



## 12 Kasım 1999 Düzce Depremi ve Bölgesel Tektonik Anlamı *12 November 1999 Düzce Earthquake and the Regional Significance*

Süha ÖZDEN	Cumhuriyet Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 58140 Sivas
Orhan TATAR	Cumhuriyet Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 58140 Sivas
B. Levent MESCİ	Cumhuriyet Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 58140 Sivas
Fikret KOÇBULUT	Cumhuriyet Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 58140 Sivas
S. Zeki TUTKUN	Kocaeli Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 41100 Kocaeli
Bülent DOĞAN	Kocaeli Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 41100 Kocaeli
Oktay TÜVAR	MTA 1. Bölge Müdürlüğü, 58140 Sivas

### Öz

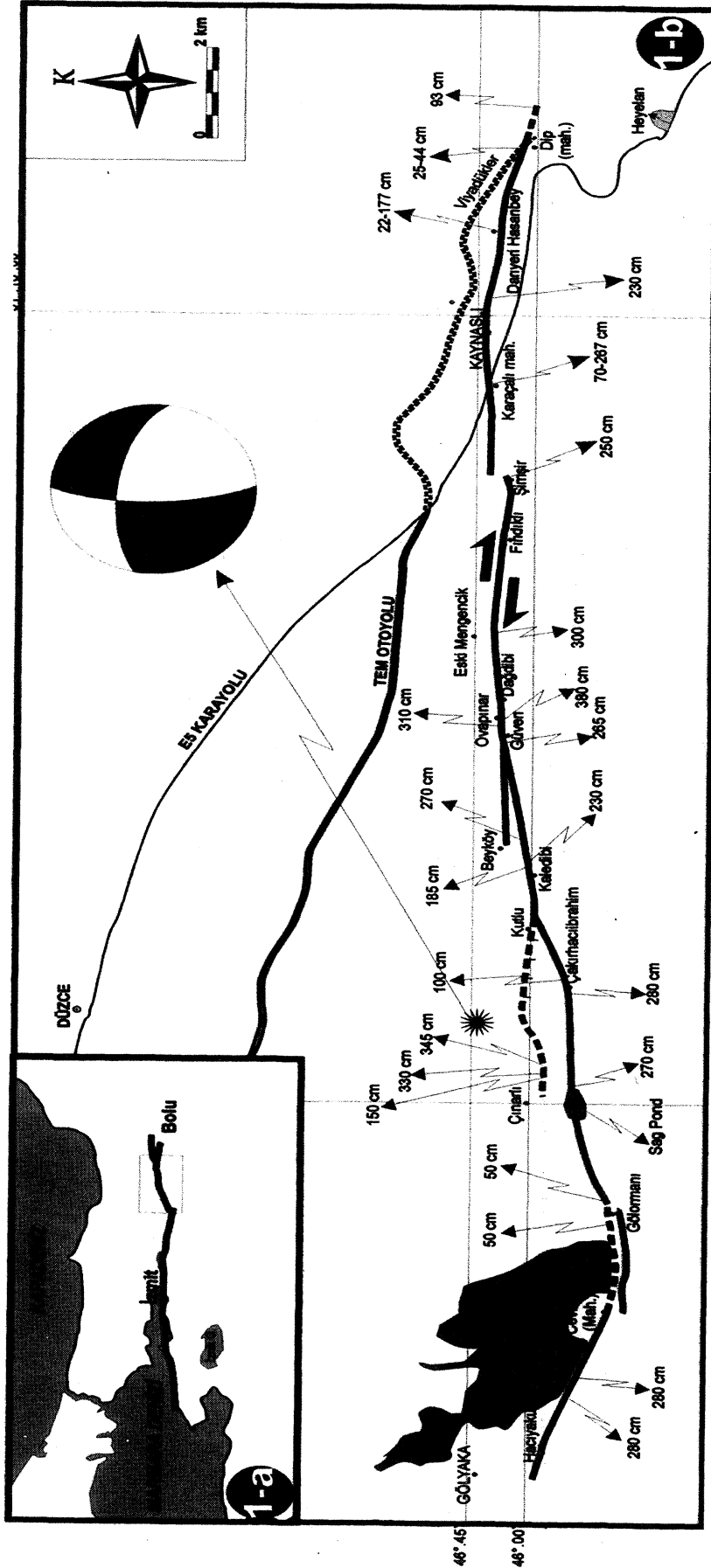
12 Kasım 1999'da yerel saatle 18<sup>57</sup> 'de Kuzey Anadolu Fay zonunun batı kesiminde Bolu, Düzce, Kaynaşlı ve çevresini etkileyen büyük şiddetli bir deprem olmuştur. Oldukça geniş bir alanda hissedilen bu depremde, 800'ün üzerinde insanı yaşamını yitirmiş, 2500 civarında insan yaralanmış ve 1500'ün üzerinde bina hasar görürken, inşaatı halen devam etmekte olan Bolu Tüneli ve viyadükleri de depremden etkilenmiştir. USGS verilerine göre depremin episantrı, 40.768 kuzey enlemi ile 31.148 doğu boylamının kesiştiği, Düzce ili güneyinde Çınarlı köyünün K-KD'suna düşmektedir. Odak derinliği 14 km ve aletsel büyüklüğü Ms=7.2 olan bu deprem, yaklaşık D-B doğrultulu ve sağ yanal atımlı ana yer değiştirme düzlemi boyunca, C?ölyaka ile Kaynaşlı doğusuna kadar uzanan bir yüzey kırığı oluşturmuştur. Aletsel dönemlerde doğudan batıya doğru devam eden ve değişik depremlerle kırılan Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun Bolu ile Düzce arasında kırılmayan bölümü üzerinde meydana gelen bu deprem sonucu 30 km uzunluğunda, yer yer 1 km genişliğinde bir alana yayılan yüzey kırığı oluşmuştur. Bu yüzey kırığı boyunca 380 cm'ye varan sağ yanal ötelenmeler belirlenmiştir. Yüzey kırığı, tüm uzanımı boyunca iki ayrı yerde, 1-2 km'lik atlamalar (stepover) yapmakta, bir ana ve iki yan segment'den oluşmaktadır. Yüzey kırığı boyunca oluşan yanal ötelenmelerin yanı sıra, yer yer büyük heyelanlar ve 4-5 metreye kadar ulaşan çökmeler de belirlenmiştir. Batıda Gölyaka ile Doğuda Dip mahallesi arasında uzanan Düzce depremi yüzey kırığı üzerinde, bir doğrultu atımlı faylanmada çoğunlukla izlenebilen, ana koldan ayrılıp tekrar birleşen küçük kırıkların (anastomosing structures) yanı sıra, daha çok sıkıştırıcı bükümlerin (restraining bend) egemen olduğu alanlarda basınç sırtlarının varlığı saptanmıştır. Bununla beraber, yersel alanlarda küçük ölçekli çöküntü gölleri (sag ponds) ve sıvılaşma yapıları da (liquefactions) izlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Aktif tektonik, Düzce Depremi, Düzce fayı, Kuzey Anadolu Fayı.

