

GENERAL PROPERTIES AND SEISMIC PERFORMANCE OF HIGH RISK BUILDINGS IN OUR COUNTRY

Ahmet YAKUT - Barış BİNİCİ

ABSTRACT

Low-to-Mid-rise reinforced concrete (RC) buildings constitute majority of the building stock in our country. Nearly 50 percent of our RC building stock is constructed before 2000 and thus they are known to not reflect the seismic provisions of the 1998 and later codes. The insufficient seismic performance of these structures was confirmed by their response in past earthquakes. There is consensus that these buildings which showed poor performance due to inadequate material, poor workmanship, inappropriate detailing, and inadequate design, do not reflect some important requirements that were put into practice after 2000 and are known to be critical for seismic performance. Among these criteria, the most important ones are the promulgation of 1998 code that is more comprehensive than 1975 code, the use of ready-mix concrete and high quality steel that were made compulsory by the revised TS500 standard, the influence of Kocaeli and Duzce earthquakes of 1999 and building inspection law that was put into in effect in 19 pilot cities in 2001 that is expanded to whole country in 2011. In this paper, the typical properties of our building stock are presented along with their seismic performance and recommendations are provided for reduction of seismic risk.

Keywords: RC Building, Earthquake Risk, Structural Damage, Building With High Risk, Urban Renewal

Prof. Dr., Orta Doğu Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü
Mail: ayakut@metu.edu.tr

 ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3664-7634>

Prof. Dr., Orta Doğu Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü
Mail: binici@metu.edu.tr

 ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9586-7349>

Makale Atıf Bilgisi: Yakut, A. ve Binici, B. (2023). "Ülkemizde Riskli Yapıların Genel Özellikleri ve Deprem Performansı".. *Çevre, Şehir ve İklim Dergisi*. Yıl: 2. Sayı: 4. ss. (220-237)

Makale Türü: İnceleme
Geliş Tarihi: 03.05.2023
Kabul Tarihi: 12.06.2023
Yayın Tarihi: 31.07.2023
Yayın Sezonu: Temmuz 2023

ÜLKEMİZDEKİ RİSKLİ YAPILARIN GENEL ÖZELLİKLERİ VE DEPREM PERFORMANSI

Ahmet YAKUT - Barış BİNİCİ

ÖZ

Ülkemizde yer alan yapı stokunun büyük bir çoğunluğunu az-orta katlı betonarme (BA) yapılar meydana getirmektedir. BA yapı stokumuzun yaklaşık yüzde 50'sinin 2000 yılı öncesinde yapıldığı ve bu nedenle de 1998 ve sonrasında yönetmelik kurallarını yansıtmadığı bilinmektedir. Bu yapıların deprem davranışının genel olarak yetersiz olduğu geçmiş depremlerde göstermiş oldukları performans ile teyit edilmiştir. Yetersiz malzeme, kötü işçilik, uygun olmayan detaylandırma ve yetersiz tasarım sonucu ortaya çıkan zayıf performans nedeniyle yüksek riskli olarak karşımıza çıkan bu yapıların 2000 yılı sonrası uygulamaya giren ve yapısal riski önemli ölçüde etkileyen bazı kritik kriterleri yansıtmadığı konusunda fikir birliğine varılmıştır. Bu kriterlerin başında, 1998 yılında yürürlüğe giren ve 1975 yönetmeliğine göre çok daha kapsamlı olan deprem yönetmeliği, 2000 yılında revize edilen TS500 standardı ile zorunlu hale getirilen hazır beton kullanımı ve yüksek kalite donatı, 1999 yılında meydana gelen Kocaeli ve Düzce depremlerinin etkileri ile 2001 yılında öncelikle 19 ilde pilot olarak uygulanan daha sonra 2011 yılında tüm ülkeyi kapsayan yapı denetim uygulaması gelmektedir. Bu makalede, riskli yapı stokumuza ilişkin genel bilgiler ile bu yapılarımızın deprem performansı üzerinde durularak, riskin azaltılması konusunda öneriler sunulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: BA Yapı, Deprem Riski, Yapısal Hasar, Riskli Yapı, Kentsel Dönüşüm

