



İSTANBUL DEPREMİNE HAZIRLIK KAPSAMINDA 2000 YILI ÖNCESİ YAPILMIŞ BETONARME YAPILARIN KRONİK PROBLEMLERİ VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

CHRONIC PROBLEMS AND SOLUTION SUGGESTIONS OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES BUILT BEFORE 2000 WITHIN THE SCOPE OF PREPARATION FOR THE ISTANBUL EARTHQUAKE

DOI: 10.20854/bujse.1632232

Hasan ÖZKAYNAK^{1*}

Öz

Ülkemiz, sığ deprem etkilerinin yoğun olarak hissedildiği ve sismik aktivitenin yüksek olduğu bir coğrafyada yer almaktadır. Mevcut yapılarımızın azımsanmayacak bir bölümünün mühendislik hizmeti görmeden imal edilmiş olması nedeniyle geçmişte yaşadığımız depremler, büyük can ve mal kayıplarına sebep olmuştur. Şehirlerimizin deprem direncinin artırılması için etkili önlemler alınmadığı sürece ileriki yıllarda meydana gelebilecek muhtemel depremlerin de büyük zararlar vereceği ortadadır. Bu nedenle deprem güvenliği bilinmeyen yapılarımızın mevcut yapı stokundan ayıklanarak güncel durumlarının belirlenmesi ve deprem riskinin azaltılması için ivedilikle harekete geçilmesi gerekmektedir. Özellikle beklenen İstanbul depremi açısından 2000 yılı öncesi yapılmış yapıların deprem güvenliklerinin sorgulanması ve bu yapıların güçlendirilerek İstanbul'un deprem direncinin artırılması hususu, ülkemiz geleceği açısından da büyük önem taşımaktadır. Geçtiğimiz yıllarda yaşadığımız acı tecrübelerden; 17 Ağustos 1999 Düzce Depremi, 26 Eylül 2019 Silivri Depremi ve 06 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremleri yakın tarihin en belirgin örnekleridir. Bu yazıda, muhtemel İstanbul depremine hazırlık açısından önemli olan farklı güçlendirme teknikleri sunulmuştur. Söz konusu yöntemlerin insanların tahliyesine gerek kalmaması nedeniyle son derece rasyonel ve uygulanabilir nitelikte olduğu düşünülmektedir.

Abstract

Turkey is located in a seismically active region where the effects of shallow earthquakes are intensely occurred. Since a significant portion of our existing structures was constructed without engineering services, the earthquakes that was experienced in the past have caused great loss. It is obvious that unless effective measures are taken to increase the earthquake resistance of our cities, possible earthquakes that may occur in the future will also cause great damage. For this reason, it is necessary to eliminate our structures with unknown earthquake safety from the existing building stock, determine their current status and take immediate action to reduce earthquake risk. Especially in terms of the expected Istanbul earthquake, questioning the earthquake safety of structures built before 2000 and strengthening these structures to increase Istanbul's earthquake resistance is also of great importance for the future of our country. Of the painful experiences we have had in the past years; the August 17, 1999 Düzce earthquake, the September 26, 2019 Silivri earthquake and the February 6, 2023 Kahramanmaraş earthquake are the most prominent examples of recent history. Here, different retrofitting techniques are presented which are crucial in terms of the preparation for possible Istanbul earthquake. These methods are considered to be extremely applicable since they do not require the evacuation of residents.

Anahtar Kelime: betonarme yapılar, deprem performansı, lifli polimer kumaşlar, çelik yastıklar, betonarme güçlendirme.

Keywords: reinforced concrete structures, earthquake performance, fiber polymer textile, steel cushions, retrofitting.

