

# 24 Ocak 2020 Doğanyol (Malatya)-Sivrice (Elazığ) Depremi'nden Gözlemler ( $M_w$ 6.7-Doğu Anadolu Fay Zonu)

**RECONNAISSANCE INVESTIGATION FOLLOWING THE JANUARY 24<sup>th</sup>, 2020 DOĞANYOL (MALATYA) - SİVRİCE (ELAZIĞ) EARTHQUAKE ( $M_w$  6.7 - EAST ANATOLIAN FAULT ZONE)**

## ABSTRACT

A destructive earthquake with a magnitude of  $M_w=6.7$  occurred at 20.55 (local time) on 24 January 2020 in between Doğanyol (Malatya) and Sivrice (Elazığ) towns. Reinforced concrete (RC), prefabricated, rural and traditional (masonry, timber) buildings, and a base isolated hospital located in city centers and rural areas are investigated following the earthquake. Insufficient material quality, inadequate longitudinal and transverse reinforcement, horizontal and vertical structural system irregularities, short (or captive) column effect, non-ductile RC element details, inadequate section sizes, insufficient lateral stiffness, and infill wall damages due to some architectural configurations are determined to be the main problems encountered during this reconnaissance investigation. Most of non-engineered buildings experienced significant damages, or in some cases, some of them collapsed locally or totally. The above mentioned problems are not new to Turkey's construction sector as these have been encountered in the past earthquakes within 28 years. Recorded peak ground accelerations (PGAs) are lower than expected values and no damage was observed in the base isolated hospital building. As for

the previously retrofitted RC buildings in the region struck by the earthquake, local or total collapses are prevented. The seismic performance of prefabricated industrial buildings was good during the earthquake; it should be mentioned that prefabricated buildings under construction did not suffer from seismic damage. Nonstructural damages in some engineered and newly constructed buildings have led to loss of service. Note that observed structural damages concentrated both in older, sub-standard RC framed buildings and in non-engineered masonry buildings. Although there are still buildings collapsing under gravity loads in Turkey, collapsed buildings underground accelerations values which were far lower than the expected ones would give an idea on the seismic vulnerability of the existing building stock in the region. It is crucial to make true decisions on whether seismic retrofit or reconstruction of existing damaged buildings is the best option. For the people in rural areas, developing properly designed low-rise residential buildings that would meet people's daily needs in that area is quite important. Using advanced structural systems with base isolators and/or seismic energy dissipation devices (i.e. seismic dampers) in new buildings having higher importance factors should be encouraged.

## ÖZET

24 Ocak 2020 tarihinde yerel saatle 20.55'de Doğanyol (Malatya) ile



**Prof. Dr. Oğuz Cem ÇELİK**

İTÜ İnş. Fakültesi, İnş. Müh. Bölümü mezunudur. Yüksek Lisans ve Doktora çalışmalarını yine İTÜ'de yapmıştır. State University of New York (SUNY) at Buffalo'da, Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research (MCEER)'de araştırmacı olarak çalışmıştır. Oğuz Cem Çelik'in araştırma alanı yapı mühendisliği, deprem mühendisliği ve özellikle çelik yapıların değişik konularına odaklanmaktadır. Bina ve köprülerin tasarımı, deprem güvenliklerinin belirlenmesi yanında mevcut hasarlı/hasarsız yapıların onarımı ve güçlendirilmesi üzerine araştırma ve çok sayıda uygulamaları vardır. Taş, tuğla yığma kargir, ahşap ve dökme/dövme demirden inşa edilmiş tarihi yapılar üzerinde araştırma ve uygulamalarını sürdürmektedir. Son zamanlarda, sismik izolatör, sismik sönümleyici gibi ileri teknoloji yapısal ürünlerin deprem yükleri altındaki davranışı üzerine de yoğunlaşan Oğuz Cem Çelik, bu tür sistemlerin Türkiye'de geliştirilmesini ve deneysel performansını incelemektedir. Diğer taraftan, geliştirilmiş lifli polimer malzemelerin yapısal iyileştirilmede kullanılması üzerine deneysel ve kuramsal çalışmaları da vardır. Yapı ve deprem mühendisliği ile ilgili pek çok ulusal ve uluslararası mesleki kuruluşun, komitenin üyesidir. 150'nin üzerinde ulusal ve uluslararası dergilerde makale, misafir editörlük, konferanslarda bildiri, araştırma raporları ve kitabı vardır.

Sivrice (Elazığ) arasında  $M_w=6.7$  büyüklüğünde yıkıcı bir deprem meydana gelmiştir. Depremden yaklaşık on beş gün sonra şehir merkezleri ve kırsal kesimlerde yer alan betonarme, prefabrikte, (yığma/kargir, ahşap) geleneksel binalar ve sismik yalıtımlı bir hastane yapısı yerinde incelenmiştir. İnceleme sırasında malzeme kalitesindeki yetersizlikler, uygun olmayan enine ve boyuna donatı düzenleri, taşıyıcı sistemde plan düzeyinde ve düşeyde yaşanan düzensizlikler, kısa kolon, sünek olmayan betonarme eleman detayları, yetersiz boyutlardaki yapısal elemanlar, yetersiz yatay rijitlik ve mimari özelliklerine bağlı olarak değişik düzeylerde dolgu duvarı hasarları izlenmiştir. Çoğu mühendislik hizmeti görmeyen binalarda önemli yapısal hasarlar izlenmiş, bazılarında ise kısmi ya da tümsel göçmeler görülmüştür. Bu anlamda, yukarıda sözü edilen eksiklikler son 28 yılda Türkiye'nin depremler sonrası karşılaştığı sorunların tekrarı niteliğindedir. Her ne kadar deprem ivmesi tasarım ivmelerinin çok altında olsa da sismik yalıtımlı hastanede yapılan incelemelerde hasar gözlenmemesi olumludur. Benzer şekilde, önceden güçlendirilmiş betonarme binalarda göçme engellemiştir. Prefabrikte yapıların bu depremdeki performansları ise uygun bulunmuştur; montaj aşamasındaki prefabrikte sanayi yapılarında da hasar oluşmamıştır. Mühendislik hizmeti alıp yakın zamanda kullanıma açılan binalarda ise yapısal olmayan eleman hasarlarının yapının hemen kullanımına engel olduğu örneklerle de karşılaşılmıştır. Gözlenen hasarlar özellikle eski denebileceği betonarme yapı gruplarında ve niteliksiz yığma binalarda (köy evi) yoğunlaşmaktadır. Türkiye'de bazı binaların yalnızca düşey yükler altında bile göçtüğü bilinmekle birlikte, bu depremde çok düşük ivmelerde hasar

alan ya da göçen binaların olduğunu görmek mevcut yapı stokunun deprem performansı hakkında önemli fikir vermektedir. Mevcut ya da hasarlı binalarda yenileme ve güçlendirme yapılması arasındaki hassas sınırın çok doğru bir biçimde çizilmesi gerekmektedir. Özellikle kırsal bölgedeki halk için kendi ihtiyaçlarına uygun mühendislik/mimarlık hizmeti almış az katlı yapıların geliştirilmesi önem kazanmaktadır. Yeni yapılacak önem katsayısı yüksek yapılar için can güvenliğinin yanı sıra deprem sonrası hemen kullanımı olanaklı kılacak, sismik yalıtım ve enerji sönümleyiciler gibi ileri sistemlerin kullanımının artırılması yerinde olacaktır.

### 1. GİRİŞ

24 Ocak 2020 tarihinde Doğu Anadolu Fay Zonu üzerinde yerel saatle 20.55'de Doğanyol, Malatya ile Sivrice, Elazığ arasında, Doğanyol'a daha yakın bir yerde sol yönlü doğrultu atımlı  $M_w=6.7$  büyüklüğünde yıkıcı bir deprem meydana gelmiştir [1,2,3]. Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü'ne göre depremin merkezi 38.3775 Kuzey enlemi ile 39.1042 Doğu boylamındadır [2]. Bölgede büyüklükleri en çok  $M_w=5.4$ 'e varan çok sayıda artçı deprem kaydedilmiştir; artçı sarsıntılar halen devam etmektedir. Deprem, Türkiye'deki önceki pek çok deprem gibi sığ bir deprem olarak değerlendirilmekte, odak derinliği değişik kurumlar tarafından 5~12 km aralığında (örneğin, AFAD  $H=8.06$  km [3]) verilmektedir; son yapılan hesaplar sonucunda  $H=12$  km olduğu anlaşılmaktadır [1]. Depremin etkilerinin önemli bir göstergesi olan şiddeti ise merkezüstünde  $I_0=VII$ , Elazığ merkezde  $I_0=VI$ , Malatya merkezde ise  $I_0=V$  olarak belirlenmiştir [2]. Deprem uzun süredir sessiz



**Ahmet BAL**

2009 yılında Balıkesir Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünde lisans eğitimini, 2012 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Deprem Mühendisliği programında yüksek lisans eğitimini tamamladı. Aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi Yapı Mühendisliği doktora programına başladı. 2009-2012 yılları arasında İTÜ ve TPB'nin de ortak olduğu Avrupa Birliği 7.Çerçeve Programı kapsamındaki SAFECAST projesinin İTÜ-Yapı ve Deprem Müh. Laboratuvarında gerçekleştirilen çalışmalarda araştırmacı olarak görev aldı. TPB üyesi Emek Prefabrik'te proje mühendisi olarak görev aldı. 2013 yılından beri Türkiye Prefabrik Birliği Teknik Komitesinde yer almaktadır. Doktora çalışmalarını İTÜ ve Tokyo Teknoloji Enstitüsü'nün ortak yürüttüğü 'Betonarme mevcut yapıların BÖÇ'ler ile davranış kontrollü güçlendirilmesi' projesinde devam etmektedir. 2011 yılından itibaren Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi'nde öğretim görevlisi olarak çalışmakta; Prefabrikte Yapıların Tasarımı, Taşıyıcı Sistemler, Malzeme derslerini yürütmektedir. Prefabrikte Yapılar, betonarme yapıların deprem davranışı, güçlendirme teknikleri ve malzeme konusunda yayınlanmış 30'un üzerinde makale ve bildirisi bulunmaktadır.

durumda bulunan Doğu Anadolu Fay Zonu üzerinde ve beklenen büyüklükler civarında gerçekleşmiştir. Depremin oluşum mekanizmasının çözümü kırılan fayın güneybatı ve kuzeydoğu uçlarında gerilme yoğunlaşmasını göstermektedir [1]. Yüzeyde oluşan yer-

değiştirme değerlerinin küçük olması (yaklaşık 10cm civarında) nedeniyle yüzey kırıklarına pek rastlanmadığı sismologlar tarafından belirtilmiştir. Bölgede meydana gelen yıkıcı depremlerin kaynak parametreleri [4]'te çok kapsamlı bir biçimde verilmiştir. 24 Ocak 2020 Doğanyol (Malatya) - Sivrice (Elazığ) depreminin Doğu Anadolu Fay Zonu üzerinde gerçekleşen önemli depremler arasında olduğu açıktır.