### Abstract

*An earthquake taken place on the western part of the North Anatolian Fault Zone around Bolu, Düzce and Kaynaşlı villages on the 12 November 1999 at 18<sup>57</sup>. The earthquake affected very large areas resulted in more than 800 deaths, left over 2500 people wounded, around 1500 buildings damaged. It is notable that Bolu tunnel and viaducts were also severely damaged. According to USGS data, epicenter of the Düzce earthquake falls at 40.768 North latitude and 31.148 East longitude where coincides N-NE of the Çınarlı Village of Düzce. The magnitude was determined as 7.2 Ms and started at 14 km deep from surface. This event created about 30 km surface rupture between Gölyaka in the west and Dip village in the east. The observed dextral strike-slip displacement yields up to 380 cm along the eastern part of the surface rupture. The detailed mapping of surface rupture revealed at least one main and two smaller segments in a E- W trend. In addition to strike-slip offset, occasionally huge landslides of around 4-5 m, collapsed and subsided. The geometry of the surface rupture of the Düzce earthquake, elongated between Gölyaka and Dip villages, has shown a general characteristics of strike-slip faulting such as anastomosing structures, horse tails, pressure ridges and sag ponds were extensively developed along the surface rupture of Düzce earthquake. Furthermore, small scale sag ponds and liquefaction structures were determined locally along the surface rupture.*

*Key words:* Active Tectonics, Düzce Earthquake, Düzce Fault, North Anatolian Fault.



Şekil 1: a-b. 12 Kasım 1999 Düzce depremi yüzey kırığı ve atım dağılımı haritası. Figure 1: a-b. 12 November 1999 Düzce earthquake surface rupture and slip map.

## GİRİŞ

17 Ağustos 1999 Kocaeli depremi, oldukça geniş bir alanı etkileyen, aynı zamanda bütün Batı Anadolu'da da hissedilen son yüzyılın en büyük depremlerinden ( $M_s=7.4$ ) birisi olarak tarihe geçmiştir. 18.000'in üzerinde insanın yaşamını yitirdiği bu deprem ile birlikte, uzun süreden bu yana büyük depremlerin yaşanmadığı Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun batı kesiminin büyük bir sismik aktivite kazandığı görülmüştür (Şekil 1 a-b). Kocaeli depreminin üzerinden henüz iki ayı aşkın bir süre geçmesine rağmen, bu kez 12 Kasım 1999 saat 18<sup>57</sup>'de Düzce ve yakın civarını etkileyen şiddetli bir deprem ( $M_s=7.2$ ) daha yaşanmıştır. Kuzey Anadolu Fay zonu'nun batı kesiminde Bolu, Düzce, Kaynaşlı ve çevresini etkileyen bu deprem, oldukça geniş bir alanda hissedilmiş, 800'ün üzerinde insan hayatını yitiren, 2500 civarında insan yaralanmıştır. Bunun yanı sıra, Düzce ve yakın civarında 1500'ün üzerinde bina hasar görürken, inşaatı halen devam etmekte olan Bolu Tüneli ve viyadükleri de bu depremden ciddi biçimde etkilenmiştir.  $M_s=7.2$  büyüklüğündeki Düzce depreminin USGS verilerine göre episantrı, 40.768 kuzey enlemi ile 31.148 doğu boylamının kesiştiği bir alanda yer almaktadır.

Bu alan, Düzce ili güneyinde yer alan Çınarlı köyünün K-KD'suna düşmektedir. Deprem odak çözümlemesi incelendiğinde, depremi oluşturan hareketin yaklaşık 14 km derinlikte başladığı ve K84B ya da kabaca D-B doğrultulu ana yer değiştirme düzlemi boyunca sağ yanal doğrultu atımlı bir hareket sonucu geliştiği anlaşılmaktadır (Şekil 1-b).

Bu çalışmada, Düzce depremi sonrası oluşan yüzey kırığı, bu kırık üzerinde gelişen atım dağılımları, hasar durumu ile bu depremin bölgesel tektonik anlamı ele alınacaktır.

## BÖLGESEL JEOLJİK VE TEKTONİK KONUM

Düzce depremi ile oluşan yüzey kırığı, Bolu batısında Kaynaşlı doğusu ile Gölyaka arasında uzanmaktadır. Jeolojik açıdan bu bölge ve yakın civarında, Paleozoyik'ten Senozoyik'e kadar değişik yaş ve özellikte kaya birimleri yüzeylenmektedir. Bugüne kadar bu bölgede yapılan jeolojik amaçlı çalışmalarda, bölgenin temelinde Paleozoyik yaşlı, gnays, şist, kuvarsit ve benzeri metamorfik kayaların (Bolu masifi; Blumental, 1948) yer aldığı

ifade edilmektedir (Öztürk vd., 1984). Düzce güneyinde ve Düzce fayını da içerisine alan bir kesimde ise, andezit ve bazalt bileşimli Üst Kretase yaşlı volkanik kayalar geniş yayılımlar sunmaktadır. Düzce batısında ve Gölyaka civarında Eosen yaşlı sedimanter birimler bulunmaktadır. Bu birimler, batıda Gölyaka ile doğuda Kaynaşlı arasında, Kuvaterner yaşlı birimler tarafından uyumsuz olarak örtülmektedir (Aydın vd., 1987).

