgin bir biçimde Hersek deltası ile Gölyaka arasında Doğu-Batı yönünde, 140 km'lik alanda izleniyor. Batıda İzmit körfezi güneyinde uzanan kırık zonu, doğuya doğru Yuvacık-Tepetarlar üzerinden Sapanca Gölü'ne ulaşır ve göl içinden geçer. Doğuya doğru olan bölümünde boydan boya Sakarya ovasını kateden kırık zonu, Gölyaka doğusunda Eften Gölü güneyine kadar izlenir. Gölcük ve Sapanca Gölü bölgesinde yüzey kırıklarının bazı bölümleri su altındadır. Yüzey kırıkları Hersek deltasıyla Akyazı arasında doğu batı uzanımındadır. Düzce fayına rastlayan Akyazı ile Gölyaka bölümünde ise KD-GB yönlüdür. Gölcük-Gölyaka arasında yüzey kırıkları dokuz alt segmentten oluşur (Şekil 2). Bu ana zon dışında, Hendek fayı üzerinde de 5 km uzunluğunda yüzey kırılması gelişmiştir (Şekil 1). Bu dokuz segmentten altısı (Gölcük, Tepetarlar, Arifiye, Karadere, Aksu ve Gölyaka segmentleri) sağ yönlü, doğrultu atımlı faylanma sonucu gelişmiştir. Doğrultu atımlı segmentler sağ yönde sıçramalı olarak birbirini izler. En doğuda yer alan Gölyaka segmenti, kırığın sonlandığı ve hareketin Düzce fayının doğu bölümüne aktarıldığı bir transfer yapısı biçimindedir. Doğrultu atımlı faylar arasındaki sıçrama bölgelerinde yer alan Kavaklı, Sapanca ve Akyazı segmentleri ise ara segmentlerdir. Bunlardan Kavaklı ve Sapanca segmentleri normal faylanma, Akyazı segmentiyse sağ yönlü doğrultu atım bileşenli açılma çatlağı biçiminde gelişmiştir.

Ana kırık zonu dışında yer alan Hendek fayındaki yırtılmalarsa sağ yönlü doğrultu atımlıdır. Bunların dışında, Yalova'nın doğusundaki Lâledere deltasında birkaç kilometre uzunluğundaki zon boyunca, dağınık halde, normal bileşeni olan sağ yönlü doğrultu atımlı kırıklar izlenmiştir (Şekil 2).

17 Ağustos 1999 Gölcük depremi yüzey kırıklarına ilişkin saha gözlemleri tablo 1'de özetlenmiştir. Bu tablo şekil 2 ile karşılaştırıldığında depreme yol açan kırılmanın mekanizması hakkında önemli bilgiler sunar. Kırıkların niteliğine göre 17 Ağustos 1999 depremi sağ yönlü doğrultu atımlı faylanma sonucudur. Normal faylanma ve açılmalar bu sistem içindeki ikincil yırtılmalara (kırılmalar) karşılık gelir. Doğrultu atımlı segmentlerin atım miktarları farklıdır ve en fazla atımlar üç bölgede yoğunlaşmıştır. Bu maksimum atım bölgeleri, Gölcük ve Tepetarlar segmentlerinin birbirine yakın uçlarıyla Arifiye ve Karadere segmentlerinin batı uçlarıdır. Gölcük segmenti'nin doğusunda kalan tüm doğrultu atımlı segmentlerde, atımlar batıdan doğuya azalmaktadır. Atım miktarında gözlenen bu değişimler, 17 Ağustos 1999

depreminde karada izlenen kırıklarda üç makrosismik episantr bulunduğu biçiminde yorumlanabilir. Sismolojik veriler ana şokun Gölcük ve Tepetarlar segmentleri arasında Gölcük yakınında oluştuğunu gösteriyor. Bu durum, doğrultu atım miktarındaki artış/azalış ilişkileriyle birlikte değerlendirildiğinde, kırılmanın ilk olarak Gölcük yakınında başladığı ve buradan doğu ve batı yönünde ilerlemiş olabileceğini ortaya koyuyor. Tepetarlar segmentinde doğuya ilerleyen kırılma sırasıyla, Arifiye ve Karadere segmentlerini etkilemiştir (muhtemelen tetiklemiştir). Gölcük batısına rastlayan Çınarcık segmentinde yeterli veri toplanamadığından, bu kesimdeki faylanma hakkında yorum yapılamıyor.