Giriş

Ülkemizdeki yapım yılı bilgisi belli olan yapı stokunun (toplam yapı stokunun yaklaşık yüzde 90'ı) yaklaşık yüzde 48'sini 2000 öncesi yapılar meydana getirmektedir. Yapılarımızın ortalama kat yüksekliği 5 civarında olup, bu değer Ankara'da 7.1 (en yüksek) ve İstanbul'da 6.9'dur (TUIK, 2021). Kentsel bölgelerdeki yapı stokumuzun büyük çoğunluğunu meydana getiren az ve orta katlı betonarme yapıların, geçmiş depremlerde de ortaya konduğu üzere, deprem performansı yeterli değildir. Ülkemizdeki yapı stokunu deprem riski açısından 2000 öncesi ve 2000 sonrası yapılar olarak ikiye ayırmanın uygun olacağı düşünülmektedir. Yapı tasarımı, malzemesi ve inşaatı açısından 2000 yılı civarında yapılan değişikliklerin bu tarihten sonra inşa edilen yapıların deprem risklerini önemli ölçüde etkilediği söylenebilir. 1998 yılında yürürlüğe giren deprem yönetmeliği (ABYBHY 1998) depreme dayanıklı bina tasarımı konusunda modern ve güncel hesapları ve hükümleri içermektedir. O tarihe kadar geçerli olan 1975 yönetmeliğine göre hem deprem etkilerinin belirlenmesi hem de yapısal eleman tasarımı ve detaylandırması konusunda kapsamlı hükümler getirilmiştir (Yakut v.d. 2021, İlki ve Celep 2012, ODTÜ 2020). 1998 yönetmeliğinin yürürlüğe girmesinden yaklaşık 1 yıl sonra meydana gelen Kocaeli ve Düzce depremleri ülkemizdeki deprem gerçeği ve yapılarımızın riski konusunda farkındalığın belirgin ölçüde artmasına sebep olup ülke çapında deprem riski konusunda birçok çalışmanın başlatılmasını sağlamıştır. Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları standardı (TS500,2000), 2000 yılında revize edilerek yapılarda hazır beton ve belli kalitede çelik donatı kullanımını zorunlu hale gelmiştir. 2001 yılında yürürlüğe giren 4708 sayılı yapı denetimi kanunu ile standartlara ve yönetmeliklerine uygun kaliteli yapıların yapılması için proje ve yapı denetimi sağlanması amaçlanmıştır. Öncelikli olarak 19 pilot ilde uygulanan yapı denetiminin kapsamı genişletilerek 2011 yılında tüm ülkede zorunlu hale getirilmiştir.

Bu makalenin amacı yapı stokumuzun önemli bir bölümünü oluşturan BA binaların deprem davranışlarını geçmiş depremlerde gözlenen performans açısından irdeleyerek, özellikle 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremlerine vurgu yaparak, yapılarımızın risklerini değerlendirmektir. Sonrasında, yapısal riske yol açan faktörleri belirleyerek bu risklerin azaltılması konusunda bir yol haritası çizilerek önerilerde bulunmaktadır.

Mevcut BA Yapı Stokumuzun Deprem Performansı ve Hasara Yol Açan Faktörler

Ülkemizdeki BA bina stokunun özellikleri ve davranışı düşünüldüğünde 2000 öncesi yapıların büyük risk grubunu meydana getirdiği konusunda araştırmacılar fikir birliğine varmış durumdadır. Bu nedenle, 2000 öncesi inşa edilmiş olan yapıların özellikleri ve deprem performansı ayrıntılı olarak ele alınacaktır.

2000 öncesi binalarda gözlemlenen tipik hasar nedenleri birçok araştırmacı tarafından irdelenmiş olup aşağıda özetlenmektedir (Yakut v.d. 2022, Bayraktar v.d. 2015, Scawthorn 2000, Spence v.d. 2003, ODTÜ 2011, METU 2020):

- Binaların yürürlükteki yönetmelik ve standartlara uygun tasarlanmamış olmaları.
- Binalarda kullanılan betonun hem dayanım hem de içerik olarak yetersiz olması.
- Yetersiz detaylandırmalar
 - Birleşim bölgelerinde ve eleman potansiyel mafsallarda sargılama yapılmaması
 - Etriyelerde 135 derece kanca kullanılmaması
- İşçilik kalitesinin yetersiz olması
- Mimari faktörler
 - Yumuşat kat
 - Aşırı çıkıntılar
 - Burulma düzensizliği
 - Kısa kolonlar
 - Bitişik nizam yapılar
 - Süreksiz çerçeveler
- Uygun olmayan yapısal sistem seçimi ve yerleşimi
- Yetersiz denetim
- Deprem etkilerinin güncel yönetmeliklere göre daha düşük olması

Son yirmi yıl içerisinde yaşamış olduğumuz Bingöl (2003), Van (2011), Elazığ (2020) ve İzmir (2020) depremlerinde yapılarımız, tasarım depremlerinin altında etkilere maruz kalmalarına rağmen ortaya çıkan zayıf performans yukarıda bahsedilen yetersizlikler nedeniyle özellikle 2000 öncesi yapılarımızın riski konusunda önemli uyarılarda bulunmuştur (METU 2020, ODTÜ 2011, Yakut v.d. 2022, Yakut v.d. 2005). 6 Şubat Kahramanmaraş depremleri ise birçok yerde tasarım depremi seviyesinde ve üzerinde deprem etkileri meydana getirmiş ve bu etkilere maruz kalan riskli yapılarımızın oldukça yüksek düzeyde hasara uğramasına yol açmıştır (ODTÜ 2023, İTÜ 2023, BOU 2023).

Ülkemizdeki yapı stokunda gözlenen en yaygın hasar yumuşak/zayıf kat nedeniyle meydana gelmektedir (Yakut v.d. 2022, ODTÜ 2023). Bina giriş katlarının diğer katlara göre daha yüksek olması ve/veya bu katın üst katlara göre mağaza olarak kullanılması amacıyla dolgu duvar bulunmaması nedeniyle, rijitlik ve dayanımının daha az olması bu tür hasarlara yol açmaktadır. Farklı depremlerde sıkça rastlanılan bu hasarın temel nedeni

tasarımda bu durumun dikkate alınmaması ve eleman uç bölgelerinde gerekli donatı detaylandırmasının yapılmamasıdır. Şekil 1’de geçmiş depremlerde gözlemlenen yumuşak kat/zayıf kat hasarına ilişkin örnekler gösterilmektedir (Dogangun 2004, Yakut v.d. 2022, Bayraktar v.d. 2015, ODTÜ 2011).



