**Türk Coğrafya Dergisi**, Sayı: 36, s. 1-15, İstanbul, 2001

# GÖLCÜK 1999 DEPREMİNDE ZEMİN VE YERŞEKİLİ ÖZELLİKLERİNİN ŞİDDET İLE HASAR DAĞILIŞINA ETKİSİ

*Effect of Ground and Geomorphological Properties on the Distribution of the Intensity and Damage in 17th, August 1999 Gölcük Earthquake.*

**Doç. Dr. Recep EFE*** **Arş. Gör. Ali DEMİRCİ****


## *ÖZET*

*17 Ağustos 1999 Salı günü saat 03:01:38'de Türkiye'de Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun batı bölümünde 7.4 büyüklüğünde bir deprem meydana gelmiştir. Dış merkezi Gölcük olan deprem 45 saniye sürmüş ve Karamürsel-Gölyaka arasında 125 km'lik sağ yanal atımlı bir yüzey kırığı meydana getirmiştir. Deprem, başta Yalova, Değirmendere, Gölcük, Karamürsel, İzmit ve Adapazarı olmak üzere İstanbul, Bolu ve Düzce'de fay hattına yakın ve zayıf zemin üzerinde bulunan yerleşim alanlarında can kaybına ve maddi hasara neden olmuştur.*

*Gölcük depreminde hasar dağılışı ve miktarı üzerinde pek çok fiziki faktör etkili olmuştur. Bir çok sahada zemin özelliklerinin deprem şiddeti üzerinde etkili olduğu gözlenmiştir. Alüvyon dolgu sahaları üzerinde deprem daha şiddetli hissedilmiş ve buralardaki yerleşim birimlerinde hasar ve can kaybı daha fazla olmuştur. Depremin büyüklüğü ve süresi ile faylanma, ötelenme ve çökme gibi yeryüzünde meydana getirdiği deformasyonlar, Gölcük depreminde hasara neden olan önemli faktörlerdir. Ancak, hasar miktarının ve dağılışının bölgeden bölgeye farklılıklar göstermesinde zemin koşullarının büyük etkisi olmuştur. Zeminin depreme karşı son derece dayanıksız ve sıvılaşma potansiyelinin yüksek olduğu alüvyal sahalar üzerinde yer alan yapılar Gölcük depreminde en fazla zararı görürken, fay hattının yakınında olmasına rağmen sağlam zemine sahip bölgelerde ise hemen hemen hiç hasar meydana gelmemiştir. Bu da zemin özelliklerinin, depremde hasarı etkilemesi açısından ne kadar önemli olduğunu göstermektedir.*

## *ABSTRACT*

*On August 17, 1999, at 3:01:38 am, an earthquake with magnitude 7.4 occurred at the western part of the North Anatolian Fault Zone. The earthquake, centered at Gölcük, lasted 45 second and created a 125 km long right-lateral strike-slip surface rupture between Karamürsel and Gölyaka. The earthquake caused excessive loss of life and substantial damages especially on or near the fault lines and alluvial grounds in the settlements of Yalova, Degirmendere, Golcuk, Karamursel, Izmit, Adapazari, Bolu, Duzce and Istanbul.*


* Fatih Üniversitesi, Coğrafya Bölümü, İstanbul. refe@fatih.edu.tr
** Fatih Üniversitesi, Coğrafya Bölümü, İstanbul. ademirci@fatih.edu.tr

*Several physical factors affected the amount and distribution of damage in Golcuk earthquake. The most important factors, which caused damage, were the magnitude and duration of the earthquake and its impacts on the ground such as faults, displacements, and subsidences. On the other hand, ground features had been effective especially on the differences of the amount and distribution of damage from one place to another. Although the alluvial areas that has potential risk against liquefaction had big damage, on some strong grounds had no damage even they are near the fault lines. These conditions prove that ground properties are very important factors affecting damage of an earthquake.*

## Giriş

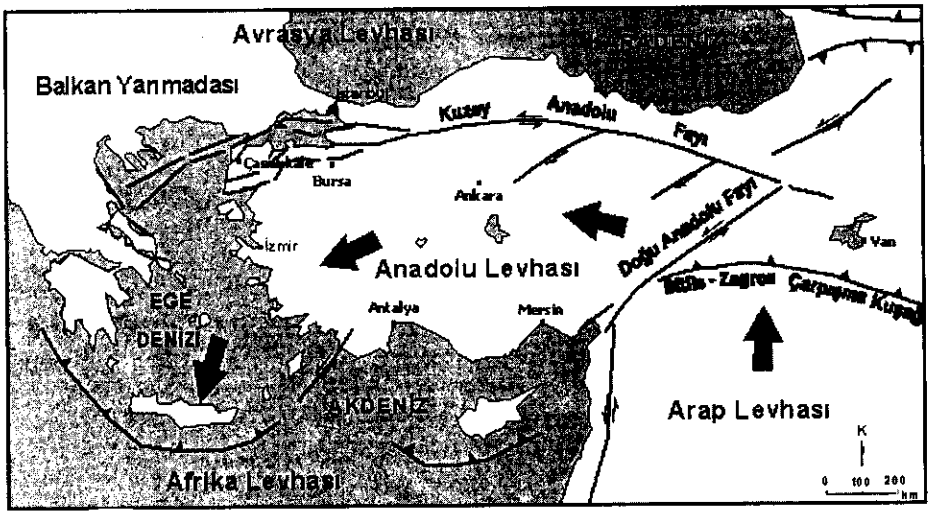
17 Ağustos 1999 Salı günü saat 03:01:38'de Türkiye'nin kuzeybatısında, Bolu'dan İstanbul'a 65.000 km_'lik alanda etkili olan 7.4 büyüklüğünde bir deprem meydana gelmiştir. Dünyanın en aktif deprem kuşaklarından biri olan Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun batı bölümünde meydana gelen deprem, özellikle fay hattına yakın ve zemin koşullarının depreme karşı dayanıksız olduğu alanlarda büyük hasarlara neden olmuştur. Başta Yalova, Değirmendere, Gölcük, Karamürsel, İzmit ve Adapazarı olmak üzere İstanbul, Bolu ve Düzce'de de etkili olan deprem sonucunda, binlerce insan hayatını kaybetmiş, onbinlerce insan yaralanmış ve yüzbinlerce insan da evsiz kalmıştır. Gölcük depremi, can kaybı yanında binlerce binanın yıkılması, pek çok sanayi kuruluşunun, yol, köprü ve alt yapı tesisinin zarar görmesi gibi büyük maddi hasarlara da yol açmıştır.