Düzce Depremi Yüzey Kırıkları

12 Kasım 1999 Düzce depremi, Düzce fayının doğu yarısı üzerinde gerçekleşti. 17 Ağustos 1999 depreminde bu fayın Akyazı-Gölyaka arasında kalan 30 km'lik batı bölümünde yüzey kırılması gelişmişti (Şekil 1, 3). İlk depremde Aksu segmentinin doğu ucunda izlenen 150 cm'lik sağ yönlü atım kırığın dirseklenerek yön değiştirdiği, Gölyaka segmenti üzerinde aniden 30 cm'ye kadar azaldığı ve Eften Gölü yöresinde birkaç cm'ye düştüğü gözlenmişti. Kılcal çatlaklara Düzce fayının ortalarına kadar (Beyköy) izlenebilmişti. 17 Ağustos 1999 depremi sonrasındaki bu arazi gözlemleri, Düzce fayının kırılmayan 40 km uzunluğundaki doğu yarısında gerilme birikiminin arttığını gösteren bulgular olarak yorumlanmış ve yakın gelecekte bu bölgede yıkıcı bir deprem olabileceği öngörülmüştü (Emre v.d. 1999c). Nitekim, 12 Kasım 1999 günü bu beklenti gerçekleşti ve Mw=7.1 büyüklüğündeki deprem Düzce fayı üzerinde oluştu.

Arazide gözlenebilen 12 Kasım 1999 Düzce depreminin yüzey kırıkları 43 km uzunluğundadır (Şekil 3). Gölyaka ile Bolu dağı tüneli arasında kabaca Doğu-Batı yönünde uzanan bu kırıklar, Almacık dağı kütesinin morfolojisine uyumlu olarak gü-

Tablo 2: Marmara Denizi ve Çevresini Etkileyen, Modern Sismolojik Yöntemlerle Kaydedilen ve Kırılma Mekanizması (Fay Düzlemi Çözümü) Tanımlanan Önemli Depremler (Şekil 4)

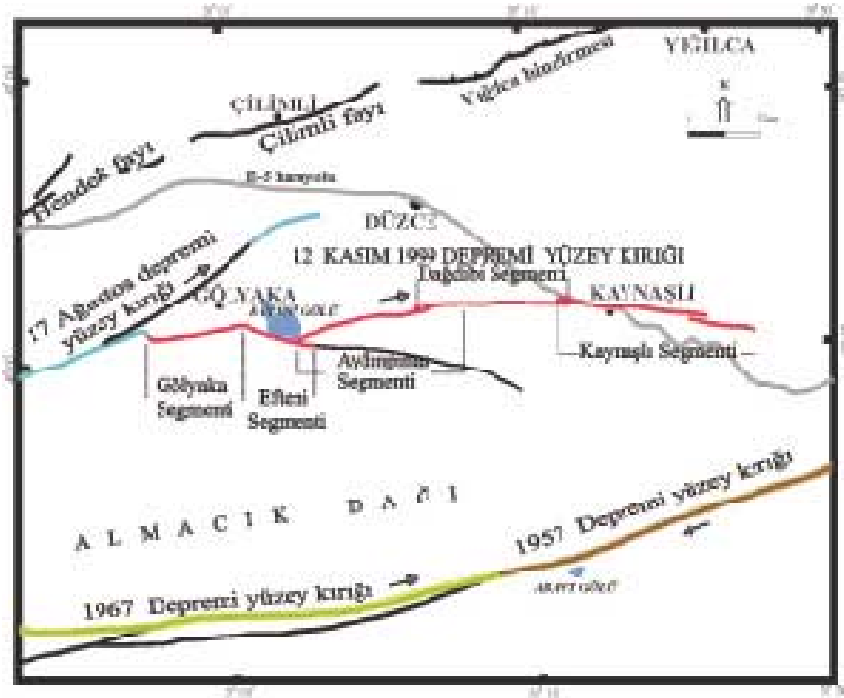
Tarih (gün, ay, yıl)	Zaman (sa:dk:sn) (GMT)	Enlem -- Boylam (Kuzey) -- (Doğu)	Derinlik (km)	Büyükölçü	Referans
20.06.1943	15:32:50.6	40.700 -- 30.380	----	M = 6.3	M72
13.08.1951	18:33:30.0	40.950 -- 32.570	----	Ms = 6.7	M72
26.05.1957	06:33:31.6	40.660 -- 30.890	----	Ms = 7.0	M72
18.09.1963	16:58:12.5	40.900 -- 29.200	15	Ms = 6.4	TT91
06.10.1964	14:31:23.0	40.300 -- 28.230	14	Ms = 6.9	TT91
22.07.1967	16:56:58.0	40.670 -- 30.690	12	Ms = 7.1	TT91
30.07.1967	01:31:02.0	40.720 -- 30.520	----	Ms = 5.6	M72
03.09.1968	08:19:52.6	41.810 -- 32.390	4	Ms = 6.6	TT99
05.10.1977	05:34:46.1	41.020 -- 33.570	8	Ms = 5.8	TT99
05.07.1983	12:01:27.4	40.330 -- 27.230	10	ms = 6.5	HRVD
21.10.1983	20:34:56.2	30.050 -- 40.540	14	mb = 5.1	HRVD
24.04.1988	20:49:39.5	28.720 -- 40.770	19	mb = 5.0	HRVD
Gölcük - Sapanca -- Düzce Depremleri					
17.08.1999	00:01:38.2	40.709 -- 29.998	9	Mw = 7.4	TT99
13.09.1999	11:55:29.9	40.765 -- 30.072	12	Mw = 5.9	TT99
11.11.1999	14:41:24.3	40.804 -- 30.260	7	Mw = 5.7	USGS
12.11.1999	16:57:20.3	40.768 -- 32.148	14	Mw = 7.1	USGS