^{1*} Sorumlu Yazar: İstanbul Beykent Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, hasanozkaynak@beykent.edu.tr, orcid.org/0000-0003-2880-766

1. DEPREM ETKİLERİNDEKİ YAPILAR İÇİN ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

Dünyanın diğer bölgelerinde olduğu gibi, ülkemizde de büyük depremler, zamanın bilgi birikimine bağlı olarak deprem yönetmeliklerinin güncellenmesini de beraberinde getirmiştir. Erzincan 1939 Depremi (M=7,9) sonrası yürürlüğe giren 1940 Deprem Yönetmeliği, 1944 yılı Bolu Depremi (M=7,5) sonrası yayınlanan 1944 Deprem Yönetmeliği ve 1971 yılı Bingöl Depremi (M=6,8) sonrası geçerli olan 1975 yılı Deprem Yönetmeliği bunlardan bazılarıdır. Bu nedenle mevcut yapılarımızın deprem güvenliklerinin güncel yönetmelikler kapsamında sorgulanarak güvenli olmayanların belirlenmesi ve güçlendirilmesi, zamana bağlı olarak değişen dinamik sürecin bir parçasıdır.

Deprem yönetmeliklerinin gelişimine bakıldığında hazır beton teknolojisinin yaygın olarak kullanılması, 2000 yılında yürürlüğe giren “Yapı Denetimi Hakkında Kanun Hükmünde Kararname” ve 1997 tarihli “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik” kapsamında süneklik kavramına nicelik anlamında belirgin olarak dikkat çekilmesi gibi sebeplerden dolayı söz konusu tarih neredeyse bir milat olarak değerlendirilmektedir. Bu nedenle güçlendirme çalışmaları kapsamında, 2000 yılı öncesinde yapılmış yapıların, yönetmeliklerce uyulması beklenen tasarım yaklaşımları açısından, uygulamadaki yapı denetim kalitesi ve kullanılan malzeme açısından 2000 yılı sonrasından farklı bir kategoride değerlendirilmesi gerekmektedir.

Süneklik kavramı, özetle yapıların hasar görebilirliğini ifade eden elastik ötesi davranış gösterebilme kabiliyeti olarak tanımlanabilir. Sayısal olarak ifade etmek gerekirse süneklik, yapı sistemlerinin nihai yerdeğiştirme kapasitesinin, ilk belirgin hasarı aldıkları yerdeğiştirme seviyesine oranıdır. Sünekliği etkileyen en önemli parametreler, betonarme kesitler içerisinde yer alan çelik donatı oranı, donatıların yüzeylerinin nervürlü olması, eğer düz donatı kullanılmışsa kanca ve gönye detayları, kolon giriş birleşim bölgelerinde yatay donatı sıklaştırılma aralıkları, yatay donatılarda 135^0 kanca uygulaması ve beton ve çelik donatı kaliteleri gibi maddeler halinde sıralanabilir. Yapı sistemlerin büyük depremler ile baş edebilmesi için yapıların yeterli süneklikte tasarlanması ve tasarlandığı gibi uygulanması gerekmektedir. Zira taşıyıcı sistem seçimi ile tasarımcı mühendis, süneklik özelliklerini şantiye uygulamasına nasıl yansıtılması gerektiğini daha başlangıç aşamasında ortaya koymaktadır. Seçilen taşıyıcı sistemden beklenen deprem performansının sağlanabilmesi için yukarıda belirtilen özelliklerin; yani beton dayanımı, donatı detayları vb. gibi hususların yerinde imal edilecek yapıya kazandırılmış olması gerekmektedir.

26 Eylül 2019 tarihinde, Silivri Açıkları (İstanbul) Marmara Denizi’nde yerel saat ile 13:59’da aletsel büyüklüğü $M_w=5,7$ olan depremi kaydeden Silivri istasyonundan alınan maksimum yer ivmesi $81,62 \text{ cm/s}^2$ olarak belirlenmiştir. Bu değer, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği-2018 yönetmeliğimizde tanımlanan tasarım yer hareketine karşılık gelen deprem yer hareketi düzeyi DD-2’nin (dönüş periyodu 475 yıl ve 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem) oldukça altında kalmaktadır. Deprem odağından yaklaşık 60~70 km uzağında olmasına rağmen İstanbul şehir merkezinde yer alan yapılarda deprem sonrası gözlemlenen bazı hasar fotoğrafları Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1: Deprem sonrası betonarme yapılarda gözlenen yapısal hasarlar.