Gölcük depremi nedeniyle meydana gelen hasarın dağılışı ve büyüklüğü üzerinde, fiziki ve beşeri pek çok unsur etkili olmuştur. Yapılan arazi çalışmalarında da açık bir şekilde görüldüğü üzere, depremin şiddeti ve süresi ile, etkili olduğu sahanın zemin özellikleri, hasarın büyüklüğü ve dağılışı üzerine etki eden en önemli faktörleri oluşturmaktadır. Deprem nedeniyle meydana gelen faylanmalar, ötelenmeler, çökmeler ve zemindeki sıvılaşma olayları, Gölcük depreminde hasarı arttıran başlıca etkenler olmuştur. Yapıların malzeme ve işçilik kalitesinin düşük olması da şüphesiz can ve mal kaybının artmasında etkili olmuştur.

## Türkiye'nin Depremselliği

Türkiye, dünyanın deprem açısından en aktif bölgelerinden biri olan Alp-Himalaya kuşağında yer almaktadır. Anadolu yarımadası; güneyden Afrika, güneydoğudan Arabistan ve kuzeyden de Avrasya plakaları ile çevrili bulunmaktadır. Afrika ve Arabistan plakalarının kuzeye doğru hareketi, Anadolu yarımadasının, kuzeydeki sabit kabul edilen Avrasya plakasına göre Kuzey Anadolu fayı boyunca batıya doğru kaymasına neden olmaktadır (Şekil 1). Bu hareketlere bağlı olarak Anadolu'da geçmişten günümüze pek çok hasar yapıcı deprem

meydana gelmiştir. 17 Ağustos 1999 Gölcük depreminden önce 20. yüzyılda Türkiye'de hasara neden olan 146 deprem meydana gelmiş, bunların sonucunda 65.882 insan ölürken 128.000 kişi de yaralanmış ve 540.000 bina da yıkılmış veya ağır hasara uğramıştır.




**Şekil 1:** Türkiye ve çevresindeki levha tektoniği modeli (Şengör ve diğ., 1985'ten değiştirilerek).
***Figure 1:*** *Plate tectonics model in Turkey (Modified from Sengör et al, 1985).*

Türkiye'de meydana gelen büyük ve hasar yapıcı depremlerin Kuzey Anadolu Fay Zonu'nda yoğunlaştığı gözlenmektedir. 1350 km boyunca doğuda Varto'dan başlayarak batıda Ege Denizi'ne kadar uzanan Kuzey Anadolu Fayı sağ yanal atımlı bir faydır. 1939 yılından bu yana, KAF boyunca büyüklüğü 6.7'den büyük 11 adet deprem meydana gelmiştir. 17 Ağustos 1999 Gölcük depremi, yaklaşık 40 bin kişinin ölümüne yol açan 1939 Erzincan depreminden sonra, geçen yüzyıl Türkiye'de en fazla insan kaybının meydana geldiği deprem olarak tarihe geçmiştir.

### 17 Ağustos 1999 Gölcük Depremi

Gölcük depremi, 17 Ağustos 1999 tarihinde saat 03:01:38'de Kuzey Anadolu Fayı'nın Gölyaka'dan Gölcük'e kadar olan batı bölümünde meydana gelmiştir. Moment magnitudu (Mw) 7.4 olan deprem 45 saniye sürmüştür. Depremin odak merkezi İstanbul'un yaklaşık 75 km doğusundaki İzmit'in Gölcük ilçe mekezidir. Deprem 16 km'lik odak derinliği ile sığ depremler grubuna girmektedir. Deprem, Türkiye'nin kuzeybatı bölümünde Marmara Bölgesi'nin tamamı ile doğuda Bolu, Düzce ve Eskişehir'de yaklaşık olarak 65.000 km²'lik bir alanda hissedilmiştir. Batıda Karamürsel açıklarından doğuda Gölyaka'ya kadar olan bö-

lümde 125 km'lik sağ yanal atımlı bir yüzey kırığı meydana getiren deprem, bu kırık boyunca ve çevresinde yer alan yerleşim alanlarında yaklaşık 16 bin kişinin ölmesine ve büyük maddi hasara neden olmuştur.

**Zemin Özellikleri ile Yeryüzü Şekillerinin Depremin Şiddeti ve Hasar Dağılışına Etkisi**

Gölcük depreminde hasarın miktarı ve dağılışı üzerinde pek çok faktör etkili olmuştur. Depremin büyüklüğü ve süresi, deprem ile birlikte arazide meydana gelen faylanmalar, çökmeler, kaymalar, sahanın deprem merkezine olan uzaklığı ile jeolojik ve jeomorfolojik özellikleri ve zeminin sıvılaşma potansiyeli Gölcük depreminde meydana gelen hasarın miktarı ve dağılışı üzerinde etkili olan en önemli faktörlerdir. Bu faktörler içerisinde en önemli olanı depremde en çok hasar gören yerleşim alanlarının depreme karşı dayanıksız zeminler üzerinde kurulmuş olmalarıdır.

**Zemin ve Yerşekili Özellikleri**

Gölcük depreminde hasar miktarının fazla ve dağılışının bölgelere göre farklı olmasında en önemli etkeni zemin koşulları oluşturmaktadır. Depremin hissedildiği bölgelerde zemini sağlam olan yamaç ve tepelik alanlar ile alüvyal zeminli, düz ve ovalık alanlar arasında hasarın miktarı ve dağılışı açısından çok büyük farklar vardır. Aynı zemin yapısına sahip düzlük alanlarda kurulmuş yerleşim alanlarında bile hasar farklı olarak gelişmiştir. Bu hasarın farklı olmasında sahanın zemin özelliği etkili olmuştur. Eski alüvyonların ve yamaç bloklarının yer aldığı dağ eteklerine yakın kesimlerde hasar nispeten daha az olurken, daha ince taneli ve klastik malzemenin bulunduğu alüvyal sahalardaki yerleşim birimlerinde (Adapazarı, İzmit, Körfez, Gölcük, Değirmendere, Karamürsel, Yalova, Çınarcık, Düzce, Gölyaka, Sapanca) hasarın büyük olduğu gözlenmiştir. Özellikle fay hattına çok yakın olmasına rağmen ana kaya üzerinde kurulu yerleşim alanlarında (Gölcük-Karamürsel arasında fay hattının hemen güneyinde dağ yamaçlarında kurulmuş yerleşmeler) hemen hemen hiç hasar meydana gelmemişken gevşek ve tutturulmamış malzemeden oluşan zeminlerin bulunduğu sahalarda (Avcılar, Karasu, Akçakoca), faydan uzak olsa dahi, hasar yüksek değerlere ulaşmıştır. Bu gibi alüvyal zeminler, deprem şiddetini arttırdıklarından hasarın büyümesine neden olmuşlardır. Deprem ile birlikte en büyük hasara uğrayan bölgeler; İzmit-Yalova arasındaki sahil şeridi ile bu bölgenin yamaç kısımlarında denize akan derelerin yatakları, İzmit Körfezi ile Sapanca Gölü arasındaki saha, Sakarya Nehri'nin taşıyıp biriktirdiği alüvyonlar üzerinde kurulu Adapazarı şehri, Düzce Ovası ve faydan yaklaşık 110 km uzakta olmasına karşın İstanbul'un Avcılar bölgesidir. Zemini özellikle gevşek kum, siltli kum ve kilden ibaret olan bu gibi bölgelerde, yeraltı su seviyesinin de yüzeye çok yakın olması sıvılaşmaya bağlı olarak hasarın daha da artmasına neden olmuştur.

