19 MAYIS 2011 KÜTAHYA-SİMAV DEPREMİNDE MEYDANA GELEN YAPISAL HASARLARIN NEDENLERİ

T.S. Köksal[1], Ö. Avşar[2] ve N. Yılmaz[2]

[1] *İnşaat Yük. Müh., Deprem Dairesi Başkanlığı, Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara*
[2] *Dr. İnşaat Y. Müh., Deprem Dairesi Başkanlığı, Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara*
Email: selcuk.koksal@afetacil.gov.tr

ÖZET:

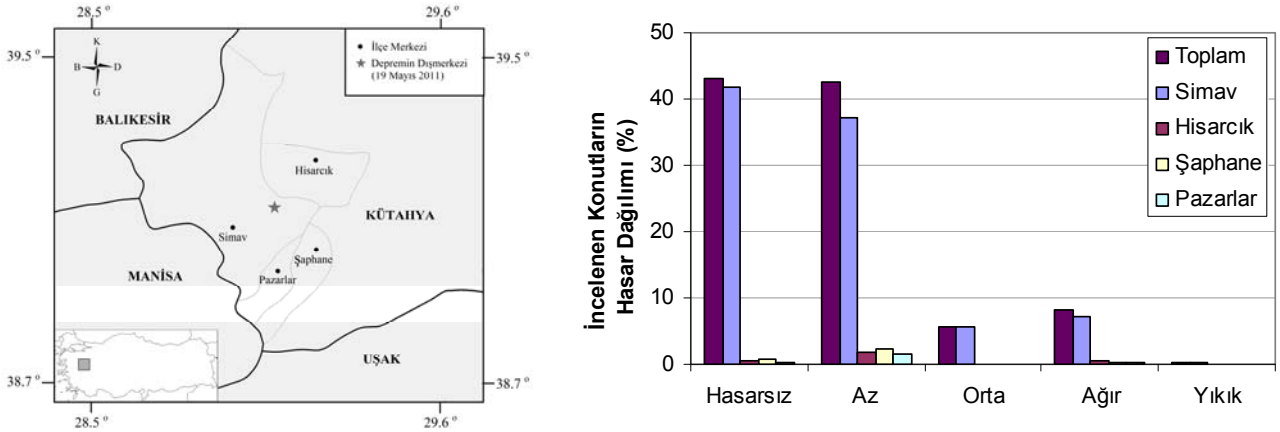
19 Mayıs 2011 tarihinde meydana gelen M_L=5.7 büyüklüğündeki Kütahya-Simav depremi bölgedeki yığma ve betonarme binalarda hasara neden olmuştur. Gerek depremin merkez üssüne yakın olması gerekse yerel zemin koşulları nedeniyle yapı hasarının özellikle Simav ve çevre köylerinde yoğunlaştığı görülmüştür. Deprem sonrası yerinde yapılan incelemelerde farklı yapı türlerinin farklı seviyelerde hasara maruz kaldığı gözlenmiştir. Bu çalışmada konut türü binalardaki yapısal hasarların nedenleri üzerinde durulmuştur. Yapı stokundaki mevcut binaların büyük bir bölümünün yeterli deprem dayanımına sahip olmamaları nedeniyle, orta büyüklükteki böyle bir depremde beklenenden daha büyük seviyede yapısal hasarla karşılaşılmıştır. Ülkemizin diğer bölgelerinde bulunan deprem güvenliği yetersiz binalarda önceki depremlerde gözlenen hasar türleri, bu depremde de yeniden gün yüzüne çıkmıştır. Yapıların tasarımında ve inşasında yapılan yönetmelik hükümlerine aykırı uygulamalar ve detaylandırmalar, uygun olmayan malzeme kalitesi ve kötü işçilik nedeniyle yapılan hatalar meydana gelen yapısal hasarın bu seviyede olmasının başlıca nedenlerindendir.