İstanbul'da bulunan az ve orta katlı binaların çoğunluğunun ortak özellikleri; yapıda kullanılan beton kalitelerinin oldukça düşük olması, yetersiz donatı yoğunluğuna/düzenine sahip olmaları, özensiz olarak imal edilmeleri ve donatılarda korozyon olarak sıralanabilir. Bu özellikler, mevcut yapıların deprem etkileri altında dayanım ve yanıl rijitlik anlamında önemli zafiyetlerinin olması için yeterli sebeplerdir. İstanbul'da yer alan mühendislik hizmeti görmemiş yapı stokunu temsil eden yapılar Şekil 2'de verilmiştir. Bu yapı grubunda yer alan binalar, özellikle yapısal elemanlarda yetersiz pas payı ve düşük kalite beton sebebiyle oluşan yoğun korozyon, deprem etkileri altında istenen taşıyıcı sistem özelliklerine sahip olmayan ve süneklik kavramından yoksun yapı tipolojisini en belirgin örneklerindedir.



Şekil 2: İstanbul'da yer alan kronik problemlili betonarme bina örnekleri.

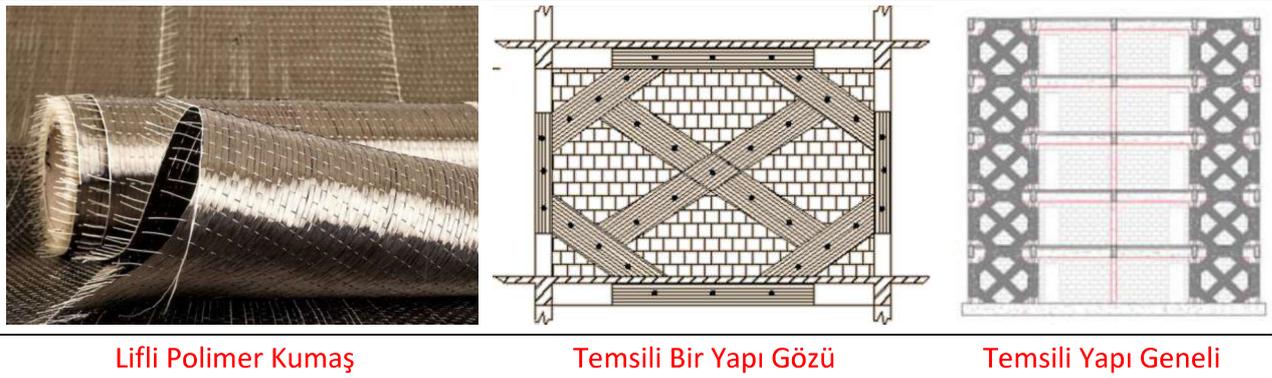
Ülkemizde daha önce gerçekleştirilmiş saha gözlemleri, özellikle İstanbul'da 2000 yılı öncesinde yapımı tamamlanmış betonarme orta katlı konut tipi binaların önemli ölçüde dayanım ve rijitlik zafiyetleri bulunduğunu göstermektedir. Orta ve az katlı olarak bilinen ve sekiz kattan daha az yapı yüksekliği olan bu tür yapıların deprem görebilirliklerinin kapsamlı analizler ile ayrıntılı olarak incelenmesi için neredeyse yüz yıl mertebesinde uzunca bir zamana ihtiyaç duyulmaktadır. Geçtiğimiz dönemde yaşanan depremlerin dönüş periyotları dikkate alınırsa ülke böylesine uzun bir süre beklemek için zaman kalmadığı da ortadadır. Zira durum değerlendirilmesi ne kadar kısa sürede yapılsa ileriki dönemlerde güçlendirme ve yenileme çalışmaları da o kadar kısa sürede başlayacaktır. Bu çerçevede hızlı değerlendirme yöntemleri, mevcut yapı stokunun deprem riski tespiti aşamasında önemli rol oynamaktadır. Bu çalışmaları daha geniş ölçekte uygulayabilmek ve yapısal deprem irdelemelerini bölgesel boyuta dönüştürebilmek amacıyla yapıldığı yapım yılı parametresini göz önüne alarak yapılan değerlendirmeler sayesinde bu süreç çok daha kısalabilecektir. Bu nedenle dönüm noktası yılı olarak 2000 yılı göz önüne alındığında bu tarih öncesi ve sonrası yapım yılı olan yapılarda karar vermek daha hızlı ve kolay olacaktır. Yazarın yürütücülüğünde tamamlanan bilimsel araştırma projelerinden elde edilen en önemli sonuçlardan biri, hızlı değerlendirme yöntemleri kapsamında yapısal parametreler arasında bulunan yapım yılı parametresinin yapının genel performans puanı ile ilgili ilişkisinin yaklaşık %93 seviyelerinde olarak tespit edilmiş olmasıdır (Müderrişoğlu, 2025). Zira bu korelasyon büyüklüğü yukarıda özetlenen durum ile oldukça

