

DEPREM VE YAPI

14 MAYIS 2021 SÜRÜMÜ

İnşaat Yüksek Mühendisi

Nejat Bayülke

Editör

Ayşe Sağlam

Kapak

Yusuf Anar

Mizanpaj

Neşe Siyamoğlu



ISBN: 978-625-7237-27-7

1.Baskı: Temmuz 2021

Bu eserin bütün hakları saklıdır. Yayınevinden ve Yazardan izin almadan kısmen veya tamamen alıntı yapılamaz, hiçbir şekilde kopya edilemez, çoğaltılamaz ve yayımlanamaz.

Yazardan Direkt – Türkiye

Yazardan Direkt Elektronik İletişim Tanıtım Paz. ve Tic. Ltd. Şti

Altıntepe mah. İstasyon Yolu sok. No: 3/1

Maltepe / İstanbul

Tel: 0216 3011213

Sertifika No:47456

Baskı ve Cilt

Ege Reklam Basım Sanatları San.Tic. Ltd.Şti

Esatpaşa mah. Ziyapaşa cad. No: 4 Ataşehir / İstanbul

Tel: 0216 470 44 70 Faks:0216 472 84 05

www.egebasim.com.tr

Sertifika No: 45604

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	1
BÖLÜM-1 DEPREM KUVVETLİ YER HAREKETİ	3
BÖLÜM-2 DEPREM “TEHLİKE” HARİTALARI	27
BÖLÜM-3 DEPREMDE ZEMİN VE YAPI TEMELİ	37
BÖLÜM-4 YATAY (DEPREM) YÜKLERİ ETKİSİNDE YAPI DAVRANIŞI	51
BÖLÜM-5 YAPILARDA DEPREM HASARI ÖRNEKLERİ	77
BÖLÜM-6 DEPREME DAYANIKLI YAPI TASARIMI.....	149
BÖLÜM-7 DEPREMDE YIKILMA RİSKLİ YAPI	165
BÖLÜM-8 MEVCUT YAPILARIN DEPREM DAYANIMINI ARTIRMA, ONARIM VE GÜÇLENDİRME.....	173
BÖLÜM-9 SON SÖZLER	185
KAYNAKLAR	193
ÖZGEÇMİŞ.....	201

ÖNSÖZ

Depremler en çok yapıları ilgilendirir. Can ve mal kaybı çoğu zaman yapıların hasarı ve yıkılmasının sonucudur. Deprem kayıplarının önlenmesi büyük ölçüde, deprem olayının doğru tanınması ve “depreme dayanan yapıların” yapılması ile olabilir. Önce yapıların deprem davranışı ya da hasarı bilinmelidir. Depreme dayanıklı yapı kuralları çoğu zaman yapıların depremde gözlenmiş davranışına (hasarına) dayanarak bulunmuştur. Depreme dayanıklı yapıların özellikleri nelerdir? Mevcut yapıların deprem dayanımı nasıl belirlenebilir ve mevcut yapılar depreme karşı nasıl güçlendirilir? Bu konular, bu kitabın ana başlıklarıdır.

Depremden hiç etkilenmeyen yapı olabilir. Hemen şu soru ortaya çıkar: Hangi büyüklükteki depremde, yapıda hiç hasar olmamalıdır? Depremlerin boyutları (şiddetleri) farklıdır. Yapıda deprem sonrasındaki “hasar” çatlaklar vb. yapının dayanımı kadar depremin boyutuna da bağlıdır. Hafif şiddette bir depremde az hasarlı olan yapı ile şiddetli depremde, az hasarlı olan yapı arasında önemli dayanım farkı vardır: Deprem dayanımları aynı düzeyde değildir.

En şiddetli depremde hiç etkilenmeyen yapının bedeli yüksektir. Biraz hasara izin verilirse yapı bedeli azalır. Yapının ekonomik ömrü varsa depremin de yinelenme süresi vardır. Yapının ekonomik ömrü içinde aynı şiddetteki deprem yinelenebilir mi? Elli yıl ekonomik ömrü olan yapı, 475 yılda bir olan depreme yakalanabilir mi? Bunlar, yapı tasarımı yapılırken dikkate alınan güvenlik ve ekonomi bileşenleri içeren bir karar verme ya da seçim yapmayı gerektiren özelliklerdir.

Kitabın bölümlerinde bu sorulara; inşaat mühendisi olan ya da olmayan herkesin anlayacağı düşünülen bir seviyede, çok tek-

nik olmayan yanıtlar verilecektir. Kitabın içeriği; yer bilimcilerin, depremler üzerine söylediklerinden farklıdır.

