

# ERZİNCAN DEPREMİNİ ANLAMAK

Halûk SUCUOĞLU\*

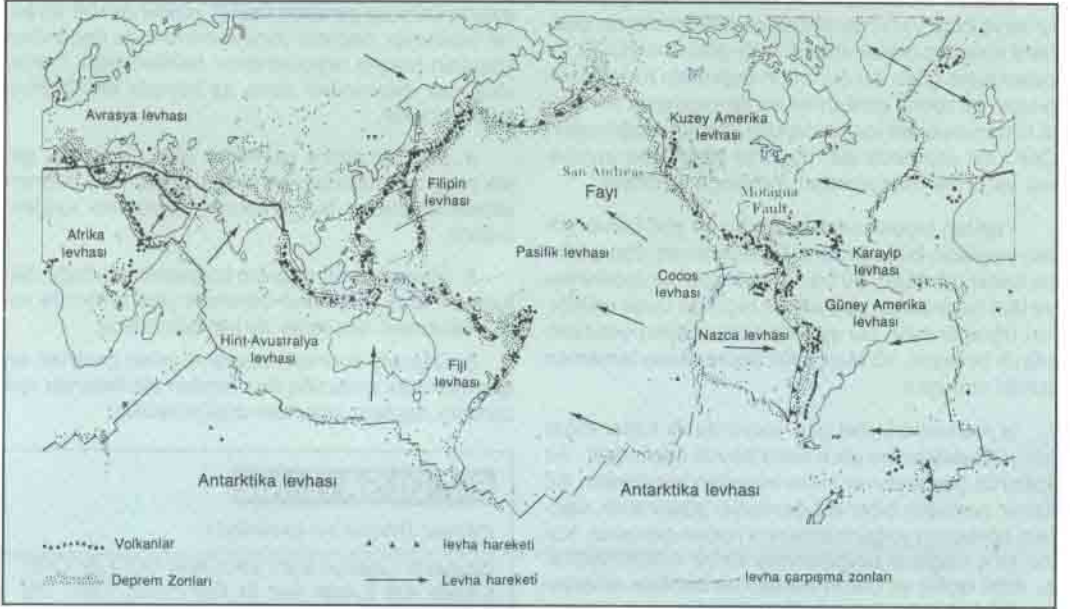
**E**rzincan'da meydana gelen deprem, oluşumu bakımından dünyada olan diğer depremlerin bir benzeri. Elbette kendine özgü bazı özellikleri var. Ancak bunları açıklamadan önce depremleri dünya ölçeğinde değerlendirmemiz gerekiyor.

Dünyada sürekli deprem oluyor ve deprem bölgeleri iki kuşak üzerinde yoğunlaşıyor. Birincisi Büyük Okyanus'u çevreleyen Pasifik Kuşağı. Güney ve Kuzey Amerika'nın batı kıyıları, Alaska, Japonya, Yeni Zelanda bu kuşak üzerinde. İkincisi olan Alp Kuşağı ise İtalya, Yunanistan, Türkiye, İran ve Hindistan (Himalayalar) üzerinden Filipinlere uzanıyor (Şekil 1). Depremlerin oluşum nedenlerini levha tektoniği kavramı ile açıklayabiliyoruz. Milyonlarca yıl önce



*İki katlı, periyodu 0,1 saniye civarındaki taş bina depremden hasar görmeyen, bitişinde periyodu 1 saniye kadar olan altı katlı, ağır perdesiz betonarme bina tamamen çökmüş.*

sürekli olarak birbirleriyle göreceli hareket içerisinde. Bir tektonik levha diğerine göre farklı yönde hareket etmeye çalışırken, ortak sınırlarında oluşan sürtünme kuvvetleri göreceli harekete engel olmaya çalışıyor. Yıllar boyu böylece biriken kabuk gerilmelerinin, levha sınırlarını belirleyen fay düzlemlerindeki sürtünme dayanımını belirli bölgelerde aşması ile anı kaymalar ve yırtılmalar meydana geliyor. Böyle-

