

# Depreme Dayanıklı Yapılara Yönelik Yeni Teknolojiler

İlay Çelik Sezer [ TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi

6 Şubat 2023 günü Güneydoğu Anadolu bölgemizde gerçekleşen çok şiddetli ve yıkıcı iki depremle milletçe sarsıldık. Neden olduğu can kayıpları ve yaralanmalarla tüm ülkemizi yasa boğan bu afet, coğrafyamızın doğasında var olan depremlerle birlikte yaşamayı bir şekilde öğrenmemiz ve depreme her an hazırlıklı olmamız gerektiği gerçeğinin bir başka hatırlatıcısı niteliğindedir. Öngörülemeyen ve önlenemeyen doğal afetler olan depremleri en az can ve mal kaybıyla atlatabilmenin yolu öncelikle depreme dayanıklı yapılar inşa etmekten geçiyor. Günümüzde depreme dayanıklı binalar inşa etmek amacıyla geliştirilen son teknolojilerden bahsettiğimiz bu yazımıza başlarken toplam 11 ilimizde yıkıcı etkileri olan iki depremde ve önceki depremlerde hayatını kaybeden vatandaşlarımızı bir kez daha saygı ve rahmetle anıyoruz...

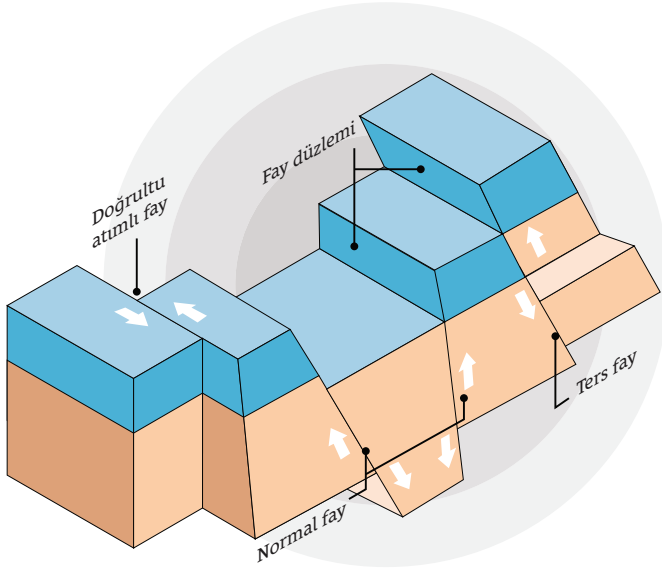
Japonya'nın başkenti Tokyo, dayanıklı yapı tekniklerinin ve teknolojilerinin etkin ve yaygın şekilde uygulanması sayesinde dünyada depreme karşı en dayanıklı şehirlerden biri olarak kabul ediliyor.

**D**epremlerin yıkıcılığı ile ilgili sıkça dile getirilen bir tespit, depremlerde can kaybına yol açan asıl unsurun depremin kendisinin değil, binaların olduğudur. Bu da depreme dayanıklı binalar inşa etmenin depreme karşı alınması gereken en önemli tedbirlerden biri olduğu anlamına geliyor. Bunun yolu ise öncelikle depremlerin doğasının doğru şekilde anlaşılmasından geçiyor. Depreme dayanıklılık sağlayan güncel teknolojilerden bahsetmeden önce gelin depremlerle ilgili bazı temel bilgileri gözden geçirelim.

6 Şubat 2023 günü gerçekleşen ve 10 ilimizi etkileyen iki deprem çok sayıda can ve mal kaybına neden oldu.



AA



#### Üç temel fay türü:

Bir kaya bloğunun diğerine göre aşağı düştüğü normal fay; fay bloklarının yatay olarak birbirine sürtünerek geçtiği doğrultu atımlı fay ve bir fay bloğunun diğerine göre yukarı hareket ettiği ters fay.