Şekil 1. Geçmiş depremlerde gözlenen yumuşak/zayıf kat hasarları; a) 1999 Kocaeli depremi, b) 2003 Bingöl depremi, c) 2011 Van depremi, d) 2020 İzmir depremi

Yatay taşıyıcı sistemi yetersiz ve diğer olumsuzlukların bazılarını içinde barındıran binaların çoğunda toptan göçme meydana gelmektedir (Şekil 2). Özellikle yeterli yanal rijitlik ve dayanıma sahip olmayan binalar, tasarım depremi altında etkilere (Elazığ (2020), İzmir (2020)) maruz kaldıklarında dahi, bu binaların yanında bulunan diğer yapıların ayakta kalmasına rağmen tamamen göçerek yüksek can kayıplarına neden olmaktadır.



Şekil 2. Toptan göçen binalar; a) 2011 Van depremi, b) 2020 Elazığ depremi, c) 2020 İzmir depremi, d) 2023 Kahramanmaraş depremleri

Riskli yapı stokumuzun en temel problemlerinden biri yetersiz sargı ve donatı detaylandırmasının yol açtığı hasarlardır. Etriye aralığının yeterli olmaması ve etriye köşelerinde uygun kanca geometrisinin uygulanmaması nedeniyle sargılama etkili hale gelememektedir. Özellikle kolon uçları ile kolon- kiriş birleşim bölgelerindeki yetersizlikler nedeniyle birleşim bölgelerine yakın eleman uçlarında ağır kesme çatlakları ve donatı burkulmaları meydana gelmektedir. Bu tür hasarlara ilişkin tipik örnekler Şekil 3'te sunulmaktadır.



Şekil 3. Yetersiz sargı ve detaylandırma sonucu oluşan tipik hasarlar

Yumuşak katın yanı sıra burulma düzensizliği, kısa kolon ve ağır çıkmaların mevcut olduğu binalarda diğer yetersizliklerin de etkisi ile belirgin hasarlar gözlenmektedir. Kısa kolon nedeniyle oluşan hasar da ülkemizde yaygın olarak karşılaştığımız, kısa kolon etkisinin tasarımda dikkate alınmaması sonucu ortaya çıkan bir hasar durumudur (Şekil 4a). Ülkemizdeki BA binaların çoğunda imara uymak ve aynı zamanda üst katlarda alan kazanmak amacıyla çıkmalar yapılmaktadır. Bu çıkmalar tasarımda dikkate alınıp uygun detaylandırıldıkları takdirde yapı davranışı açısından çok olumsuz etkiler yaratmaz. Ancak, ülkemizdeki uygulamalarda ağır çıkmalar hem doğru şekilde hesaplarda dikkate alınmadığından hem de çerçeve sürekliliğinin bozulmasına neden olduğundan dolayı hasara yol açmaktadır (Şekil 4b). Burulma düzensizliğine sahip binalarda, planda yapısal elemanların simetrik olarak dağıtılmaması sonucu, planda esnek bölgedeki dış akslarda yer alan elmanlar daha yüksek kuvvetlere maruz kalarak hasar almaktadır (Şekil 4c).



Şekil 4. Düzensizliklerden kaynaklanan hasarlar; a) Kısa kolon etkisi, b) Ağır çıkma, c) Burulma kaynaklı dış aks kolon hasarı

Malzeme ve işçilik kalitesinin düşük olması, eski yapılarda düz donatının ve düşük dayanımlı betonun kullanılması nedeniyle davranışı olumsuz etkileyen birçok durum ortaya çıkmaktadır. Bunların en önemlileri düşük dayanım ve sargılama yetersizliği nedeniyle kolonlarda oluşan yüksek eksenel kuvvetlerin yatay ötelenmeler ile birleştiğinde donatı burkulması ve beton ezilmesine yol açmasıdır (Şekil 5). Bu durum özellikle kat yüksekliği arttıkça daha belirgin olarak gözlenmektedir.



Şekil 5. Yetersiz malzeme ve donatı nedeniyle oluşan kolon hasarı

Yukarıda özetlenen tipik yapısal hasarların yanı sıra hemen her depremde en yaygın olan hasar türü dolgu duvar hasarıdır. Dolgu duvarların çerçeve içerisinde arada boşluk veya esnek malzeme bırakılmadan bitişik olarak inşa edilmesi

Ülkemizde maalesef standart bir pratik haline gelmiştir. Kırılgan malzeme ile yapılan dolgu duvarların çerçeve kadar esnek olmaması ve çerçeveye göre çok daha düşük ötelenme seviyelerinde çatlaması kaçınılmazdır. Genellikle düşük ötelenme seviyelerinde çerçeveden ayrışma, yüksek ötelenmelerde ise çapraz çatlaklar ve düzlem dışı devrilme şeklinde gözlemlenen dolgu duvar hasarları esnek yapılarda daha belirgindir (Şekil 6). Yapısal hasarı olmayan veya hafif seviyede olan binalarda karşılaşılan dolgu duvar hasarı insanları psikolojik olarak rahatsız etmekte olup binalarına girememelerine neden olmaktadır.