Yazarlar, 8-10 Şubat 2020 tarihleri arasında depremden etkilenen bölgeyi binalarda meydana gelen yapısal hasarları ve göçmeleri belirlemek için ziyaret etmişlerdir. Bu ziyaret sırasında öncelikle Malatya ve civarı, sonrasında ise Elazığ ve civarı incelenmiştir. Bu makalenin amacı bölgede yapılan bu incelemenin sonuçlarını paylaşmak ve Türkiye'de önceki yıllarda meydana gelen depremler sonrasında izlenenler ile karşılaştırmaktır. Bu bağlamda, Türkiye genelinde uygulanan değişik yapısal güçlendirme uygulamalarının bölgedeki örnekleri de görülmüş, bu tür yapılarda güçlendirmenin etkinliği de kısaca değerlendirilmiştir. Prefabrikasyon sektörünün bölgedeki etkinliklerine özel bir yer verilerek, sıkça kullanılan sistemlerin deprem sonrasında izlenen performansları üzerinde de durulacaktır.

## 2. YAPISAL HASARLAR

Her yıkıcı deprem sonrasında hasar gören yapılar/binalar üzerinde yapılan incelemelerden önemli dersler çıkarılmaktadır. Son 28 yılda Türkiye'de meydana gelen ve yapısal hasarlara/göçmelere neden olan depremler ve büyüklükleri aşağıda sıralanmıştır :

13 Mart 1992 Erzincan Depremi ( $M_s=6.8$ )

1 Kasım 1995 Dinar Depremi ( $M_L=5.9$ )

27 Haziran 1998 Ceyhan Depremi ( $M_s=6.3$ )

17 Ağustos 1999 Kocaeli (İzmit) Depremi ( $M_w=7.4$ ,  $M_s=7.8$ )

12 Kasım 1999 Düzce Depremi ( $M_s=7.3$ ,  $M_w=7.1$ )

6 Haziran 2000 Çankırı Depremi ( $M_w=6.0$ )

3 Şubat 2002 Sultandağı Depremi ( $M_d=6.0$ ,  $M_w=6.2$ )

27 Ocak 2003 Pülümür Depremi ( $M_s=6.2$ ,  $M_w=6.0$ )

1 Mayıs 2003 Bingöl Depremi ( $M_s=6.4$ )

23 Ekim 2011 Van Depremi ( $M_w=7.2$ )

20 Temmuz 2017 Bodrum-Kos Depremi ( $M_w=6.6$ )

13 Mart 1992 Erzincan ve 17 Ağustos 1999 Kocaeli (İzmit) depremleri sonrasında yapılan incelemelerin sonuçları verilmiştir [5,6]. Mevcut yapı stoğunun çoğunlukla betonarme iskelet türü binalardan oluşması nedeniyle bu incelemeler bu tür yapılar üzerinde yoğunlaşmış ve bir hasar sınıflandırması üzerinde durulmuştur. Buna göre, kat sayısı 3~6 arasında değişen pek çok betonarme binada yapılan inceleme sonrasında çelik donatı ve özellikle beton malzeme kalitesindeki yetersizlikler (çoğu zaman  $f_c=6\sim 7$ MPa değerlerine kadar düşen), taşıyıcı sistemde plan düzeyinde ve düşeyde yaşanan düzensizlikler, uygun olmayan enine ve boyuna çelik donatı düzenleri, kısa kolon, kısa kiriş, yumuşak/zayıf kat oluşumları, burulma, sünek olmayan betonarme eleman detayları, yetersiz boyutlardaki yapısal elemanlar, yetersiz yatay rijitlik, ikinci mertebe etkileri (P-Delta), yerel zemin koşulları (örneğin sıvılaşma) gibi yapısal sorunların yanında binaların konumlarına ve mimari özelliklerine de bağlı olarak deği-



**Kurtuluş ATASEVER**

İTÜ Yapı Mühendisliği Yüksek Lisans Programını 2016 yılında tamamlamıştır. Tokyo Teknoloji Enstitüsü'nde araştırmalar yapmış ve halen İTÜ Deprem Mühendisliği doktora programında eğitimine devam etmektedir. Sismik yalıtımlı yapıların tasarımı, enerji sönümleyici sistemlerinin sayısal modellenmesi, geliştirilmesi ve deneysel olarak incelenmesi konularında araştırmalar yapmaktadır.



**Sinem EMANET**

2018 yılında FSMVÜ Mimarlık Bölümü ve Çift Anadal Programı ile İnşaat Mühendisliği Bölümünü bitirerek lisans eğitimini tamamlamıştır. İTÜ Mimarlık Fakültesi Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojisi programında yüksek lisans eğitimine devam etmektedir. Yapı mühendisliği ve yapı teknolojileri alanlarında çalışmalar yapmaktadır.

şik düzeylerde dolgu duvarı hasarları izlenmiştir. Göçen binalardaki en büyük katkının kısa kolonlar ile yumuşak/zayıf katlardan kaynaklandığı, zeminin büyütme etkisinin durumu daha da kötüleştirdiği sonucuna varılmıştır.

Bu ön bilgiler ışığında 24 Ocak 2020 Doğanyol (Malatya) - Sivrice (Elazığ)

Depremi'nden sonra bölgede yapılan incelemede değişik gruptaki yapılar-daki gözlemler ayrı ayrı verilecektir. Şekil 1a'da Malatya ve Elazığ illeri ve çevresinde yazarlar tarafından ziyaret edilen yerleşim yerlerinde Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (2007)'de öngörülen  $A_0$  değerleri, AFAD tarafından yayımlanan Türkiye Deprem Tehlike Haritası'nda [7] tasarım depremi için öngörülen PGA (475 yıl-en büyük yer ivmesi) değerleri ve bu depremde ölçülen en büyük değerler birlikte verilmektedir. Bu öngörülen değerlerden en büyüğü Örmeli'de 0.684g, en küçüğü Malatya OSB'de 0.322g'dir. Deprem sırasında ölçülen en büyük yer ivmesi değerleri merkezüstünde en çok 0.30g, Elazığ merkezde en çok 0.14g ve Malatya merkezde ise en çok 0.09g civarındadır [8]. Böylece bölgede şehir merkezlerindeki güncel/yeni yapıların beklenen ivme değerlerinin çok altında (%28~38), eski binaların ise tasarlandığı ve inşaat edildiği dönemlere göre değişiklik göstermekle birlikte geçmişteki yönetmeliklerde öngörülen

değerlerin biraz altında ya da civarında yer ivmeleri etkisinde kaldıkları söylenebilir. Bu makalenin yazıldığı dönemde kuvvetli yer hareketine ilişkin ivme kayıtları ilgili kurumlar tarafından yayınlanmadığı için yapıların değerlendirilmesinde çok önemli olan, bu depreme özgü ivme, hız ve yerdeğiştirme spektrum eğrileri verilememektedir. Buna karşın, bir fikir edinmek amacıyla, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği-2018 (TBDY-2018)'de tanımlanan DD2-Deprem Yer Hareketi düzeyi için Malatya (Merkez), Elazığ (Merkez) ve Sivrice'de yeni tasarımlar için önerilen ve %5 (0.05) sönüm oranına karşı gelen ZA, ZB, ZC, ZD, ZE yerel zemin sınıflarına ilişkin yatay elastik tasarım ivme spektrumları Şekil 1b ve 1c'de verilmiştir. Bu spektrumlar üzerinde, sıkça rastlanan 1~3 katlı yığma kargir ( $T_1=0.1s\sim0.3s$ ), 4~8 kat betonarme iskelet ( $T_w=0.4s\sim0.8s$ ) ve prefabrike sanayi yapılarına ( $T_w=0.6s\sim0.9s$ ) ilişkin birinci doğal titreşim periyotları sınırları da gösterilmiştir. Bu eğriler [3]'de Şubat 2020 tarihli ikinci raporda Sivrice için verilen spektrum eğrileri



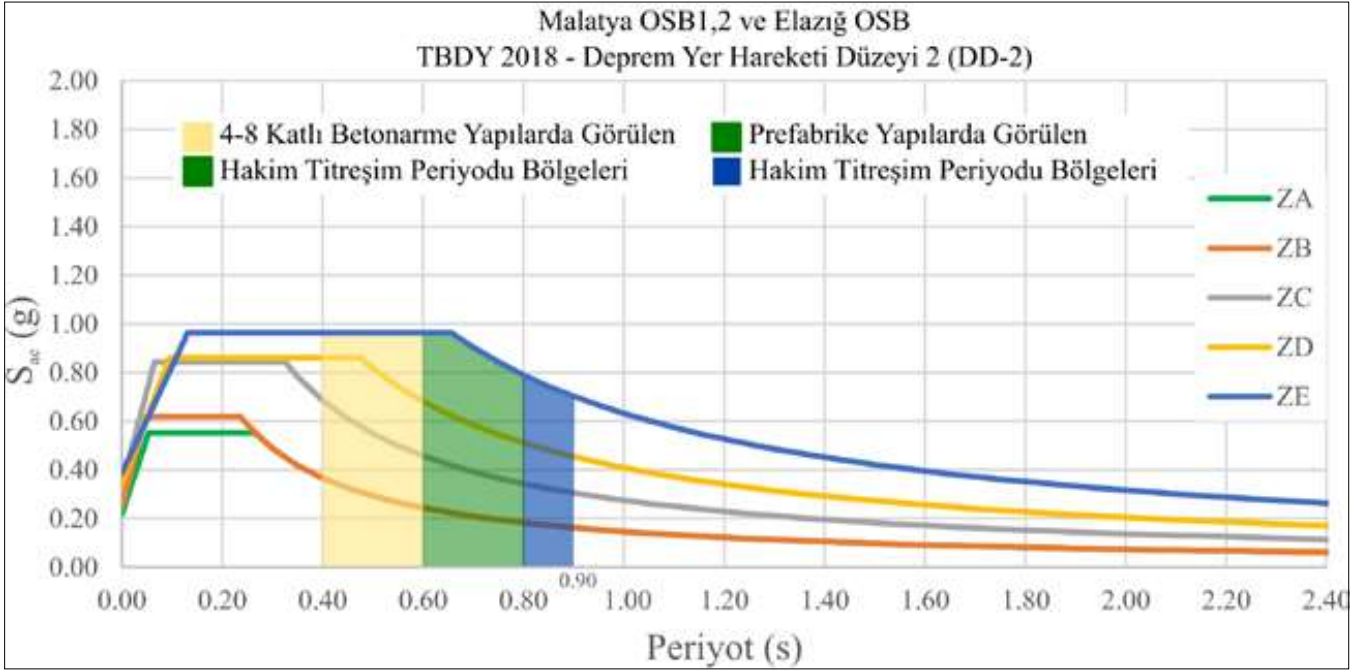
**Selin KOCA**

2018 yılında Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Mimarlık bölümünden onur öğrenci derecesiyle mezun olmuştur. İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojisi yüksek lisans programına devam etmektedir. Cumhuriyet dönemi Türk mimarisi, yüzen yapı tasarımı üzerinde araştırmaları bulunmaktadır. Prefabrike betonarme yapıların tasarımı ve güçlendirme üzerine araştırma, proje ve uygulamalarında çalışmaktadır. 2018 yılında Emek Prefabrik ve F=m.a Proje'de proje mimarı olarak çalışmaya başlamıştır.