Tahreer Photography / Getty Images

## Depremler ve Kaynağı

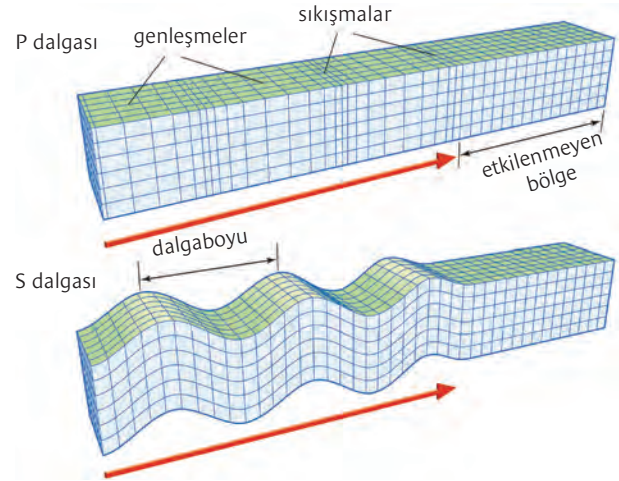
Yer kabuğundaki bitişik iki blok birbirine göre aniden kayarak yer değiştirdiğinde oluşan yer sarsıntısına deprem denir. Blokların birbirine göre kaydığı yüzey ise fay ya da fay düzlemi olarak adlandırılır.

Yerkabuğu tektonik plakalar denilen birkaç parçadan oluşur. Okyanus altında yer alanlara okyanus plakaları, diğerlerine ise kara plakaları denir. Bu plakalar Dünya'nın yerkabuğunun altında yer alan manto adlı katmanındaki hareketlerin etkisiyle yavaş ama sürekli bir hareket hâlinindedir. Ya birbirleriyle çarpışırlar, ya birbirlerinden uzaklaşırlar ya da birbirlerine sürtünerek geçerler. Plakaların bitiştiği sınırlar pek çok fay hattından oluşur ve dünyadaki depremlerin çoğu bu faylarda meydana gelir. Plakaların kenarları pürüzlü olduğu için plakaların geri kalanı hareketine devam ederken bitişme kenarlarında kilitlenmeler olur. Sonunda plaka yeterince hareket ettiğinde fayların birindeki kilitlenme çözülür ve bir deprem oluşur. Depremler genellikle iki plaka birbirini ittiğinde ya da birbirine sürtünerek geçtiğinde meydana gelir. Öte yandan depremler plakaların kenarlarından uzaklarda yer alabilen fay hatlarında da gerçekleşir.

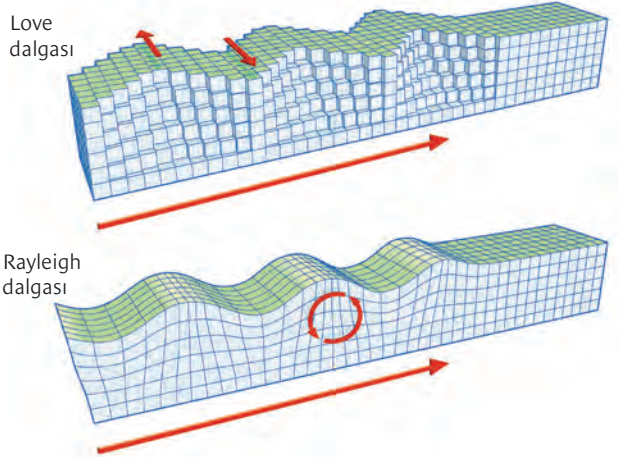
Fayların kenarları kilitlenip de bloğun geri kalanı hareket hâlindeyken normalde blokların birbirinin yanından geçmesini sağlayacak olan enerji birikir. Sonunda hareket eden bloğun kuvveti fayların çentikli kenarlarındaki sürtünmeyi alt ettiği zaman faydaki kilitlenme çözülür ve biriken enerji boşalır. Boşalan enerji faydan her yöne, tıpkı bir su birikintisine taş atıldığında gördüğümüz dalgalar gibi, sismik dalgalar hâlinde yayılır. İşte bu sismik dalgalar yeryüzüne yayıldıkça sarsıntıya neden olur.

Bir deprem her biri hızıyla ve yönüyle karakterize edilen birkaç çeşit dalga üretir. Depremin yerin içindeki kaynağından yayılan dalgalarına bünye dalgaları denir. Bunların ilki olan P dalgaları karada 360 km/saatlik, suda ise bunun üçte biri hızla ilerleyen, yeryüzünü ilerlediği doğrultuda iten, çeken ve sıkıştıran hızlı dalgalardır. Depremler bir de P dalgalarının yarı hızında ilerleyen ancak çok daha yıkıcı olabilen S dalgaları üretir. S dalgaları yeryüzünü ilerleme doğrultularına dik olarak hareket ettirir. Ancak yerin üstünde asıl hasara neden olan dalgalar depremin enerjisi yeryüzüne ulaş-