uyumludur. Esas olarak deprem yönetmeliklerindeki önemli değişimler yapının deprem davranışının belirlenmesinde çok etkin bir parametre olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu çerçevede değerlendirildiğinde özellikle İstanbul'da mevcut bina türü yapıların gerek tasarımında gerek yapımında 2000 yılı öncesi ve sonrası önemli farklılıklar olması, uygulanması gereken güçlendirme yöntemlerinin de birbirinden farklı olmasını zorunlu hâle getirmektedir.

Yönetmelikler gereği ve uygulamadaki pratiklere dayalı olarak ortaya çıkan farklılıkların yapı deprem davranışında oluşturacağı etkileri belirlemek, farklı dönemlerde inşa edilmiş yapılara uygulanacak güçlendirme yaklaşımlarının farklılaştırılması anlamına gelmektedir. Bu sebeple, 2000 yılı öncesinde üretilen binaların deprem davranışına etki eden özelliklerinin 2000 sonrası üretilenler ile karşılaştırılması, mevcut yapı stokunun deprem riski farklılıklarının da ortaya konması açısından önem taşımaktadır. Farklı dönemlerde inşa edilmiş orta katlı betonarme konut tipi yapıların güçlendirilmesinde benzer güçlendirme yöntemleri uygulamak yerine, her dönemin kendine has özelliklerini göz önüne alarak farklı güçlendirme yöntemlerinin kullanılmasının gerekliliği burada sunulan yazının dikkat çekmek istediği önemli bir husustur. Yönetmelik koşulları nedeniyle ve yapım pratikleri açısından önemli bir dönüşümün yaşandığı 2000 yılı öncesinde inşa edilmiş yapıların ortak kronik problemleri; düşük kalite beton, yetersiz donatı detayları, korozyon ve kusurlu imalatlar nedeniyle karşılaşılan dayanım ve süneklik yetersizlikleri olarak özetlenebilir. Bu yetersizlikleri ortadan kaldırmak ve mevcut yapıların deprem davranışını iyileştirmek amaçlı bu yazı kapsamında iki farklı tip güçlendirme yöntemi önerilmiştir. Bu güçlendirme yöntemlerinden biri lifli polimer kumaş kullanımını esas alan yapının dayanım ve rijitlik özelliklerini iyileştiren bir güçlendirme yöntemidir. İkinci güçlendirme yöntemi ise, yapıya aktarılan deprem enerjisini sönmüleyerek yapısal elemanların hasar almasının önüne geçen bir güçlendirme yöntemidir.