ANAHTAR KELİMELER: Yapısal Hasar, Betonarme, Yığma Yapı

1. GİRİŞ

19 Mayıs 2011 tarihinde yerel saat ile 23:15'de Kütahya ilinin Simav ilçesinde orta büyüklükte bir deprem meydana gelmiştir. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi kayıtlarına göre M_L=5.7 büyüklüğündeki bu depremin dışmerkez koordinatları 39.1328K - 29.0820D ve odak derinliği 24.46 km'dir. 84 istasyon tarafından kaydedilerek Türkiye'de bir depremde elde edilen veri olarak en yüksek kayıt sayısına sahip olan depremin odak mekanizması çözümleri normal faylanmayı işaret etmektedir. Ayrıca deprem sonrası 3,0'den büyük 500'den fazla artçı deprem meydana gelmiştir. Orta büyüklükteki bu deprem başta Simav ilçe merkezi ve köyleri olmak üzere bölgede önemli yapısal hasara neden olmuştur. Resmi ön hasar tespit sonuçlarına göre depremin Kütahya'nın Simav, Şaphane, Hisarcık ve Pazarlar ilçelerinde "genel hayata etkili" olduğu ilan edilmiştir (Şekil 1.a). Bu ilçe merkezleri ile köy ve beldelerinde yürütülen hasar tespit çalışmaları kapsamında incelenen 31.127 konut, işyeri, depo, ahır ve samanlıktan 199'unun yıkık, 2.867'sinin ağır hasarlı, 1.761'inin orta hasarlı, 13.131'inin az hasarlı, 13.169'unun hasarsız olduğu tespit edilmiştir. Şekil 1.b'de incelenen konutların hasar dağılımı grafiksel olarak gösterilmiştir. Buna göre hasarın büyük bölümü Simav ilçesinde meydana gelmiştir. Geçmişte ülkemizde meydana gelen depremlerde de gözlendiği gibi kalitesiz malzeme ve kötü işçilik, depreme dayanıklı yapım tekniklerine uyulmaması ve sünek olmayan sismik detaylandırma bu seviyede yapısal hasarın oluşmasında etkili olan kusurlardır.

Bu çalışmada Kütahya-Simav Depremi sonrası binalarda oluşan hasarın nedenlerini araştırmak üzere yapılan saha incelemeleri özetlenmektedir. Farklı hasar tiplerinin meydana geldiği betonarme ve yığma yapılarda gözlenen hasarlar ayrı ayrı ele alınmıştır. Burada sunulan hasarlar çoğunlukla Simav ilçe merkezi ve yakın köylerinde (Beyce, Eğirler, Gökçeler ve Yeşilova) gözlenmiştir.



(a) Afet bölgesi ilan edilen 4 ilçe (b) Konut bazlı hasar dağılımı

Şekil 1. Depremden etkilenen yerleşim yerleri ve konutların hasar dağılımı

2. BÖLGEDEKİ BİNALARIN GENEL ÖZELLİKLERİ

Bölgedeki binaların yapı tipleri ve kullanılan yapı malzemeleri, yerel halkın sosyo-ekonomik düzeylerine bağlı olarak değişmektedir. Köylerde 1-2 katlı, ahşap çerçeveli, taşıyıcı duvar malzemesi olarak taş, kerpiç ya da tuğla blokların kullanıldığı "hımış" türü kırsal yığma binalar en yaygın yapı tipidir. Bu binalarda harç ve sıva malzemesi olarak çamur kullanılmıştır. Genellikle ilk katı taş, ikinci katı kerpiç ya da tuğla duvarlardan oluşan karma türü binalar bölgede yaygın olarak gözlenmiştir. Bölgedeki kötü yapım ve malzeme kalitesine sahip binalar genellikle yerel halk tarafından depreme dayanıklı tasarım ve yapım kurallarına uyulmadan bölgedeki mevcut malzeme kullanılarak geleneksel tekniklerle inşa edilmiştir. Bölgede özellikle yeni yapılan yapılarda betonarme çerçeve türü binalar da bulunmaktadır. Simav ilçe merkezinde 3-6 katlı, dolgu duvarlı betonarme çerçeve türü ve 1-4 katlı harman tuğlalı yığma binalar en yaygın yapı tipidir. Betonarme binaların çoğunda bodrum katı bulunmaktadır. Bu binalarda genellikle düz donatı ve uygun olmayan agrega dağılımına sahip, yerinde dökme beton kullanılmıştır.

3. BETONARME BİNALARDA GÖZLENEN HASARLAR VE NEDENLERİ

Betonarme binalarda gözlenen hasarlar yapısal hasar ve yapısal olmayan hasar olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Yapısal hasarlarının çoğunlukla sünek olmayan betonarme eleman detaylandırması, kötü malzeme ve işçilik kalitesi ile yapım sırasındaki hatalı uygulamalardan kaynaklandığı görülmüştür. Bölme ve kalkan duvarlarda düzlem içi ve düzlem dışı meydana gelen hasarlar yapısal olmayan hasarlar olarak nitelendirilebilir.