tığı zaman oluşan Rayleigh ve Love dalgalarıdır. Rayleigh dalgaları okyanus dalgaları gibi yuvarlanarak ilerler. Love dalgalarıysa yeryüzünü ilerleme doğrultularına dik doğrultuda sallar. Binaların hasar görmesine sebep olan dalgalar çoğunlukla bu ikisidir. Bu dalgaların farklı kayaç türleri içinde farklı hızlarda hareket ederek bazen yansımaları ya da yön değiştirmesi durumu daha da kötüleştirir. Belirli kayaç bileşimine sahip yerlerde meydana gelen yansımalar dalgayı büyütürken daha da fazla hasara neden olur.



P ve S dalgaları yer altında depremin odak noktasında başlar. P dalgaları ses dalgalarına benzer şekilde ilerleyerek içinden geçtiği malzemeleri sıkıştırır. S dalgaları yeryüzünü, dalga hareketinin yeryüzüne göre yatay ya da dikey doğrultuda olmasına bağlı olarak yatay ya da dikey doğrultuda sallar.



Bazı deprem dalgaları sadece yerin yüzeyinde ilerler. Love dalgaları yeryüzünü ilerleme doğrultularına dik doğrultuda sallar. Rayleigh dalgaları ise yeryüzünü çembersel biçimde hareket ettirir, ileri - aşağı - geri - yukarı. Bu, okyanus dalgalarınıninkine aynı harekettir. Yerin derinliklerine inildikçe Rayleigh ve Love dalgaları küçülür. Öyle ki yer altındaki madenciler bu yüzey dalgalarını nadiren hisseder.

Depremlerin şiddeti sismograf adı verilen cihazlarla ölçülür. Depremlerin büyüklüğünü ifade etmek için kullanılan iki yaygın ölçekten biri Richter diğeri ise Moment Magnitüd (Mw) ölçeğidir. Richter ölçeği depremleri deprem dalgalarının sismografla ölçülen büyüklüğüne göre değerlendirirken Moment Magnitüd ölçeği depremi ortaya çıkan toplam enerji üzerinden değerlendirir. Deprebilimciler depremin Moment Magnitüd cinsinden büyüklüğünü belirlemek için kırılan fayın yüzey alanına ve karanın fay boyunca ne kadar yer değiştirdiğine ilişkin ölçümleri kullanırlar. Bu yüzden de bir depremin Richter ve Moment ölçeklerine göre büyüklüğü her zaman aynı olmaz.

## Depreme Dayanıklı Yapılar İçin Beş Önemli İpucu

**Rijitlik ve Dayanım:** Yapıların uygun düşey ve yatay (ama özellikle de yatay) rijitliğe ve dayanıma sahip olması gerekiyor. Yapılar kendi kendilerine ayakta kalabilmeleri için çoğunlukla zaten düşey doğrultuda belirli bir dayanıma sahip olacak şekilde inşa ediliyor. Ancak depremler binaya düşey yüklerle ek olarak yatay yükler de getirdiği için yatay doğrultudaki dayanımının ayrıca ele alınması gerekiyor.

**Planda ve Düşeyde Düzenlilik:** Bu özellik binanın yatay yönde itki aldığı nasıl hareket ettiği ile ilgili. Deprem güvenliği alanındaki uzmanlar deprem sırasında binanın her yerinin eşit derecede hareket etmesini, böylece enerjiyi herhangi bir tarafa daha fazla kuvvet gelmeyecek şekilde dağıtmasını ister. Eğer binanın planında veya düşeyde düzensizlik varsa bina sarsıldığında zayıf noktalarda hasar meydana gelebilir ve bu hasar binanın tamamına yönelik bir hasarı da beraberinde getirebilir.

**Yedekli Tedbirler:** Uzmanlar binalarda depreme dayanıklılığa yönelik birden fazla stratejinin kullanılması, böylece birinin bir şekilde işe yaramaması durumunda binayı koruyan diğer tedbirlerin de hazır bulunması gerektiği konusunda hemfikir.