İzmit ve Yalova arasındaki sahil şeridindeki delta alanları ile İzmit Körfezi ile Sapanca Gölü arasındaki geniş ve uzun alüvyal düzlükler İzmit körfezine akan

nehirler tarafından getirilen sedimanlarla oluşturulmuştur. Bu alanlardaki alüvyal depoların yapısal özellikleri yer yer değişmekle beraber genellikle aynı olup, sıvılaşma potansiyeli yüksek olan gevşek kum ve kil tabakaları içermektedir. İzmit'te, körfezin hemen doğusunda yer alan yumuşak kil tabakalarının kalınlığı 30 m'yi bulmaktadır. Bunların altında ise siltli kum tabakaları yer almaktadır (Erken, A.). Yeraltı su seviyesinin yüzeyden 1 m kadar aşağıda olduğu İzmit'de Gölcük depreminde oluşan fay 5 km güneyden geçmektedir. Fay boyunca bulunan yerleşim alanlarında bazı binalarda hiç hasar yokken İzmit'in alüvyal malzeme üzerinde yer alan yapılarda ağır hasar meydana gelmiştir. İzmit'in kuzey kesiminde sağlam zeminin bulunduğu yüksek kesimlerde ise hiç bir hasar görülmemiştir. Depremden en büyük zararı gören yerleşim merkezlerinden biri olan Gölcük de kalın bir sediman depo üzerinde kurulmuştur (Foto 1). Yine Çınarcık'ta eski bir dere yatağı üzerinde kurulmuş olan yapıların çoğu yıkılmıştır.

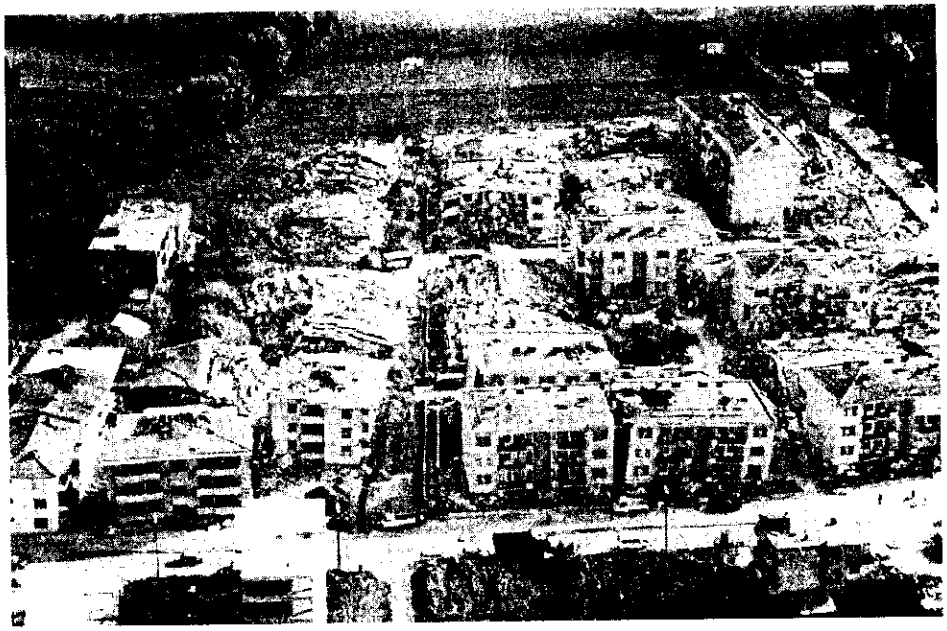
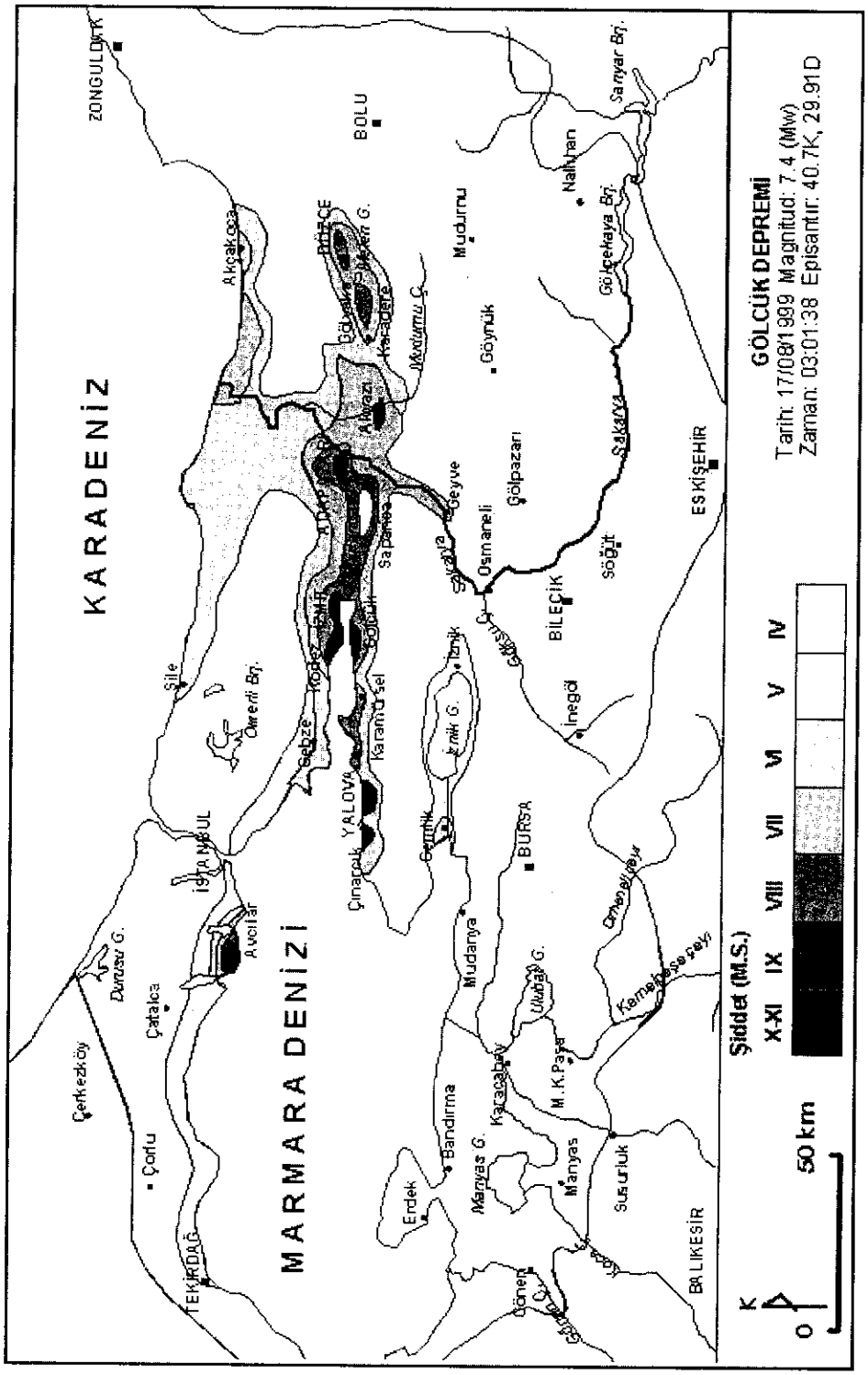