Kitapta doğrudan deprem nedir, fay nedir; deprem dalgaları, Türkiye'nin deprem bölgeleri vb. konularını işleyen bölümler yoktur. Konuya; yapının depremde dayanması gereken yer hareketleri ve deprem kuvvetleri, yapı deprem davranışı ve dayanımı vb. biçiminde depremin yapıları etkileyen özelliklerinden başlayarak girilecektir.

İnsanların hissettiği titreşimlerin ivme eşiği 1.0 cm/sn^2 'dir. Yapılarda hasar başlatan deprem ivmesi ise yaklaşık olarak en az 100 cm/sn^2 'dir: 100 kat daha büyük. 1 ile 100 cm/sn^2 aralığında ivmesi olan bir deprem hareketinin (salınım ya da titreşim) yapı içinde ya da dışında hissedilme eşiği ile hasar yapma eşiği arasındaki büyük fark; depremde, yapıda hasar olmasa da yapıda oturanlarda çok büyük “ruhsal ve moral durum” açısından hasar yaratır. Buna bir de yapının sağlamlığı, deprem dayanımı üzerindeki kuşkular ve de sık sık tekrarlanan artçı depremler, özellikle gecenin sessiz ve sakinliğinde aniden insanı uyandıran artçıları eklendiği zaman “depremle yaşamaya alışmak,” istemine uymak hiç de kolay değildir. Şiddetli bir depremin sarsıntısını yaşamak boks maçında, “grogi” durumunda boksör olmak gibidir.

BÖLÜM-1

DEPREM KUVVETLİ YER HAREKETİ

Depremde oluşan yerin içinden ve yüzeyinden geçen deprem dalgaları ortamı hareketlendirir. Bu dalgaların yol açtığı zemin salınımı, deprem yer hareketidir. Eğer zemin hareketi ile uyumlu yapı hareketi olsaydı deprem sırasında, yapılara yük etkimezdi. Zemine oturan ya da içinde gömülü rijit bir kaya bloğu, zemin ile birlikte hareket ettiği için depremden etkilenmez.

Zemine oturan yapılar, zeminle birlikte hareket edemediği için oluşan atalet kuvvetleri ile zorlanırlar. Bu kuvvet; hareket ederken frenine basılan motorlu taşıttaki yolcuları, ileriye doğru iten kuvvete benzer. Aracı durdurmak için hareket yönüne doğru ters yönde uygulanan kuvvet; araç içindekilere ters yönde, aracın hareket yönünde bir kuvvet uygular. Motorlu araç harekete geçtiği zaman yolcuların geriye doğru itilmesi de yine bir atalet kuvvetinin oluşmasının sonucudur.

Depremde yapıların zorlanmasına ve yıkımına neden olan, bu atalet kuvvetidir. Dolayısı ile yapılar için önemli olan, depremden zorlandıkları bu “atalet kuvvetidir.”

Atalet kuvveti; depremden yerde olan hareketin ivmesinin, bu ivme deprem süresi içinde zamana $a(t)$ bağlı değişkenidir: $(a(t))$, yapının kütlesi(m) ile çarpılması ile bulunacak kuvvettir: $(F = -m \times a(t))$ ve deprem süresi içinde değişkendir. Yönü yer hareketine ters yöndedir. ($- a(t)$ yönde)

Depremde yapıya etkiyen kuvvet; yapının yük taşıma gücüne bağlı olarak yapıda hasar yapar ya da yapı, yeterli dayanımda olduğu için hasar olmaz veya olan hasar yapı güvenliği için önemli bir boyutta değildir.

Sonuç olarak depremde yapıya ne olacağını belirleyen en önemli şey, bulunduğu noktada olacak **deprem yer hareketinin ivmesidir**. Yapı için depremin büyüklüğünden çok daha önemli olan, bulunduğu noktada zorlanacağı yer hareketi ivmesinin yaratacağı kuvvettir. Bu kuvvet ise yer ivmesinin genliği, süresi ve periyot içeriği ile yapının kütlesi, salınım periyodu, sönümü ve rijitliği gibi değişkenlere bağlıdır.

Depreme dayanıklı yapı tasarımı ya da hesabı XX. yüzyıl başlarında İtalya ve Japonya’da başlamıştır. Depremde; yapıda gözlenen hasarın, yapıya yandan gelen bir “yükün” etkisi ile olduğu anlayışı ile yapı, bu deprem yükünü taşıyacak dayanımda ise depremden **etkilenmeyeceği** sonucuna ulaşmıştır.