HRVD: Harvard-CMT, M72: McKenzie (1972), TT91: Taymaz ve diğ. (1991), TT99: Taymaz (1999c), USGS: USGS-NEIC

neye doğru yay şeklinde bir geometri oluşturuyor. 17 Ağustos 1999 depremi kırığından çok daha kısa olmasına karşın, Düzce depremi yüzey kırıkları çoğunlukla 17 Ağustos 1999 kırıklarından daha geniş bir zon oluşturuyor ve mikromorfolojisi de daha belirgindir (Foto 1 ve 2). Bu depremin yarattığı yüzey kırıkları, ilk depremlerden farklı olarak, 40 km boyunca kesintisiz izlenebiliyor. Bu özelliğine karşın geometri ve nitelikleri açısından Düzce depremi yüzey kırıkları tarafımızdan beş segmente ayrılmıştır (Şekil 3). Bunlar batıdan doğuya doğru Gölyaka, Eften Gölü, Aydınpınar, Dağdibi ve Kaynaşlı segmentleri olarak adlandırıldı. Gölyaka segmentinde 17 Ağustos 1999 depreminde de yüzey kırılması gerçekleştiğinden bu segment her iki deprem kırığının aşma (çakışma) bölgesini oluşturur. Eften gölü dışında kalan segmentler doğrultu atımlı faylanmayı yansıtır. Eften gölü segmenti ise kuzey bloku aşağıda olan normal eğim atım bileşenli sağ yönlü doğrultu atımlı faylanma (oblik) biçiminde gelişmiştir (Şekil 3, 5).

Doğudaki doğrultu atımlı üç segment sol yönde sıçramalıdır ve birbirlerini aşarlar (örterler). İlk bulgular, yüzey kırığı üzerinde maksimum sağ yönlü yerdeğiştirmenin 530 ± 10 cm ile Dağdibi segmenti üzerinde olduğunu gösteriyor. Ancak Kaynaşlı segmenti üzerinde, sağ yönlü yerdeğiştirmenin en fazla olduğu (295 ± 10 cm) batı uçtan doğuya doğru azalıyor. Makrosismik episantrdan batıya doğru olan yerdeğişimi hakkında henüz ayrıntılı bilgi edinilememiştir. Ancak ilk bulgular Aydınpınar segmentinin doğu ucunda 400 cm civarında olan sağ yönlü yerdeğiştirmenin, batı uca 300 cm'ye düştüğünü, dolayısıyla, yerdeğiştirmenin makrosismik episantrdan batıya doğru da azalmakta olduğunu ortaya koyuyor. Eften Gölü segmentindeyse ölçülebilen maksimum sağ yönlü atım 240 ± 10 cm'dir (Şekil 3). En batıdaki Gölyaka segmentinde atım yine doğu uca 40 cm ile başlıyor ve batıya doğru azalarak en batıda birkaç cm'ye düşüyor.