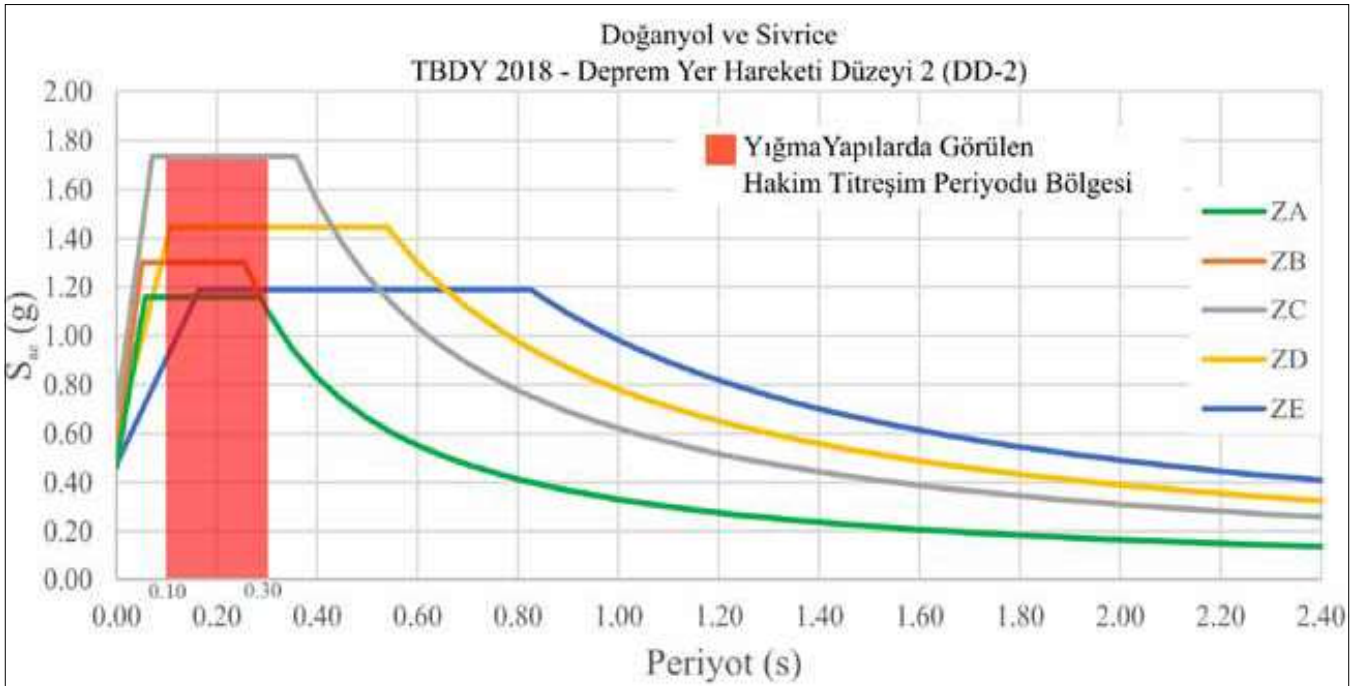
ile karşılaştırıldığında  $S_{ae}$  değerlerinin özellikle kısa periyotlu (örneğin az katlı betonarme ve kırsal yığma kargir) binalarda pik değerlere ulaştığı, buna



**Şekil 1. a:** Malatya ve Elazığ civarında tasarımda öngörülen ve depremde ölçülen en büyük yer ivmeleri (PGA-475 yıl)



Şekil 1. b: Malatya (Merkez) ve Elazığ (Merkez) için DD2 Deprem Yer Hareketi Düzeyi Yatay Elastik Tasarım İvme Spektrumu



Şekil 1. c: Sivrice (Elazığ) için DD2 Deprem Yer Hareketi Düzeyi Yatay Elastik Tasarım İvme Spektrumu

karşın yine de tasarım spektrumunun altında kaldığı görülmektedir.

### 2.1. Yığma/Kargir, Ahşap Kırsal ve Geleneksel Binalar

Depremden yaklaşık on beş gün sonra yerinde yapılan incelemeler sonucun-

da şehir merkezleri ve kırsal kesimlerde yer alan az katlı (1~3) yığma/kargir ve geleneksel ahşap konut tipi yapılarda çeşitli düzeylerde hasarlar tespit edilmiştir. Buna karşın, 1930~40'lardan günümüze kadar ulaşmış olan yığma/

kargir kamu binalarında (örneğin okullarda) deprem sırasındaki performansın oldukça iyi olduğu görülmüştür. Farklı hasar düzeylerine sahip yığma yapılar üzerinde yapılan incelemelerde hasarların genellikle yığma yapı taşıyı-

cı sistemin düzgün kurgulanmaması, kullanılan malzemelerin dayanımının düşük olması, bağlayıcı harcın dayanımının zayıf/yetersiz olması ve bazen bağlayıcı harç bile kullanılmaması gibi unsurlardan kaynaklandığı görülmüştür. Kırsal bölgelerdeki binalarda kat döşemeleri çoğunlukla dairesel kesitli ahşap döşeme kirişleri ile oluşturulmaktadır. Bu döşeme sistemi ile duvarların birleşim bölgelerinde yetersiz mesnetlenme türü sorunlara ek olarak rijit diyafram (levha) etkisi sağlanamadığından yapısal hasarlar artmaktadır. Duvarlardaki pencere, kapı boşlukları yüzdesi ve boşlukların birbirlerine ve duvar köşelerine olan uzaklıkları da bu tür binaların deprem yükleri altındaki performanslarını doğrudan etkilemektedir. Bölgede görülen hasar türlerinden bazıları ve nedenleri aşağıda özetlenmiştir.

### 2.1.1. Malzeme Kalitesi

Deprem bölgesindeki yığma yapılarda özellikle kırsal kesimlerde yer alan köylerdeki evlerde hasarlar/göçmeler meydana gelmiştir. Bu binalar genellikle 1,2 ya da en çok 3 kattan oluşmaktadır. Köylerde alt katlar ahır, üst katlar yaşama mekânları olarak kul-

lanılmaktadır. Pütürge (Pötürge), Doğanyol, Sivrice ilçeleri çevresinde yer alan pek çok köyde (örneğin Çevrimtaş köyü, Gökçe köyü) çok fazla yığma yapıda hasarlar/göçmeler oluşmuştur.

Bölgedeki yığma yapılar çoğunlukla taş, kerpiç ve karma olarak inşa edilmiştir; duvarlarda yer yer ahşap hatılların kullanıldığı görülmüştür. Duvarlar, birimlerin harçla yatay ve düşey derzler ile birbirine bağlanmasıyla oluşturulduğundan diğer yapı sistemlerine göre daha karmaşık bir davranışa sahiptir. Yığma yapılarda kullanılan tuğla, taş ve özellikle bağlayıcı harcın kayma dayanımının düşük olması önemli deprem etkileri altında yapıda hasar oluşumuna neden olmaktadır. Duvar elemanlarda düşük dayanıma sahip malzemelerin etkisiyle kısmi ya da tümsel göçmeler de meydana gelebilmektedir (Şekil 2). Buna karşın uygun tekniklerle inşa edilmiş olanlarda herhangi bir hasar izlenmemektedir (Şekil 3).

### 2.1.2. Taşıyıcı Sistem Özellikleri

Yığma yapılarda duvarların mimari ve taşıyıcı işlevleri olduğu bilinmektedir. Duvarlar hacimleri oluşturur, yapıyı dış etkenlerden korudukları gibi yapının

işlevi gereği oluşturulan iç bölmelerini de ayırırlar. Yığma yapılarda taşıyıcı sistem duvarlardan oluştuğundan duvar kalınlıkları, duvardaki pencere ve kapı için açılan boşluk oranları yapının deprem davranışı açısından büyük önem taşımaktadır. Duvar içinde bırakılan pencere ya da kapı boşluklarının yönetmeliklerde önerilen sınır değerleri aşması, duvarlardaki gerilmelerin boşluklar çevresinde yığılmasına neden olmakta ve bu bölgelerde eğik çatlaklar oluşturmaktadır. Hatılların olmaması, duvar birleşimlerinde düşey çatlaklara/ayrılmalara ve duvarın düzlemi dışına doğru göçmesine neden olabilmektedir. Deprem sırasında yığma yapılarda karşılaşılan başlıca hasarlar duvarların düzlemi içinde eğik kesme/kayma çatlaklarının oluşması, düzlem dışına doğru devrilmesi, duvarların köşelerden ayrılması ve döşemelerin duvarlardan ayrılıp göçmesi şeklinde olmaktadır [9].

Malatya, Doğanyol, Gökçe Köyü'nde yer alan 1993 yılında yapılan tipik bir yığma yapıda deprem etkisiyle duvarlarda eğik kayma çatlakları ile duvarların kesişme bölgelerinde ayrılma çatlakları olduğu gözlemlenmiştir (Şekil



**Şekil 2.** Gökçe Köyü Kısmen Göçmüş 2 Katlı Yığma Ev, Ahşap Hatıllı Taş Duvarlar



**Şekil 3.** Örmeli Köyü 2 Katlı Hasarsız Yığma Ev, Taş ve Ahşap Hatıllardan Oluşan Duvarlar

4,5). Bina 2 katlı olup alt katı ahır, üst katı ise yaşam alanı olarak kullanılmaktadır. Yapıda ahşap çatı ve ahşap döşemeler bulunmaktadır. Ahşap döşeme kirişleri, çapları  $D_k=10\sim 15\text{cm}$  olan daire kesitli paralel elemanlardan meydana gelmektedir;  $30\sim 50\text{cm}$  aralıklarla düzenlenmiştir. Açıklıklar  $3\sim 5\text{m}$  arasında değişmekte olup daha büyük açıklıkların bulunması durumunda ara dikmeler yardımıyla giriş açıklıkları azaltılmıştır. Ahşap giriş-ahşap giriş mesnetlenmelerinde en az 2D civarında bir mesnetlenme uzunluğu uygulanmaktadır. Ahşap dikmeler daire kesite sahip olup çapları genelde  $D_d=15\text{cm}$  civarındadır. Taşıyıcı duvar

kalınlığı alt katlarda  $t=75\sim 80\text{cm}$ 'dir; üst kat bölme duvarlarında daha az kalınlıkta ve ahşap elemanlarla (bağdadi biçiminde) oluşturulmuş duvarlar da yer almaktadır. Ahşap hatılların boyutları  $10\sim 15\text{cm}$  olup aralıkları  $50\sim 70\text{cm}$  arasında değişmektedir. Alt katta yığma yapıya bilinçsizce sonradan eklenen niteliksiz betonarme kolon ve kirişlerden oluşan bir çerçeve sistem de bulunmaktadır (Şekil 6,7). Yapının bir bölümü göçtüğünden, göçmeye diğer etkenlerin yanında bu eklenen asimetrik çerçeve sisteminin de katkısı olduğu düşünülmektedir. Şekil 8'de sözkonusu binanın duvarlarında düzlem dışı göçmeler görülmektedir.

Bu örnek bina özelinde, yapının amaç dışı kullanılması ya da yapıya bilinçsizce yapılan eklentiler ve onarımlar sonucu hasarlar oluşabildiği anlaşılmaktadır. Yapılan restorasyon çalışmaları sırasında taşıyıcı elemanların yerlerinin değiştirilmesi, duvarların tahrip edilmesi, kullanılan yeni malzemelerin yapı sistemine uyum gösterememesi nedeniyle de hasarlar meydana gelebilmektedir; bu durum Türkiye'deki yapı stoğunun geneli için de geçerlidir.