Depreme dayanıklı yapı için tasarım yatay yükünün boyutu nedir ya da ne kadar olmalıdır? Depreme dayanıklı yapı tasarımı- nın ilk yıllarında; yatay hesap yükünün, yapının ağırlığının yaklaşık %10’u kadar olması öngörülmüştür. Bu miktar o tarihlerde depremde oluşan yatay yükün ölçülmesine dayanmayan “mühendislik sağduyusu” ile seçilmiş bir değerdir.

İnşaat mühendisi ya da yapı için önemli olan, TEK BAŞINA depremin büyüklüğü (mağnitüd) değildir. İnşaat mühendisliği için deprem, yapıya etkileyen ve yapının taşınması gereken bir ‘YÜK’tür. Deprem yükü; **yapının bulunduğu noktada oluşacak deprem kuvvetli yer hareketinin ivmesinin genliği, süresi ve hâkim periyot kapsamı** gibi nitelikleri olan “dinamik” bir yük- tür. Dinamik yük; yapının salınım periyodundan daha kısa zaman aralıkları içinde değişen (artan ya da azalan), bir yük- tür. Bu denle yapının öz salınım periyodu ve sönüm oranı önemlidir.

DEPREM KUVVETLİ YER HAREKETİNİN BOYUTUNA ETKİYENLER

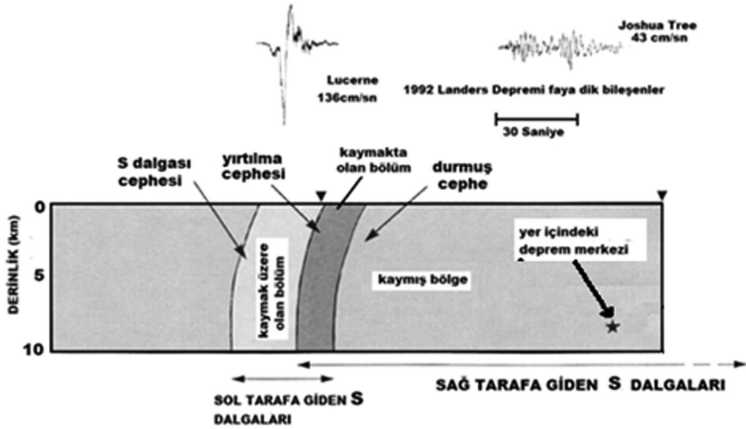
Yapının bulunduğu noktada oluşacak deprem kuvvetli yer hareketinin özellikleri, çok sayıda değişkene bağlıdır. Oldukça karmaşık ve çok boyutlu bir konudur. Çok sayıda belirleyici olmasına rağmen önceden kestirilemeyen etmen vardır.

DEPREMİN BÜYÜKLÜĞÜ

Depremin büyüklüğü, yer kabuğunun o bölümünde birikmiş ya da birikebilecek enerjiye bağlıdır. Depremde açığa çıkan enerji; yer kabuğunda biriken enerjinin aniden boşalması, potansiyel enerjinin kinetik enerjiye dönüşmesidir. Yer kabuğunu oluşturan plakaların ara yüzeylerindeki pürüzlülüğe bağlı olarak, plakaların harekete geçmesi için gereken enerji farklıdır. Uzun fayların ara yüzeyinde hareket için birikmesi gereken enerji daha büyüktür. Kısa faylarda hareket için daha küçük enerji birikimi yeterli olabilir. Dolayısı ile kısa faylarda daha küçük depremler beklenir. Depremde oluşan yer ivmesinin büyüklüğü de bu nedenle biriken ve açığa çıkan enerjinin miktarına bağlıdır. Depremin büyüklüğü, yer hareketinin “kuvvetli” bölümünün süresi ile ilgilidir. 6.0-6.5 büyüklüğündeki bir depremin kuvvetli bölümünün süresi, 10-15 saniye olurken >7.0 büyüklüğündeki depremin kuvvetli bölümünün süresi 1.0 dakika olabilir.

Kuzey Anadolu Fayı gibi çok uzun (1000 km’den daha uzun) faylarda ise fayın 100-200 km uzunluğundaki bölümlerinde biriken enerjiler, birbirine komşu bölümlerde açığa çıkar ve fayın bir ucunda başlayan depremler, yıllar içinde aralıklı olarak fayın diğer ucuna doğru kayarlar. 1000 km uzunluğundaki fayın üzerinde biriken toplam enerji çok büyüktür ve tek bir depremle boşalmaz.