1.1. Betonarme Yapıların Lifli Polimerle ile Sağlanması Önerisi

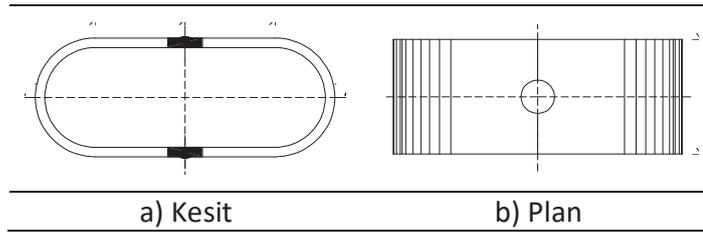
Lifli polimer kumaşların betonarme yapı elemanlarda dayanım ve süneklik açısından önemli katkılarının olduğu bilinmektedir. İnsanların günlük yaşamlarına devam ederken lifli polimer kumaşlar ile yapıların güçlendirilmesinin sağlanması bu yöntemin en güçlü tarafıdır. Dolgu duvarlar, lifli polimerlerin epoksi yapıştırıcı kullanılarak uygulanabilmesi açısından oldukça elverişli yüzeylerdir. Lifli polimerlerin en önemli avantajları; hafif olması, kolay uygulanabilmesi, paslanma özelliğinin olmaması ve yüksek dayanımlı olması olarak sıralanabilir. Dolgu duvarların, mevcut yapılara lifli polimer kumaşlar ile bütünlüğünün sağlanması, yapının deprem enerjisi tüketim özelliklerinde de önemli iyileşmeler sağlamaktadır. Deprem sırasında gerek elastik gerekse elastik ötesi davranış sırasında yapısal elemanlar ile dolgu duvarlar arasında oluşturulabilecek sürtünme mekanizmaları, yapıların içsel sönm oranlarının da önemli ölçüde artmasını sağlamaktadır. Geçmişte yaşanmış depremler, dolgu duvarların kısa kolon ve burulma etkilerine sebep olmayacak şekilde düzenlenmesi durumunda; yapıların enerji tüketim özellikleri, dayanım ve rijitlikleri için önemli bir kaynak olduğunu göstermiştir. Dolgu duvarlar, betonarme yapıların çerçevelerine lifli polimerler ile iyi bir şekilde sargılanarak bütünlük sağlanır ve düzlem dışı hareketleri engellenirse deprem sırasında çok önemli avantajlar sağlayan birer yapısal elemana dönüşmektedir. Lifli polimer malzeme ve tipik bir yapının bölme duvarlarına önerilen uygulama biçimi, Şekil 3'te verilmiştir. Söz konusu uygulama sayesinde yapı sisteminin deprem performansı artmakta ve mevcut durumu daha büyük deprem etkilerine karşı koyabilecek hâle gelmektedir. Yapı sistemi mahrum kaldığı dayanım ve süneklik özelliklerinden bu güçlendirme yöntemi sayesinde deprem etkilerini güvenle karşılar hâle dönüştürülmüş olmaktadır.



Şekil 3: Lifli polimer kumaş yapısal uygulamalar (Özkaynak, 2010).

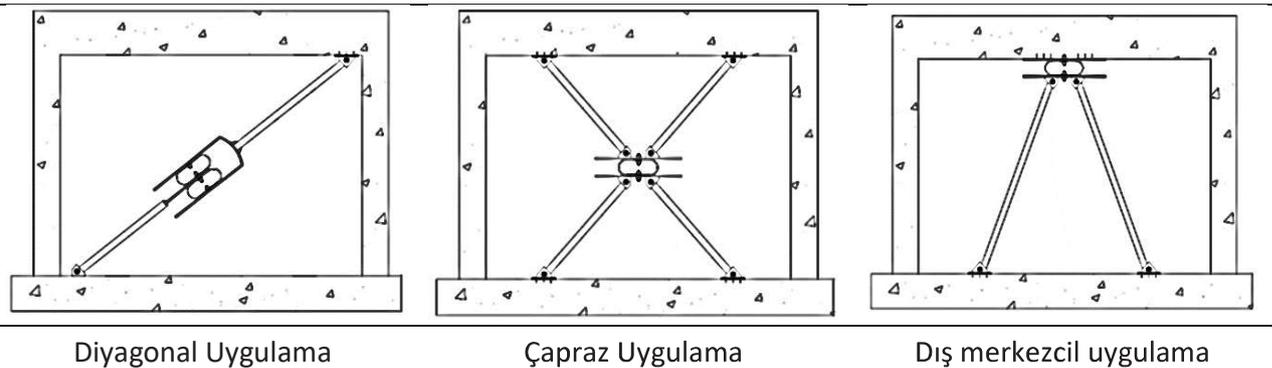
1.2. Betonarme Yapılara Çelik Sönümleyici Elemanlar İlave Edilmesi Önerisi

Yapı sistemlerinin deprem taleplerinin azaltılması için yapıların süneklik dışında sahip olması gereken diğer bir özellik ise deprem enerjisini sönümleme kabiliyetidir. Deprem enerjisinin tüketilmesi ya da yapıya ilave sönüm özelliklerinin eklenmesi için günümüzde yenilikçi teknolojiler bulunmaktadır. Metal sönümleyiciler bu teknolojilerden en ekonomik olanlarındandır. Yazarın araştırmacı olarak görev aldığı Safeccladding isimli bir Avrupa Birliği Projesinde çelik sönümleyici elemanların (Şekil 4) deprem davranışına etkisi araştırılmış ve yapılarla önemli enerji sönümleme kabiliyeti kazandırdığı sonucuna varılmıştır (Safeccladding 2015).