Pütürge geleneksel evlerinde yapılan incelemelerde ise yapıların genelde iki katlı olduğu ve taşıyıcı duvar malzemesi olarak genelde taş kullanıldığı gö-



Şekil 4. Gökçe Köyü 2 Katlı Ev, Taşıyıcı Duvar Hasarı (İç Mekan)



Şekil 5. Gökçe Köyü 2 Katlı Ev, Taşıyıcı Duvar Hasarı (Ön Cephe)



Şekil 6. Gökçe Köyü 2 Katlı Ev, Giriş Katında Niteliksiz Betonarme Çerçeve



Şekil 7. Gökçe Köyü 2 Katlı Ev, Niteliksiz Betonarme Çerçeve-Duvar-Döşeme Birleşimi



Şekil 8. Gökçe Köyü, Duvarlarda Düzlem Dışı Göçmeler



Şekil 9. Pütürge, Ağalar Mah., İncelenen Ev (Yan-Ön Cephe)



Şekil 10. Pütürge, Ağalar Mah., İncelenen Ev (Taşıyıcı Duvar Hasarı)



Şekil 11. Pütürge, Ağalar Mah.



Şekil 12. Pütürge, Köylü Mah.



Şekil 13. Pütürge, Köylü Mah. Genel Görünüş

rülmüştür. Çıkmalar ise kerpiç, hımış örgü ya da ahşap çatki aralarının kerpiç ile doldurulmasıyla inşa edilmiştir. Pütürge evleri genelde iç ve dış sofalı plan şemasına göre biçimlenmişlerdir. Evlerin cephelerinde konsol çıkma ya da gönye çıkma kullanılmıştır. Bazı evlerin cephelerinde yer yer ahşap kap-

lama malzemesi kullanıldığı görülmektedir. Geleneksel Pütürge evlerinden olan Ağalar Mahallesi, Taşmış Caddesi No: 14'te yer alan bir ev burada örnek olarak ele alınmıştır (Şekil 9); deprem etkisi sonrasında taşıyıcı duvarlarda özellikle köşelere yakın bölgelerde önemli çatlaklar tespit edilmiştir (Şekil 10). Zemin ve birinci kat olarak iki katlı oluşan ve XX. yüzyılın ilk çeyreğine tarihlendirilen bina kaba yonu taş malzemenin inşa edilmiştir. Ahşap hatıl ve dikmeler ile yapı desteklenmiştir. Bina'nın sokağa cephesi olup iç sofalı plan özelliği göstermektedir. Yapıya, ahşap çift kanatlı cümle kapısından girilmektedir. Cümle kapısı üzerinde aydınlatma/penceresi bulunmaktadır. Sokağa

bakan cephesinde ahşap balkon ve iki adet oda boyu konsol çıkma yer almaktadır. Cumba ve ahşap balkon üç ahşap eli böğründe ile desteklenmiştir. Balkon ahşap sivri kemerli yapıya sahiptir. Çatının önceleri düz toprak dam iken daha sonradan sac kaplama ile örtüldüğü belirtilmektedir [10]. Pütürge'den diğer örnekler de Şekil 11,12,13'de verilmiştir.

Bu gözlemlere ek olarak bazı kamu binalarında da incelemelerde bulunulmuştur. Burada depremde performansları iyi olanlar üzerinde durulacaktır. İlki Pütürge'de bulunan az katlı bir kamu binasıdır (Şekil 14). Bina yağma olup oldukça düzgün bir plan şemasına sahiptir. Taşıyıcı duvarlar her



iki asal doğrultuda uygun bir düzende inşa edilmiştir; boşluk oranları kabul edilebilir değerlerdedir. Kat döşemesi betonarme plak ve kirişlerle oluşturulmuştur. Binada önemli bir hasar izlenmemiştir. İkinci bina Doğan yol'da üç katlı karma yığma denilebilecek türden bir binadır (Şekil 15,16). Zemin katta yığma duvarların betonarme elemanlarla kuşatılma detayı verilmiştir. Elazığ merkezde yer alan ve yığma taşıyıcı sistemli Atatürk İlköğretim Okulu'nun da deprem performansı uygun görülmüştür (Şekil 17,18). Buna karşın, deprem bu binanın bulunduğu cadenin karşı tarafında yer alan pek çok

betonarme binada ileri hasar düzeylerine yol açmıştır. Elazığ Mustafa Kemal Ortaokulu esnek betonarme çerçevesi, yığma (dolu tuğla) kalın bölme duvarlı üç katlı karma sistemli denebilecek bir binadır. Yerinde yapılan incelemede hatlımsı betonarme kolonların enkesit özelliklerinin neredeyse minimum değerlerin de altında ve betonda malzeme kalitesinin düşük olduğu görülmüştür. Köşe kolonda iş derzinin olduğu yerde (üstten yaklaşık 50cm'lik bölüm) donatıların sıyrıldığı anlaşılmaktadır. Bu binada yapısal olmayan hasar yoğun olup ileride daha detaylı değinilecektir. Elazığ Mesleki ve Teknik Anadolu Lise-

si eski binası da yine yığma düşey taşıyıcı sistemli bir binadır (Şekil 19). Bu binada kat döşemeleri betonarme plak ve kirişlerle oluşturulmuştur. Yapıda kısa doğrultuda betonarme sistem ile duvarlar arasında ayrılma çatlakları (Şekil 20), koridorlardan geçen kirişlerin duvara mesnetlendiği bölgede ise kiriş altında hafif eğilme çatlakları izlenmiştir (Şekil 21); genelde bu yapının da deprem performansının uygun olduğu söylenebilir. Malatya merkezde yer alan Yeni Cami (Hacı Yusuf Taş Cami)'de ise deprem sonrası kubbede kısmi bir göçme meydana gelmiştir (Şekil 22).



Şekil 14. Pütürge, Halk Eğitim Merkezi, Hasarsız Yığma Bina



Şekil 15. Doğan yol, Hasarsız Yığma Bina



Şekil 16. Doğan yol, Hasarsız Yığma Bina (Kuşatılmış Duvar Detayı)



Şekil 17. Elazığ-Merkez, Hasarsız Yığma Bina (Atatürk İlköğretim Okulu, Yapım Yılı-1937)



Şekil 18. Elazığ-Merkez, Hasarsız Yığıma Bina (Atatürk İlköğretim Okulu, Yapım Yılı-1937)



Şekil 19. Elazığ-Merkez, Az Hasarlı Yığıma Bina (Elazığ Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi, Eski Bina, Yapım Yılı-1945)



Şekil 20. Elazığ-Merkez, Az Hasarlı Betonarme Kısım, (Elazığ Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi, Yapım Yılı-1969)



Şekil 21. Elazığ-Merkez, Az Hasarlı Betonarme Kısım (Elazığ Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi, Yapım Yılı-1969)



(a)



(b)

Şekil 22. Malatya, Merkez, Yeni Cami (Hacı Yusuf Taş Cami), (a) Genel Görünüş, (b) Kubbe Hasarı

## 2.2. Betonarme Binalar

Bölgedeki betonarme binalar çoğunlukla 3~15 kat arasında yapılmakta, 8 katlı binaların yoğunluğu dikkat çekmektedir. Günümüzde inşa edilen binaların çoğu 8 kat civarında ya da üzerindedir. Mevcut betonarme iskelet türü binalarda izlenen hasar ve göçme biçimleri Türkiye’de önceki tarihlerde yaşanan yıkıcı depremlerde izlenenlerden ve Bölüm 2’de özetlenenlerden farklı değildir. Bu nedenle bunlar burada tekrarlanmayacak, yalnızca özellik gösteren binalardan örnek sunulacaktır. Çoğunlukla en büyük sorunun yatay rijitliği yetersiz olan binalardan,

kısa kolonlardan, donatı detaylarından, malzeme kalitelerindeki yetersizliklerden ve olumsuz müdahalelerden kaynaklandığı söylenebilir. Bu tür sorunlar en çok 1999 yılı öncesi yapılan binalarda izlenmiş olup ortaya çıkan hasarlar bu tür binalarda daha yoğundur. Buna karşın, nispeten daha güncel yapılarda yapısal hasar ya yok ya da yok denecek kadar azdır.

Deprem sonrasında şehir merkezlerinde özellikle hasarın yoğunlaştığı bölgelerde toplu yıkımlar yapıldığı görülmüştür (Şekil 23). Bu binalarda değişik düzeylerde yapısal hasarların meydana geldiği belirtilmiştir. Çoğun-

lukla 8 katlı olan bu tür binalar bitişik düzende inşa edilmiş olup yıkımlardan sonra ortaya çıkan yan cephelerden bu akslarda betonarme perdeler bulunmadığı anlaşılmaktadır. Bazı binalarda yıkımın hiç de güç olmaması yapım kalitesi hakkında ipuçları vermektedir.

Elazığ şehir merkezinde, Abdullahpaşa Mahallesi’nde yer alan 6 katlı toplu konut binalarında yapılan incelemede binalarda, özellikle alt katlarda yoğun yapısal olmayan hasarlara rastlanmıştır (Şekil 24). Betonarme çerçeveler ile bölme duvarları arasında yatay ve düşeyde oluşan ayrılma çatlakları, duvarlarda düzlem içi çatlaklar, düzlem



(a)



(b)

Şekil 23. Malatya, Merkez, Sivas Cad. Çok Katlı Betonarme Binalarda Yıkımlar (Yapım Yılı-1980’li Yıllar)



(a)



(b)

Şekil 24. Elazığ Abdullahpaşa Mahallesi’nde Çok Katlı Betonarme Binalarda Hasarlar

dışı duvar göçmeleri, bazı binalarda ise betonarme kolonlarda pas payı (beton örtü tabakası) kaybı sonucu donatının görülmesi gibi sorunlar ortaya çıkmıştır. Sürsürü ve Mustafa Kemal Paşa mahallelerindeki göçen binaların enkazı kaldırıldığından inceleme olanağı olamamıştır.

Elazığ Otogar binası az katlı betonarme çerçeveler ile oluşturulmuş bir bina

görünümündedir (Şekil 25). Yapı genelinde yoğun yapısal olmayan hasar izlenmiştir. Binanın az katlı olmasına karşın böylesi hasarların görülmesi plan düzensizliklerine ve yapının külesinin fazla olmasına bağlanmaktadır. Pütürge Devlet Hastanesi eski binasında da deprem sırasında çoğunlukla yapısal olmayan hasar izlenmiştir (Şekil 26). 1965’de inşa edilen ve 3 kattan meydana gelen hastane bir dö-

nemin mimari üslubunu da taşımaktadır. Taşıyıcı sistemin oldukça düzgün olmasına karşın döneminin pek çok yapısında da olduğu gibi esnek betonarme çerçevelerin kullanıldığı binanın korunarak güçlendirilmesinin uygun olduğu düşünülmektedir.