**Foto 1:** Gölcük'te alüvyal gevşek zemin üzerinde inşa edilmiş binaların depremden sonraki hali (B.Ü. Kandilli Rast. ve Deprem Arş. Enst.).
***Photo 1:*** *The view of damaged buildings on alluvial ground in Gölcük (B.U. Kandilli Observatory and Earthquake Resc. Inst.).*

Gölcük depremi sonucunda büyük can ve mal kaybının yaşandığı Adapazarı da özellikle sıvılaşmanın sık görüldüğü kum ve silt tabakalarından oluşan alüvyal bir depo üzerinde kurulmuştur. Depremde oluşan fay, Adapazarı'nın 4 km güneyinden geçmesine rağmen en büyük hasar şehir merkezindeki düzlük alanlarda meydana gelirken şehrin kuzeyindeki yüksek kesimlerde, temelleri ana kaya üzerinde yer alan yapılarda ise hasar oluşmamıştır.




**Şekil 2:** Gölcük (17 Ağustos 1999) depremi eşşiddet haritası.
***Figure 2:*** *Map of Mercalli intensities of the 17th, August 1999 Gölcük earthquake.*

Zemin özelliklerinin, depremde hasarı arttırması açısından ne kadar önemli olduğu Gölcük depremiyle, İstanbul-Avcılar'da da açık bir şekilde ortaya çıkmıştır. Avcılar kil, marn ve kumdan oluşan tutturulmamış yumuşak tabakalar üzerinde yer almaktadır. Depreme karşı son derece dayanıksız olan bu zeminde, deprem sonucunda pek çok bina ağır şekilde hasar görmüştür.

Gölcük depreminde hasarın fazla olmasının en önemli nedenlerinden biri de zemindeki sıvılaşma olayıdır. Sıvılaşma, suya doymuş sedimanların geçici olarak güçlerini kaybetmeleri ve bir sıvı gibi hareket etmeleri ile oluşan fiziki bir süreçtir. Sıvılaşma, deprem dalgaları suya doymuş halde bulunan tutturulmamış kum ve silt gibi tabakalardan geçerken meydana gelmektedir. Gözenek boşluklarındaki çökmelere bağlı olarak boşluk su basıncı artan toprağın direnci düşmekte ve toprak sanki bir sıvıymış gibi akışa geçmektedir. Sıvılaşma genel olarak yeraltı su seviyesinin yüzeye yakın olduğu alanlarda ve kumlu zeminlerde meydana gelir. Bu nedenle, sıvılaşmaya karşı en dayanıksız zeminleri akarsu ve göl kıyıları ile eski akarsu ve göl depoları oluşturmaktadır. Gölcük depreminde de bu gibi alanlarda sıvılaşma sonucunda zemin üzerinde yana yayılmalar, çökmeler, çatlaklar ve kum fışkırmaları meydana gelirken yapılarda ise yere batmalar, yan yatmalar ve devrilmeler gözlenmiştir.

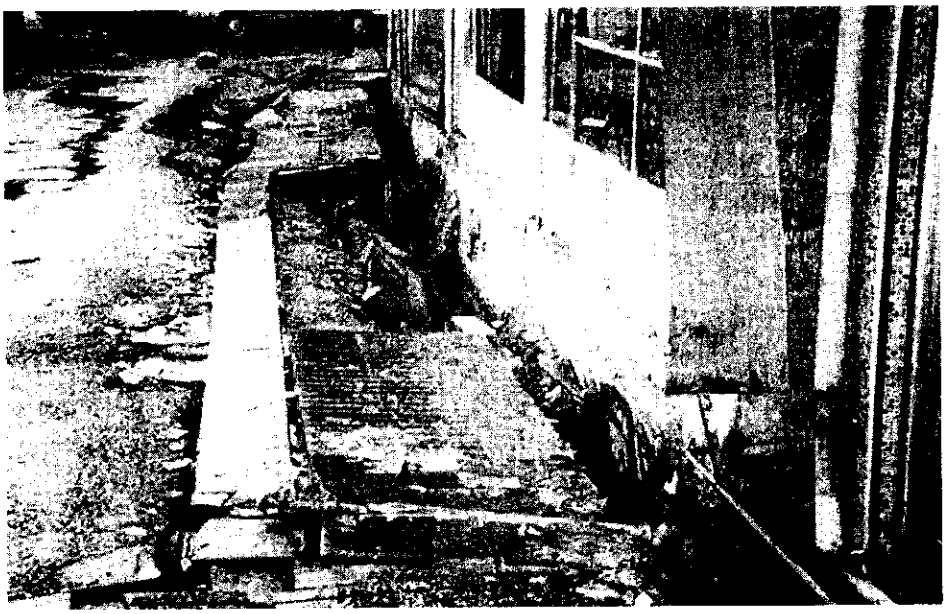


**Foto 2:** Adapazarı'nda sıvılaşma nedeniyle zarar gören bina (R. Efe).
***Photo 2:****Damaged building in liquefied areas in Adapazarı (R. Efe).*

Gölcük depreminde Adapazarı ve İzmit başta olmak üzere Yalova, Gölcük ve Sapanca'da yeraltı su seviyesinin yüzeye yakın olduğu alüvyal zeminler ile

kıyı kesimindeki dolgu alanlarında sıvılaşmaya bağlı olarak birçok yapı hasar görmüştür. Özellikle, Adapazarı'nın büyük bir bölümü sıvılaşmaya karşı son derece dayanıksız olan kum ve silt tabakalarından oluşan bir depo üzerinde kurulmuştur. Adapazarı'nda depreme bağlı olarak oluşan sıvılaşma alanlarında yeralan binaların %60'tan fazlası zemine ya gömülerek ağır hasara uğramış ya da tümüyle yıkılmıştır (Foto 2). Yeraltı su seviyesinin yüzeyden 1 ile 3 metre aşağıda yeraldığı Adapazarı'nda binaların yere batması sonucu alttaki malzemenin yanlara fışkırması kaldırım ve yollarda şişme, kabarma ve çatlaklara yol açmıştır.