Batıda Saros Körfezi ile doğuda Karlıova arasında toplam uzunluğu 1200 km civarında olan Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) tüm uzanımı boyunca birkaç segmente ayrılmaktadır. Bunlardan ilki Niksar güneyinde yer almaktadır. Kırıkkale-Erbaa fay zonu olarak da adlandırılan bu zon 1939 depremi yüzey kırığını takip eder. KAFZ, bu noktadan daha batıya doğru genelde tek bir sistem halinde ve farklı doğrultularda uzanmaktadır. Buna karşın Bolu batısında bu geometrisini değiştirerek kabaca D-B doğrultulu iki ana kola ayrılır. Bu ana kollardan güneyde olan Abant segmenti olarak adlandırılır ve Dokurcun, Geyve, İz-nik, Gemlik ve Mudanya üzerinden daha batıya doğru devam eder (Şekil 1-a)« Bolu ovası, Kaynaşlı, Düzce, Akyazı ve Sapanca üzerinden İzmit körfezine uzanan kol ise Kuzey segmenti oluşturur. Bu segment üzerindeki fayların geometrisi, güney kola nazaran daha karmaşıktır. Bu kol üzerinde yaklaşık D-B uzantılı Düzce fayı ile, Çmarcık-İzmit Adapazarı segmentlerinin yanı sıra, KD-GB doğrultulu ve yer yer bindirme bileşenli Hendek fayı da bulunur.

Güneyde, Abant segmenti üzerinde 1957'de 7.0 büyüklüğünde, Dokurcun-Mudurnu segmentinde ise 1967 yılında 7.1 büyüklüğünde iki ayrı deprem meydana gelmiştir. Kuzey kolda ise, Hendek fayı üzerinde 6.3 büyüklüğündeki 1943 Hendek depreminden başka son yüzyılda yıkıcı bir deprem olmamıştır (Barka, 1996; Ambraseys ve Finkel, 1991, 1995). Kuzey koldaki diğer ana segmentlerden Çmarcık-İzmit-Adapazarı segmenti de, 7.4 büyüklüğünde Kocaeli depremi ile 17 Ağustos 1999'da kırılmıştır. Bu deprem sonrası doğu kesimde Düzce ve Hendek fayları üzerine büyük bir gerilme enerjisinin aktarıldığı ve bu faylar üzerindeki deprem riskinin arttığı değişik araştırmacılar tarafından dile getirilmiştir (Emre vd., 1999a; Komut ve Ikeda, 1999). Tarihsel depremlere bakıldığında, Düzce fayı üzerinde meydana gelen en son ve yıkıcı depremin bu hat üzerinde 25 Mayıs 1719 tarihinde meydana geldiği görülmektedir (Ambraseys ve Finkel, 1995). 12 Kasım 1999 Düzce depreminde gözlenen en büyük yanal atımın 4 ile 5 m arasında değiştiği kabul edilirse (Emre vd., 1999 b), yıllık hareket hızı orta-

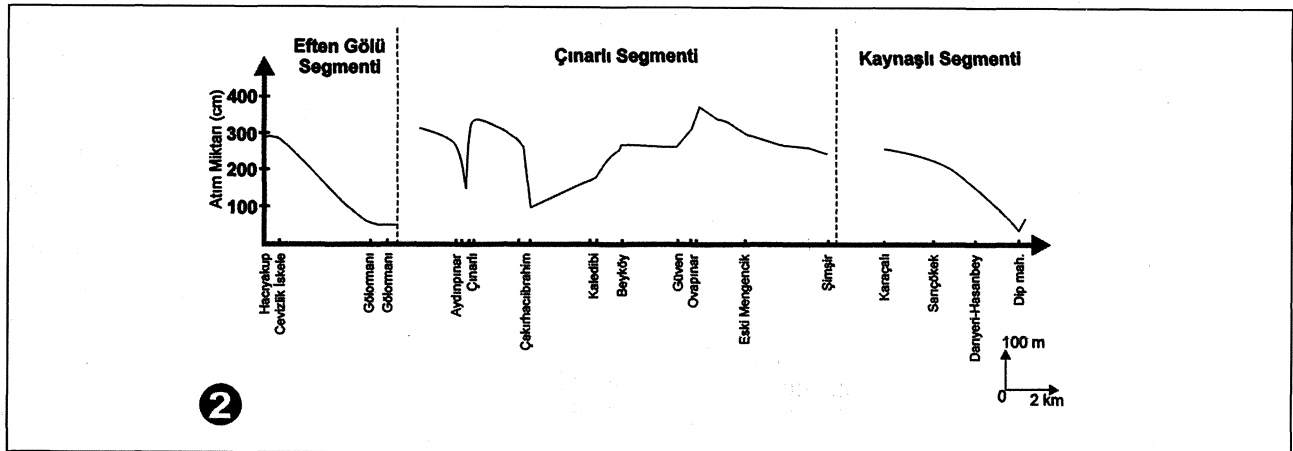
lama 2 cm/yıl olan KAFZ üzerinde bu enerjinin birikmesi yaklaşık 200 ile 250 yıllık bir dönemi ifade etmektedir.