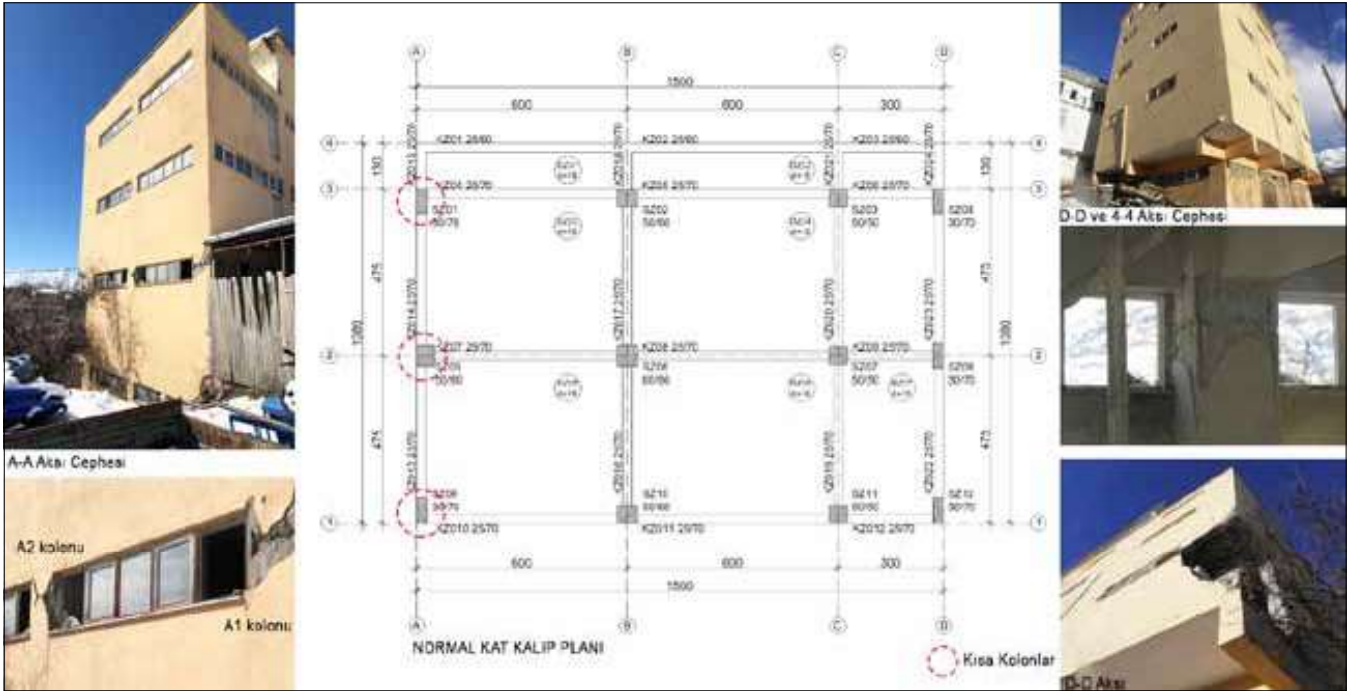
Kısa kolon Türkiye’deki mevcut eski tarihli betonarme iskeletli yapı stoğunun mimari tasarım kaynaklı en önemli sorunlarından biridir. Önceki



Şekil 25. Elazığ Şehirlerarası Otogarı Hasarları



Şekil 26. Pütürge Devlet Hastanesi (Yapım Yılı-1965)



Şekil 27. Malatya, Gökçe Köyü, Değirmen Binası, Kısa Kolon Hasarı (Yapım Yılı-2000)

depremlerin pek çoğunda kısa kolon oluşumundan kaynaklanan sayısız bina hasarı ya da göçmeler izlenmiştir. Deprem sırasında yön değiştiren kat kesme kuvvetlerinin mimari duvarlar nedeniyle boyu kısaltılmış kolonlarda yol açtığı hasarın engellenmesi neredeyse mümkün değildir. Kat kesme kuvvetleri kolonların rijitlikleri ( $I/h$ ) ile orantılı olarak kolonlara dağıldığı için hiçbir şekilde bu kesme kuvvetlerine göre tasarlanmayan kolonlarda kesme/kayma çatlaklarının/göçmelerinin oluşması oldukça doğaldır; burada  $I$  kesitin atalet momenti,  $h$  ise serbest

kolon yüksekliğidir. Örneğin, serbest kat yüksekliği 3m olan bir binada 0.5m yüksekliğinde band pencere nedeni ile kısa kolonda meydana gelen kesme kuvveti normal yükseklikteki kolona göre 6 kat daha fazladır. Bu durumda, kısa kolonun hasar görmesi kaçınılmaz olmaktadır. Gökçe Köyü'nde böyle bir bina ile karşılaşıldığından ve betonarme uygulama projesine ulaşıldığından burada biraz daha detaylı olarak değinilecektir. Bina toplam 5 katlı betonarme iskeletli bir değirmen binası olarak tasarlanmış olup bodrum kat üzerinde konsollarla genişletilerek üst

katlar oluşturulmuştur (Şekil 27). Bütün üst katlarda, tüm cephelerde kısa kolon oluşumu tekrarlanmıştır. Taşıyıcı sistem şeması Şekil 27'de verilmiştir. Sistemin her iki asal doğrultuda da oldukça düzgün olduğu söylenebilir. Beton kalitesinin uygun olduğu düşünülmektedir. Kolonlarda boyuna donatı oranları ise %1 civarındadır.

Yatay rijitliği yetersiz betonarme binaların yatay ötelenme oranları ilgili yönetmeliklerde verilen değerleri aşması durumunda dayanımla ilgili sorun olmasa da bölme duvarlarda önemli düzeylere varan yaygın hasarlar izlen-



(a)



(b)



(c)



(d)

**Şekil 28.** Esnek Betonarme Çerçeve Binalarda Bölme Duvar Hasarları (a) Doğanyol Kaymakamlığı (Yapım Yılı-2015) (b,c) Doğanyol Kaymakamlığı Yapısal Olmayan Hasarlar (d) Doğanyol Sosyal Yaşam Merkezi Yapısal Olmayan Hasarlar

mektedir. Dolgu duvarlarının dayanımı görel olarak daha düşük olan gazbeton elemanlarla inşa edilmesi bu durumu daha da olumsuz hale getirmektedir. Bununla birlikte, yeterli rijitliğin dolgu duvar elemanlarla sağlanmaması, bunun yerine planda dengeli dağıtılmış betonarme perdelerin kullanılması en akılcı çözümlerden biridir. Diğer önemli bir konu ise gazbeton duvarların varlığının, düşük rijitlik ve dayanımlarına karşın, betonarme çerçevelerin deprem etkileri altında davranışını pek değiştirmemesidir; bu ise sistemin hesaplandığı şekliyle davranış göstermesine neden olarak olumlu bir durum ortaya koymaktadır [11]. Başka bir deyişle, deprem yüklerinin taşınmasında dolgu duvarlara değil de taşıyıcı iskelede güvenmek, sistemi ona göre boyutlandırmak daha anlamlıdır. Doğanıyol ilçesinde bu şekilde yapısal olmayan hasarların izlendiği iki örnek bina Şekil 28'de verilmiştir.

1970'li yıllarda Elazığ, Karşıyaka Mahallesi'nde ayırık düzende inşa edilen 6 katlı, betonarme, İmar-İskân Belediye konutları binalarında çoğu yapısal olmayan hasarlar meydana gelmiştir (Şekil 29). Binalar boşaltılmış ve yı-

kılmaya başlanmış durumdadır. Bölgedeki deprem öncesinde bazı önemli diğer yapıların güçlendirildiği öğrenildiğinden, güçlendirilen binaların performansları da incelenmiştir. Bunlar arasında Elazığ Lisesi binası önemli uygulamalardan biri olmuştur (Şekil 30). Binada 2015 yılında güçlendirme çalışmaları tamamlanmış olup güçlendirme yöntemi olarak betonarme kolonların betonarme ile mantolanması ve planda her iki asal doğrultuda uygun olan gözlerde betonarme perde eklenmesi şeklinde olmuştur. Binanın depremde performansının uygun olduğunu söylemek mümkün olmakla birlikte, yapısal olmayan hasarın bütün katlarda yaygın olması dikkat çekicidir (Şekil 30d). Başka bir deyişle, bina önem katsayısı yüksek bir bina olması nedeniyle deprem sonrasında hemen kullanım/kesintisiz kullanım koşullarına uymamaktadır. Binada betonarme perde eklenmesiyle kat ivmelerinin arttığı, buna bağlı yapısal hasarın yoğunlaştığı düşünülmektedir.

Bir diğer önem katsayısı yüksek bina da Sivrice ilçesi PTT binasıdır. Bu bina da gazbeton dolgu duvarlı betonarme iskeletli olup yoğun yapısal olmayan

hasarlar bulunmaktadır (Şekil 31). Deprem sonrasında hemen kullanımın sağlanması gereken binalardan olması gereken bu bina da kullanılamamakta, bunun yerine gezici araçlarla hizmet sürdürülmektedir.

Malatya Doğanıyol'da bulunan Halk Eğitim Merkezi ve konut olarak kullanılan betonarme bina önemli denebilecek düzeyde hasar almıştır. Yapı taşıyıcı sisteminde düzensiz girişleme ve diğer türden düzensizliklere rastlanmıştır. Ayrıca kolona göre daha güçlü girişlerin kullanılması kesme/kayma çerçevesi etkisi yaratmış ve bu da kolon üst bölgelerinde ve taşıyıcı olmayan duvarlarda deprem hasarının artmasına yol açmıştır (Şekil 32).

Elazığ Mustafa Kemal Ortaokulu'nda duvar-betonarme sistem arasında ayrılma çatlakları, band pencereler civarından başlayan duvar çatlakları, değişik bölgelerdeki duvarlarda eğik kayma çatlakları gibi yapısal olmayan, ancak sistemin yetersiz yatay rijitliğinden kaynaklanan yoğun hasar oluşumu izlenmiştir (Şekil 33). Deprem sonrasında binanın yıkımına başlanmış, sonradan durdurulmuş olduğu bilgisi alınmıştır. Yıkılmaya başlanan



(a)



(b)

Şekil 29. Yapısal Olmayan Hasarlar – Elazığ (Yapım Yılı-1970'li Yıllar) (a) Genel Görünüş (b) Uygun Olmayan Donatı Detayı



(a)



(b)



(c)



(d)

**Şekil 30.** Güçlendirilmiş Elazığ Lisesi (Yapım Yılı-1960'lı Yıllar-Güçlendirme Yılı- 2015) (a,b) Genel Görünüş (c) Yapısal Olmayan Hasarlar (d) Uygulama Hatası (Donatı Süreksizliği, Betonsuz Birleşim Bölgesi)



(a)



(b)

**Şekil 31.** Sivrice PTT Binası (a,b) Yapısal Olmayan Hasarlar



(a)



(b)

**Şekil 32.** Malatya, Doğanyol, Halk Eğitim Merkezi Konut (a) Genel Görünüş (b) Duvarda X Şeklinde Çatlak



(a)



(b)

**Şekil 33.** Elazığ, Merkez, Mustafa Kemal Ortaokulu (Yapım Yılı-1960'lı Yıllar) (a,b) Yapısal olmayan hasarlar



**Şekil 34.** Malatya, Gökçe İlkokulu (Yapım Yılı-2019) Hasarsız



**Şekil 35.** İnceleme Ekibi



köşe bölgede ortaya çıkan betonarme elemanların kesitlerinin oldukça küçük ve donatı miktarının/düzeninin çok alt seviyelerde olduğu görülmüştür.

2019'da hizmete giren Gökçe İlkokulu (Şekil 34) son yönetmelik ilkelerine göre tasarlanmış ve inşa edilmiştir. Yapılan incelemede herhangi bir yapısal olan ya da olmayan hasara rastlanmamıştır; yapının hemen kullanım seviyesinde olmasına karşın kısmi bodrum katın yol açtığı kısa kolonlar dikkati çekmektedir. Şekil 35'de inceleme ekibi görülmektedir.