**Temel:** Sağlam bir temel depremler ya da başka afetler söz konusu olsun ya da olmasın tüm binaların sahip olması gereken önemli bir özellik. Farklı zeminler, binaların



Dünyada depreme en dayanıklı yapılar arasında gösterilen Sabiha Gökçen Havalimanı 300 adet deprem yalıtım elemanı üzerine inşa edildi. Bu yalıtım elemanları deprem nedeniyle oluşan kaymaları %80 oranında azaltarak havalimanının 8,0 Mw büyüklüğündeki bir depreme dayanmasını sağlayabilir. Sabiha Gökçen Havalimanı sismik temel yalıtımına sahip dünyadaki en büyük yapılardan biri olma özelliğine sahip.

temellerinin farklı şekillerde sağlamlaştırılmasını gerektiren farklı özelliklere sahiptir. İlgili profesyonellerin inşaat başlamadan önce zeminin özelliklerini iyi anlaması ve buna göre plan yapması çok önemlidir.

**Kesintisiz Yük Zinciri:** Bu özellik binanın yapısal olan ya da olmayan tüm parçalarının birbirine sağlam bir zincir gibi bağlanmış olmasını ifade ediyor. Binada çok sayıda güçlü nokta bulunması, deprem ya da başka afetler sırasında etkiyen kuvvetlerin binanın belirli bir yerinde yıkıcı hasar oluşturmak yerine eşit şekilde dağılmasına yardımcı olur.



bina üzerindeki algılayıcılar depreme ilişkin sismik etkinlikleri belirlediğinde algılayıcı ağı bir hava kompresörüyle haberleşiyor ve kompresör uyarıdan sonraki yarım saniye içinde bina ile temeli arasına hava basıyor. Hava yastığı yapıyı yerden 3 santimetreye kadar kaldırarak yapıyı yıkıcı olabilecek kuvvetlerden yalıtıyor. Deprem sona erince kompresör devreden çıkıyor ve bina yeniden temeline oturuyor. Bazı deprem yalıtımı yöntemleri verimli ve ekonomik açıdan elverişli şekilde eski binalara da uygulanabildiği için avantajlı bulunuyor.

### Darbe Emiciler

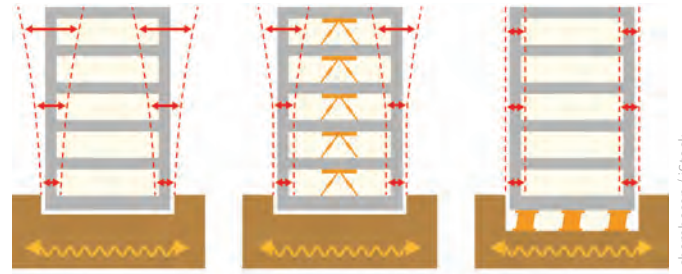
Binalara depreme karşı dayanım kazandırdığı kanıtlanmış bir diğer teknolojide de taşıt endüstrisinden esinlenilmiş. Motorlu taşıtlardaki istenmeyen sarsıntıları kontrol eden amortisörler, yoldaki sarsıntılardan kaynaklı kinetik enerjiyi bir hidrolik sıvı tarafından emilen ısı enerjisine dönüştürerek titreşimlerin şiddetini azaltıyor.



## Depreme Dayanıklılığı Artırmaya Yönelik Son Teknolojiler

### Deprem Yalıtımı

Binanın temeli ile üstyapı arasında esnek nitelikte yalıtım elemanları yerleştirilerek binayı depremin etkilerinden yalıtma esasına dayanan bu yaklaşımda, bina genellikle çelik, lastik ve kurşundan yapılan esnek yastıklar üzerine inşa edilir. Deprem sırasında binanın oturduğu temel hareket ettiğinde bu yastıklar esneyerek sallanırken binanın üstyapısının yapacağı deformasyon sınırlı kalır. Deprem dalgaları etkin şekilde soğurularak dalgaların bina üstyapısına etkisi olabildiğince engellenir. Japon mühendislerin deprem yalıtımı yaklaşımıyla geliştirdikleri başka bir sistem ise binanın hava yastıkları üzerinde kaldırılmasına dayanıyor. Bu sistemde



**Üstte:** Darbe emiciler sismik dalgaların enerjisinin, hidrolik sıvıya iletilip ısı enerjisine dönüşmesini sağlayarak şok dalgalarının şiddetini azaltıyor.

**Altta:** Solda depreme dayanıklılığı klasik tekniklerle sağlanmış; ortada darbe emiciler, çelik çerçeveler ya da çelik perde duvarları gibi yöntemlerle titreşimleri azaltılmış; sağda ise deprem yalıtımı uygulanmış binaların deprem sırasındaki davranışlarını abartılı olarak gösteren birer temsili çizim. Deprem yalıtımı uygulanan bina esnek yastıklar üzerinde bütün olarak hareket ettiği için yapının diğer kısımlarına yatay yönde binen yük en aza indirgeniyor.