Betonarme binalarda yaygın olarak gözlenen yapısal hasar türlerinden birisi kısa kolonlarda oluşan kesme kırılmasıdır (Şekil 2). Kısa kolonlar, genellikle bodrum ve zemin katlardaki kolonlar arasındaki dolgu duvarlarda ya da bodrum perde duvarlarında açılan boşluklar nedeniyle oluşmuştur. DBYBHY (2007)'de kısa kolonların gevrek kırılmasını önlemek için kolon sarılma bölgesini kısa kolon boyunca uzatmak gibi bir takım özel tedbirler yer almasına rağmen incelenen binalardaki kısa kolonlarda yapılan incelemelerde bu tür bir etriye sıklaştırmasının yapılmaması, etriyelerin doğru detaylandırılmaması ve beton kalitesinin kötü olmasının kesme kırılmalarına neden olduğu görülmüştür.

Pek çok binada kolon-kiriş birleşim bölgelerinde enine donatının yetersiz olması veya bulunmayışı ve ayrıca kötü beton kalitesi nedeniyle gevrek kesme kırılmaları gözlenmiştir (Şekil 3.a-b). Kolon-kiriş birleşim bölgelerinde gözlenen bir diğer hasar türü de birleşim bölgesindeki kolon ve kiriş betonlarının ayrı zamanlarda dökülmesi sonucu oluşan soğuk derzlerdeki yatay düzlemsel çatlaklardır (Şekil 3.c).

(a) Kısa kolonda oluşan diyagonal çatlama

(b) Kısa kolon kesme kırılması

Şekil 2. Kısa kolon hasarlarına örnekler

(a) Birleşim bölgesinde enine donatının bulunmaması

(b) Birleşim bölgesinde kesme kırılması

(c) Kolon üst ucunda soğuk derz

Şekil 3. Kolon-kiriş birleşim bölgelerindeki hasarlara örnekler

Bölgedeki binaların taşıyıcı elemanlarında yetersiz enine donatı ve düşük beton kalitesi nedeniyle kesme çatlakları da gözlenmiştir (Şekil 4). Kesme çatlakları kirişlerden ziyade daha çok kolonlarda görülmüştür. Enine donatının kolon uçlarında sarılma bölgeleri oluşturarak yeterli kesme dayanımı sağlayacak şekilde detaylandırılmaması kolonlardaki hasarların en yaygın gözlenen nedenlerinden birisidir. Kolon sarılma bölgelerindeki geniş etriye aralıkları ve 90° bükülen etriye kancalarının açılması boyuna donatılarda burkulmalara neden olmuştur (Şekil 5). Ayrıca etriye olarak küçük çaplı donatı kullanılarak etriyelerin hasar görmesi nedeniyle betonarme kolonlarda ağır hasar meydana gelmiştir (Şekil 5-c).

(a) Kolon kesme çatlağı

(b) Kolon kesme çatlağı

(c) Kiriş kesme çatlağı

Şekil 4. Kolon ve kirişlerdeki diyagonal kesme çatlaklarına örnekler

(a) Geniş etriye aralıkları (b) 90° bükülen etriye kancalarının açılması (c) Küçük çaplı etriye donatısı

Şekil 5. Kolon sarılma bölgesinin doğru detaylandırılmaması sonucu oluşan hasarlara örnekler

Simav'da nadir de olsa yumuşak kat mekanizmasının oluştuğu hasarlı binalara rastlanmıştır. Ana caddeler üzerindeki binaların genellikle ticarethane olarak kullanılan zemin katlarında büyük açıklıklar sağlamak için büyük kat yüksekliği, caddeye paralel dolgu duvar oranının azaltılması, kolonların zayıf eksenlerinin yanlızca bir yönde olacak şekilde yerleştirilmesi gibi uygulamalar zemin kat kolonlarının deformasyon taleplerinde artmaya neden olmuştur. Uygun olmayan yapı malzemesi, kötü işçilik, kolonların sünek olmayan tasarımı ve detaylandırması ile birleşen bu yüksek deformasyon talepleri, betonarme binaların zemin katlarında yumuşak kat mekanizması oluşumuna hatta zemin katın tamamen yıkılmasına sebep olmuştur (Şekil 6).

(a) İlk katı yıkılan bir bina (b) Yumuşak kat mekanizması

Şekil 6. Yumuşak kat mekanizması oluşumu sonucu hasar gören ve yıkılan binalara örnekler

Düşük beton kalitesi betonarme elemanlarda yapısal hasara neden olan bir diğer faktördür. Hasarlı binaların çoğu deneyimsiz kişiler tarafından yerinde dökme beton kullanılarak inşa edilmiştir. Genel olarak beton uygun olmayan agrega dağılımına sahiptir (Şekil 7.a). Beton kesitlerde tahta, taş, çimento torbası gibi betonda süreksiz bölgeler yaratan değişik cisimlere rastlanmıştır (Şekil 7.b). Özellikle eski betonarme binalarda yetersiz pas payı nedeniyle donatılarda paslanma gözlenmiştir (Şekil 7.c).