Yer kabuğu büyük plakalardan oluşur. (Anadolu, Hindistan, Arap ve Büyük Okyanus plakası gibi.) Bu plakaların ortalarında “plaka içi” depremler de oluşur. Ancak plaka için depremlerin büyüklüğü genellikle <5.0 ’dan azdır. Çok ender olarak $> M5-6.0$ büyüklüğünde, plaka içi deprem olabilir. Bu depremlerin yaratacağı hasar plaka sınırlarında olan >7.0 depremlere göre çok daha hafiftir.



Şekil-1 Faydaki “yirtılmanın” gelişimi.

FAYDAKİ ATIMIN ÖZELLİKLERİ

Atım; bir deprem sırasında fayın yeryüzündeki izinde olan, şekil değiştirme ya da kaymadır. Şekil-1’de fay ara yüzünde ilerleyen bir “yirtılma” verilmektedir. Yirtılma ya da kayma son derece hızlı olur. Her kayma adımında, atım ile birlikte şok dalgaları oluşmaktadır ve her kayma anındaki şok dalgaları; deprem kaydı alınan noktaya, farklı zaman aralıkları ile ulaştığı için art arda binerek deprem yer hareketi kaydını oluşturur.

Faydaki Atımın Hızı: Depremiñ olduğu fayda yırtılma ya da kayma yavaş ya da hızlı olabilir. Faydaki hareketin hızının, en büyük düzeve ulaşması için geçen zaman da uzun ya da kısa olabilir. Yırtılmanın başlangıç zamanı, yırtılma hızına ulaşma süresi ve en üst hızı depremin merkezinden uzakta ve atım yönünde ya da ters yönde olan noktalarda; farklı olabilir. Yavaş başlayan bir yırtılmada oluşan deprem yer hareketinin uç ivmesi daha küçüktür. 17 Ağustos 1999 depreminde yırtılma, “yavaş” olmuş ve ölçülen uç ivmeler, 7.4 büyüklüğündeki bir depremden genellikle beklenenden daha küçük olmuştur. 17 Ağustos 1999 depreminde yırtılma fayın değişik bölümlerinde de farklı zamanlarda başlamış ve farklı hız ve toplam miktarlarda olmuştur.¹ Bu özellikler deprem alanında hareket eden fayın değişik bölümlerinde deprem yer hareketinin çok farklı genlik ve periyotlu titreşimlerin bileşkesi olmasına neden olmuştur. Gelecekte deprem olması beklenen herhangi bir fayda yırtılma başlangıç zamanı, hızı ve toplam miktarının nasıl olacağı önceden, deprem olmadan bir bilinmezliktir. Dolayısı ile deprem yer hareketi de aynı ölçüde bilinmezdir ve kestirilememektedir.

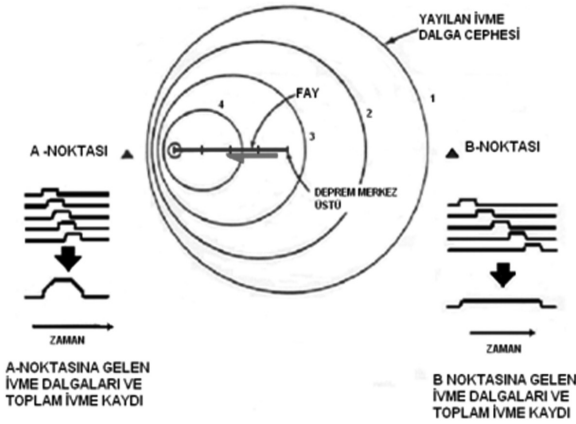
Faydaki Atımın Türü: Depremde faydaki atım “yatay” ya da “düşey” olabilir. Düşey ve yatay atımın birlikte olduğu fay yırtılmaları da vardır. Genellikle arazideki fay çizgisinin bir tarafında yer alan fay bloğu hareket eder. Düşey atımlı fayda; fayın bir tarafı yukarı doğru hareket ederken diğer tarafı hareketsiz ise bu fay, “ters” fay olarak nitelenir. Genellikle hareket eden fay bloğu üzerinde oluşan deprem yer hareketinin genliği daha büyüktür. Hareketli blok üzerindeki yapılarda daha çok hasar olabilir.

Faydaki Yırtılmanın Yapının Bulunduğu Noktaya Göre Yönü: Yapıya etkiyecek deprem yer hareketinin yönü, faydaki yırtılma yönü, açılma, yapının bulunduğu noktaya doğru ya da

¹ Bouchon ve diğerleri-2002

yapının bulunduğu yönden uzaklaşan bir yönde olabilir. Bu durum, yapının zorlanacağı deprem yer hareketinin niteliğini de büyük ölçüde etkiler.