## YÜZEY KIRIĞI ve ATIM DAĞILIMLARI

12 Kasım 1999 depremi, D-B uzantılı ve toplam uzunluğu 75 km civarında olan Düzce Fayı'nın hareketi sonucunda meydana gelmiştir. Düzce fayı batıda Akyazı civarından başlayıp, en doğuda Bolu Dağı Tüneline kadar uzanmaktadır. 12 Kasım 1999'da meydana gelen deprem, genel olarak D-B doğrultulu ve sağ yanal doğrultu atımlı bir ana yer değiştirme düzlemi boyunca gelişmiş ve Gölyaka ile Kaynaşlı doğusuna kadar uzanan alanda yaklaşık 30 km lik bir yüzey kırığı oluşturmuştur (Şekil 1 a-b). Yüzey kırığı Düzce ovasının güneyinde topografyaya uygun olarak uzanmaktadır. Bu alanda aynı zamanda doğrultu atımlı faylanmayı gösteren morfolojik yapılarda belirgindir. 17 Ağustos 1999 Kocaeli depremi yüzey kırığı, batıda İzmit Körfezinden, doğuda Akyazı kuzeyine kadar izlenmiş, daha doğuda KD-GB doğrultulu Gölyaka ya da Hendek fayı (Koçyiğit, 1990) ile birleşmiştir. Düzce depremi yüzey kırığı ise, en batıda Gölyaka'nın güneyinde, 17 Ağustos 1999 Kocaeli depremi yüzey kırığının en doğu ucuyla birleşerek daha doğuya doğru devam etmektedir. Genelde D-B doğrultusunda uzanmasına karşın, yer yer bu topografyaya uygun bir biçimde KB-GD veya KD-GB doğrultularında da uzanmaktadır. Batıda Gölyaka'dan doğuda Dip mahallesine kadar uzanan bu kırık, yer yer kuzeye ve güneye atlamalar (stepover) yapmaktadır (Şekil 1-b). Yüzey kırığının uç kesimlerinde atım kısa mesafelerde azalmaktadır (Şekil 2).

Kaynaşlı ve Gölyaka civarındaki Kaplıca bölgesinde yanal atımın yanı sıra, 3-4 metreye varan düşey atım da meydana gelmiştir. Tüm uzanımı boyunca Şimşir ve Gölormanı köyleri civarında iki ayrı yerde, 1 km lik atlamalar (stepover) yapmakta, bir ana ve iki yan segment'den oluşmaktadır. Doğudaki segment Kaynaşlı segmenti olarak adlandırılmıştır. Bu segment yaklaşık 8 km uzunluğa sahiptir ve en doğuda Dip mahallesi, Darıyeri Hasanbey, Kaynaşlı ve Karaçalı mahallesinden geçerek Şimşir köyüne kadar devam etmektedir. Tüm uzanımı boyunca kabaca D-B doğrultulu uzanmaktadır. Bu segment üzerinde yüzey kırığı boyunca 25-380 cm arasında sağ yanal yer değiştirmeler gelişmiştir (Şekil 1-b). Yüzey kırığı, doğuda Astaldi Şantiyesi civarında Bolu Tüneli viyadüklerini ciddi biçimde etkilemiştir. Viyadükler üzerinde 20 cm civarında sağ yanal ötelenmeler gelişirken, bunun yanı sıra ayakları üzerinde yer yer rotasyona uğradığı belirlenmiştir. Kaynaşlı segmenti üzerinde belirlenen en yüksek atım değerleri Kaynaşlı kuzeyi Sarıçökek yolu üzerinde 230 cm (Şekil 3) ve Karaçalı mahallesindeki evlerin beton bahçe duvarlarında 267 cm olarak tespit edilmiştir (Şekil 4).

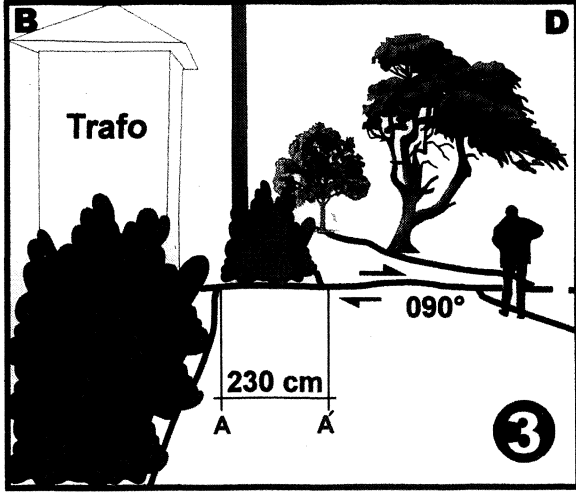
Batiya doğru ikinci segment, Çınarlı segmenti olarak adlandırılmıştır. Düzce depremi episantırı bu segment üzerinde yer almakta olup 16 km'lik bir uzunluğa sahiptir. En doğuda Şimşir köyünden başlayarak, batıda Fındıklı, Eski Mengencik,\* Dağdibi, Ovapınar, Güven, Beyköy, Kaledibi, Kutlu, Çakırhacıbrahim, Çınarlı ve Gölormanı köylerinden geçmektedir. Bu segmentin iki ucunda yer alan Gölormanı ile Şimşir köyleri boyunca 50 ile 380 cm arasında değişen değerlerde atımlar ölçülmüştür.



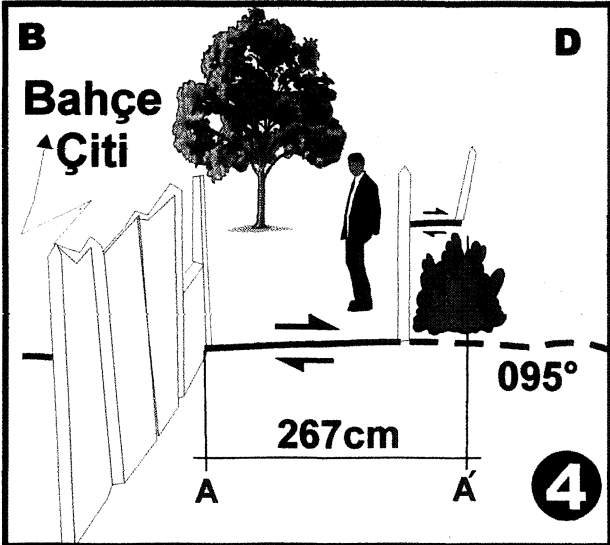
Şekil 2: Atım dağılımları ile atım miktarları arasındaki ilişkiyi gösteren diyagram.