(a) Kötü agrega boyut dağılımı (b) Beton içerisinde tahta parçası (c) Paslanmış donatı çubukları

Şekil 7. Kötü beton kalitesine örnekler

Betonarme binaların dolgu duvarları çoğunlukla boşluklu tuğla ile inşa edilmiştir. Genellikle zemin katta yoğunlaşan dolgu duvar hasarları ya düzlem içi ya da düzlem dışı yönde gelişmiştir. Düzlem dışı hareketin engellendiği durumlarda düzlem içi dolgu duvar hasarları betonarme elemanlar arasında diyagonal kesme çatlakları ve ayrıca yatay ve dikey çatlaklar şeklinde oluşmuştur (Şekil 8.a). Düzlem dışı dolgu duvar hasarları ise dolgu duvarların ayrılması, bir bölümünün ya da tamamının yıkılması şeklinde görülmüştür (Şekil 8.b). Bölgede yaygın olarak gözlemlenen bir diğer hasar çatılardaki kuşatılmamış kalkan duvarların düzlem dışı yönde yıkılmasıdır (Şekil 9).

(a) Dolgu duvarların düzlem içi kırılması (b) Dolgu duvarların düzlem dışı kırılması

Şekil 8. Dolgu duvar hasarlarına örnekler

(a) (b) (c)

Şekil 9. Kalkan duvar hasarlarına örnekler

4. YIĞMA BİNALARDA GÖZLENEN HASARLAR VE NEDENLERİ

Yığma yapılarda hasara neden olan başlıca faktörler kötü malzeme kalitesi, kötü işçilik ve depreme dayanıklı yapım tekniklerine uyulmamasıdır. Taş yığma binalar, bu faktörlere ilave olarak diğer yığma türü binalara kıyasla daha ağır olduklarından daha büyük atalet kuvvetlerine maruz kalmaktadır. Bu nedenle en kötü deprem performansına sahiptirler. Ahşap çerçeveler ve dolgu elemanlarından oluşan "hımış" türü yığma binalar en yaygın yığma bina türüdür ve diğer yığma binalara göre daha iyi performans göstermiştir. Hımış türü binaların diğerlerine kıyasla daha hafif olması ve ahşap elemanlarla kuşatılması en önemli avantajlarıdır. Yaygın olan olan bir diğer yığma bina türü, zemin katı taş ya da kerpiç, üst katları ise hımış ya da diğer yığma türlerinden oluşan karma türü yığma binalardır. Bu binalarda hasar genellikle zemin katlarda yoğunlaşmıştır.

Yığma binalarda gözlenen hasar türleri kullanılan malzeme ve yapım tekniklerine göre değişmektedir. Yük taşıyan duvarların uygun şekilde bağlanmaması nedeni ile duvarların ayrışması ve hatta yıkılması en çok gözlenen hasar türüdür. Özellikle birbirine dik tuğla duvarların bina köşelerinde yapısal bütünlük oluşturacak şekilde birleştirilmemesi, köşe duvarların birbirinden ayrılmasına ve mesnetlenmemiş duvar boyunun çok uzun olduğu duvarların düzlem dışı yıkımına sebep olmuştur (Şekil 10).

(a) Köşe duvarların ayrılması

(b) Köşe duvarların ayrılması

(c) Mesnetlenmemiş duvar boyu uzun duvarların düzlem dışı yıkılması

Şekil 10. Birbirine dik duvarların düzgün birleştirilmemesi sonucu oluşan hasarlara örnekler

Yığma binalarda gözlenen hasarın bir diğer nedeni diyafram etkisi yaratabilecek nitelikte, rijid döşeme ve yatay hatıllardan oluşan bir döşeme sisteminin bulunmayışıdır. Bölgedeki yığma binalardaki döşeme sistemleri çoğunlukla tek doğrultuda yerleştirilmiş ahşap kirişler ve çatı elemanlarından oluşmaktadır. Tam bir diyafram etkisinden yoksun olan bu döşeme sistemi, yük taşıyıcı duvarları yapısal bütünlük sağlayacak şekilde bir arada tutma özelliğine sahip değildir. Tam bir diyafram etkisine sahip olmayan yığma binalardaki bir diğer zayıflık döşeme sistemi ile duvarlar arasındaki bağlantının yetersizliğidir. Bölgede döşeme ile duvarlar arasındaki ayrılmalar duvarların birbirinden bağımsız hareket etmesine ve zayıf yönde (duvarların düzlem dışı yönü) yıkılmalarına sebep olmuştur (Şekil 11).