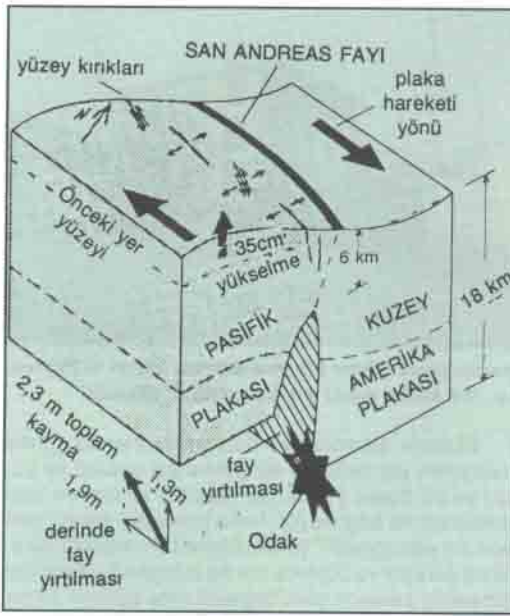


**Şekil 1: Tektonik levha hareketleri ile depremler ve volkanlar arasındaki ilişkiyi gösteren dünya haritası.**

dünyada Pangaea, adı verilen tek bir kıta olduğuna inanılıyor. Pangaea, daha sonra parçalanarak birçok levhaya bölünmüş ve levhalar birbirlerinden uzaklaşmaya başlamış. Dünyadaki karalar ve okyanuslar çeşitli levhaların üzerinde yer alıyor. Bu tektonik levhalar, dünyanın litosfer adı verilen yaklaşık 80 km kalınlığındaki sert dış kabuğunu oluşturuyorlar. Yer kabuğunu meydana getiren tektonik kıta levhaları,

ce kıta levhalarının kenarlarında uzun sürede biriken statik gerilme enerjisi, yırtılarak kayan fay düzlemi boyunca birkaç saniyede kinetik enerjiye dönüşüyor ve kinetik enerji yer kabuğu içerisinde sismik titreşim dalgaları olarak yayılıyor. İşte bu olaya deprem diyoruz. Deprem sırasında iki tektonik levha fay düzlemi boyunca yatay ve düşey atım yapıyor (Şekil 2). Genellikle yer yüzünde hissedilen büyük depremlerde fay yırtılması 35 km'den daha az derinlikte oluyor ve yer üstünde iz yapabiliyor. Jeologlar, Er-

\* Doç.Dr., ODTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü.



Şekil 2: 1989 Loma Prieta (Kaliforniya) depreminde fay yırtılma mekanizması.

zincan depremi odağının yüzeyden 15-20 km derinde olduğunu tahmin ediyorlar. Ancak henüz yüzeydeki izi kesin olarak saptanabilmiş değil.

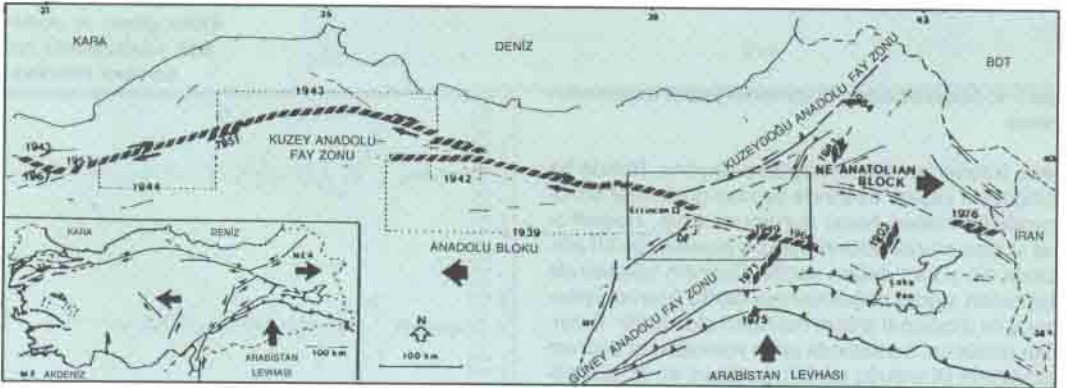
Anadolu'nun kuzeyi, ortası ve güneyi ile ayrı kıta levhaları üzerinde yer alıyor. İki levha Tekirdağ, Adapazarı, Bolu, Gerede, Tosya üzerinden Erzincan'a kadar uzanan Kuzey Anadolu Fayı (KAF) ile ayrılmış (Şekil 3). Kuzey Anadolu, Güney'e göre doğu yönünde hareket etmeye çalışıyor. KAF doğuda Erzincan-Erzurum bölgesinde batıya göre daha hareketli. Bu nedenle doğuda daha büyük depremler gözleniyor. Ege ve Doğu Anadolu'daki depremler ise, daha lokal kıtasal sıkışmalar ve kırılmalar sonucunda oluyor. Doğu Anadolu'yu Arap yarımadası, Ege ve Akdeniz'i ise Afrika kıtası kuzeye doğru hareket ederek sıkıştırıyor ve gerilme birikmesine neden oluyorlar.