Şekil 6. Dolgu duvar hasarı

6 Şubat 2023 Kahramanmaraş Depremlerinde Meydana Gelen Hasarın Nedenleri

Ülkemizde meydana gelen son yüzyılın en yıkıcı ve en önemli depremleri olan 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremleri birçok açıdan özel olarak nitelendirilebilir. Öncelikle 7.7 ve 7.6 büyüklüğünde iki depremin aynı bölgede ve yaklaşık 9 saat arayla meydana gelmiş olması dünyada örneğine pek

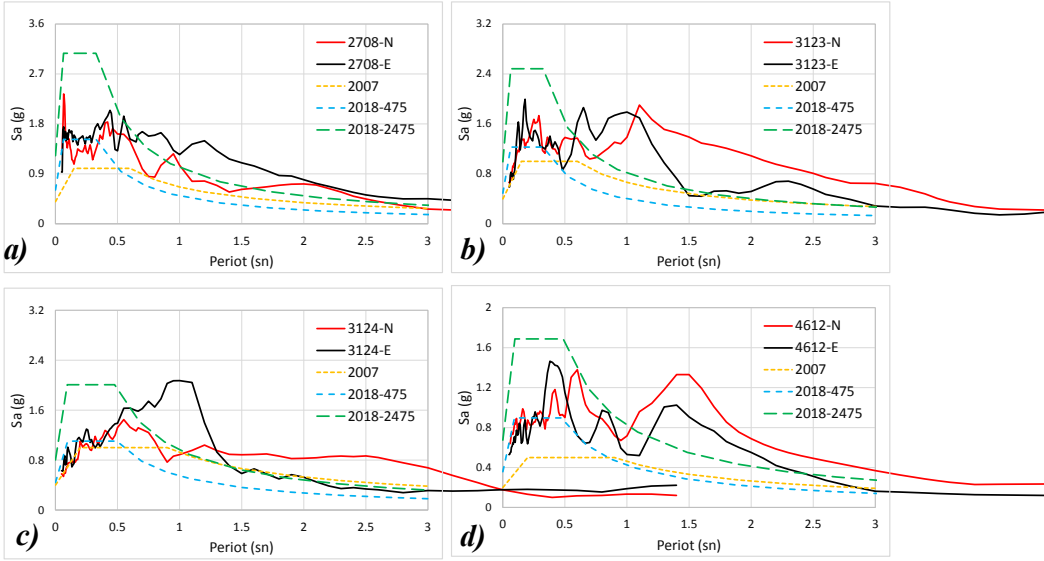
rastlanmayan bir durumdur. Depremlerin çok geniş bir coğrafyayı etkilemiş olması (11 ilde belirgin etki), bölgede yaşayan yaklaşık 13.5 milyon insanın doğrudan etkilendiği düşünüldüğünde oldukça önemlidir. Ölçülen yer hareketi kayıtlarının bazı bölgelerde deprem yönetmeliğinde verilen değerlerin çok üzerinde olması da vurgulanması gereken bir husustur (ABYBHY 2007, TBDY 2018, ODTÜ 2023, İTÜ 2023, BOU 2023). Ayrıca, fayın kırılan bölgelerinden nispeten uzakta olan ve yumuşak zemine sahip alanlarda meydana gelen yaygın ve ağır hasar zemin etkileri açısından oldukça dikkat çekmiştir (ODTÜ 2023, İTÜ 2023).

Pazarcık merkezli ilk depremin daha uzun bir fay kırığına yol açtığı, Hatay, Gaziantep, ve Kahramanmaraş'ta ağır hasara neden olduğu söylenebilir. İkinci büyük deprem olan Elbistan merkezli depremin ise daha çok Malatya, Adıyaman ve Kahramanmaraş'ta ağır hasara neden olduğu anlaşılmaktadır. Bölgede gözlenen hasar incelendiğinde yıkılan, acil yıkım kararı alınan ve ağır hasar gören binaların büyük çoğunluğunun 2000 öncesinde yapıldığı görülmektedir. Bu yapıların geçmiş depremlerde de gözlemlendiği gibi düşük beton dayanımı, donatı detay eksiklikleri, yapısal sistem sorunları ve uygulama hataları başta olmak üzere pek çok eksikliği barındırdığı gözlemlenmiştir (ODTÜ 2023). Düşük beton dayanımlı, yapısal zayıflıkları bulunan, özellikle yumuşak zemin üzerinde bulunan yüksek deprem etkilerine sahip bölgelerdeki birçok orta kat üzerindeki binanın yetersiz performansı tekrar gözler önüne serilmiştir. 2000 yılı sonrası yapılmış olup, yine bazı eksiklikler nedeniyle beklenenin üzerinde ağır hasar gören binalar da mevcuttur. Yapılan açıklamalara göre hasar gören yapıların yaklaşık yüzde 97'si 2000 yılı öncesi inşa edilmiş olan yapılardır. Kahramanmaraş depremlerinde meydana gelen yüksek hasarın nedenleri şu şekilde sıralanabilir:

- Meydana gelen depremin oluşturduğu yer hareketinin bina tasarımına esas yer hareketinden büyük olması: Kahramanmaraş (Göksun, Pazarcık), Fevzipaşa, Gaziantep (İslahiye, Nurdağı), ve Hatay (Antakya, Arsuz, Hassa, Kırıkhan) mevkiilerinde mevcut olan AFAD istasyonlarında ölçülen kayıtlar kullanılarak elde edilen tasarıma esas deprem kuvvetlerinin (tepki spektrumları) Deprem Yönetmeliği tarafından verilen deprem kuvvetlerinden (tasarım tepki spektrumları) fazla olduğu belirlenmiştir (Şekil 7). Bu sebeple oluşan hasarın bir kısmı, binalar deprem yönetmeliklerine uygun yapılsa dahi bu sebeple gerçekleşmiş olabilir. Deprem yönetmeliklerine uygun tasarlanan ancak beklenen en büyük depreme maruz kalan yapıların yıkılmadan ağır hasarlı olarak depremi atlatması, aslında deprem mühendisliğinde istenen bir yaklaşımdır. Bir binanın şiddetli bir deprem sonrası ayakta kalıp kalamayacağını belirleyen unsurlar sistemin doğru seçimi, binanın doğru tasarlanması ve imalat çizimlerine harfiyen uyulması gibi mühendislik kalitesi ve öngörüsüdür.

- Özellikle Hatay ve Adıyaman-Gölbası illerinde yumuşak zemin etkileri ile zemin kaynaklı deprem hareketinin büyümesi ve zeminde ani dayanım kaybı gözlemlenmiştir (ODTÜ 2023, İTÜ 2023, BOU 2023). Bu tip etkiler, deprem yönetmeliğine göre tasarlanan binaları yüzeysel temeller olması durumunda devirme potansiyeline elbette sahiptir. Özellikle bodrum katlar ile inşa edilmiş binalarda hasarın göreceli olarak daha az olduğu göze çarpmaktadır. Buna ilave olarak, bu binaların inşasından evvel zorunlu olan zemin sondaj, laboratuvar deneyleri ve geoteknik raporlarının olası bu tehlikeyi belirlemiş olması gerekeceğinden zemin etkilerinin ana etken olarak önerilmesi mesnetli bir argüman olarak kabul edilmeyebilir. Ancak, zemin etkilerinin ve özelliklerinin tasarım aşamasında tam olarak saptanmaması özel zemin durumuna sahip sahalarda burada olduğu gibi zemin büyütmelerine ve zemin kaynaklı hasarlara yol açabilir.
- Yapım yılı 2000'den eski olan binaların (tasarımı 1998 öncesi yapılan binalar) 1975 yönetmeliğine göre tasarlanmış olmaları beklenir. Bu yönetmelikte verilen deprem tasarım kuvvetleri 1998 (ABYBHY 1998), 2007 (ABYBHY 2007) ve 2019 (TBDY 2018) deprem yönetmeliklerinde verilenlerin oldukça altındadır. Ayrıca, 1980-1990'lardan sonra dünya deprem mühendisliği literatürüne giren kuvvetli kolon zayıf giriş, birleşim bölgesi kayma kontrolü gibi kavramlar bu yönetmelikte bulunmamaktadır. Bu sebeple 1975 yönetmeliğine göre sınırda tasarlanan binalarda güncel yönetmeliklere göre yetersizlik bulunacaktır. Ancak, 1970-1998 arasında elbette öngörülü mühendislik ve müteahhitlik yapan kişi ve kurumlar bu yıllarda dayanımı fazla, depreme dayanıklı yapılar tasarlamış olabilir, bu tür binalar yeterli performans gösterebilir. Mühendislik hizmetini doğru bir şekilde almamış 2000 öncesi yapılar ise elbette doğrudan yetersiz kalmaktadır. Bu bilgiler ışığında tasarım eksiklikleri ve yetersizlikleri sebebi ile 2000 öncesi yapıların zayıf performans göstermesi beklenmektedir.
- Yapım yılı 2000'lerden sonra olan binaların tasarımında karşılaşılan en büyük sorunlardan biri aslında "paket program" olarak adlandırılan bina planını çizdikten sonra otomatik olarak tüm boyut ve donatı detaylarını veren yazılımların bilinçsiz kullanımınıdır. Bu yazılımların bu şekilde kullanımı, mühendisin yapı davranışını anlamasına, yük akışını görmesine, sigortalar koymasına engel olmuştur. "Paket program"ların bilinçsiz kullanımı ile tasarlanan binaların bu depremde ağır hasar alıyor olması aslında bazı yapı sistemlerinde mümkün görünmektedir. Deprem yük aktarma mekanizmalarının doğru temsil edilmediği modeller maalesef binaları ağır hasara götürebilen unsur olarak karşımıza çıkabilmektedir.