### 2.3. Prefabrike Binalar

Prefabrike betonarme yapı teknolojisi, İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra artan konut ihtiyacıyla birlikte hızlı yapım tekniği ile özellikle Avrupa ülkelerinde oldukça yaygın bir biçimde kullanılmıştır. 1960'lı yıllarda ülkemizde de prefabrike ilkokulların yapımıyla başlanan süreç ülkemizin sanayileşmesine paralel olarak daha çok sanayi yapılarında yoğun olarak kullanılmış ve günümüzde de kullanılmaktadır. Halen ülkemizdeki sanayi yapılarının çok büyük çoğunluğu prefabrike betonarme sistemle inşa edilmektedir.

#### 2.3.1. Önceki Depremlerde Prefabri- ke Binaların Performansı

Türkiye'de yaşanan önceki depremlerde, prefabrike betonarme sanayi yapılarının hatalı tasarım, üretim, yetersiz rijitlik ve süneklik gibi nedenlerle ağır hasarlar aldıkları ya da yer yer göçtükleri görülmüştür. Deprem sorunu olmayan bazı ülkelerden Türkiye'ye herhangi bir iyileştirme yapılmadan giren pek çok sistem son 28 yılda kendilerinden beklenen performansı gösterememişlerdir. Özellikle birleşim bölgelerinin uygun düzenlenmemesi nedeniyle yapısal hasarların/göçmelerin arttığı görülmektedir. Önceki depremler sonra-

sında yapılan çalışmalarda hasar alan ve toptan göçen yapıların, özellikle deprem etkilerinin tamamının çatı düzeyindeki bağlantıları mafsallı, tabanda soket temellere ankastre olarak bağlanan kolonlar tarafından karşılanan tek katlı (ya da kısmi ara katlı) binalar ( $R=3$ ) olduğu görülmüştür. Ülkemizdeki prefabrike betonarme yapı stoğunun büyük kısmı da bu tip binalardan oluşmaktadır. ABYYHY1975 [12], ABYYHY1998 [13] ve DBYBHY2007 [14]'de prefabrike betonarme yapılar ile ilgili ilkeler ve tasarım esasları yer almakta, ancak özellikle ABYYHY1998 ve DBYBHY2007 yönetmeliklerindeki kolonları altta ankastre üstte mafsallı olan prefabrike yapılarda taşıyıcı sistem davranış katsayısının ( $R$ ) değiştiği bilinmektedir. 01.01.2019 tarihinde yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği-2018 (TBDY-2018)'de [15] deprem etkisi altında önüretimli betonarme bina taşıyıcı sistemlerinin tasarımı için özel kurallar bölümü prefabrike betonarme yapılar için daha geniş kapsamlı olarak ele alınmaktadır.

27 Haziran 1998 Ceyhan Depremi ( $M_s=6.3$ ), prefabrike sanayi yapılarının yoğun olduğu bir bölgede meydana gelmesi nedeniyle, Türkiye'de prefabrike betonarme yapılarda ilk defa yoğun bir şekilde deprem hasarının gözlemlendiği bir deprem olarak bilinmektedir. Bu depremde, hasarlar/göçmeler kolonları tabanda ankastre üstte mafsallı olan çubuk sistemler ile oluk yönünde kolon rijitliğinin daha düşük olduğu lambda çerçeve (kırıklı çerçeve) sistemlerde görülmüştür; mafsallı bağlantılarda ciddi sorunlar oluşmuştur. Özellikle çatı kirişinin kolon gusesine tek pimle bağlandığı çok sayıda prefabrike hasar görmüş yapılarla karşılaşmıştır. 17 Ağustos 1999 Kocaeli (İzmit) ( $M_w=7.4$ ,  $M_s=7.8$ ) ve 12 Ka-

sım 1999 Düzce ( $M_s=7.3$ ,  $M_w=7.1$ ) depremleri Türkiye'de prefabrike sanayi yapılarının en yaygın ve yoğun hasar gördüğü depremlerdir; Sakarya OSB etkileyici bir örnek olarak verilebilir. Yine kolonları temel düzeyinde ankastre üst bağlantıları mafsallı olan çubuk sistemler ve lambda çerçeve sistemlerde toptan göçmeler ve yoğun yapısal hasarlara rastlanmıştır. Yine lambda çerçeve sistemlerde kolonların oluk kirişi yönündeki rijitliğinin az olması ve çubuk sistemlerde ise kolon rijitliklerinin yetersiz olmasından kaynaklanan sorunlar izlenmiştir. Buna ek olarak mafsallı bağlantılarda oluşan hasarlar, çatı kirişlerinin yanal stabilite sorunları, duvar panellerinin bağlantıları ve donatıdaki sorunlar da gözlemlenen diğer hasarlardır; sisteme uygun olmayan bağlantıları nedeniyle, prekast cephe panellerinin öncelikle göçtüğü örnekler de vardır. Sözü edilen depremlerin hemen hepsinde kolon-kiriş bağlantılarının yetersizliği nedeniyle tamamen yere düşen çatı elemanlarına, çatı kirişi pim deliklerinin dolgularının yapılmaması ve yetersiz filiz boyları nedeniyle göçen çatı kirişlerine ve yuvalı birleşim kenarlarının yetersizliği nedeniyle düşmüş ya da kenarları tamamen kırılmış çatı kirişi bağlantılarına rastlanmıştır. Ayrıca çatı kirişlerindeki üst başlık genişliğinin küçük tutulması sonucu yanal stabilite yetersizliği nedeniyle burkulmuş çatı kirişlerine de rastlanmıştır. 23 Ekim 2011 Van Depremi ( $M_w=7.2$ ) sonrasında ise prefabrike sanayi yapılarında görülen hasarlar öncekilere göre daha azdır. Montaj aşamasındaki prefabrike sanayi yapılarının da hasar gördüğü gözlemlenmiştir. Bu da çatı kaplamasının çatı düzeyinde yapıya belli bir rijitlik kazandırdığı ve deprem hasarını azalttığı şeklinde yorumlanabilir. Ayrıca hasar görmüş prefabrike yapıların çelik donatılarından örnekler

alınmış ve donatıların karbon eşdeğeri seviyelerinin yüksekliği nedeniyle sistemden beklenen süneklikte davranış gözlemlenmemiştir, [16,17].

### 2.3.2. Bu Depremde Prefabrike Binaların Performansı

Depremden etkilenen Elazığ ve Malatya illerinde 3 adet organize sanayi bölgesi bulunmaktadır. Elazığ OSB'de 104 adet faaliyette, 12 adet inşaat halinde, 11 adet proje aşamasında olan toplam 127 adet, Malatya 1.OSB'de 166 adet faaliyette, 30 adet inşaat halinde, 13 adet proje aşamasında olan toplam 209 adet, Malatya 2.OSB'de 153 adet

değerlerinin çok altında ivme değerlerine ulaşılmıştır.

Bölgedeki prefabrike betonarme sanayi yapılarının büyük çoğunluğunu, çatı düzeyinde mafsallı bağlantılı (MFB1), deprem etkilerinin tamamını süneklik düzeyi yüksek kolonlar tarafından karşılanan ( $R=3$ ) binalar oluşturmaktadır (Şekil 36). Çatı düzeyinde çoğunlukla öngerilmeli/öngerilmesiz değişken kesitli betonarme çatı kirişleri, öngerilmeli/öngerilmesiz betonarme aşıklar kullanılmaktadır. Çerçeve aks aralıkları  $a=7.50m\sim 12.00m$  aralığında değişmekte olup maksimum betonarme prefabrike çatı makas açıklığı

me çatı kirişlerinin üst başlık genişliği TBDY-2018 Madde 8.3.1.11'de verilen kurala uygun olarak boyutlandırılmıştır. Yapının taşıyıcı sistem kurgusunda olumsuz davranışlara neden olabilecek burulma düzensizliğinin önlenmesi için birbirinden bağımsız bloklara yapısal derzlerle ayrıldığı görülmektedir (Şekil 39). Bırakılan derz boşluklarının TBDY-2018'de verilen minimum koşulları sağladığı tespit edilmiştir. İncelen projede uygulanan soket temel kolon birleşimlerinde de herhangi bir hasar meydana gelmemiş, bağ hatlı ve temel boyutlarının hem zemin gerilmeleri hem de deprem etkilerinin karşılanma-



(a)



(b)

Şekil 36. Malatya 1. O.S.B., Çatı Düzeyinde Mafsallı Prefabrike Betonarme Binalar

faaliyette, 4 adet inşaat halinde toplam 157 adet sanayi yapısı bulunmaktadır [18]. Bölgedeki organize sanayi bölgelerinde aktif olarak kullanılan, çatı kaplaması tamamlanmış, montaj aşamasında ve proje aşamasında olan her türlü safhadan binalar gözlemlenmiştir. Üç sanayi bölgesi için de AFAD Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması'ndan [7] en büyük yer ivmeleri (PGA) Elazığ O.S.B. için  $PGA=0.457g$ , Malatya 1. O.S.B. için  $PGA=0.322g$ , Malatya 2. O.S.B. için  $PGA=0.319g$  olarak okunmuştur. Bölgede meydana gelen depremde yeni tasarım için öngörülen bu ivme

$L=27m$ 'dir. Bu açıklıklarda 30/42cm ve 30/50cm betonarme aşık elemanları, 200cm mahyalı, kiriş üst tabla genişliği 60cm olan betonarme prefabrike çatı kirişleri kullanılmaktadır. Şekil 37'de TBDY-2018'e göre tasarlanmış ve projeleri ayrıntılı olarak incelenmiş Malatya 1. O.S.B.'de bulunan ve montajı devam eden sanayi yapısında, çatı paneli tamamlanmış ve çatı panelleri tamamlanmamış bölümlerin deprem performansı gayet uygun olarak gözlemlenmiştir. Bu binadaki prefabrike betonarme elemanlarda herhangi bir hasar oluşumuna rastlanmamıştır (Şekil 38). Yapıda kullanılan betonarme

sında yeterli olduğu saptanmıştır (Şekil 40).

Bölgedeki sanayi yapılarında Şekil 41'de gösterildiği gibi betonarme prefabrike kolon elemanları ve çelik çatı kirişlerinin birlikte kullanıldığı karma çözümlerin de uygulandığı görülmektedir.

Deprem etkilerinin tamamının moment akaran süneklik düzeyi yüksek önüretimli çerçevelerle karşılandığı ( $R=5,6,7$ ) binalarda inceleme olanağı bulunamamıştır. Gerçekten, araştırılan bölge daha çok kısmi arakatlı prefabrike binaları barındırmaktadır.