Bitişik sıralanan aynı tipteki ve yükseklikteki binaların çok farklı hasar görmesi, yıkılan yapılarda yapıım yönetmeliklerine uyulmadığını akla getiriyor.

## DEPREMLERİ NASIL ÖLÇERİZ?

Fay düzlemlerinde anı kaymaların yarattığı büyük depremler genellikle Richter ölçeği, ile değerlendiriyoruz. Richter ölçeği, depremin büyüklüğünü (dikkat: şiddetini değil) ölçüyor. Büyüklük, deprem merkezinden 100 km uzaktaki bir sismograf cihazı tarafından kaydedilen en büyük hareket genliğinin logaritmasına göre tanımlanan bir ölçek. Bu ölçeğe göre, 8 büyüklüğünde bir deprem 7 büyüklüğündeki bir depremden 10 kat daha fazla hareket genliğine sahip. Richter ölçeği ile fay yırtılması sırasında boşalan enerji arasında da istatistiksel verilere dayalı logaritmik bir ilişki var. Buna göre 8 büyüklüğündeki depremde, 7 büyüklüğündeki depremden 32 kat fazla enerji boşalıyor. Richter ölçeğindeki her birim farkı için aynı oranlar geçerli. Depremde boşalan enerji, yırtılan fay uzunluğu ile de yakından ilişkili. Geçmiş büyük depremler üzerinde yapılan gözlemler, Richter büyüklüğü M ile yırtılma uzunluğu L (km) arasında  $L = 3.6 \times 10^{-5} e^{2M}$  şeklinde ampirik bir ilişki ortaya koymuş. Buna göre 6.8 büyüklüğündeki Erzincan depremi sırasında yer altında yaklaşık 30 km uzunluğunda bir yırtılma meydana gelmiş olmalı. Şili'de 1960'da meydana gelen 8.6 büyüklüğündeki depremde 1000 km'ye yakın fay yırtılması saptanmış.



Şekil 3: Anadolu fay haritası ve levha hareket yönleri (küçük harita) ile Kuzey Anadolu fayları, fay hareketleri, yaklaşık yırtılma uzunlukları ve yılları (Barka, Toksöz ve Gülen, 1992).





**Üst katları dolgulu, alt katı ise dolgunsuz (yumuşak) betonarme çerçeveli bir binanın deprem öncesi ve deprem sonrası durumu. Depremde alt kat anı çökmeye uğramış, üst katlar adeta bir kat aşağıya düşmüş.**

Global olarak depremlerin büyüklüğünü Richter ölçeği ile belirlemek hem pratik hem de günceldir. Ancak insanlar ve yapılar açısından bulunduğumuz yerde hissettiğimiz deprem şiddeti daha önemlidir. Depremi en şiddetli olarak derindeki yırtılma odağının tam üzerine rastlayan yer yüzü noktasında, yani deprem merkezinde hissederiz. Bu noktadan uzaklaştıkça depremin yapılar üzerindeki etkisi azalır. Bir yerde depremin etkisini ölçebilmek için bir şiddet ölçeğine gereksinmemiz vardır. Günümüzde kullanılan iki çeşit şiddet ölçümünden birincisi gözlem-