- Ülkemizde kullanılan hazır beton miktarı incelendiğinde 2000 sonrası kırsal bölgeler hariç hemen her ilde hazır beton kullanıldığı söylenebilir. Hazır beton santralleri hiçbir sektörde bulunmayan bir yöntem ile çalışmaktadır. Sattıkları ürününün nihai özelliğini sertleşmeden bilemediklerinden aslında dayanımı bilinmeyen bir ürün satmaktadırlar. Bu sebeple tüm santraller ayakta kalabilmek için beton sevkiyatı öncesi test yapmak ve belli bir kaliteyi öngörme zorunluluğundadır. Bu durum onları aslında daima güvenli tarafta oynamaya itmektedir. Dolayısıyla, hazır beton üreten tesislerin olası beton kalitesinin bazı istisnalar dışında genel olarak belli bir standartta olduğu söylenebilir.
- 2000 öncesi yapılarda ise belki de en büyük sorun beton dayanımındaki yetersizliktir. Dayanımı tasarım dayanımının yarısı olarak yerleştirilen bir beton aslında düşey elemanlardaki eksenel yük oranının belirgin miktarda artmasına neden olur. Bu sebeple binalarda oluşan hasarı açıklarken 2000 öncesi yapılarda beton dayanımının etken olduğu ancak sonrası yapılarda daha az etken olduğu söylenebilir. 2000 yılı öncesi inşa edilen yapılardaki ortalama beton dayanımının yaklaşık 9 MPa olduğu söylenmektedir (Yakut 2004).
- Bir binanın yapım kalitesi deprem performansını önemli ölçüde etkilemektedir. Binanın taşıyıcılığını belirleyen ana unsurlar sıva, boya, kaplama gibi örtüler ile giydirildiğinden ve bu nedenle dışarıdan bakıldığında anlaşılamadığından her tür kalite yetersizliği aslında gizli kalabilmektedir. Yerleştirme esnasında kolaylık için su katılması beton dayanımını düşürmekte, iyi sıkıştırılmayan beton ayrışmakta, özensiz bağlanan donatılar istenen dayanım ve esnekliği sağlayamamaktadır. Üretim fabrikaya alınmadığı sürece ülkemizde kalite sahada yakalanamamaktadır. Sonuç olarak projelendirme, malzeme temini, inşa aşamalarında kaliteyi talep etmeyen, yapısal kalite için para harcamak istemeyen bir sistem mevcuttur. Bu sistemin ise gözlenen ağır hasarlarda rolü bulunmaktadır.



Şekil 7. Ölçülen yer hareketi ve yönetmelik spektrumları;
a) Fevzipaşa, b) ve c) Hatay, d) Göksun

Ülkemizdeki yapısal riskin azaltılması için öneriler

Ülkemizde bulunan, çoğunluğu 2000 yılı öncesinde inşa edilmiş olan riskli yapı stokumuz nedeniyle depremlerden sonra karşılaştığımız ağır kayıplar depremlere karşı riskleri azaltıcı tedbirler almadığımız sürece karşımıza çıkmaya devam edecektir. Özellikle yüksek deprem tehlikesi ve düşük performanslı yapılar nedeniyle yüksek riske sahip İstanbul, İzmir, Bursa ve Adana gibi büyük şehirlerimiz başta olmak üzere deprem bölgelerindeki riskli tüm şehirlerimizde riskin azaltılması için ivedi tedbirlerin alınması gerekmektedir. Bu bölgelerimizde riskin azaltılması için uygulanacak yaklaşımın hem zaman hem ekonomik hem de uygulama kolaylığı açısından cazip olması gerekir.

Mevcut yapı stokundaki riskin azaltılması için öncelikli olarak ağır hasar alacak veya yıkılacak binaların belirlenmesi gereklidir. Ülkemizdeki yapı stokunun yaklaşık olarak yüzde 5'i civarında olması beklenen bu binaların tespiti için yapıların tek tek ayrıntılı olarak incelenmesi mümkün olmadığından bir öncelik sıralamasına koyularak tasniflenmesi gereklidir. Bu binalar yüksek riskli, orta riskli ve düşük riskli olarak gruplanabilir. Bu şekilde tasniflenen yüksek riskli binaların daha sonra hızlı, pratik ve gerçekçi yöntemlerle daha ayrıntılı incelenmesi ile dönüştürülmesi, güçlendirilmesi veya yıkılmasına karar verilebilir. Büyük yapı stokları düşünüldüğünde genel yaklaşım aşamalı risk tespiti yöntemlerinin uygulanmasıdır (Yakut 2004, Yakut 2006). İlk aşamada

sokak taraması yaklaşımı ile toplanan verilerin değerlendirilmesi ile yüksek riskli binaların içinde bulunması beklenen küme belirlenir, bu binalar daha sonraki aşamalarda daha ayrıntılı verilerle ileri yöntemler kullanılarak değerlendirilir ve en riskli binalar belirlenir. Birinci aşama hem hızlı tespit hem de bina envanteri oluşturulması açısından önemlidir. Bu kapsamda, ülkemizde genel olarak deprem riskinin yüksek olduğu bilinen şehirler ölçeğinde risk tespiti çalışmalarına başlanmalıdır. Şehirlerin, öncelikle belirlenen küçük alanlar bazında (mahalle gibi) yapı stoku özellikleri (sokak taraması ile hızlı belirlenecek kat adedi, giriş kat kullanım durumu, çıkmalar gibi), deprem tehlikesi (Türkiye deprem tehlike haritasından), zemin özellikleri gibi parametrelere bağlı olarak risk önceliklendirmesi yapılması gereklidir. Bu amaçla önerilen ülkemize özgü birçok yöntem mevcuttur (Yakut 2004, Sucuoğlu v.d. 2007, Yakut 2006, Tezcan v.d. 2011). Ayrıntılı sokak taramasının yapılamadığı durumlarda bina kat adedi, bina lokasyonu (deprem tehlikesi), bina yaşı ve zemin bilgilerine dayalı olarak bir önceliklendirme yapılabilir.