**Şekil 37.** Malatya 1. O.S.B., Yapım Aşamasındaki Bir Bina, Genel Görünüş



**Şekil 38.** Malatya 1. O.S.B., Çatı Paneli Tamamlanmış ve Tamamlanmamış Bölümler



**Şekil 39.** Malatya 1. O.S.B., Yapısal Derz Düzenlemesi



**Şekil 40.** Malatya 1. O.S.B., Bağ Hatlı ve Temel Uygulamaları



**Şekil 41.** Malatya 1. O.S.B., Prefabrike Betonarme Kolon Elemanları ve Çelik Çatı Makas Uygulaması

TBDY2018 Madde 8.7.1’de verilen “Kolonları çatı kotunda mafsallı tek katlı çerçevelerden oluşan önüretimli betonarme binalarda; bina taban alanının %25’ini geçmemek kaydıyla kısmi ara kat oluşturulması durumunda, bu kısmi ara katın yatay rijitliğinden dolayı çatı diyaframında oluşacak ilave iç kuvvetler ve plandaki burulma düzensizliği dikkate alınacak ya da bu düzensizliğin ortadan kaldırılması için kısmi ara katlı bölüm derz ile ayrılacaktır.” hususuna uygun olmayan ve bu maddeye ek olarak bağlantı detayları da yönetmeliğe uygun olmayan montaj aşamasında olan prefabrike betonarme binaya rastlanmıştır (Şekil



(a)



(b)



(c)



(d)

**Şekil 42.** Malatya 1. O.S.B., (a) Yapı Genel Görünümü (b) Kısmı Ara katlı Bölümler (c) Kolon-Kiriş Bölgesi Bağlantı Detayı (d) Döşeme Tipi

42 a,b,c,d). Yapım aşamasında olan bu binada deprem kaynaklı herhangi bir hasar/sorun izlenmemiştir. Yönetmeliğe göre uygun bağlantı tipi ise

üste ıslak-altta kaynaklı (MAB3) ve manşonlu pimli (MAB4) detaylardır.

Yapı yüksekliklerinin farklı olması du-

rumunda derz düzenlemesinin yapılması özellikle prefabrike yapılarda çok önemlidir. Şekil 43'te gösterilen derz düzenlemesinin uygun olmadığı ve



(a)



(b)

**Şekil 43.** Malatya 1. O.S.B. (a) Derz Düzenlemesinin Uygulanmaması (b) Aşıklarda Oluşan Yanal Sehimler

kot farkı bulunan iki bölümün varlığına karşın ayrılmamış olan prefabrike betonarme binada özellikle aşık elemanlarında yanal sehimler ve bağlantılarda hasarlar oluşmuştur.

Bölgede döşeme elemanları olarak yaygın biçimde TT döşeme panellerinin kullanıldığı, alternatif olarak ise boşluklu döşeme elemanlarından da yararlandığı görülmüştür. Döşeme elemanlarını birbirine bağlayan herhangi bir bağlantı detayına rastlanmamıştır. Bu tür döşemelerde rijit diyaf-ram (levha) etkisinin sağlanmasının binanın genel deprem performansı üzerine olumlu etkisi açıktır.

Prefabrike betonarme yapılarda, yapıldığı yıla ya da kullanıcı isteğine bağlı olarak cephe kaplamaları değişmektedir. Giydirme sandviç panel, prefabrike betonarme cephe elemanları ve tuğla duvarlar sıklıkla tercih edilen cephe kaplamalarını oluşturmaktadır. Bölgedeki sanayi yapılarında özellikle tuğla duvarla gerçekleştirilen cephelerde değişik düzeylerde hasar ve çatlaklar meydana gelmiştir (Şekil 44). Prefabrike betonarme cephe panelleri ise bölgede nadir kullanılmakla birlikte incelenen prefabrike TT düşey cephe elemanla-

rında ve bağlantı bölgelerinde herhangi bir hasara rastlanmamıştır.

### 2.3.3. Prefabrike Binaların Deprem Performansının İyileştirilmesine Yönelik Çalışmalar

SAFECAS T Projesi (Performance of Innovative Mechanical Connections in Precast Building Structures under Seismic Conditions), prefabrike yapılardaki birleşim detaylarının deprem güvenliğinin araştırıldığı, bu konuda kuramsal ve deneysel çalışmaların gerçekleştirildiği bir Avrupa Birliği projesidir. Proje kapsamında, proje ortakları, farklı prefabrike yapı elemanlarının birleşim detaylarını ve deprem güvenliğini incelemişlerdir. Türkiye'den İTÜ ve TPB'nin ortak olduğu projede moment aktaran kolon kiriş birleşimlerinin deprem güvenilirliği üzerinde durulmuştur. İTÜ Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarı'nda gerçekleştirilen tam ölçekli deneysel çalışmalar kapsamında bir adet sanayi yapıları için, bir adet de konut yapıları için moment aktaran birleşim detayı geliştirilmiş ve test edilmiştir [19,20]. Sanayi tipi için geliştirilen birleşim bir tür kompozit bağlantıdır; burada kiriş alt bölgesinde kaynaklı bağlantı,

boşluklu bırakılan kolon ile kiriş üst bölgesinde ıslak bağlantının birlikte kullanılması ile oluşturulan moment aktaran bir bağlantıdır. Uygulamada kiriş alt yüzeyinde boyuna donatılara ve etriyelere kaynaklanan çelik plaka, kolon gusesi üzerinde önceden bırakılan çelik plakaya kaynaklanır. Boşluklu dökülen kolon ile kiriş üst bölgesinde de sonradan "sürgü donatısı" eklenerek topping (üst) betonuna kadar doldurulur; bu şekilde moment aktaran bağlantı teşkil edilmiş olur.

Bu bağlantı ve ilgili detaylar TBDY-2018'de MAB3 tipi bağlantı olarak önerilmiştir. SAFECAS T projesi kapsamında geliştirilen ve TBDY-2018'de önerilen bu birleşim detayı yüksek gö-reli kat ötelemelerinde bile stabilitesini korumakta ve yeterli yapı güvenliğini sağlamaktadır. Özellikle arakatlı prefabrike yapılarda yönetmelikte önerilen bu bağlantı tiplerinin kullanılması yapı güvenliği açısından büyük önem taşımaktadır. Bu bağlantıların yaygınlaşmasıyla ve TBDY-2018'de belirtilen bağlantıların koşullara uygun olarak kullanılmasıyla prefabrike yapılarda deprem hasarlarının azalacağı, performansın artacağı düşünülmektedir.



(a)



(b)

Şekil 44. Malatya 1. O.S.B. (a,b) Tuğla Duvarlarda Oluşan Çatlaklar

#### 2.4. Özel Binalar (Elazığ Fethi Sekin Şehir Hastanesi)

24 Ocak 2020 Doğanyol (Malatya) - Sivrice (Elazığ) Depremi neredeyse tüm yapı gruplarının gerçek deprem etkileri altında doğal olarak denendiği bir deprem olarak kabul edilebilir. Bu binalar arasında Elazığ Fethi Sekin Şehir Hastanesi'nin özel bir yeri bulunmaktadır. Bu hastane otopark katında sürtünmeli sarkaç tipi sismik yalıtım elemanları kullanılan, 1038 yatak kapasiteli ve 2018 yılında inşaatı tamamlanmış betonarme iskelet türü bir hastanedir (Şekil 45). Sismik yalıtımlı yapılarda temel amaç düşük rijitlikli bir katman oluşturulup yapının periyodu-

nun uzatılması ve buna bağlı olarak üstyapıya etkiyen ivmelerin azaltılarak hasarın olabildiğince minimumda tutulmasıdır. Böylelikle, çoğunlukla bina-daki diğer yapısal elemanların tasarım depreminde elastik kalması planlanır. Hastane gibi afet sonrası hemen kullanım gereken yapılarda, sismik yalıtım sistemlerinin kullanılması Sağlık Bakanlığı'nın 2013 yılında yayımladığı genelge ile Türkiye'de hız kazanmıştır. Buna karşılık, hastaneler dışında kullanımın istenen boyutlara geldiğini söylemek güçtür. Dünyadaki örneklerine bakıldığında diğer türden sönümleyicilerin (sıvı, metal) ya tek başlarına ya da izolatörlerle birlikte kullanımının

bu türden önem katsayısı yüksek yapılarda başarıyla ve artan bir hızda yaygınlaştığı bilinmektedir. Türkiye'de de bu tür alternatif kullanımların izlenmesi uygun olacaktır.

Elazığ Fethi Sekin hastanesi 24 Ocak 2020 Doğanyol (Malatya) - Sivrice (Elazığ)  $M_w=6.7$  depreminin merkezüstüne kuş uçuşu olarak yaklaşık  $L=40$  km kadar uzaklıktadır. En yakın AFAD istasyonu (2301 kodlu) hastaneye kuş uçuşu olarak 7.5 km civarında olup bu istasyonda deprem sırasında ölçülen maksimum ivme Doğu-Batı doğrultusunda  $140.73 \text{ cm/sn}^2$  (Gal) (0.143g) olarak paylaşılmıştır [3]. Binada yapı sağlığı izleme sistemi ol-

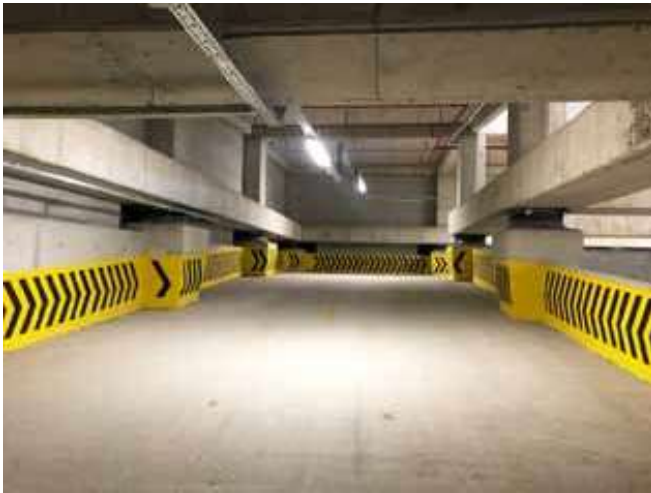


(a)



(b)

Şekil 45. (a) Hastane Genel Görünümü (Yapım Yılı-2018) (b) Kolon Üstüne Konumlandırılan Sürtünmeli Sarkaç Tipi Sismik Yalıtım Elemanı



Şekil 46. Otopark Rampa Bölümü



Şekil 47. İzolasyon Katındaki Taşıyıcı Olmayan Duvar

madığından deprem sırasında izolatörlerin yaptığı maksimum yerdeğiştirme değeri tam olarak bilinmemesine karşın izolatörlerin birinde yerinde yapılan incelemede izolatörün deplasman kapasitesinin çok düşük değerlerinde deplasmanların olduğu anlaşılmaktadır. Yapılan gözlemlerde binanın yerdeğiştirmesine ait izler aranmış, ancak yalıtım elemanlarındaki en içteki koruyucu tabaka kaldırılmadığı için yalıtım sisteminin yaptığı yerdeğiştirmenin izleri tam olarak gözlenememiştir. Bütün bunlara karşın izolatör sistemi deprem sırasında görevini yapmış, hastanedeki faaliyetler kesintisiz olarak deprem sonrasında da sürmüştür.

Şekil 47’de görülen taşıyıcı olmayan duvar üst yapı ile birleşik olarak üretilmiştir. Bu üretim hatasına karşın duvarda sınırlı düzeyde çatlaklar oluşmuştur. Buradan, üst yapının duvarın olduğu bölgede sınırlı düzeyde de olsa hareket ettiği sonucu çıkarılabilir. Bu depremde yapıya ulaşan ivmelerin, tasarım depreminde beklenen ivmelerin çok altında olduğunu da belirtmek yerinde olur; başka bir deyişle, mevcut izolasyon sisteminin gerçek performansının henüz test edilmediği bilinmelidir. Yer yer yıkıcı olan bu depremde, Elazığ Fethi Sekin Şehir Hastanesinin, yapısal olmayan elemanları dahil hasar almaması böylece hastanenin deprem sonrası işlevini sürdürmesi olumlu ve önemlidir. Yapı sağlığı izleme sistemlerinin bir an önce bu tip yapılara kurulması, binaların deprem davranışını değerlendirmek ve yeni bilgiler elde etmek adına oldukça önemli ve gereklidir.