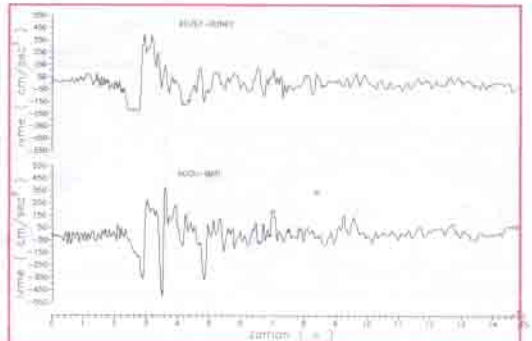
Modern sismoloji ve deprem mühendisliğinde depremin yer üstünde bir noktadaki şiddeti iki yatay ve bir düşey yönde yer hareketi ivmesinin kaydedilmesi ile sağlanıyor. İvme kayıtları "strong motion accelerograph" (SMA) âletleri ile deprem süresince alınıyor ve böylece her üç ortogonal yönde yer ivmesinin zamana göre değişimi elde ediliyor. İvme zaman fonksiyonları sayısal değerlere dönüştürülerek entegre edildiğinde, yer hızı ve yer kaymasının da zamana göre değişimi hesaplanabiliyor. Yer ha-

reketinin yatay bileşenleri, yapılar üzerinde çok daha etkili. En belirgin parametresi ise, maksimum ivme değeri. Eğer deprem bölgesinde çok sayıda SMA kaydı alınabilirse izosismal haritanın bir benzeri yer ivmesi dağılımı için de elde edilebilir. Ne var ki, SMA istasyonları oldukça pahalı ve ülkemizde ancak son yıllarda kurulmaya başlandı. Halen 69 adet SMA istasyonumuz var ve bunun yaklaşık 20 tanesi KAF boyunca yerleştirilmiş. Erzincan

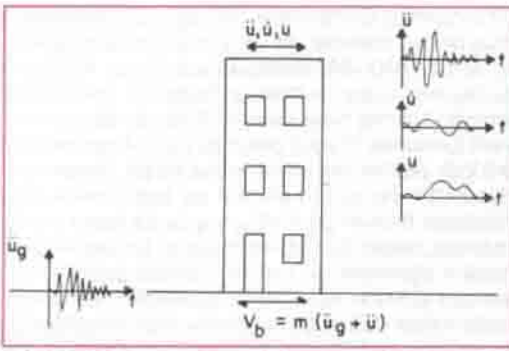


**Şekil 4: Erzincan depremi izosismal şiddet dağılımı haritası.**

lere, ikincisi ise sismik kayıtlara dayanır. İlkinde bir bölgedeki yapılar üzerinde yapılan gözlemler sonucunda belirlenen hasar durumuna göre, Rossi/Forel skalası olarak adlandırılan bir ölçekte I ile XII arasında bir şiddet değeri seçilir. Deprem bölgesinde saptanan şiddet dağılımlarının harita üzerine işlenmesi ile izosismal şiddet haritaları elde edilir. Erzincan izosismal haritasında şehir merkezinde deprem şiddetinin IX olduğu görülüyor (Şekil 4). IX şiddetinin en belirgin göstergesi mühendislik hizmeti görmüş yapılarda kalıcı deformasyonlar gözlenmesi.



**Şekil 5: Erzincan şehir merkezinde kaydedilen kuzey-güney ve doğu-batı yönlerindeki yer hareketi ivmeleri.**

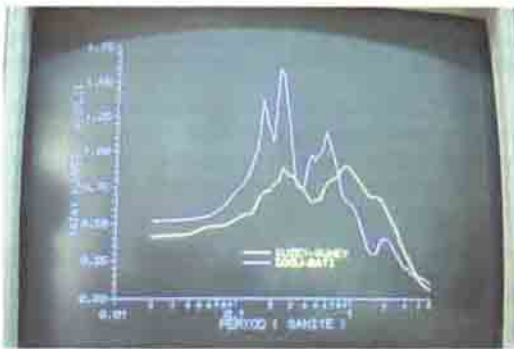


Şekil 6: Yer hareketi ivmesi ( $\ddot{u}_g-t$ ) altında bir yapının tepesinde meydana gelen deplasman, hız ve ivme değerlerinin ( $u, \dot{u}, \ddot{u}$ ) zamana göre değişimleri ve taban yatay kuvveti  $V_b$ .