Şekil 4: Çelik sönümleyici.

Yazar tarafından yalın ve çelik sönümleyicili ölçeksiz çerçeveler üzerinde gerçekleştirilen analitik çalışmalar, çelik sönümleyici kullanımının yalın betonarme çerçeve davranışında önemli etkileri olduğunu göstermiştir (Özkaynak 2023). Gerçekleştirilen analizler, çelik sönümleyici uygulamasıyla çerçeve dayanımı ve enerji tüketme kapasitesi önemli oranda artmıştır. Kalınlığı 18 mm olan çelik sönümleyici belirli bir deplasman seviyesinde toplam enerjinin %75'ini tüketmiştir. Farklı çelik sönümleyicilerin muhtemel kullanım biçimleri Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5: Çelik sönümleyicileri olan betonarme çerçeve sistemler (Özkaynak 2023).

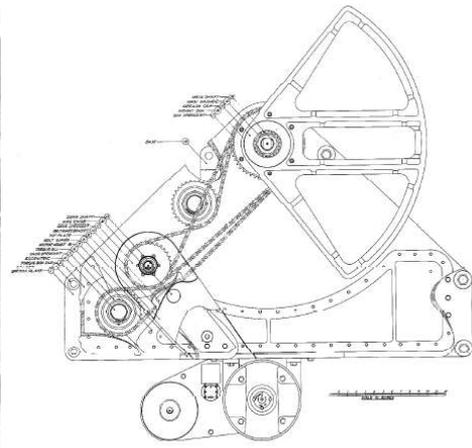
Sonuç olarak gerek beton dayanımı açısından gerek eleman boyutları açısından güncel yönetmelik koşullarını sağlamayan ülkemizdeki mevcut yapıların güçlendirilmesinde kullanılmak üzere yapım yılı parametresini göz önünde bulundurmamak koşuluyla, lifli polimer kumaşlar ve çelik sönümleyiciler etkili yöntemler olarak önerilmektedir.

2. ÖNERİLEN YÖNTEMLERİN ETKİNLİKLERİNİN BELİRLENMESİNE YÖNELİK DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Türkiye genelinde, mevcut yapıların deprem davranışlarını anlamak amaçlı; statik, yarı-dinamik ve tam dinamik özellikli çok sayıda deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneysel ve teorik çalışmalar ile uluslararası literatüre çok önemli katkılarda bulunulmuştur. Söz konusu deneysel çalışmaların önemli bir bölümünü, mühendislik hizmeti görmemiş deprem güvenliksiz yapıların güçlendirilmesi konuları oluşturmaktadır. Ancak, bu kapsamda gerçekleştirilen çalışmaların çoğu eleman deneyleri ve ölçekli yapı elemanı/sistemi deneyleri düzeyinde sınırlı kalmıştır. Bu zamana kadar elde edilen tecrübe; yapısal davranışın tam olarak anlaşılabilmesi için, ölçeksiz deney numuneleri ile tam dinamik deneylerin yapılmasına ihtiyaç duyulmasıdır.