Markus Maimka / Alamy



Tayvan'ın Taipei şehrinde bulunan Taipei 101 adlı gökdelen, binanın hareketlerini dengeleyerek hasar görmesini ya da yıkılmasını önleyecek şekilde hareket eden ve 800 ton ağırlığında bir kütle barındıran büyük bir ayarlanmış kütleli damper sistemiyle korunuyor

Binalarda kullanılan darbe emiciler de tıpkı motorlu taşıtlardaki amortisörler gibi çalışıyor ve sismik dalgaların enerjisini hidrolik sıvıya iletip ısı enerjisine dönüştürerek şok dalgalarının şiddetini azaltıyorlar. Damper olarak da adlandırılan bu sistemlerde silikon yağıyla doldurulmuş silindirler içinde büyük pistonlar bulunuyor. Bir deprem olduğu zaman pistonlar yağa doğru baskı yaparak mekanik enerjiyi ısı enerjisine dönüştürüyor. Damperler genellikle binanın her katında kolonlar ve kirişler arasında yerleştiriliyor.

### **Sarkaç Gücü**

İlk başta önceden inşa edilmiş gökdelenleri depreme daha dayanıklı hâle getirmek amacıyla geliştirilen bu yöntemde binanın içine, tepeye yakın bir konuma deva-

sa bir kütle asılıyor. Çelik kablolar kütleli taşıyıcıyı taşıyıcıya yerleştiriliyor. Sismik hareket binanın sallanmasına neden olduğunda bu sarkaç eylemsizlikten dolayı binanın salınımının tersi yönde hareket ederek enerjiyi dağıtıyor. Mühendisler bu sistemleri “ayarlanmış kütleli damperler” olarak da adlandırıyor. Çünkü her bir sarkaç, içinde bulunduğu yapının doğal titreşim frekansına uygun olarak hassas biçimde ayarlanıyor.

### **Sismik Görünmezlik Pelerini**

Bazı araştırmacılar sadece depremlerden kaynaklı kuvvetlerin etkisini azaltmakla kalmayıp depremlerden kaynaklı enerjiyi bütünüyle binalardan uzaklaştırmanın yollarını arıyor. Buna yönelik tasarlanan ve mecazi



Depreme dayanıklı yapı teknolojilerinin hayli gelişmiş olduğu Japonya'nın başkenti Tokyo'da bulunan, 634 metrelik dünyanın en uzun radyo kulesi olan Skytree adlı gökdelende geleneksel Japon mimarisinden esinlenilerek geliştirilen bir sistem kullanılmış. Kulenin merkezinde gökdelen boyunca uzanan betonarme bir sütun bulunuyor. Bu sütun yapıya destek sağlamanın yanı sıra bir çeşit karşıt ağırlık olarak da işlev görüyor. Kuleden bağımsız hareket ederek bir deprem sırasındaki sallanma hareketlerini dengeleyerek baskılıyor. Bu yapı tekniği aslında Horyu-ji Tapınağı'nda bulunan, Japonya'nın en eski ahşap binası olma özelliğini taşıyan 1400 yaşındaki beş katlı pagodada kullanılan tekniğe çok benziyor. Uzun tarihi boyunca Horyu-ji Tapınağı'ndaki pagodanın herhangi bir depremden dolayı yıkıldığına ilişkin hiçbir kayıt bulunmuyor. Bunun pagodanın merkezinden geçen ve şınbaşira adı verilen, bağımsız bir karşıt ağırlık sağlayarak deprem sırasındaki titreşimleri dengeleyen direk sayesinde mümkün olduğu düşünülüyor.

olarak "sismik görünmezlik pelerini" olarak da anılan bir sistem, iç içe geçmiş hâlde bulunan ve binanın temelini en az 9 metre altına gömülen 100 plastik ve beton halka içeriyor. Deprem dalgaları halkalara girince daha kolay ilerleyebilmeleri için dıştaki halkalara itiliyorlar. Sonuçta dalgalar binadan uzağa kanaliz edilmiş ve yerdeki katmanlara yayılmış oluyor. Ancak bu sistemle yansıtılan deprem dalgaları aynı hızla yollarına devam ederse çevredeki binalara ne olacağı bu yöntemdeki önemli bir sorun. Yöntem üzerinde çalışan araştırmacılar bu sorunu çözmenin de yollarını arıyor. Yöntemin önemli bir dezavantajı ise ciddi büyüklükte ek alan gerektirmesi.