## Gölcük Depremi'nin Şiddet Dağılışı

Gölcük depreminin şiddet dağılış haritası (Şekil 2) arazi gözlemleri, hasar dağılışı ve miktarı, rasathane verileri ve sahanın zemin özellikleri dikkate alınarak hazırlanmıştır. Bu haritada da görüldüğü gibi depremin şiddet dağılışında belli bir düzensizlik söz konusudur. Haritada depremin dış merkezine ve deprem ile oluşan fay hatlarına yakın olduğu halde şiddetin az olduğu alanlar ile depremin merkezinden uzak olduğu halde şiddetin fazla olduğu alanlar hemen dikkati çekmektedir. Depremin şiddet dağılışının bu şekilde farklı olmasının temel nedeni sahanın zemin özellikleridir. Depremin dış merkezi ve fay hattına olan uzaklık ile binaların yapı kalitesi şiddet dağılışında etkili olan diğer unsurlardır. Deprem şiddetini etkilemesi açısından zemin özelliklerinin ne denli önemli olduğu, Gölcük depremi sonucunda Avcılar'da meydana gelen büyük hasar ile bir kez daha kanıtlanmıştır. Depremin odak merkezinden yaklaşık 110 km uzakta olmasına rağmen deprem şiddetinin en fazla olduğu alanlardan biri de Avcılar olmuştur. Depremin dış merkezine daha yakın olmasına rağmen hiç hasar görmeyen alanların varlığı Avcılar'daki şiddet artışının nedeninin zemin özellikleri olduğunu göstermektedir.

Gölcük depreminde şiddetin en fazla olduğu alanlar genel olarak fay hattına yakın, alüvyal ve dolgu zemin üzerinde kurulu yerleşim merkezleridir. Özellikle sıvılaşma olayı, yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu bu gibi alüvyal zeminlerde şiddetin artmasında doğrudan etkili olmuştur. Çınarcık, Yalova, Değirmendere, Gölcük, Körfez, İzmit ve Adapazarı deprem şiddetinin en fazla olduğu alanlardır. Bu alanlarda depremin şiddeti X-XI olarak gerçekleşmiştir. Karamürsel, Sapanca, Düzce ve Gölyaka başta olmak üzere Avcılar ve İzmit körfezi ile Adapazarı arasındaki saha deprem şiddetinin IX olduğu alanlardır. Karadere, Akyazı ve depremin dış merkezinden uzak olmasına rağmen alüvyal zemin üzerinde kurulmuş olan Karasu ve Akçakoca'da deprem VIII şiddetinde hissedilmiştir. İzmit Körfezi'nin kuzey kıyıları ile Kandıra ve Şile arasındaki Karadeniz kıyılarında VII olan şiddet, İznik Gölü çevresinde ve Gebze'den Avcılar ve Avcılar'dan Tekirdağ'a kadar uzanan Marmara Denizi kıyılarında VI'ya düşmüştür. Depremin dış merkezine ve fay hattına yakın olmasına rağmen zemini sağlam olan dağlık ve tepelik alanlarda depremin şiddeti çok az olmuştur. Bu gibi alanlar ile deprem merkezinden uzak mesafelerdeki; doğuda Bolu, güneyde Eskişehir, Bi-

lecik, Bursa, batıda ise Bandırma, Gönen ve Tekirdağ'ın batısına kadar olan sahalarda deprem şiddeti V olmuştur.

**Foto 3:** Gölcük kıyılarında meydana gelen göçme nedeniyle sular altında kalan alanlar (R. Efe).
***Photo 3:*** *Inundation by seawater due to coastal subsidence in Golcuk (R. Efe).*

## Hasar Dağılışı

Gölcük depreminin hasara neden olan ilk önemli etkisi depremin büyüklüğüdür. 7.4 (Mw) büyüklüğündeki depremde ve daha sonra meydana gelen artçı şoklarda olusan deprem dalgaları yapıların yıkılmasına neden olmuşlardır. Elde edilen sismik verilere göre deprem iki ana şoktan oluşmaktadır. Merkezi Gölcük olan ve 15 saniye süren ilk şokun ardından 5 saniye sonra Sapanca Gölü-Akyazı arasında 30 saniyelik ikinci şok meydana gelmiş ve deprem, toplam 45 saniye süre ile çevrede şiddetli sarsıntılara neden olmuştur. Bu sarsıntılar nedeniyle arazide, Karamürsel-Gölyaka arasında doğu-batı yönünde uzanan bir yüzey kırığı meydana gelmiştir. Yine şiddetli sarsıntı, bazı kısımlarda yarık ve çatlaklar oluşurken bazı alanlarda da heyelan ve çökmelere neden olmuştur. Kavaklı, Gölcük ve Sapanca Gölü kıyılarındaki çökmeler bu sahalarda kıyı jeomorfolojisinde önemli değişimler meydana getirmiştir (Foto 3). Şiddetli sarsıntı nedeniyle Bolu tüneli yakınında İstanbul-Ankara karayolunun bir kısmı çökmüştür.

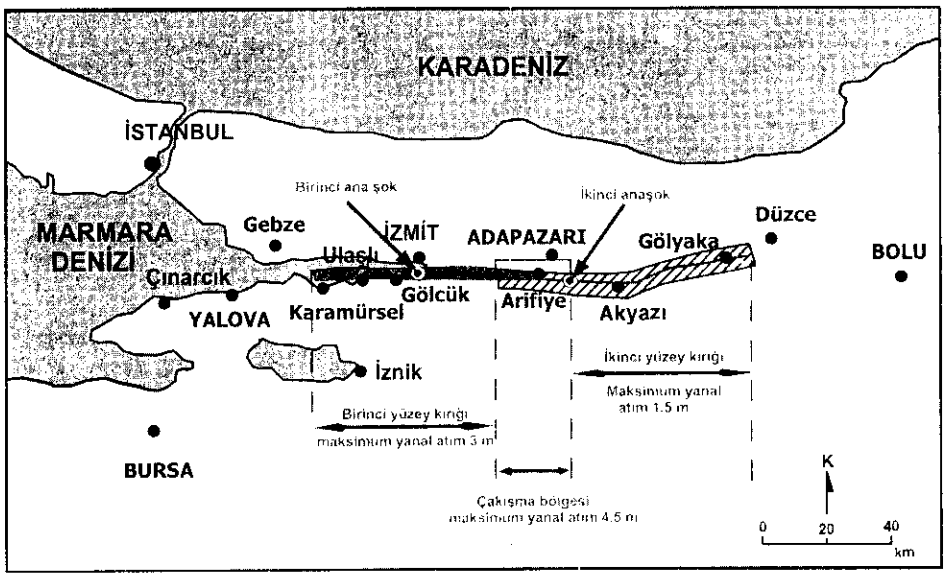
Gölcük depreminde en büyük hasarlar fay hattı üzerinde ve yakınında yer alan yerleşim alanlarında meydana gelmiştir. Fay hatları, kırık boyunca pek çok bina ve sanayi tesisinin, limanların, yol, köprü ve altyapı tesislerinin zarar görmesine yol açmıştır.