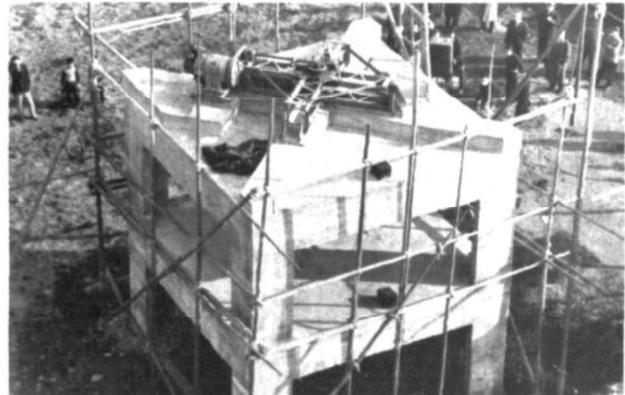
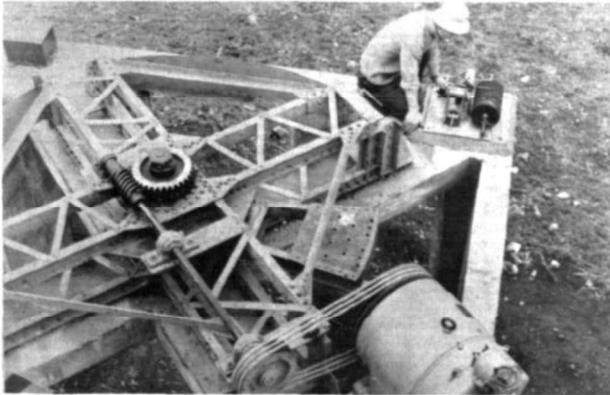
Literatürde gerçekleştirilen deneysel ve teorik araştırmalar ile başarılı olduğu değerlendirilen güçlendirme yöntemlerinin; gerçek yapıda da etkin olduğunun ispatlanması, yönetime olan güvenci önemli ölçüde artıracaktır. Bu yazıda önerilen güçlendirme yöntemlerinin etkinliklerinin ispatlanması için ölçeksiz gerçek yapıların dinamik deneylerinin tamamlanması büyük önem arz etmektedir. Bu yazıda önerilen pratik ve ucuz maliyetli bir güçlendirme yöntemlerinin etkinliğinin kamuoyu önünde gerçek yapılar üzerinde gerçekleştirilecek deneyler ile belirlenmesi; insanların kendi binalarını hızlıca, tereddüt etmeden güçlendirmesi noktasında önemli bir farkındalık yaratacaktır. Bu deneysel çalışmanın hayata geçebilmesi için biri yalın diğeri ise güçlendirilmiş durumu yansıtan iki adet özdeş gerçek yapıya ihtiyaç duyulmaktadır. Gerçek yapılar, İstanbul'da yer alan mühendislik hizmeti görmemiş deprem riski taşıyan yapı stokunu temsil edecek nitelikte ve yıkılmalarında herhangi bir sakınca olmayan yapılar olmalıdır. Üretilen dinamik etki karşısında yıkılma riskine karşı bina çevresinde güvenli bir alan oluşturulması gerekmektedir. Bu binalarda, ilgili katlara montajı yapılacak sarsıcı (shaker) cihazlar ile yapı üzerinde deprem benzeri dinamik kuvvetler oluşturulacaktır. Zorlanmış titreşim etkisi altında kalan yapıya yerleştirilen çok sayıda ivmeölçer, yerdeğiştirme ve şekildeğiştirme ölçerlerden cevap niteliğinde önemli yapısal büyüklükler dinamik veri toplama cihazları ile kayıt altına alınacaktır.

Deneyler sonucunda toplanan veriler güçlendirilme yönteminin genel yapı performansına etkisinin irdelenmesi noktasında son derece önemlidir. Yapıların zorlanmış titreşim etkileri altından değerlendirilmesi çalışmaları, ilk olarak Stanford Üniversitesinde gerçekleştirilmiştir (Blume 1935). Ölçeksiz yapılarda kullanılması için Kaliforniya Teknoloji Enstitüsünde sarsıcı cihazlar Şekil 6'da görülmektedir (Hudson 1961).



Şekil 6: Hudson (1961) tarafından geliştirilen sarsıcı cihaz.

Hisada ve Nakagawa (1956) mevcut yapıların üst katlarında 0,5-1,0g arasında değişen ivmelere ulaşarak yapıyı göçme durumuna getirebilmiştir (Şekil 7). Çelik vd. (2003), dokuz katlı betonarme yapıyı zorlanmış titreşim etkisi altında test etmiştir (Şekil 8).



Şekil 7: Zorlanmış titreşim etkisi altında gerçekleştirilen deneyler (Hisada ve Nakagawa, 1956).



Şekil 8: Zorlanmış titreşim üreten cihaz ve uygulandığı yapı (Çelik vd. 2003).