Figure 2: The diagram showing the relationship between the slip rate and slip distribution.

D-B ile K80D doğrultusunda uzanan yüzey kırığı üzerinde, bir doğrultu atımlı faylanmada çoğunlukla izlenebilen, ana koldan ayrılıp tekrar birleşen küçük kolların (anastomosing structures) varlığı belirlenmiştir. Bunlardan ilki, Güven köyü'nden Beyköy'e doğru yaklaşık D-B doğrultusunda uzanmaktadır. Bu kesimde ana kırık K80D doğrultusunda olup, Kaledibi köyüne doğru devam etmektedir. Bu segment üzerinde özellikle



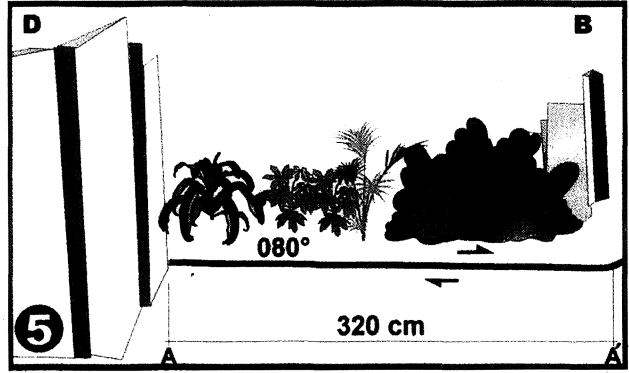
Şekil 3: Kaynaşlı segmenti üzerinde yer alan Sarıçökek yolu üzerinde gelişen 230 cm lik sağ yanal atımın şematik görünümü (Güneyden Kuzeye bakış).  
Figure 3: Sketch view of a 230 cm dextral slip occurred within Kaynaşlı segment on the Sarıçökek road (view from south to north).



Şekil 4: Kaynaşlı segmenti üzerinde yer alan Karaçalı mahallesinde bir evin beton bahçe duvarında gelişen 267 cm lik sağ yanal atımın şematik görünümü (Güneyden Kuzeye bakış).

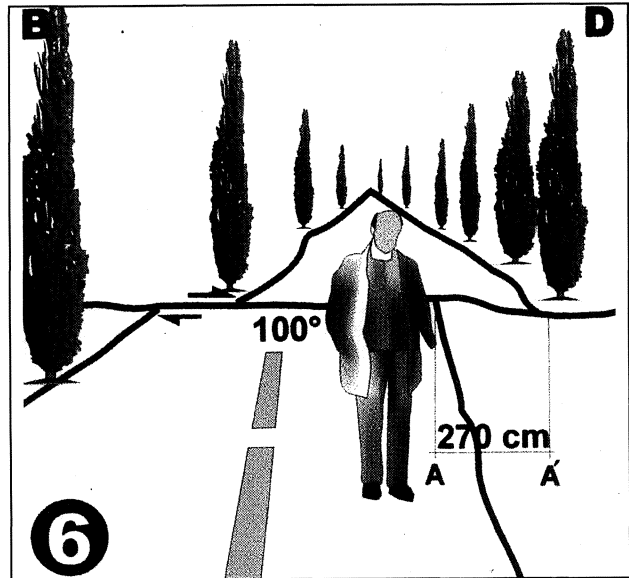
Figure 4: Sketch view of a 267 cm dextral slip on a concrete garden wall occurred within Kaynaşlı segment around the village of Karaçalı (view from south to north).

Cumhuriyet mahallesi civarında 230-270 cm arasında değişen atım miktarları belirlenmiştir (Şekil 6). Benzer sağ yanal atımlar, bu kola paralel olarak devam eden ana kırık üzerinde de saptanmıştır. Çınarlı köyü K-KD'sunda depremin episantrı yer almaktadır. Yüzey kırığı boyunca 320-345 cm arasında değişen atımlar Çınarlı köyü civarında olup (Şekil 5), ölçülen en yüksek atım değeri de Çınarlı köyü ilköğretim okulunun, kenar betonu ile okul duvarı arasında gelişmiştir.



Şekil 5: Çınarlı segmenti üzerinde bulunan Çınarlı köyünde bir evin beton bahçe duvarında gelişen 320 cm'lik sağ yanal atımın şematik görünümü (Kuzeyden Güneye bakış).

Figure 5: Sketch view of a 320 cm dextral slip on a concrete garden wall occurred within Çınarlı segment in village of Çınarlı (view from north to south).

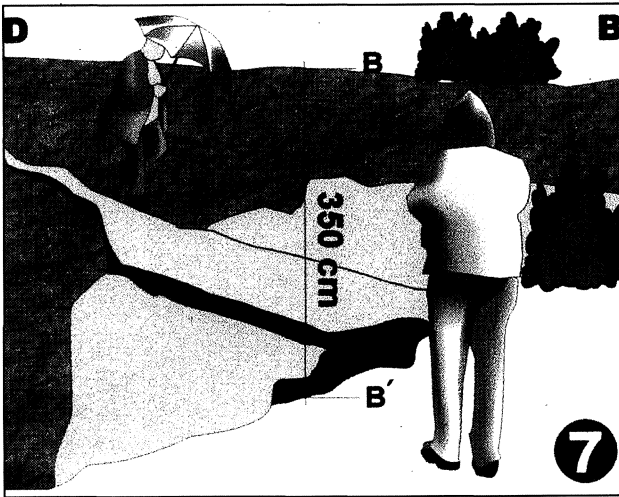


Şekil 6: Çınarlı segmenti üzerinde bulunan Beyköy'ün güneyindeki Cumhuriyet mahallesinde asfalt yol üzerinde 270 cm lik sağ yanal atımın şematik görünümü (Güneyden Kuzeye bakış).