**Foto 4:** Adapazarı civarında yüzey kırığı boyunca meydana gelen 3.50 m'lik sağ yönlü yanal atım (Sağlamer ve diğ., 1999).
***Photo 4:*** *Right-lateral strike-slip 3.50 m in length along the surface rupture near Adapazarı (Sağlamer et al, 1999).*

Depremde ilk şok ile Karamürsel-Sapanca arasında 75 km ve ikinci şok ile de Sapanca Gölü-Gölyaka arasında 50 km olmak üzere toplam 125 km'lik bir yüzey kırığı meydana gelmiştir (Şekil 3). Yüzey kırığı Düzce'nin 10 km güneyinden başlayarak Gölyaka ve Akyazı ilçelerinden geçtikten sonra Adapazarı'nın 5 km güneyinden batıya doğru uzanarak Sapanca gölüne girmektedir. Gölün diğer tarafından batıya doğru devam eden kırık, İzmit'in 5 km güneyindeki Başiskele civarından İzmit körfezinde Marmara Denizi'ne girmektedir. Kısa bir mesafe deniz içinden giden kırık Gölcük'te tekrar karaya çıkmakta ve şehrin içinden geçerek Yalova'ya doğru devam etmektedir. Kırık boyunca birden fazla segment gözlenmiş olup bunlar batıdan doğuya doğru; Hersek, Gölcük, İzmit-Sapanca, Sapanca-Akyazı, Karadere ve Aksu segmentleri ile Gölyaka segmentidir. Yüzey kırığı boyunca arazide yer yer yarıklar, çatlaklar, çökme, kabarma ve heyelanlar gibi yüzeysel deformasyonlar meydana gelmiş ve bunlar, üzerlerinde bulunan yapılarda büyük hasara neden olmuştur.

Özellikle Değirmendere, Gölcük, Kullar, Maşukiye, Acısu, Arifiye, Aşağı Kirazlı ve Horozlar gibi yerleşim yerlerinde doğrudan fay üzerinde inşa edilmiş evler ve diğer yapılar fayla kesilerek hasar görmüştür.

Gölcük depreminde fay boyunca meydana gelen yer değiştirmeler büyük ha-




**Şekil 3:** 17 Ağustos 1999 Gölcük depremi ana şok yerleri ve oluşan yüzey kırığı.
***Figure 3:*** *Main shocks of the Gölcük earthquake and horizontal displacement on the fault lines.*

sarlara neden olmuştur. Depremde, Kuzey Anadolu fayının genel yapısına bağlı olarak kırık boyunca yatay ve düşey ötelenmeler meydana gelmiştir. Karamürsel-Gölcük ve Gölcük-Sapanca arasında 3 metre olan sağ yanal atım Akyazı-Gölyaka arasında 1.5 metredir. İki kırığın çakışma bölgesi olan Sapanca-Akyazı arasında kalan Arifiye'deki yanal atım ise 4.5 metre olarak ölçülmüştür. Kırık boyunca maksimum yatay yer değişme 4.5 m ile Arifiye'nin doğusunda meydana gelirken en fazla düşey yer değiştirme ise 3 m'dir. Meydana gelen bu yer değiştirmeler fay üzerinde bulunan bina, yol ve köprü gibi yapıların sağ yönde ötelenerek zarar görmelerine neden olmuşlardır (Foto 4). Arifiye'de tren raylarının 3.50 m sağ yönlü yer değiştirmiş olması kırık boyunca meydana gelen atımı açık bir şekilde göstermektedir (Foto 5).

Gölcük depremi sonucu oluşan kırığın genel olarak sağ yönlü yanal atım karakterinde olmasına karşılık, Adapazarı güneyinde fayda bir bindirme, Gölcük-Karamürsel arasında ise normal eğim atım gözlenmiştir. Bu durum kırık boyunca hasarın miktarı ve dağılışı üzerinde kısmen etkili olmuştur. Özellikle Gölcük-Değirmendere-Karamürsel arasındaki sahada kırılmaya bağlı olarak kıyı alanlarında denize doğru kaymalar olmuştur. Gölcük'te kıyı kesimi, üzerinde bulunan yol, park ve bazı binalarla birlikte denize doğru sürüklenmiştir. Değirmendere'de Kıyı bölgesinin 2 metre çökerek sular altında kalması, kıyı çizgisinin yaklaşık 50 metre karaya doğru ilerlemesine neden olmuştur.

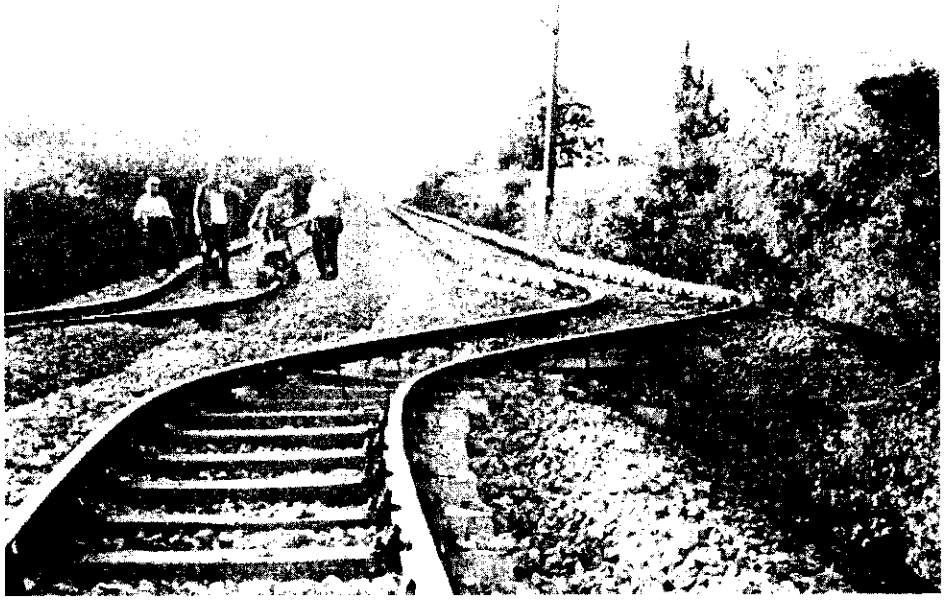


**Foto 5:** Arifiye'de deprem nedeniyle deformasyona uğrayan İstanbul-Ankara demiryolu (Sağlamer ve diğ., 1999).
***Photo 5:*** *Railway deformation along the fault trace in Arifiye due to Gölcük earthquake (Sağlamer et al. 1999).*