Henüz kesin olmamakla birlikte, yerdeğiştirme dağılımları hakkında toplanan bu ön bulgular kırılmanın ilk olarak Dağdibi segmentinde başladığı



Şekil 3: 12 Kasım 1999 Düzce depremi yüzey kırığı ve yakın çevredeki diğer aktif fayların dağılımı (Emre ve diğ., 1999c).

ve buradan doğu ve batı yönünde ilerlediği söylenebilir. Düzce fayının batı yarısında ilk depremden gelişmiş yüzey kırıkları üzerinde aynı noktalarda tekrarlanan ölçümlerde, 12 Kasım 1999 depreminde hiçbir yerdeğiştirmenin olmadığını gösterdi. Bu veriler, 12 Ka-

sım 1999 depremindeki kırılmaların ilk depremden hareketin doğuya doğru devamı niteliğinde olduğunu ve dolayısıyla 12 Kasım 1999 depreminin, 17 Ağustos 1999 depremindeki kırılmaların Düzce fayını tetiklemesi sonucu oluştuğunu ortaya koyuyor.

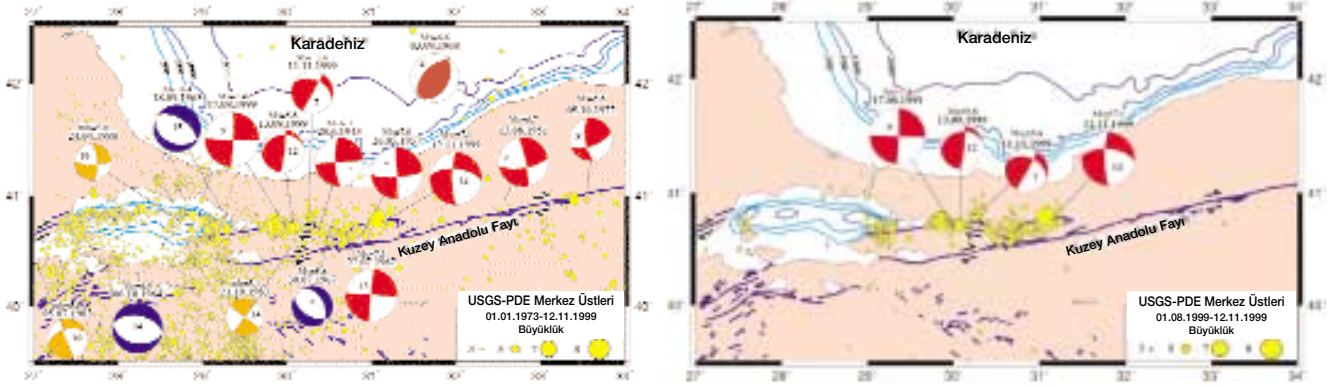
Tablo 3: 1999 Gölçük-Sapanca-Düzce Depremleri Kaynak Mekanizması Parametreleri (Şekil 4 - 5)