can'da şehir merkezinde kurulu SMA istasyonunda kuzey-güney, doğu-batı ve düşey yönlerde alınmış yer ivmesi kayıtları var (Şekil 5). Deprem merkezi tam şehir içerisinde olduğundan, yer hareketinin şiddeti çok yüksek. Doğu-batı yönündeki 499 gal ( $\text{cm}/\text{S}^2$ ) maksimum yer ivmesi, dünyada kaydedilmiş en yüksek değerler arasında. Ayrıca ölçülen maksimum yer hızı ve deplasmanı değerleri de benzerlerine göre oldukça büyük. Tüm bu bulgular, Erzincan depreminin 6.8 Richter ölçeği ile orta büyüklükte olmasına karşın, Erzincan'daki yer hareketinin çok şiddetli olduğunu gösteriyor.

## YAPILAR DEPREMDEN NEDEN ETKİLİNİR?

Yere sabit olarak bağlı bir yapı, yer aniden hareket ettiğinde bu harekete kütlelerine ve yapının iç direncine bağlı bir tepki gösterir. Bir yapının tabanının hareketi altındaki hareket denklemini çok basit olarak  $\ddot{u}(t) + 2\xi\omega\dot{u}(t) + \omega^2u(t) = -\ddot{u}_g(t)$  şeklinde ifade edebiliriz. Burada  $\ddot{u}_g$  yer ivmesi,  $u, \dot{u}$  ve  $\ddot{u}$  yapının tepesinin tabanına göre yatay deplasmanı, hızı ve ivmesinin zaman değişimleri,  $\xi$  yapının iç sürtünme oranı,  $\omega$  ise doğal titreşim frekansıdır. Yapılarda iç sürtünme oranı 0,02 ile 0,10 arasındadır. Doğal titreşim frekansının doğal titreşim periyoduyla iliş-

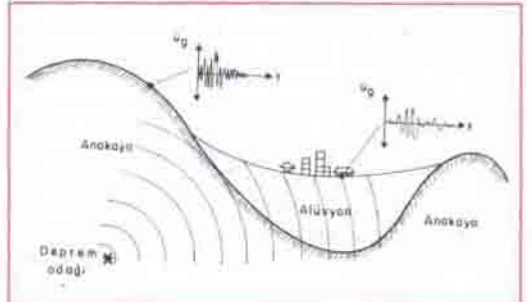


Şekil 7: Erzincan yer hareketi kuzey-güney ve doğu-batı bileşenleri için türetilen yatay kuvvet spektrumu.



Üzümlü kasabası girişinde zayıf yığma binalardaki hasarın kuzeydeki tepeler yönünde hızla azalması.

kisi ise  $\omega = 2\pi/T$  şeklindedir. Yapıyı eğer tepesinden çekip bırakabilirsek, kendi kendine yapacağı titreşimin periyodu doğal periyot olacaktır (Şekil 6). Tıpkı ucuna ağırlık bağlı bir yayın veya bir sarkacın serbest salınımlarının periyodu gibi. Yukarıdaki denklemlerde  $\xi$  ve  $\omega$  (veya  $T$ ) biliniyorsa, verilen deprem ivmesi  $\ddot{u}_g(t)$  için yapının tepesindeki deplasmanı, hızı ve ivmeyi sayısal çözümlerle elde edebiliriz. Yapıyı en çok ilgilendiren  $(\ddot{u} + \ddot{u}_g)$  toplam ivmesinin maksimum değeridir; zira bu değer, yapı kütlesi  $m$  ile çarpıldığında, yapıya depremde etki eden maksimum yatay taban kuvveti  $V$ 'yi verir. Eğer  $\xi$  değerini sabit tutarsak (örneğin 0,05) ve çeşitli  $T$  değerleri için hareket denklemini defalarca çözersek, maksimum yatay taban kuvveti ile yapı periyodu  $T$  arasındaki ilişkiyi türetebiliriz. Bu ilişkiye yatay kuvvet spektrumu adını veriyoruz. Erzincan depreminin iki yöndeki ya-