Gölcük depreminde ortaya çıkan en önemli özelliklerden biri de bütün hasarın ana şoktan kaynaklanmadığı, bir çok binanın da artçı depremler yüzünden yıkıldığıdır. Ana şoktan sonra bir gün içinde 26 tanesi tahrip gücüne sahip (Mw ≥ 4) 100'den fazla artçı deprem meydana gelmiştir. Adapazarı, İzmit ve Gölcük'te ilk şok ile büyük zarar gören pekçok bina, tahrip gücüne sahip artçı şoklar nedeniyle yıkılmıştır. Gölcük depreminde artçı şokların sayısı ve sıklıkları zaman geçtikçe giderek düşmüştür. Ana depremden sonra 9 Kasım 1999 tarihine kadar yaklaşık 4000'e yakın artçı deprem meydana gelmiş olup bunların 6 tanesinin magnitüdü 5.0'dan büyüktür.

Gölcük depremi, doğuda Bolu'dan başlamak üzere Gölyaka, Düzce, Akyazı, Adapazarı, İzmit, Gölcük, Değirmendere, Karamürsel, Yalova, Çınarcık ve İstanbul-Avcılar'da büyük can ve mal kayıplarına neden olmuştur. 65.000 km$^2$'lik alanda 16 milyon insan depremden çeşitli şekillerde etkilenmiştir. Deprem sonucunda 15.466 insan ölürken 23.954 kişi de yaralanmıştır. Diğer yandan 66.441 konutun yıkıldığı veya oturulamayacak kadar ağır hasar gördüğü depremde 300 bine yakın insan evsiz kalmıştır.

Deprem şiddetinin yüksek olduğu bölgeler, sadece nüfus yoğunluğunun değil aynı zamanda sanayi tesislerinin de en yoğun olduğu alanlardır. Petrokimya,

lastik, otomobil, kağıt, çimento, çelik ve ilaç fabrikaları depremden çeşitli oranlarda zarar görmüşlerdir. Binlerce binanın yıkılması ve pek çok sanayi tesisinin büyük maddi hasar görmesi yanında Gölcük depremi, limanların, yol, köprü, su ve kanalizasyon tesisleri gibi alt yapı hizmetlerinin de büyük zarar görmesine yol açmıştır.

Değeri para ile ölçülemeyecek manevi kayıpların yaşandığı depremden yüzbinlerce insan etkilenmiştir. Deprem sonucunda meydana gelen maddi kayıp gerçek olarak hesaplanamasa da zararın 6.5 milyar American dolarından fazla olduğu tahmin edilmektedir.

**Sonuç ve Öneriler**

Deprem çok kısa süren bir doğal olaydır. Bu süre içinde yapılacakların sayısı yok denecek kadar azdır. Bundan dolayı deprem öncesinde yapılacak çalışmalar son derece önemlidir. Diğer doğal afetlerde olduğu gibi depremin de zararlarından korunmak için öncelikle doğadaki mevcut tehlikelerin iyi bilinmesi ve bunların meydana getirebileceği riskleri azaltabilmek için, doğal ortamın en akılcı yol ve yöntemlerle kullanılması gerekmektedir. Gölcük depremiyle bir kez daha gün yüzüne çıkmıştır ki can ve mal kaybının asıl sorumlusu depremin kendisi değil, deprem gerçeğini görmezlikten gelerek hareket eden insanoğlunun ta kendisidir. Gölcük depremiyle en fazla can ve mal kaybına uğrayan alanların birinci derecede deprem riski taşıdığı, yakın tarihte meydana gelen hasar yapıcı pek çok depremle birlikte bilinmekteydi. Ancak hızlı nüfus artışı ve göçler, plansız, denetimsiz ve bilimsellikten uzak şehirleşme ve sanayileşme, kaçak yapılaşma, bilgi ve eğitim eksikliği, yanlış yer seçimi gibi nedenlerle bu bölgede deprem riski zamanla daha da artmış ve sonuçta 17 Ağustos 1999 depremiyle de bu yanlış uygulamaların faturasını Türkiye ağır bir şekilde ödemiştir.

Gölcük depreminde büyük hasara uğrayan yerleşim alanlarının ortak özelliklerine baktığımız zaman bunların, fay hattının üzerinde veya yakınında ve depreme karşı son derece dayanıksız zeminler üzerinde kurulmuş olduklarını görmekteyiz. Özellikle Gölcük depremi sonucunda ayakta kalabilmiş binalarda birinci etken yıkılmış binalara göre daha uygun zeminler üzerinde kurulu olmalarıdır. O halde, Gölcük depremi sonucunda hasarın fazla olmasının başlıca nedenleri arasında, yerleşim birimlerinin yanlış yere yapılmasının birinci derecede etkili olduğunu söyleyebiliriz. Özellikle yeraltı su seviyesinin yüzeye çok yakın olduğu, taşıma gücü zayıf zeminlerde ve kıyıdaki dolgu alanlarında hiç bir inceleme yapmadan gelişigüzel bir biçimde çok katlı binaların ve sanayi tesislerinin yapılması, Gölcük depreminde felakete adeta davetiye çıkarmıştır.

Meydana gelen depremlerde bu şekilde ağır can ve mal kaybına uğramamak için öncelikle, deprem gerçeğini ve deprem zararlarının ancak deprem olmadan önce alınacak önlemlerle azaltılabileceğini unutmamak gerekir. Bu nedenle, yeni iskana açılacak yerleşim alanlarının seçilmesi, planlanması, sanayi tesisleri, yol, köprü, tünel ve baraj gibi projelerin gerçekleştirilmesi aşamasında

arazi kullanım planları hazırlanarak sahanın zemin etüdünün mutlaka yapılması gerekir. Meydana getireceği zemin büyütmesi ve sıvılaşma gibi tehlikeler, gereği gibi incelenmeden ve gerekli şartlar sağlanmadan dolgu, alüvyal zemin ve fay üzerinde yapılaşmaya kesinlikle izin verilmemelidir. Deprem riski yüksek olan bölgelerde heyelan olabilecek sahalar tespit edilerek bu sahalar yerleşime açılmamalıdır.