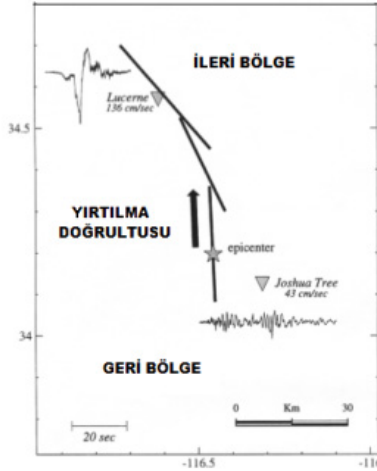
Faydaki yırtılma, depremin faydaki açılmanın ilerleme yönü, yapının bulunduğu noktaya doğru ise yapı, kısa periyotlu bileşeni ve büyük genliği olan bir deprem yer hareketi ile zorlanır. Yer hareketinin uç ivmesi de daha büyüktür. Deprem yer hareketinin büyük genlikli olduğu bölümünün süresi “kısa” olabilir.



Şekil-2 Depremde; faydaki yırtılmanın ilerleme yönü tarafında (A noktası) ya da ters tarafında (B noktası) ölçülen yer ivmesi farklı niteliktedir. Bu, bir tür Doppler etkisidir.

Deprem olan faydaki “yırtılma,” yapının bulunduğu noktadan uzaklaşan bir doğrultuda ise yapıyı etkileyen deprem; yer hareketinin genliği küçük, periyodu ve süresi uzun olur. Faydaki hareket yapıdan uzaklaşıyorsa yapı daha hafif bir zorlamanın etkisindedir. Daha az hasar olması beklenir. Bakınız: Şekil-3. Bu özellik ABD’de gözlenmiş bir depremde; fayın yırtılma yönündeki ve

ters yöndeki uçlarında ölçülmüş yer hareketi hızının, farklı nite-
likte olması ile kanıtlanmaktadır.



▲ **Figure 3.** Map of the Landers region showing the location of the rupture of the 1992 Landers earthquake (which occurred on three fault segments), the epicenter, and the recording stations at Lucerne and Joshua Tree. The strike normal velocity time histories at Lucerne and Joshua Tree exhibit forward and backward rupture directivity effects respectively.

Şekil-3 Faydaki “yırılmanın” yönünün, deprem yer hareketine etkisi. Faydaki yırılma yönünde ölçülen hız, yırılma doğrultusuna ters yöndeki noktadan ölçülen hızdan çok daha büyük.

Deprem yer hareketinin bu özelliğinin, İstanbul için özel bir önemi vardır: Marmara Denizi’nin ortasından geçen Kuzey Anadolu Fayı (KAF), sağ yanal atımlı bir faydır. Faydaki atımın yönü ise sola, batıya doğru, İstanbul’dan uzaklaşan bir doğrultuda olacaktır. Bu da İstanbul’da oluşacak deprem yer hareketinin; daha uzun, hâkim periyotlu fakat daha küçük genlikli olabileceğine işaret etmektedir. İstanbul’da alçak yapılar daha küçük bir kuvvetle zorlanırken uzun periyotlu yüksek yapıların salınımı daha büyük olacaktır. KAF’ın batı ucunda, İstanbul’un batısında olan noktalarda ise yer hareketi daha kısa periyotlu ve daha büyük

genlikli olabilir.

Faya Dik Yönde Uzaklık: Deprem yer hareketinin genliğinin, faydaki hareket doğrultusuna dik yönde azalması ve hareketin bileşenlerinin, periyot içeriğinin değişmesi beklenir. Deprem yer ivmesi; içindeki kısa periyotlu bileşenlerin genliği, fay çizgisinden dik yönde uzaklaşılınca “hızla” azalır. Yer hareketinin kısa periyotlu bileşenleri uzaklara gidemez. Uzun periyotlu yer hareketi bileşenleri; fay düzlemine dik yönde, çok daha uzaklara gider.

Depremin; merkezinden hareket eden faydan uzakta olan noktalarda; depremin etkisi uzun periyotlu “yüksek” yapılarda çok daha kuvvetli hissedilirken, kısa periyotlu “alçak” yapılarda hissedilmeyebilir. Uzak depremler; “yüksek” yapılarda, hasar yaparken “alçak” yapılar depremi hissetmeyebilir. 17 Ağustos 1999 depreminde; hareket eden faya dik yönde, çeşitli uzaklıkta ölçülen ivmelerin, faydan dik yönde yaklaşık 20 kilometre uzaklıktan sonra hızla azaldığı gözlenmiştir. Bakınız: Şekil-4.