Basıncı soğuran ve esneyen ancak tamamen bükülmeyen çelik perde duvarları binalardaki yatay kuvveti sınırılıyor.



## Çelik Levhalarla Güçlendirilmiş Perde Duvarlar

Çelik levha perde duvar sistemleri, özellikle Japonya'da ve ABD'de binaları güçlendirmek amacıyla 1970'lerden bu yana kullanılıyor ve yüksek riskli deprem bölgelerinde geleneksel olarak kullanılan depreme dayanıklılık sistemlerine iyi bir alternatif olarak ümit vaat ediyor. Bu sistemler basıncı soğuran ve esneyen ancak tamamen bükülmeyen çelik perde duvarlar kullanarak binalara etkiyen yatay deprem kuvvetini sınırlıyor. Bu duvarlar ayrıca beton perde duvarlarla aynı düzeyde direnç ve dayanıma sahip olmalarına rağmen onlardan önemli ölçüde ince oldukları için inşaat maliyetlerini ve binanın toplam ağırlığını azaltıyor. Ayrıca çelik duvarların beton duvarlar gibi işlemlerden geçirilmesi gerekmediği için inşaat süreci de hızlanıyor.

Bir bina ne kadar yüksekse o kadar esnekler. Ne kadar esnekse de yeryüzü sarsıldığında onu devirmekten ya da yıkılmaktan alıkoymak için gerekli enerji daha azdır. Çok katlı binalar esnemeye müsait olduğu için üç katlı bir apartman 30 katlı bir gökdelene göre depremde zarar görmeye daha açık olarak kabul edilir. Bir binanın deprem güvenliği planlanırken inşaat mühendislerinin az katlı binaların taşıyıcı sistemini yüksek binalardakilerden daha yüksek kuvvetlere dayanacak şekilde tasarlaması gerekir.

## Çelik Çapraz Çerçevesel ve Diyaframlar

Binaların dışına uygulanan çelik çapraz çerçeveler yapısal bütünlüğü güçlendiren unsurlardır. Bu çerçeveler deprem dalgalarının uyguladığı kuvveti tekrar temele ve zemine ileterek binanın maruz kalacağı yatay yük etkisini azaltır. Diyafram adı verilen yatay yapısal unsurlar da yine yatay yükleri dikey dayanım unsurlarına ileterek depreme dayanıma katkı sağlar. Diyaframlar genellikle aynı zamanda zemin ya da çatı işlevi görür.



Çelik çapraz çerçeveler depremde kaynaklı kuvvetleri yere iletir.

## Deprem İzolasyonunun Türkiye'deki Örnekleri

Deprem izolasyonu kavramı ilk olarak 1876 yılında Tokyo Üniversitesi Maden Mühendisliği profesörlerinden John Milne tarafından ortaya atıldı. Milne yapının altına izolasyon amaçlı çelik bilyeler yerleştirerek 1876-1895 yılları arasında çeşitli deneyler yaptı. 1905 yılında da ABD'de silindir sistemle yapılan izolasyon çalışmalarının depreme karşı etkili olduğu ortaya konuldu ve bu çalışma sonucunda ilk resmi belgeye dayalı patent alındı.

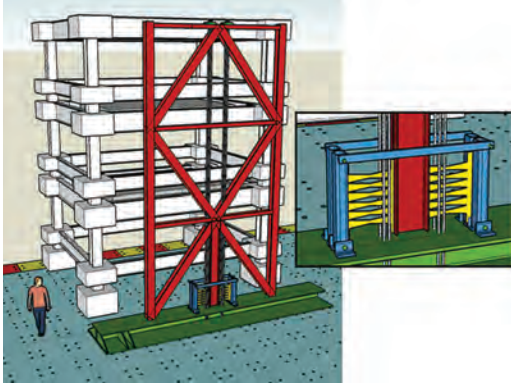
Türkiye'de sismik izolasyonun ilk uygulaması 2001 yılında Atatürk Havalimanı Dış Hatlar Terminali uzay kafes çatısında 130 adet sürtünmeli sarkaç izolatör

kullanılarak yapıldı. 2005 yılında Antalya Havalimanı Uluslararası Dış Hatlar Terminal Binası da sismik izolasyon uygulamasının yapıldığı diğer bir örnek.