Figure 6: Sketch view of a 270 cm dextral slip on a asphalt road within Çınarlı segment on the Cumhuriyet district located to the south of Bey köy (view from south to north).

Çınarlı köyün hemen güneyinde K80D doğrultusunda devam eden yüzey kırığı, batıda Çakırhacıibrahim köyünden geçmekte ve Kutluköy ile Gölormanı arasında 50 ile 280 cm arasında sağ yanal ötelenmeler meydana getirmiştir. Sağ yanal ötelenmeler, daha çok köy yolları, bahçe, duvarları vb. kültürel eserlerin yanı sıra; ağaç dizileri ve tarlalar üzerinde belirlenmiştir.

Üçüncü segment, Eften Gölü segmentidir. Bu segment, yüzey kırığının batı kesimini temsil etmekte ve 6 km'lik uzunluğu ile gölün güney sahili boyunca uzanmaktadır. Doğuda Gölormanı'dan başlayıp, batıda Hacıyakup köyü ve Gölyaka'ya kadar devam eden bu segment üzerinde 50-280 cm arasında değişen değerlerde sağ yanal ötelenmeler ölçülmüştür. Yüzey kırığı, bu segment boyunca gölün güney sahilinin topografyasına uygun olarak, doğu kesimi üzerinde Gölormanı civarında K80D doğrultusunda, orta kesimde Cevizlik mahallesinde D-B doğrultulu ve batı kenarı üzerinde Hacıyakup köyü ile Hamamyeri mahallesi arasında K75-80B doğrultusunda uzanmaktadır. Bu segment üzerinde belirlenen sağ yanal yer değiştirmelerin yanı sıra, özellikle Eften gölünün güney sahili, Cevizlik mahallesi ve Hacıyakup köylerini birleştiren yol boyunca da yer yer büyük heyelanlar ve 4-5 metreye kadar ulaşan düşey yer değiştirmeler gözlenmiştir (Şekil 7).



**Şekil 7:** Eften Gölü segmenti üzerinde Cevizlik mahallesi yolu üzerindeki çökmelerin şematik görünümü.

**Figure 7:** Sketch view of a landslide developed along the Eften lake segment on Cevizlik road.

•Yüzey kırığı üzerinde ölçülen atım değerleri incelendiğinde, genel olarak fayın Gölyaka ile Dağdibi köyleri arasına rastlayan bölümü makrosismik episantr olarak değerlendirilmiştir. Bu bölümde ortalama doğrultu atım 380 cm civarındadır. Buna karşın daha doğuya doğru gidildiğinde atım miktarı düzenli olarak azalmakta ve en doğu uçta Bolu tüneli girişinde sıfırlanmaktadır. Atım miktarında gözlenen bu değişim, depremin 17 Ağustos 1999'da Düzce Fayı'nın batı bölümünde gerçekleşen kırılmanın neden olduğu tetikleme sonucunda meydana geldiği şeklinde yorumlanabilir (Şekil 2).

Batıda Gölyaka ile Doğuda Dip mahallesi arasında uzanan 12 Kasım 1999 Düzce depremi yüzey kırığının geometrisi, 17 Ağustos Kocaeli depremi yüzey kırığından bazı farklılıklar sunmaktadır. Bu yüzey kırığı üzerinde doğrultu atımlı faylanmalarda çoğunlukla izlenebilen, ana koldan ayrılıp tekrar birleşen küçük kırıkların (anastomosing structures) yanı sıra, daha çok sıkıştırıcı bükümlerin (restraining bend) egemen olduğu alanlarda izlenen basınç sırtları, çöküntü gölleri (sag ponds) ve nadiren sıvılaşmaların (liquefaction) varlığı saptanmıştır. Sıkıştırıcı bükümler ve buna bağlı olarak gelişen basınç sırtları (pressure ridges), Gölormanı, Aydımpınarı, Çakırhacıibrahim, Güven ve Fındıklı köyleri civarında çok belirgindir.

## HASAR DAĞILIMI

12 Kasım 1999 Düzce depremi ile birlikte, Düzce, Kaynaşlı ve Bolu'nun yanı sıra yüzey kırığının geçtiği hat boyunca yer alan bir çok yerleşim yerinde yoğun hasarın olduğu gözlenmiştir. Bu deprem sonrasında Bolu-İstanbul karayolunun Bolu Dağı geçişi Bakacak mevkiinde E-5 karayolunun bir bölümü büyük bir heyelan sonucu zarar görmüştür. 17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminde olduğu gibi bu depremde de hasarın yüksek oluşunda en büyük etken zeminlerin niteliği olmuştur. Bunun yanı sıra, D-B uzantılı ana yer değiştirme doğrultusuyla yaklaşık olarak 45°'lik açılar yapacak şekilde, K30-40B doğrultularında ve 5-10 cm genişliğe sahip açılma çatlakları (en echelon structures) belirlenmiş olup, Kaynaşlı'ya kadar Bolu-İstanbul karayolu boyunca asfaltı kesecek şekilde hasara neden olmuştur. Deprem sonucu Bolu tüneli viyadükleri de ciddi biçimde hasar görmüştür. En çok hasar Düzce il merkezi ile Kaynaşlı'da olmuştur. Düzce ovası

## 12 KASIM 1999 DÜZCE DEPREMİ VE BÖLGESEL TEKTONİK ANLAMI

üzerinde yer alan bu merkezlerde zeminin kötü olması, yüksek katlı beton binaların çokluğu ve yapılarda kullanılan malzemenin depreme karşı yeterince dayanıklı olmaması, hasar ve can kaybını artırmıştır.