Gevşek alüvyal zeminlerde deprem dalgalarının büyütülerek iletileceği unutulmamalıdır. Buna bağlı olarak bu tip alanlar zorunlu olmadıkça iskana açılmamalı, mutlaka iskana açılması gerekli olan yerlerde ise zeminin taşıma gücü ve diğer özelliklerine göre mikrobölgelendirme çalışmaları yapılmalı ve yapı yükseklikleri buna göre belirlenmelidir. Ayrıca alüvyal zeminlerdeki yeraltı su seviyesi ve sıvılaşma potansiyeli incelenerek zeminin taşıma kapasitesi belirlenmeli ve olası bir deprem sırasında sıvılaşma potansiyeli yüksek bölgeler yapılaşmaya açılmamalıdır.

## Kaynakça

AMBRASEYS, N. N., 1970, Some characteristics features of the North Anatolian fault zone. Tectonophysics, 9, 143-165.

AKYÜZ, H.S., BARKA, A., ALTUNEL, E., HARTLEB, R., SUNAL, G., 2000, Field observations and slip distribution of the November 12, 1999 Duzce earthquake (M=7.1) Bolu-Turkey. The 1999 İzmit and Düzce Earthquake: preliminary results. (Ed. Barka, A., Kocacı, Ö., Akyüz, S., Altunel, E.) Istanbul Technical University.

BARGU, S., 1997. İzmit Körfezi'ndeki Pleyistosen taraçaları ve tektonik özellikleri. İst. Üniv. Müh. Fak. Yerbilimleri Dergisi, 10, 1-27.

Başbakanlık Kriz Yönetim Merkezi,1999, Basın bildirileri, Ankara.

B.Ü. Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, 1999, 17 Ağustos İzmit Depremi Raporu, İstanbul.

DEMİRTAŞ, R., YILMAZ, R., 1993, 13 Mart 1992 Erzincan Depremi raporu. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdr., Deprem Araştırma Daires Başkanlığı yayını. Ankara.

DEMİRTAŞ, R., ERKMEN, C., YILMAZ, R., 1999, Kuzey Anadolu Fayı, Sapanca-Gölcük Segmentinde Paleosismolojik Çalışmalar; 17 Agustos 1999 Izmit Korfezi Depremi; Kullar Hendek Çalışması Ön Sonuçları. ATAG 3 Toplantısı Bildiri Özleri Kitapçığı.14, 4-5 Kasım 1999 Sivas.

EFE, R., 1998, Adana-Ceyhan Depremi. Fatih Üniversitesi yay. ISBN-975 303 000-2

EFE, R., 2000a, Kuzeybatı Anadolu'nun Jeomorfotektoniği. Badsem 2000, Batı Anadolu'nun Depremselliği Sempozyumu. Bildiri Kitabı sayfa 112-119. ISBN 975-585-148-8, İzmir.

EFE, R., 2000b, The Effect of Gölcük and Düzce 1999 Earthquakes (NW of Tukey) on

Natural Environment. 29th Geographical Congress. 14-18 August, 2000 Seoul, Korea.

EFE, R., Novakowski, N., 2000c, Landuse Planning in Earthquake Prone Areas. The International Symposium on Desertification, 13-17 June 2000, Konya-Turkey.

EFE, R. 2000, Gölcük ve Düzce Depremleri-1999. Fatih Üniversitesi yayını. Istanbul. ISBN 975 303 007-X.

ERGİN, K., GÜÇLÜ, U., AKSOY, G., 1971, Türkiye ve dolaylarının deprem kataloğu, İTÜ., Maden Fakültesi, Arz Fiziği Enstitüsü yayını.

ERKEN, A., The Effect of Soil Condition During Kocaeli Earthquake, http://kandilli.koc.net/liq.htm.

HOŞGÖREN, M.Y., 1995. İzmit Körfezi Havzası'nın jeomorfolojisi; İzmit Körfezi'nin Kuvaterner istifi. E. Meriç (ed), 343-348.

İNAN, H. E., 1999, 17 Ağustos 1999 Gölcük Depremi Ön Raporu, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara.

KALAFAT, D., 2000, 17 Ağustos 1999 ve 12 Kasım 1999 Düzce Depremleri, Jeofizik Bülteni, yıl 12, sayı 36, İstanbul.

KETİN, İ., 1969, Kuzey Anadolu'nun Tektonik Birlikleri, M.T.A. Dergisi, 72, 1-27, Ankara.

LETTIS, W., BACHHUBER, J., BARKA, A., WITTER, R., BRANKMAN, C., 2000, Surface Fault Rupture and Segmentation During the Kocaeli Earthquake. The 1999 İzmit and Düzce Earthquake: preliminary results. (Ed. Barka, A., Kocacı, Ö., Akyüz, S., Altunel, E.) Istanbul Technical University.

MEREMONTE, M,, ÖZEL, O., CRANSWICK, E., ERDİK, M., Şafak, E., OVERTURF, D., FRANKEL, A., HOLZER T., 2000, Damage and Site Response in Avcılar, West of Istanbul. The 1999 İzmit and Düzce Earthquake: preliminary results. (Ed. Barka, A., Kocacı, Ö., Akyüz, S., Altunel, E.) Istanbul Technical University.

ÖZMEN, B., NURLU, M., GÜLER, H., 1997. Coğrafi Bilgi Sistemi ile Deprem Bölgelerinin İncelenmesi. T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müd. 89 s.

SAĞLAMER, G., BARKA, A., SAĞLAMER, A., BODUROĞLU, H., KARADOĞAN, F., ANSAL, A., EREN, İ., CELEP, Z., GİRİTLİOĞLU, C., ÜNÜGÜR, M., DİKBAŞ, A., TÜYSÜZ, O., AKYÜZ, S., ALTUNEL, E., SUNAL, G., 1999, 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi Ön Değerlendirme Raporu. İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

ŞAROĞLU, F., EMRE, Ö., KUŞÇU, İ., 1987. Türkiye Diri Fay Haritası, MTA Genel Müd.

ŞENGÖR, A.M.C., GÖRÜR, N., ŞAROĞLU, F., 1985, Strike-Slip Faulting and Related Basin Formation in Zones of Tectonic Escape: Turkey as a Case Study. In Biddle. K.T. ve Christie-Blick (eds.), Strike-slip Faulting and Basin Formation, Soc. Of Econ-Paleont. Min. Spec. Pub., 37.

USGS, 2000, Implications for Eartquake Risk Reduction in the United States from the Kocaeli, Turkey, Earthquake of August 17, 1999. U.S. Geological Survey Circular 1193.