17 Ağustos 1999 Marmara depreminde yıkılan Kocaeli Üniversitesi Tıp Fakültesi ve Araştırma Hastanesinin yerine yapımına karar verilen ve inşaatına 2002 yılında başlanarak 2004 yılında tamamlanan Kocaeli Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesinde bu deprem yalıtım sistemi uygulandı. 2013 yılında Sağlık Bakanlığı tarafından yayınlanan genelgeyle de 1. ve 2. derece deprem bölgelerinde, 100 yatak ve üzeri hastanelerin taşıyıcı sistemleri sismik izolatörlü olarak projelendirilmesi zorunlu hale getirildi. Son zamanlarda inşa edilmekte olan hastanelerin çoğunda da bu sistem uygulanıyor.

## Yenilenebilir Deprem “Sigortaları”

Stanford ve Northeastern üniversitelerinden araştırmacıların geliştirdiği sallanan çerçeve adı verilen teknoloji üç temel bileşenden oluşuyor: çelik çerçeveler, çelik kablolar ve çelik sigortalar. Sistem şu şekilde işliyor: Bir deprem olduğunda çelik çerçeve aşağı yukarı sallanıyor. Tüm enerji en altta bulunan dış benzeri birkaç sigortaya yönlendiriliyor. Sigortanın dişleri gıcırıyor ve hatta kırılabilir ancak çerçevenin kendisi sağlam kalıyor. Sarsıntı durduğunda çelik kablolar binayı tekrar dik pozisyona çekiyor. Daha sonra zarar gören sigortalar kolayca değiştirilebiliyor. Sonuçta bir depremden hemen sonra tekrar kullanılabilen güvenli binalar inşa edilmiş oluyor.



Deprem sarsıntılarında kaynaklı enerji en altta bulunan dış benzeri birkaç sigortaya yönlendiriliyor. Sigortanın dişleri gıcırıyor ve hatta kırılabilir ancak çerçevenin kendisi sağlam kalıyor. Daha sonra zarar gören sigortalar kolayca değiştirilebiliyor.

## Şekil Hafızalı Alaşımlar

Bazı araştırmacılar ağır gerilimlere maruz kalsa da orijinal şekline dönebilen şekil hafızalı alaşımların depreme dayanım teknolojilerinde kullanım potansiyeli üzerinde çalışıyor. Araştırmacılar akıllı malzemeler olarak da adlandırılan bu malzemelerin geleneksel çelik-beton temelli inşaatlara alternatif olarak kullanımını sınıyor. Ümit vaat eden alaşımlardan biri, nitinol olarak da bilinen nikel titanyum alaşımı, çeliğe göre 10 ila 30 kat daha fazla esneklik sunuyor. University of Nevada, Reno'dan araştırmacılar 2012'de çelik ve betondan yapılmış bir köprü ayağının deprem performansını nitinol ve betondan yapılan bir kolon ile karşılaştırdığında, nitinolün geleneksel malzemelere her düzeyde üstün geldiğini ve çok daha az hasar gördüğünü gözlemledi.

## Karbon-Fiber Sargı

Yeni bir binayı depreme dayanıklı olacak şekilde tasarlamak kadar eski binaların depreme dayanımını artırmak da önem taşıyor. Karbon fiberle güçlendirilmiş plastik sargı olarak adlandırılan bir teknoloji eski binalara kolayca uygulanabilen bir çözüm olarak ön plana çıkıyor. Bu sargılar karbon fiberlerle epoksi, polyester, vinil ester ya da naylon gibi bağlayıcı polimerler karıştırılıp çok hafif ama aşırı derecede dayanıklı kompozit malzemeler oluşturularak elde



Tokyo'daki en yüksek binalardan biri olan Mori Tower gökdeleni depremlere karşı 192 sıvı dolu darbe emici ile donatılmış. Darbe emicilerin içindeki kıvamlı yağ depremden ya da şiddetli rüzgardan kaynaklı sarsıntılarda sarsıntının tersi yöne doğru akarak dengeleyici bir etki yapıyor.

ediliyor. Güçlendirme uygulamalarında mühendisler malzemeyi binaların ya da köprülerin betonarme kolonlarına sarıyor ve kolon ile malzeme arasındaki boşluğa basınçlı epoksi pompalıyor. Tasarımdaki gereksinime bağlı olarak bu işlem altı ila sekiz kez tekrarlanıyor ve sonuçta önemli ölçüde daha güçlü ve sünek kolonlar elde ediliyor. Şaşırtıcı biçimde depremde zarar görmüş kolonlar bile karbon-fiber sargılarla onarılabilir. Yapılan bir araştırmada bir otoyol köprüsünün zayıflayan kolonlarının kompozit malzemeyle sarıldığında, sarılmayan kolonlara göre %24 ila %38 oranında daha güçlü olduğu kaydedildi.