Birinci aşama sonucunda yüksek riskli olarak belirlenen binaların ikinci aşama değerlendirme için basit ölçümlerle sadece zemin kat rölöveleri çıkarılır. Kolon yerleşim ve boyutları ile tahribatsız yöntemlerle elde edilen donatı detaylarının yanı sıra donatı türü ve beton dayanımı gereklidir. Donatı türünü belirlemek için birkaç elemanda sıyırma yapmak yeterlidir. Beton dayanımı belirlemenin en güvenilir yolu karot almak olsa da ülkemizde buna karşı bir olumsuz bakış vardır. Beton numunelerinin alınması tercih edilmezse ultrason veya diğer tahribatsız yöntemlere başvurulabilir. Binanın zemin kat rölövesine bağlı olarak (bu katın binadaki düzensizlikler de dikkate alınarak üst katlara kopyalanması ile) bina modeli oluşturulur. Daha sonra Binici v.d. tarafından önerilen (Binici v.d. 2022) yöntemde ayrıntılı olarak belirtildiği gibi ortalama eksenel yük oranı ve kat arası ötelenme oranına bağlı olarak bir risk değerlendirmesi yapılır. Bu yöntemde, saha çalışması ile binanın giriş kat rölövesi çıkarılır ve beton dayanımı belirlenir. Daha sonra, giriş kat rölövesine bağlı olarak binanın üç boyutlu modeli düşey yükler ve servis depremi altında analiz edilir. Binanın katlarında elde edilen ortalama eksenel yük oranı ve buna karşılık gelen maksimum kat ötelenme oranı, düşeyde eksenel yük oranı yatayda ise ötelenme oranı eğrisi ile temsil edilen sınır değerler ile karşılaştırılarak bina risk durumu hakkında bir değerlendirme yapılır. Binanın riskli çıkması durumunda güçlendirilmesi için gereken kaba maliyet hesaplanarak bina yaşı, zemin durumu ve kat adedi gibi özellikler de dikkate alınarak güçlendirilmesine veya dönüştürülmesine karar verilir. Bu aşamada yapılacak analizler ile yaklaşık güçlendirme maliyeti çıkarılması da mümkündür.

Sonuçlar

Ülkemizde yapı stokunun geçmiş depremlerde sergilemiş olduğu performans düşünüldüğünde özellikle 2000 öncesi BA yapı stokumuzun yüksek deprem riskine sahip olduğu görülmüştür. 2000 öncesi yapılmış olan BA binalarımızın yetersiz davranışına yol açan ana nedenler üç başlık altında toplanabilir; yapısal yetersizlikler, yönetmelik eksiklikleri, yetersiz işçilik ve malzeme. Özellikle yetersiz denetimin de bir sonucu olarak karşımıza çıkan zayıf malzeme, işçilik ve detaylandırma nedeniyle inşa edilen yapı, projesine ve ilgili yönetmeliklere uygun olmamaktadır. Bunun sonucunda ise yapı tasarımında öngörülen ve beklenen davranışın aksine binalarımız kötü performans sergilemektedir. Ülkemizdeki yapı stokunun yaklaşık yüzde 50'sini oluşturan bu yapıların tespit edilerek güçlendirilmesi veya dönüştürülmesi ile riskin azaltılması gereklidir. Sayısı oldukça fazla olan riskli yapıların tespit edilmesi için burada iki aşamalı bir yaklaşık yöntem önerilmiştir. Hızlı, pratik ve ekonomik olan bu yaklaşımın uygulanması ile yüksek riskli yapıların dönüştürülmesi veya güçlendirilmesi mümkündür. Bu kapsamda, dönüştürülecek yapılar için cazip yerleşim bölgeleri ve yeni teknoloji ile tasarlanacak olan ekonomik yapısal sistemler geliştirilebilir. Güçlendirmenin de önünü açabilmek için ekonomik ve pratik güçlendirme tekniklerinin uygulanması mümkündür. Özellikle bina sakinlerini yapıdan çıkarmadan uygulanabilecek güçlendirme tekniklerinin (binaya dıştan perde duvar eklemek ve kolonları karbon fiber ile sargılamak gibi), deprem risklerinin azaltılmasında önemli rol oynayabileceği düşünülmektedir.

Kaynakça

ABYBHY (1998). *Afet Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik*, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, Türkiye.

ABYBHY (2007). *Afet Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik*, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, Türkiye.