Burada bahsi geçen deneyler, güçlendirme yönteminin etkinliğini kanıtlamak ve halkın güvenini sağlamak açısından kritik öneme sahiptir. Vatandaşların bu yöntemi kendi imkânlarıyla uygulayabilmesi için belediyelerde teknik ekipler oluşturulabilir. Bu ekipler, binalarda güçlendirme yapılacak yerleri belirleyerek süreci kolaylaştırabilir. Ortak yapısal

özellikleri yukarıda sıralanan ve mühendislik hizmeti almamış az ve orta katlı yapıların deprem etkilerine karşı insanların kendi yaşadığı binaları hızlı ve ucuz maliyetli olarak topluca güçlendirilmesinin sağlanması, İstanbul ölçeğinde büyük bir şehrin deprem etkilerine karşı korunması için son derece önemlidir. Bu sayede İstanbul genelinde bulunan bu tip yapılarda deprem güvenliği açısından çok hızlı bir dönüşüm sağlanabilecektir. Bu yazıda önerilen çalışmanın başlatılabilmesi için ilgili kamu kurumunda yer almak üzere yeterli teknik bilgiye sahip tercihen inşaat mühendisi ünvanlı kişilerden oluşan bir çalışma grubunun oluşturulması gerekmektedir. Bu yazıda sunulan öneri kapsamında, yıkılmak üzere feda edilebilecek benzer yapısal özelliklere sahip iki bina ve bu binalara monte edilecek sarsıcı cihazlar deneysel kısmın en önemli iki bileşenini oluşturmaktadır.

Burada sunulan güçlendirme önerileri, deprem zafiyeti olan riskli binaların güvenliğinin sağlanması açısından son derece önemlidir. Önerilerin ucuz maliyetli olması ve vatandaşların kendi başlarına kolayca uygulayabileceği basitlikte olması, bu önerilerin en büyük avantajıdır.

3. KAYNAKÇA

- Blume J.A. (1935). A machine for setting structures and ground into forced vibration. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 25(4), 361–379. <https://doi.org/10.1785/BSSA0250040361>
- Celik O.C., Sucuoglu H., Akyuz U. (2003). Forced Vibration Testing of Reinforced Concrete Buildings”, Proceedings of the Fifth National Conference on Earthquake Engineering, May 26–30, Istanbul, Turkey, Paper No. AT-095.
- Hisada T. and Nakagawa K. (1956). Vibration Tests on Various Types of Buildings up to Failure, Proceedings 1st World Conference on Earthquake Engring, Berkeley
- Hudson D.E. (1961). A new vibration Excitere for Dynamic Test of Full-Scale Structures. A report of research carried out by the Earthquake Engineering Research Insititute under State of California Standart Agreement No.2163. Pasedena, California
- Müderrişoğlu Z., Erdoğan H., Kırılı G., Taşçıoğlu E.G. and Özkaynak H. (2025). Investigating the Reliability of Sidewalk Survey Parameters on the Seismic Risk Assessment of RC Buildings Considering the 2023 Kahramanmaraş Earthquakes. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 39(3), 1-15. <https://doi.org/10.1061/JPCFEV.CFENG-493>
- Özkaynak H. (2023). Enerji Yoğaltan Elemanlar Olarak Çelik Yastıklar. *İTÜ vakfi dergisi* Nisan-Ağustos 2023, Sayı 91, Sayfa 66-69.
- Özkaynak H. (2010). Dolgu duvarları lifli polimerler ile sargılanmış betonarme çerçeve sistemlerin deprem davranışı ve yapısal sönüm özellikleri [Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi]
- SAFECLADDING Avrupa Birliği Projesi. (2012-2015). Improved Fastening Systems of Cladding Panels for Pre-cast Buildings in Seismic Zones. 2012-2015.

Teşekkür

Bu olgu sunumunda önerilen çelik sönümleyici elemanlar, SAFECLADDING isimli bir Avrupa Birliği Projesi kapsamında tasarlanmıştır. Yazar, Safecladding projesi yöneticileri Prof.Dr. Faruk KARADOĞAN’a ve Prof.Dr. Ercan YÜKSEL’e en içten teşekkürlerini sunar.