17 Ağustos 1999 Gölçük Depremi (Taymaz, 1999)	
Depremin Büyüklüğü	:mb = 6.3; Ms = 7.8; Mw = 7.4 (USGS-NEIC)
Enlem-Boylam	:40.709 Kuzey - 29.998 Doğu
Odak Derinliği (h)	:9 km
Faylanma (Kırılma)	
Mekanizması (Derece)	:Doğrultu / Dalım / Kayma Açısı
I. Düzlem	:92 / 89 / - 177
II. Düzlem	:2 / 87 / - 1
Kayma Vektörü	:92
Sismik Moment (Mo)	:Minimum 1.2×10^{20} Newton metre
Deprem Oluş Süresi	:15 saniye
Yüzey Kırığı	:Karada gözlenen maksimum 140 km
Maksimum Yanal Atım	:Yaklaşık 5 metre
13 Eylül 1999 Sapanca - Adapazarı Depremi (Taymaz, 1999)	
Depremin Büyüklüğü	:mb = 5.8; Ms = 5.8; Mw = 5.9 (USGS-NEIC)
Enlem-Boylam	:40.765 Kuzey - 30.072 Doğu
Odak Derinliği (h)	:12 km
Faylanma (Kırılma)	
Mekanizması (Derece)	:Doğrultu / Dalım / Kayma Açısı
I. Düzlem	:260 / 27 / 162
II. Düzlem	:6 / 82 / 64
Kayma Vektörü	:96
Sismik Moment (Mo)	:Minimum 4.2×10^{17} Newton metre
Deprem Oluş Süresi	:7 saniye
11 Kasım 1999 Sapanca - Adapazarı Depremi (USGS-NEIC)	
Depremin Büyüklüğü	:mb = 5.5; Ms = 5.6; Mw = 5.7 (USGS-NEIC)
Enlem-Boylam	:40.804 Kuzey - 30.260 Doğu
Odak Derinliği (h)	:7 km
Faylanma (Kırılma)	
Mekanizması (Derece)	:Doğrultu / Dalım / Kayma Açısı
I. Düzlem	:294 / 40 / 174
II. Düzlem	:28 / 86 / 50
Sismik Moment (Mo)	:Minimum 3.5×10^{17} Newton metre
12 Kasım 1999 Düzce Depremi (USGS-NEIC)	
Depremin Büyüklüğü	:mb = 6.5; Ms = 7.3; Mw = 7.1 (USGS-NEIC)
Enlem-Boylam	:40.768 Kuzey - 31.148 Doğu
Odak Derinliği (h)	:14 km
Faylanma (Kırılma)	
Mekanizması (Derece)	:Doğrultu / Dalım / Kayma Açısı
I. Düzlem	:276 / 59 / - 167
II. Düzlem	:179 / 79 / - 32
Sismik Moment (Mo)	:Minimum 4.5×10^{19} Newton metre
Yüzey Kırığı	:Karada gözlenen maksimum 43km
Maksimum Yanal Atım	:5.30 metre (Düzce Fayı doğu ucunda)
Batı Ucunda	:sağ-yönlü yan al atım miktar = 3 metre
	:eğim-yönlü düşey atım = 2.5 metre
Doğu Ucunda	:sağ-yönlü yan al atım miktar = 4.20 metre

Genel Değerlendirme

17 Ağustos 1999 Gölçük ve 12 Kasım 1999 Düzce depremleri Kuzey Anadolu Fayı'nın kuzey kolunda yer alan İzmit-Adapazarı ana segmenti ve Düzce faylarının hareketleri sonucu meydana gelmiştir. 12 Kasım 1999 Düzce depremi, 17 Ağustos 1999 Gölçük depremindeki kırılmanın, Düzce fayının doğu bölümünü tetiklemesi sonucunda oluşmuştur. Her iki depremden gelişen yüzey kırıklarının toplam uzunluğu 220 km'yi bulur (Çınarcık segmentinin denizdeki uzantısı 40 km kabul edilmiştir). Arazi gözlemleri, Düzce depremi yüzey kırıklarını oluşturan segmentlerin, birbirinin hareketini engelleyen geometrik düzen (sol yönde aşmalı) içinde geliştiğini ortaya koyuyor. Kırılmanın 43 km gibi kısa mesafede gerçekleşmiş olmasına karşın uzun sürmesinde, fayın bu geometrisinin önemli rolü olduğu düşünülüyor.