San Francisco'daki TransAmerica gökdeleninin alt kısmındaki çapraz destekler binayı yatay ve dikey kuvvetlerden koruyor.

## Mukavva Tüpler ve Başka Yerel ve Ucuz Çözümler

Her ne kadar depreme dayanıklı yapılar inşa etmeye yönelik pek çok yüksek teknoloji geliştirilmiş olsa da aslında bunların çoğunun gelişmiş ülkeler haricinde uygulanması ekonomik olarak mümkün değil. İşte bu yüzden tüm dünyada mühendisler ve araştırmacılar yerel olarak erişilebilen ve kolayca elde edilebilen malzemelerle depreme dayanıklı yapılar tasarlamaya çalışıyor. Örneğin Peru'da araştırmacılar duvarları plastik kafeslerle güçlendirerek geleneksel kerpiç yapıları daha dayanıklı hâle getirdi. Hindistan'da mühendisler beton yapıları bambu kullanarak güçlendirmeyi başardı. Endonezya'da ise bazı evler taşla ya da kumla doldurulan eski taşıt lastiklerinden kolayca yapılabilen yastıkların üzerinde duruyor. Mukavva bile sağlam ve dayanıklı bir yapı malzemesi olarak kullanılabilir. Japon mimar Shigeru Ban, poliüretanla kaplanmış mukavva boruların temel iskelet unsurunu oluşturduğu yapılar tasarlıyor.



Japon mimar Shigeru Ban'ın poliüretanla kaplanmış mukavva borular kullanarak tasarladığı bir binanın girişi.



Japonya'daki bu ofis binası termoplastik karbon fiber kompozit bir malzemeden yapılmış çubuklardan oluşan bir perdeyle çevrelendi. Çubuklar hem esnek hem de deprem sırasında binaya etki eden kuvveti sınırlandırabilecek kadar güçlü.

## Kurallara Uymak Hayat Kurtaracak

Bugün ülkemizdeki konutlarda, kamu ve özel sektör binalarında en yaygın kullanılan betonarme taşıyıcı yapı sistemleri ile, maliyeti çok fazla yükseltmeden ülkemizde beklenen büyüklükteki depremlere dayanıklı binalar inşa edilebileceği biliniyor. Son versiyonu 2018'de yayımlanan ve 2019'da yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği bu konuyla ilgili yasal yaptırım aracı olarak mevcut. Söz konusu yönetmeliğin hem yeni inşa edilen hem de mevcut binalara etkin biçimde uygulanması ve kaçak yapılaşmanın engellenmesi depremlerde yaşanan can ve mal kaybının en aza indirgenmesi açısından önem taşıyor. Sadece kurallara uyularak ve inşa faaliyetlerinin mühendislik hizmetleri açısından denetimi sağlanarak binalarımızın deprem güvenliği önemli ölçüde artırılabilir. ■

### Kaynaklar

- [https://www.usgs.gov/natural-hazards/earthquake-hazards/science/science-earthquakes?qt-science\\_center\\_objects=0#qt-science\\_center\\_objects](https://www.usgs.gov/natural-hazards/earthquake-hazards/science/science-earthquakes?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects)
- <https://www.exploratorium.edu/faultline/basics/waves.html>
- <https://online.norwich.edu/academic-programs/resources/5-civil-engineering-innovations-that-help-buildings-withstand-earthquakes>
- <https://science.howstuffworks.com/innovation/science-questions/10-technologies-that-help-buildings-resist-earthquakes.htm>
- <https://www.japan.go.jp/regions/resilientjapan/earthquake.html>
- <https://archiscapes.wordpress.com/2014/11/12/shigeru-ban-paper-tube-structures/#jp-carousel-2737>
- <https://safetymanagement.eku.edu/blog/5-tips-to-building-an-earthquake-resistant-structure/>