Bölgede herhangi bir çelik yapıda önemli bir soruna ulaşıldığı bilgisi gelmediğinden bu yapı grubu için bu makede yer ayrılmamıştır.

### 3. SONUÇ VE ÖNERİLER

24 Ocak 2020 Doğanyol (Malatya) - Sivrice (Elazığ) Depremi ( $M_w$  6.7-Doğu Anadolu Fay Zonu) sonrasında depremden etkilenen yerleşim bölgelerindeki mevcut binalar üzerinde yapılan gözlemler paylaşılmıştır. Öncelikle depremin özelliklerinden söz edilmiş, sonra sırasıyla yığma/kargir, ahşap kırsal ve geleneksel binalarda, betonarme binalarda, prefabrike binalarda ve özel binalarda (taşıyıcı sistem bakımından) meydana gelen yapısal olan ve olmayan hasarlar olası nedenleriyle birlikte incelenmiştir. Hızlı bir tarama yapılması gerektiğinden, biri dışında, binaların projelerine ulaşmak mümkün olamamıştır. Yapıların deprem yükleri altındaki performanslarına etki eden faktörler sıralanmıştır. Hasarsız yapılarda izlenen iyi performansın da nedenleri üzerinde durulmuştur.

Türkiye’de meydana gelen önceki yıkıcı depremlerden çıkartılan derslerin çoğu bu depremden de elde edilmiştir; değişen önemli bir durum yoktur. Mühendislik hizmeti görmeyen yapılarda hasarlar daha yoğun olup kısmi ya da tümsel göçmeler bu depremde de yaşanmıştır. Malzeme kalitesinden başlayan, taşıyıcı sistemdeki düzensizliklere, tasarım hatalarından uygulama hatalarına kadar giden pek çok neden tek başına ya da çoğu zaman birlikte olduğunda yapılarda performans beklenen düzeye çıkamamaktadır. Özellikle 1999 yılı öncesi binalardaki hasar düzeyleri, bu yıldan sonra yapılanlarla karşılaştırıldığında daha fazladır. Türkiye’de pek çok binanın deprem etkilerine bile gerek kalmadan göçtüğü bilinmektedir; bölgedeki mevcut binalarda yapılan bu incelemede de özellikle eski denebilecek betonarme binaların mevcut yapı stoğumuzun en sorunlu binaları olduğu gerçeğini bir kez daha doğrulamıştır. Deprem sırasında özellikle yatay yerdeğiştirmelerin sınırlana-

madığı betonarme iskelet türü çok katlı yapılarda önemli sorunlar bulunmaktadır. Şehir merkezlerinde genelde bitişik düzende inşa edilmiş halde bulunan bu binaların depremde çarpışma/çekiçleme problemi çok yaygın olup güçlendirme yapılsa bile bu olumsuz durum ortadan kaldırılamamaktadır.

Yapılan incelemeler sonunda yapısal olmayan elemanlardaki hasarların da binaları kullanılmaz hale getirdiği çok sayıda örnek görülmüştür. Bu binalardan bazıları onarılmış, tekrar kullanıma açılmış ve sonucunda azımsanmayacak ekonomik kayıplar yaşanmıştır.

İncelenen binaların pek çoğunda değişik düzeylere varan yapısal olan ya da olmayan hasarların sınıflandırılmasında ve yapı için “doğru” kararın verilmesinde güçlükler yaşandığı anlaşılmaktadır. Yapılması gerekenin, “yenileme” ve “güçlendirme” arasındaki hassas sınırın çok doğru bir biçimde çizilebilmesi olduğu açıktır. Kuşkusuz, performansı uygun olan yapıların güçlendirilmesine de gerek yoktur; buna, ancak uzman ekiplerce karar verilebileceği bilinmektedir. Özellikle son yönetmeliklere uygun olarak tasarlanan ve inşa edilen yapılarda hasarın beklediği üzere minimum seviyelerde kaldığını söylemek güç değildir. Unutulmaması gereken bir nokta ise özellikle büyükşehir merkezlerinde ölçülen en büyük yer ivmelerinin beklenen değerlerin çok altında olduğudur. Başka bir deyişle, mevcut binalarda izlenen hasarlar, göçmeler daha beklenen deprem etkilerine ulaşmadan yaşanmıştır. Hasar/göçme izlenmeyen yapılarda bundan sonra beklenen yer ivmeleri altında hasar/göçme olmayacağı sonucu çıkarılmamalıdır.

Bölgedeki prefabrike binaların yapısal performanslarının bu deprem etkisi altında uygun olduğunu söylemek mümkündür. Çok iyi denebilecek uygulama-

ların yanısıra bu sektörde sıkça yapılan bazı tasarım ve uygulama hatalarının olduğundan da söz etmek yanlış olmaz. Yine de özellikle 1999 depremleri sonrasında prefabrike binalardaki hasarlardan, göçmelerden önemli dersler çıkartılarak, daha düzgün denebilecek uygulamalara rastlamak sevindirici olmuştur. Prefabrike yapıların yalnızca sanayi yapıları alanında değil, uygun/sünek birleşim detaylarının kullanılması koşuluyla, çok katlı binaların (örneğin konut, hastane, okul vb) olduğu alanlarda da etkin/yaygın bir biçimde kullanılması sektöre ve topluma önemli katkıda bulunacaktır.

Her deprem sonrasında kamuda ve özel sektörde yoğun onarım ve güçlendirme çalışmaları yapılmaktadır; bu deprem sonrasında da böyle bir durum beklenmektedir. Türkiye'nin bu konuda uluslararası düzeyde önemli deneyimi vardır. Bu deneyiminden uygun bir biçimde yararlanılması, ilkeli ve her binanın kendine özgü özellikleri ile "gerçek" hasar durumu göz önüne alınarak hazırlanacak kapsamlı bir projeye göre güçlendirilmesi zorunludur. Bölgede deprem öncesinde güçlendirilen bazı kamu binalarının depremdeki performansları kabul edilebilecek düzeydedir; uygun güçlendirme yapılması durumunda yapılarda hasar sınırlandırılabilen, göçme ise tamamen önlenmektedir. Bölgedeki hasarlı binalarda çok değişik türden (konvansiyonel ve ileri) güçlendirme yöntemlerinin kullanılabilmesi açıktır. Bu bağlamda, önem katsayısı yüksek binalarda hasar kontrollü güçlendirme yöntemleri (örneğin sıvı ya da metal sönümleyiciler) özellikle önem kazanmaktadır.

## TEŞEKKÜR

Yazarlar Elazığ ve Malatya'da yaptıkları incelemeler sırasında her türlü desteği ve yardımı esirgemeyen

- Elazığ İMO Temsilcisi İnşaat Mühendisi Hıdır Kaya'ya,
  - İnşaat Mühendisi Mustafa Yalçın'a,
  - İnşaat Mühendisi Ahmet Rasim Sağ'a,
  - İnşaat Mühendisi Mehmet Murat Selçuk'a,
  - İnşaat Mühendisi Harun Yavuz'a,
- teşekkür etmeyi bir borç bilirler. 1. ve 4. yazarlar İTÜ, 2. yazar NKÜ, 3.yazar MSGSÜ tarafından bu incelemeyi yapmak üzere bölgede görevlendirilmiş olup yazarlar bu görevlendirmeler için üniversitelerine teşekkür ederler. Makale kapsamında yapılan tüm değerlendirmeler yazarların görüşünü/gözlemlerini yansıtmaktadır.

## KAYNAKLAR

- [1] Prof.Dr.Tuncay Taymaz ile kişisel söleş.
- [2] <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/24-ocak-sivrice-elazig-depremi-2/B.U.> Kandilli Rasathanesi ve DAE. Bölgesel Deprem-Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi, 24 Ocak Sivrice-Elazığ Depremi, Basın Bülteni.
- [3] AFAD, 24 Ocak 2020 Sivrice (Elazığ) M<sub>w</sub> 6.8 Depremine İlişkin Ön Değerlendirme Raporu, Deprem Dairesi Başkanlığı, Ocak 2020. AFAD, 24 Ocak 2020 Sivrice (Elazığ) Depremi Raporu. Şubat 2020.
- [4] Taymaz, T., Eyidogan, H., and Jackson, J.A. (1991). Source Parameters of Large Earthquakes in the East Anatolian Fault Zone (Turkey), Geophysical Journal International-Oxford, 106, 537-550.
- [5] Özgen, K., Çılı, F., Çelik, O.C. (1992). Erzincan Depremi'nden Gözlemler, YAPI, Sayı 129, s.35-41.
- [6] Çelik, O.C, Çılı, F., Özgen, K. (2000). 17 Ağustos 1999 Kocaeli (İzmit) Depremi'nden Gözlemler, YAPI, Sayı 218, s.65-76.
- [7] AFAD, 2018. Türkiye Deprem Tehlike Haritası. <https://deprem.afad.gov.tr/deprem-tehlike-haritasi>

- [8] AFAD, 24 Ocak 2020 Sivrice (Elazığ) Depremi Raporu, Deprem Dairesi Başkanlığı, Şubat 2020.
- [9] Sesigür, H., Çelik, O.C. ve Çılı, F. (2007). Tarihi Yapılarda Taşıyıcı Birleşenler, Hasar Biçimleri, Onarım ve Güçlendirme, İMO İstanbul Bülten 89, s.10-21.
- [10] Aytaç, İ. (2015). Geleneksel Malatya Evleri Envanteri, Malatya Büyükşehir Belediyesi.
- [11] Sesigür, H., Çelik, O.C. ve Çılı, F. (2006). Gazbeton Binaların Deprem Yükleri Altındaki Performansı, 3.Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi, İTÜ Mimarlık Fakültesi, Taşkışla, İstanbul, s.88-100.
- [12] Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik 1975, (ABYYHY 1975).
- [13] Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik 1998, (ABYYHY 1998).
- [14] Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007, (DBYBHY 2007).
- [15] Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği-2018, (TBDY-2018).
- [16] Zorbozan, M., Barka, G. ve Sarıfakioğlu, F. (1998). Ceyhan Depreminde Prefabrik Yapılarda Görülen Hasarlar, Nedenleri ve Çözüm Önerileri, Beton Prefabrikasyon Dergisi, 48, 20-24.
- [17] Ataköy H. (1999). 17 Ağustos 1999 Marmara Depremi ve Türkiye Prefabrik Birliği Üyelerince Yapılan Prefabrike Yapılar, Beton Prefabrikasyon Dergisi, 52, 5-14, 1999.
- [18] Elazığ O.S.B., Malatya 1.O.S.B., Malatya 2.O.S.B ile yapılan görüşmeler.
- [19] Karadoğan F., Yüksel E., Bal İ.E. (2012). Safecast Araştırma Projesinin Bir Parçası Olarak İki Tip Prefabrike Dış Kolon – Kiriş Birleşim Bölgesi, Beton Prefabrikasyon Dergisi, 102, 7-62.
- [20] Yüksel E., Karadoğan H. F., Bal İ. E., İlki A., Bal A., İnci P. (2015). Seismic behavior of two exterior beam column connections made of normal strength concrete developed for precast construction, Engineering Structures, vol. 99, pp. 157-172.