Şekil 8: Deprem dalgaları farklı özellikteki yer katmanlarından süzülerek yer yüzüne vardıklarında, farklı yer hareketlerine neden olurlar.

taban kuvvet spektrumları doğal periyodu 0,15-3 saniye arasındaki yapıların depremden çok etkilendiğini ortaya koyuyor (Şekil 7). Doğal periyodu 0,15 saniyeden küçük yapılar, tek ve iki katlı yığma veya içi duvarlarla örülü betonarme çerçeve yapıları kapsıyor. Periyodu 3 saniyeden büyük yapılar ise, genellikle 25-30 kattan yüksek binalar. Öte yandan en çok etkiye maruz kalan 0,15-3 saniye arasında doğal periyotlu binalar, Erzincan'da ve tüm ülkemizde çok rastlanan 2 ile 12 kat arasındaki tüm binaları içeriyor (Resim 1). Bu durumda Erzincan'da yüksek yapı yapılamaz demek pek akılcı değil. Hele yapı



25-30 kattan yüksek olursa, deprem kuvvetinin yarı ağırlığına oranı daha da azalıyor. Japonya ve Kaliforniya'da yapılan 40 kattan yüksek yapılar bu görüşümüzü doğrulamaktadır.

Bir yapının depremden hasar görmesinin nedeni, dayanımının etkisinde kaldığı deprem kuvvetinden daha düşük olmasındandır. Deprem bölgelerinde yapılan yapıların sahip olması gereken dayanım, ülkemizde yapım yönetmelikleri ile belirlenmiştir ve bu dayanım miktarı, belirli bir emniyet içerir. Erzincan'da aynı yerde birbirine benzer yapılardan bazılarının yıkılıp bazılarının oldukça az hasar görmesi, en basit olarak yönetmelik hükümlerine ne ölçüde uyulduğu ile açıklanabilir (Resim 2). Gerçekten yıkılan birçok binada çokbasit, ama önemli hatalar yapıldığı saptanmıştır. Bu hataların en belirginlerinden bir tanesi binaların kullanımıyla ilgili. Çok katlı yapılarda ikinci ve diğer üst katların betonarme çerçevelerinin (iskelet) boşluklarının tuğla duvarlarla örülerek kapatılması, giriş katının ise ticarî amaçlı kullanım için cam veya vitrinle kaplanması ile giriş kat ve üst katlar arasında büyük dayanım farkı ortaya çıkıyor (Resim 3). Bu durum mühendislikte "yumuşak giriş katı" (soft first storey) olarak adlandırılıyor. Deprem sırasında tüm yapı deformasyonları yumuşak ve esnek olan giriş katında yoğunlaştığından, hasar da bu katta birikiyor ve tüm alt katın aniden çökmesine neden oluyor. Bu tür yapılardaki zayıflık, temelden yukarıya kadar devam eden bir çekerdek perde düzenlemesiyle giderilebilir.

## YEREL ZEMİN KOŞULLARININ ROLÜ

Depremlere neden olan fay yırtılmaları oldukça derinlerde meydana geliyor. Deprem odağından yer yüzüne doğru yayılan sismik titreşim dalgaları, yer kabuğunun çeşitli katmanlarından süzülerek geçiyorlar ve sudan geçen ışık dalgaları gibi kırılıyorlar, yansıyorlar. Yer katmanlarından geçen frekans özellikleri değişiyor. Değişim miktarı, katmanların mekanik özelliklerinin farkına bağlı. Eğer en üst katman, alüvyon gibi yer kabuğunu oluşturan kayalara göre oldukça yumuşak toprak tabakalarından meydana geliyorsa, alüvyon yüzeyindeki yer hareketi kayalık zemin yüzeylerindeki hareketten çok farklı oluyor. Alüvyon yüzeyinde uzun periyotlu salınımlar belirginleşiyor, kısa periyotlu yani yüksek frekanslı dalgalar ise kayboluyor. Bu durumda, alüvyon tabakası üzerinde yer alan uzun periyotlu yapılar depremden daha çok etkileniyor. Öte yandan kayalık bir zemin yüzeyindeki kısa periyotlu yapılar için de aynı durum söz konusu (Şekil 8). Aynı depremin etkisiyle alüvyon ve kayalık zeminlerde elde edilen yatay yer hareketleri ve yatay kuvvet spektrumları bu nedenle belirgin farklılıklar gösteriyorlar. Erzincan,