17 Ağustos 1999 depremi sonrasında KAF'nın kuzey kolu üzerinde yüzey kırılması gerçekleşmeyen faylar-



Şekil 4: Marmara Denizi ve Çevresini etkileyen önemli depremlere ait Fay Düzlemi Çözümleri, Cisim Dalgaları Modellemesi sonuçları (Taymaz ve diğ. 1991; Taymaz, 1999) ve ön bilgilere göre USGS-NEIC; Harvard-CMT çözümleri. İçleri renklendirilmiş büyük daireler [dairelerin boyutları ilgili depremin büyüklüğü ile orantılıdır], günümüze kadar (aletsel dönemde) bölgede oluşmuş ve yıkımlara neden olmuş depremlerin yerlerini, kırık zonları ile ilişkisini ve Fay Düzlemi Çözümleri'ni göstermektedir. Kırmızı renkli çözümler Doğru-Atımlı Faylanmalar (yanal yönlü hareketler; Gölcük-İzmit 17 Ağustos 1999 depreminde gözlemlendiği gibi), Koyu-Mavi renkli çözümler Normal Faylanmalar (açılma hareketleri; Burdur 1971 ve Dinar 1995 depremlerinde gözlemlendiği gibi), Bordo renkli çözüm Bindirme (sıkışma türü) Faylanmaları (Spitak-Ermenistan 1988, Racha-Gürcistan 1991 depremlerinde gözlemlendiği gibi) ve Portakal renkli faylanmalar ise Harvard-CMT çözümlerini (bu çözümler kesin mekanizma çözümleri değildir) göstermektedir. Odak küreleri içindeki rakamlar kırılmanın gözlemlendiği yerlere içindeki odak derinliğini kilometre ölçeğinde göstermektedir. Asterisk (*) ile işaretli olanların odak derinlikleri net olarak bilinmemektedir ve fay düzlemi çözümleri McKenzie (1972)'den alınmıştır. Depremlerin tarihleri ve büyüklükleri küreler üzerinde verilmiştir. Küçük sarı daireler Marmara Denizi ve Çevresi'nin USGS-NEIC verilerine göre 1973-1999 yılları arasındaki sismik aktivitesini (depremlerin dağılımı) göstermektedir. Şekil 5: USGS-NEIC verilerine göre 1 Ağustos 1999 -12 Kasım 1999 döneminde Gölcük-Düzce depremleriyle kırılan Kuzey Anadolu Fayı'nın etkilediği bölgedeki sismik aktivite (depremlerin dağılımı) ve 1999 Gölcük-Düzce depremleri fay düzlemi çözümleri (Şekil 4). Aktif kırık (fay) zonları kalın siyah çizgilerle gösterilmiştir.

Dokurcun segmentinin 1967 kırığının batı kesimindeki devamı-Düzce fayının doğu yarısı ve Hendek fayıydı (Şekil 1). Depremlere ait mekanizma (fay düzlemi) çözümleri incelendiğinde (Şekil 4, 5 ve Tablo 3), normal bileşen gösteren 13 Eylül 1999 (Mw=5.9) ve 11 Kasım 1999 (Mw=5.7) Sapanca-Adapazarı depremleri bölgedeki bu fay zonu üzerinde, 12 Kasım 1999 depremiyse Düzce fayının doğu yarısında oluşmuşlardır. Hendek fayındaysa 17 Ağustos 1999 depreminden sonra gözlenen 5 km'lik küçük ölçekli yüzey kırılması oluşmuştur. Bu gözlemsel ilişkiler, kuzey kolda yer alan fayların sistematik olarak birbirlerini denetlediğini ve dolayısıyla tetiklemede olduğunu açıklar.

Artçı depremlerle yüzey kırıkları karşılaştırıldığında episantrların segmentlerin uç bölümlerinde yoğunlaştığı görülür (Şekil 3 ve 5). Bu benzeşim, Marmara Denizi için yorumlandığında 17 Ağustos 1999 depreminde Çınarcık segmentinin kırılmış olma olasılığını artırıyor. Bununla birlikte, MTA-Sismik 1'in 17 Ağustos 1999 depremi sonrasında İzmit Körfezi içinde topladığı sismik yansıma profillerinin incelenmesinden de anlaşıldığı gibi, Körfezin önce normal faylar yoluyla kuzeydoğu-güneybatı yönünde gerilerek açıldığı, daha sonra tek bir fayın

tüm bu yapıyı parçalayarak kestiği anlaşılıyor. 12 Kasım 1999 depreminin artçılarıysa, Düzce fayının doğu ucu ve Yığılca yöresindeki bindirmelerde yoğunlaşıyor. Bu mikrodepremlere ilişkin kırılma mekanizması çözümleri, sismotektonik problemlerin yorumlanmasını önümüzdeki günlerde daha da kolaylaştıracak.