Bayraktar, A., Altunisik, AC. Türker, T. Karadeniz, H. Erdogdu, S, Angin, Z. Özşahin, TS. (2015). "Structural Performance Evaluation of 90 RC Buildings Collapsed during the 2011 Van, Turkey", *Earthquakes, Journal of Performance of Constructed Facilities*, Sayı : 29(6): Yıl: 2015. 401-417.

Binici, B. Yakut, A. Canbay, E. Akpınar, U. Tuncay, K. Identifying buildings with high collapse risk based on samos earthquake damage inventory in İzmir, (2022). *Bulletin of Earthquake Engineering* , Sayı: 20, Yıl: 2022, 7853–7872

BOU (2023) *Kahramanmaraş - Gaziantep Türkiye M7.7 Earthquake, 6 February 2023 (04:17 GMT+03:00) Strong Ground Motion and Building Damage Estimations*

Preliminary Report (v6) https://eqe.boun.edu.tr/sites/eqe.boun.edu.tr/files/kahramanmaras-gaziantep_earthquake_06-02-2023_04.17-bogazici_university_earthquake_engineering_department_v6.pdf

Dogangun, A. (2004). "Performance of reinforced concrete buildings during the May 1, 2003 Bingöl Earthquake in Turkey". *Engineering Structures*, Sayı: 26 (6), Yıl: 2004, 841-856.)

Ilki, A. Celep, Z. (2012). "Earthquakes, Existing Buildings, and Seismic Design Codes in Turkey". *Arabian Journal of Science and Engineering*, Sayı: 37(2), Yıl: 2012, 365-380.

İTÜ (2023). *6 Şubat 2023 04.17 Mw 7.8 Kahramanmaraş (Pazarcık, Türkoğlu), Hatay (Kırıkhan) ve 13.24 Mw 7.7 (Elbistan/Nurhak-Çardak) Depremleri Nihai Rapor*

https://haberler.itu.edu.tr/docs/default-source/default-document-library/2023_itu_subat_2023_deprem_son_raporu.pdf?sfvrsn=1583fe76_2

METU (2020). The Samos (İzmir-Seferihisar Offshore) Earthquake [30 October 2020 Mw=6.6] Field Observations On Seismic and Structural Damage, "Earthquake Engineering Research Center, Middle East Technical University", Report No: METU/EERC 2020-03.

ODTÜ (2011). *23 Ekim 2011 Mw 7.2 Van Depremi: Sismik ve yapısal hasar gözlemleri*, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Rapor No: METU/EERC 2011- 04, http://www.eerc.metu.edu.tr/sites/default/files/Van_ODTU_DMAM_Rapor.pdf

ODTÜ (2023). *6 Şubat 2023 Kahramanmaraş-Pazarcık Mw=7.7 ve Elbistan Mw=7.6 Depremleri*

Ön Değerlendirme Raporu, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Rapor No: METU/EERC 2023-01, https://eerc.metu.edu.tr/tr/system/files/documents/DMAM_2023_Kahramanmaras-Pazarcik_ve_Elbistan_Depremleri_Raporu_TR_final.pdf

Scawthorn, C. (2000). *The Marmara, Turkey earthquake of August 17, 1999 : Reconnaissance report*, Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research (MCEER); Buffalo, New York; U.S. 190 p., Technical Report MCEER, 00-0001, March.

Spence, R. Bommer, J. Del Re, D. Bird, J. Aydinoglu, N. Tabuchi, S. (2003). "Comparing Loss Estimation with Observed Damage: A Study of the 1999 Kocaeli Earthquake in Turkey". *Bulletin of Earthquake Engineering*. Sayı: 1, Yıl: 2003, 83-113.

Sucuoglu, H. Yazgan, U. Yakut, A. (2007). "A screening procedure for seismic risk assessment in urban building stocks". *Earthquake Spectra*. Sayı: 23(2), Yıl: 2007, 441-458.

TBDY (2018). *Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği*, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara, Türkiye.

Tezcan, SS. Bal, IE. Gülay, FG. (2011). P25 scoring method for the collapse vulnerability assessment of R/C buildings, *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, Sayı: 34 (6), Yıl: 2011, 769-781.

TÜİK (2021). Türkiye İstatistik Kurumu. tuik.gov.tr

Yakut, A. (2004). "Preliminary seismic performance assessment procedure for existing RC buildings". *Engineering Structures*. Sayı: 26(10), Yıl: 2004, 1447-1461.

Yakut, A. Gulkan, P. Bakir, S. Yilmaz, MT. (2005). "Re-examination of damage distribution in Adapazari: Structural considerations". *Engineering Structures*. Sayı: 27(7), Yıl: 2005, 990-1001.

Yakut, A. Ozcebe, G. Yucemen, MS. (2006). "Seismic vulnerability assessment using regional empirical data". *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*. Sayı: 35(10), Yıl: 2006. 1187-1202.

Yakut, A. Sucuoğlu, H. Binici, B. Canbay, E. Donmez, C. İlki, A. Caner, A. Celik, O. C. ve Ay, B. Ö. (2022) "Performance of structures in İzmir after the Samos island earthquake". *Bulletin of Earthquake Engineering*. Sayı:20, Yıl: 2022, 7793–7818.