Fırat nehrinin yüzyıllar boyu taşıdığı alüvyonlarla dolmuş bir ova üzerinde yer alıyor. Alüvyon kalınlığı şehrin altında 800-1000 metreye kadar iniyor. Kuzey ve güneydeki Keşiş ve Munzur dağlarına yaklaştıkça alüvyon kalınlığı hızla azalıyor. Erzincan depreminin kent içerisinde titreşim periyodu 0,2-0,4 saniye olan 3-5 katlı yapıları çok etkilemesine karşın, titreşim periyodu 0,1 saniyeden az olan tek katlı, üstelik mühendislik hizmetli görmemiş yapılarda hasar yaratmaması, dağlardaki köylerde ise bu tür yapıları ağır hasara uğratması bir rastlantı olmasa gerek. Diğer yandan alüvyon tabakasının kalınlığının ve özelliklerinin hızla değiştiği bölgelerde yapı hasarlarında da belirgin değişimler gözlenebiliyor. Örneğin, resimde görülen (Resim 4) iki katlı, taşıyıcı özelliği olmayan zayıf izolasyon tuğlasından yapılmış, tamamen benzer özellikteki yığma evlerin ilk dört sırası ağır hasar görmüş. Kuzeydeki tepeler yönünde alüvyonun birden incelendiği bölgelerde ise, hemen hiç hasar olmaması dikkat çekici.

Yerel zemin koşullarının bir yerleşim bölgesindeki deprem şiddetinin dağılımı üzerindeki etkisini belirleyen çalışmalara mikro bölgeleme deniyor. Son yıllarda gelişmiş ülkelerin deprem riskine sahip büyük yerleşim alanlarında yapılan mikro bölgeleme çalışmaları, zemin durumuna göre her bölgede beklenilecek farklı yer hareketlerinin özelliklerini saptamaya yönelik. Ülkemizde de yüksek deprem riskine sahip İzmir, İstanbul, Adapazarı ve Bursa metropol alanlarında mikro bölgeleme çalışmalarına acil gereksinim olduğu bilinen bir gerçek.

Erzincan depreminden yapı mühendisliği adına alınacak ders, bana deprem sonrası şehirde gözlemler yaparken gördüğüm, mühendislikle ilgili olmayan bir Erzincanlı çok sade bir biçimde özetlemişti: "Doğru dürüst yapılan binalar sapasağlam ayakta, kötü yapıların hepsi yerle bir oldu." Bu şahıs beş katlı Roma Oteli'nin ve altı katlı, kentin en yüksek yapısı olan Unsan Un Fabrikası'nın sahibi idi. Oteli yerle bir olmuştu; fabrikanın betonarme yapısı ise bazı hafif hasarlarına karşın sapasağlam ayakta idi.

Erzincan depreminin, kenti çok şiddetli sarstığını biliyoruz. Ancak çağdaş yapı mühendisliği bu etkilere karşı koyabilecek bilgi birikimine sahip. Artık sahip olduğumuz bilgiyi kullanmanın zamanı gelmiş olsa gerek. □

**NOT :** Erzincan depremleri yer ivmesi verileri Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Deprem Araştırma Dairesi tarafından sağlanmış, ivme ve spektrum grafikleri ise, ODTÜ'de Araştırma Görevlisi Alphan Nurtuğ tarafından hazırlanmıştır.

**Duyularımızı, düşüncelerimizi ve eylemlerimizi değiştireceksek, önce düşlerimizi ve güçlerimizi değiştirmemiz gerekir.**

S. Brogger