Marmara bölgesi doğu kesiminin morfolojik ve sismotektonik yapısı 1999 Gölcük ve Düzce depremleriyle birlikte değerlendirildiğinde, KAF'nın Marmara Denizi içerisindeki yapısı ve geometrisi hakkında daha güvenilir yorumlar yapılabilir. Her iki deprem kırığı, toplam 220 km boyunca küçük değişikliklerle birbirini izleyen alt bölümlerden oluşmuş ve daha çok doğrusal uzanım gösterir. 17 Ağustos 1999 yüzey kırıkları Sapanca Gölü ve Sakarya ovasını Doğu-Batı yönünde boydan boya kat etmiştir. Sakarya ve Düzce ovalarının alüvyon altındaki taban topografyası günümüz Marmara Denizi

çukurluklarıyla benzer geometridir. Sismik veriler de bu benzerliğe işaret ediyor. Son iki depremin yüzey kırıklarının özellikleri Marmara Denizi için yorumlandığında, tartışılanların aksine KAF'nın bu deniz içerisinde çok karmaşık yapıda ve geometride olmaması gerektiği sonucunu ortaya çıkarıyor. Bu yorum diğer verilerin ışığında, Le Pichon, Taymaz ve Şengör (1999)'ün belirttikleri gibi, Kuzey Anadolu Fayı'nın Marmara Denizi içinde Doğu-Batı yönlü tek bir zon biçiminde uzandığı tezini destekliyor.

Bu yazıda kullanılan şekillerin hazırlanmasında bize yardımcı olan öğrencim Canan Kahramansoy'a, 17 Ağustos 1999 Gölcük ve 13 Eylül 1999 Sapanca depremlerinin yerlerini (episantr) daha sağlıklı hesaplayan ve kullanılmıyorsa izin veren Mustafa Aktar'a çok teşekkür ederiz.

Ömer Emre¹, Tuncay Taymaz²,
Tamer Yiğit Duman¹, Ahmet Doğan¹

¹MTA Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etütleri Dairesi,
²İstanbul Teknik Üniversitesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü,
e-mail: emre@mta.bim.gov.tr ve taymaz@itu.edu.tr

- Kaynaklar**
Emre, Ö., Erkal, T., Tchepalyga, A., Kazanci, N., Keçer, M. ve Üney, E., "Doğu Marmara bölgesinin Neojen-Kuvaternerdeki evrimi" *MTA Dergisi*, 120, 1998.
Emre, Ö., Duman, T.Y. ve Doğan, A., "17 Ağustos 1999 Doğu Marmara depremi yüzey kırığı (deprem fayı) haritası ve ön değerlendirme raporu" *MTA Genel Müdürlüğü-Jeoloji Etütleri Dairesi*, 1999.
Emre, Ö., Duman, T.Y., Awata, Y., Yoshioka, T., Tsukuda, E. and Doğan, A., "The surface rupture of 17 August Marmara Earthquake: Segmentation and offsets. Conference on Earthquake Hazard and Risk in the Mediterranean Region", *EHRMR'99, Abstracts, Near East Univ., North Cyprus*, 1999.
Emre ve diğ., "17 Ağustos 1999 depremi sonrasında Düzce ilçesi alternatif yerleşim alanlarının jeolojik incelemesi", *MTA-TÜBİTAK Raporu*, 1999.
Le Pichon, X., Taymaz, T. ve Şengör, A.M.C., "Büyük Marmara Fayı - Niçin, Nerede ve Ne Olabilir?" *Cumhuriyet-Bilim Teknik*, sayı 661, 20 Kasım 1999.
McKenzie, D., "Active tectonics of the Mediterranean region, geophysics", *Journal of Royal Astronomical Society* 30, 1972.
Şengör, A.M.C. 1995. "Kuzey Anadolu Fayı'nın keşfi hakkında" *Cumhuriyet-Bilim Teknik*, 458, 30 Aralık 1995.
Taymaz, T., "Türkiye'nin gerçeği: Deprem -Marmara Bölgesi'nin aktif tektoniği ve Ulusal Deprem Ağının kurulmasının zorunluluğu üzerine" *Cumhuriyet-Bilim Teknik*, 650, 4 Eylül 1999.
Taymaz, T., "İstanbul Depremleri: Bugünkü Durum ve Geçmişteki İki Büyük Deprem" *Cumhuriyet-Bilim Teknik*, 651, 11 Eylül 1999.
Taymaz, T., "Marmara Bölgesinin Aktif Tektoniği: 1999 Gölcük - Düzce Depremleri" *Cumhuriyet-Bilim Teknik*, 662, 27 Kasım 1999.
Taymaz, T. ve diğ., "Active tectonics of the north and central Aegean Sea" *Geophysical Journal International*, Oxford, 106, 1991.



Foto 3: Dağdibi köy yolunun fay tarafından kesilerek sağ yönde yaklaşık 420 cm. yerdeğiştirmiş durumu.