Düzce depremi sonucu oluşan yüzey kırığı, bir kaç büyük yerleşim merkezi dışında, kırsal alanlarda da etkili olmuştur. Doğuda Dip mahallesinden, batıda Gölyaka'ya kadar uzanan 30 km'lik yüzey kırığı üzerinde bulunan köylerin bir çoğunda, sadece depreme dayanıksız yapılar yıkılırken, az sayıda insan hayatını yitirmiştir. Buna karşın, Düzce ve Kaynaş başta olmak üzere, büyük yerleşim birimlerinde, yavaşık düzende ve çok katlı yerleşimlerde hasar çok daha fazladır. Düzce depremini oluşturan sağ yanal hareketin yanı sıra, özellikle Eften Gölü güneyinde izlenen 4-5 metrelik çökme ve alçalmalar da bu kesimde hasar oluşturmıştır.

### BÖLGESEL TEKTONİK ANLAMI

Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ), yaklaşık 11 milyon yıldan beri büyük ve yıkıcı depremler ile günümüze kadar sismik aktivitesini sürdürmüştür\* (Ketin, 1969; Şengör, 1980; Şaroğlu vd., 1987; 1992). Doğuda Karlıova'dan, batıda Saros körfezine kadar 1200 km'lik bir uzunluğa sahip olan Kuzey Anadolu Fay Zonu üzerinde tarihsel ve aletsel dönemlerde meydana gelen büyük depremlere bakıldığında, genelde doğudan batıya doğru bir sismik göçün olduğu görülmektedir (Barka, 1996). Aletsel dönemde ilk kez 1939 yılında 7.9 büyüklüğünde Erzincan depremi ile 350 km lik bir yüzey kırığı oluşmuş ve ardından sırasıyla bu fay zonu üzerinde, 1942'de 7.4'lük Nıksar-Erbaa, 1943'de 7.6 büyüklüğünde Tosya, 1944'de 7.3 lük Bolu-Gerede, 1957'de 7.0 büyüklüğünde Abant, 1967'de 7.1'lik Mudurnu depremi ve son olarak 7.4'lük 17 Ağustos 1999 Kocaeli depremi meydana gelmiştir.

17 Ağustos 1999 tarihinde meydana gelen Kocaeli depremi ile yaklaşık 250 yıldan bu yana kırılmayan KAFZ'nun bu bölümü de kırılmış ve sonucunda 130 km uzunluğunda bir yüzey kırığı ve 5 m'ye varan sağ yanal atımlar oluşmuştur. Bu depremi takip eden aylarda yer yer büyüklükleri 5.8'e varan artçı şoklar meydana gelmiştir. Ülkemizde meydana gelen ve son yüzyılın en büyük doğal afeti kabul edilen 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi sonrasında ortaya çıkan yüzey kırığının her iki ucunda oluşan gerilme enerjisinde ciddi bir artış olmuştur.

Bu deprem sonrası KAFZ üzerinde kırılmayan segmentlerden birisi olan Bolu-Düzce arasındaki Düzce fayı üzerindeki gerilme enerjisi 12 Kasım 1999'da açığa çıkarak Düzce depremini meydana getirmiştir. Toplam uzunluğu 75 km civarında olan Düzce fayı üzerinde meydana gelen bu deprem sonucunda yaklaşık 30 km'lik bir yüzey kırığı oluşmuştur. Buna karşın halen Düzce fayı üzerinde kırılmamış bir bölümün bulunması, azda olsa bir deprem riskinin varlığını ortaya koymaktadır. Öte yandan 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi yüzey kırığı Gölyaka civarına kadar uzanıp daha KD'ya devam eden Akyazı fayını izlememiştir. 12 Kasım 1999 Düzce depremi yüzey kırığı da bu noktadan daha doğuya doğru ilerlemiştir. Bu durumda KD-GB uzanımlı Akyazı fayı üzerinde herhangi bir enerji boşalımının olmaması da, bu fayı sismik açıdan önemli bir hale getirmektedir.

### KATKI BELİRTME

Bu çalışma, MTA Orta Anadolu 1.Bölge Müdürlüğünün katkılarıyla gerçekleştirilmiştir. Araştırmacılar, katkılarından dolayı MTA 1. Bölge Müdürlüğüne ve Sayın Tahsin ÖZER'e teşekkür ederler.

### EXTENDED SUMMARY

An earthquake taken place on the western part of the North Anotolian Fault Zone around Bolu, Düzce and Kaynaş villages on 12 November 1999 at 18:57. The earthquake affected very large areas resulted in more than 700 deaths, over 2500 wounded, and around 1500 damaged buildings. It was notable that Bolu tunnel and its viaducts were also severely damaged.

According to USGS data, epicenter of the Düzce earthquake falls at 40.768 North latitude and 31.148 East longitude where coincides N-NE of the Çınarlı Village of Düzce. The magnitude was determined as 7.2 Ms and started at 14 km deep from surface. This event created about 30 km surface rupture between Gölyaka in the west and Dip village in the east. The observed dextral strike-slip displacements yield around 25-380 cm along the eastern part of the surface rupture. The detailed mapping of surface rupture revealed that at least one main and two smaller segments along the E-W trending (Figure 1). Kaynaş segment taking place in the eastern part of

the surface rupture has 8 km long and passes through the villages of Dip, Danyeri Hasanbey, Kaynaşlı, Karaçalı and Şimşir (Figure 1, 2). This segment elongates N80W, N80E or nearly E-W direction. The highest dextral strike-slip displacement is 230 cm observed on Sarıçökek road (Figure 3) and also other remarkable displacement is measured on the garden hedges of the Karaçalı village houses around 180-267 cm long (Figure 4). Çınarlı segment formed central part of the surface rupture is the main segment of the Düzce earthquake. This segment, approximately 16 km long, passes through Şimşir village in the east and Fındıklı, Eski Mengencik, Dağdibi, Ovapmar, Güven, Bey, Kaledibi, Kutlu, Çakırhacıbrahim, Çınarlı and Gölormanı villages in the west. The E-W trending Çınarlı segment is traced along the villages of Gölormanı and Şimşir at the end of the surface rupture with a dextral displacement between 50 to 380 m. In addition to segmentations, anastomosing structures also occurred in two parts of the surface rupture of the Düzce earthquake. The first part named Bey village anastomosing structure elongated E-W direction between Güven and Bey villages. The second anastomosing structure on the Çınarlı segment was the Kutlu village anastomosing structure, 3 km long, E-W trending. This segment separated from Kutlu village then rejoined in around Çınarlı village. Approximately 150-345 cm right lateral displacement was measured (Figure 5, 6). The highest offset value, about 345 cm, was measured on the school wall of the village of Çınarlı. Right lateral strike-slip displacements were determined on the footpaths, village houses, garden hedges, artificial builds, thickets, arable fields, marquis and topographic datum all over the surface rupture of the Düzce earthquake. Other secondary segment taken place in the western part of the rupture, 6 km long, kept on southern border of Eften lake. Despite the fact that Eften lake segment was fairly short continuity to main and/or other subordinate segment, right lateral offsets were measured about 50 to 280 cm in this part. Surface rupture of the Düzce Earthquake on this segment appropriately extends to southern border of the Eften lake border topography, N80E directed around Gölormanı in the eastern part, approximately E-W direction in the middle part and N75-80W directed in the western side. In addition to strike-slip offset, occasionally huge landslides of around 4-5 m, collapsed and subsided (Figure 7).

The geometry of the surface rupture of the Düzce earthquake elongating between Gölyaka and Dip villages has shown a general characteristics of strike-slip faulting such as anastomosing structures, horse tails, pressure ridges and sag ponds. They were extensively developed along the surface rupture of Düzce earthquake. Furthermore, small scale sag ponds and liquefaction structures were determined locally along the surface rupture.

17 August 1999 Kocaeli earthquake affected very large areas and created a 130 km long surface rupture and occurred about 5 m right lateral strike-slip displacement on western part of the North Anatolian Fault Zone (NAFZ). A serious stress energy increasing in the each end of the surface rupture emerged as an important result. These points have taken in the most western part of the NAFZ in the Marmara sea and Bolu-Düzce route on the Düzce Fault. On the following days several scientists stressed that Marmara sea and/or Bolu-Düzce segments were located on a potentially seismic regions. Only two months later, an earthquake occurred in Düz

## DEĞİNİLEN BELGELER

- Ambraseys, N. N. and Finkel, C. F., 1991, Long-term seismicity of İstanbul and the Marmara sea region, *Terra Nova*, 3, 527-539.
- Ambraseys, N. N. and Finkel, C. F., 1995, The seismicity of Turkey and adjacent areas, Eren Ltd. İstanbul, ISBN, 975-7622-38-9, 240 p.
- Aydin, M., Serdar, H., Şahintürk, Ö., Yazman, M., Çokuğraş, R., Demir, O., Özçelik, Y., 1987, Çamdağ (Sakarya) - Sünnicedağ (Bolu) yöresinin jeolojisi. *TJK Bülteni*, 30, 1, 1-15.
- Barka, A. A., 1996, Slip distribution along the North Anatolian Fault associated with the large earthquakes of the period 1939-to 1967. *BSSA*, 86, 5, 1238-1254.
- Blumental, M. M., 1948, Bolu civarı ile Aşağı Kızılırmak mecrası arasındaki Kuzey Anadolu silsilelerinin jeolojisi. *MTA Enstitüsü, seri B*, No 13, 265 s.
- Emre, Ö., Duman, T.Y., Awata, Y., Yoshioka, T. Ve Doğan, A., 1999 a, 17 Ağustos 1999 Doğu Marmara depremi yüzey kırığı: Eş zamanlı üçlü



## 12 KASIM 1999 DÜZCE DEPREMİ VE BÖLGESEL TEKTONİK ANLAMLI

faflanma örneđi. ATAG-3, Bildiri Özleri Kitabı, s. 4.

Emre, Ö., Duman, T.Y, Doğan, A., Ateş, Ş., Keçer, M, Erkal, T., Özalp, S., Yıldırım, N., Güner, N., 1999 b, 12 Kasım 1999 Düzce depremi saha gözlemleri ve ön değerlendirme raporu. MTA Genel Müdürlüğü, 18 s.

Ketin, İ., 1969, Kuzey Anadolu fayı Hakkında. MTA Dergisi, 72, 1-28.

Koçyiğit, A., 1990, Tectonic setting of the Geyve Basin: Age and Total displacement of the Geyve fault zone. METU journal of pure and applied sciences. V 31, no 1-3, 81-104.

Komut, T. ve Ikeda, Y, 1999, 17/08/1999 Kocaeli depremi yüzey kırığının arazi incelemesi. ATAG-3, Bildiri Özleri Kitabı, sayfa 11, Sivas.

Öztürk, A., İnan, S., ve Tutkun, S.Z., 1984, Abant-Yeniçađ (Bolu) yöresinin stratigrafisi. C.Ü. Müh. Fak. Dergisi., Seri A, Yerbilimleri, cilt 1, sayı 1, sayfa 1-18.

Şaroğlu, R, Emre, Ö. ve Boray, A., 1987. "Türkiye'nin diri fayları ve deprensellikleri. MTA raporu 8174, 394 s.

Şaroğlu, E, Emre, Ö. ve Kuşçu, İ, 1992, Türkiye Diri Fay Haritası. MTA Yayını.

Şengör, A.MC, 1980, Türkiye Neotektoniđinin esasları. TJK Konferanslar serisi 2, 40 sayfa.

---

Makalenin geliř- tarihi: 14.01.2000

Makalenin yayma kabul edildiđi tarih: 13.06.2000

*Received January 14, 2000*

*Accepted June 13, 2000*