Duvarlardaki boşlukların sayısı, boyutu ve konumları, yığma binaların deprem dayanımında oldukça etkilidir. Deprem Yönetmeliğimizde (DBYBHY, 2007) duvar boşluklarının konumları ve miktarları için bir takım kısıtlamalar bulunmaktadır. Bölgede büyük duvar boşlukları nedeniyle hasar görmüş birçok yığma yapı

bulunmaktadır. Ayrıca duvar boşluğunun köşeye veya yanındaki boşluğa mesafesinin küçük olmasından dolayı yük taşıyıcı duvarlarda yıkılmalar gözlenmiştir (Şekil 12).

(a)

(b)

Şekil 11. Yeterli diyafram etkisi sağlanamaması sonucu duvarların düzlem dışı yıkılmasına örnekler

(a) Duvar boşlukları ile bina köşesi arasındaki mesafenin yetersiz oluşu

(b) Duvar boşlukları arasındaki mesafenin yetersiz oluşu

(c) Büyük pencere ve kapı boşlukları

Şekil 12. Duvar boşlukları nedeniyle oluşan yığma bina hasarlarına örnekler

(a)

(b)

(c)

Şekil 13. Kötü malzeme ve işçilik kalitesi nedeniyle yıkılan taş ve kerpiç duvar örnekleri

Özellikle kırsal yığma binalarda yapı malzemesi olarak yerel taş ve kerpiç, harç malzemesi olarak ise çamur kullanılmıştır. Bu binalar genellikle bina sahipleri tarafından depreme dayanıklı yapım tekniklerine özen gösterilmeden inşa edilmiştir. Giriş katı duvarlarında genellikle düzensiz geometriye sahip moloz taşlar uygun bir detaylandırma yapılmadan kullanılmıştır. Taş ve kerpiç duvarlar, genellikle iç ve daha kalın olan dış duvardan oluşmaktadır. Bu iki duvarı oluşturan birimlerin birbirine düzgün bir şekilde bağlanmaması sonucu dış duvarların düzlem dışı yıkılması şeklinde oluşan yığma bina hasarları bölgede yaygın olarak gözlenmiştir (Şekil 13). Taş ve kerpiç elemanların zaman içinde yıpranması ve harç malzemesi olarak çamur kullanılması, bu gibi yığma binaların düşük deprem performansına sahip olmalarında önemli ölçüde etkili olmuştur.

5. SONUÇLAR

19 Mayıs 2011 tarihinde meydana gelen ve orta büyüklükte bir deprem olarak nitelendirilebilecek Kütahya-Simav depremi binalar üzerinde beklenin üzerinde hasara neden olmuştur. Yerel zemin koşulları ve fay yırtılma mekanizmasının depremlerde meydana gelen hasar üzerinde belirli bir oranda katkısı olduğu bilinmektedir. Fakat sahada yapılan incelemelerde, bu depremde meydana gelen yapısal hasarın asıl kaynağını geçmiş depremlerde de sıkça tecrübe ettiğimiz üzere binaların tasarımı, detaylandırılmaları ve yapımı sırasındaki depreme dayanıklı tasarım ilkelerine aykırı ve yönetmelik hükümlerine uymayan hatalı uygulamaların oluşturduğu görülmüştür. Saha incelemeleri sonucunda yapısal hasara neden olan en yaygın faktörler şöyle sıralanabilir:

- Betonarme binalarda kullanılan kalitesiz malzeme; uygun olmayan agrega dağılımına sahip beton, beton içindeki yabancı maddeler, paslanma önlemi alınmamış düz donatı,
- Kesme kırılması ile sonuçlanan kısa kolon oluşumuna neden olabilecek uygulamalar; bant pencereler,
- Kiriş-kolon birleşim bölgesi ve eleman uçlarındaki plastikleşme bölgelerinde etriye uygulamasının yeterli sünekliliği sağlayacak şekilde yapılmaması; etriye sıklaştırılması olmaması, etriye kancalarının 135° kıvrılmaması, küçük çaplı etriye donatısı kullanılması,
- Dolgu ve kalkan duvarların düzlem dışı devrilmelerini engelleyecek detaylandırmanın yapılmaması,
- Yumuşak ve zayıf kat oluşumuna neden olan uygulamalar,
- Yığma yapılarda kullanılan kötü yapı malzemesi ve depreme dayanıklı tasarım ilkelerine aykırı uygulamalar ve detaylandırmalar,
- Yığma yapılardaki boşluk oranının fazla olması ve uygun olmayan boşluk yerleşimi; köşeye ve birbirine yakın olan kapı ve pencere boşlukları,
- Yığma yapılarda birbirine dik duvarların yapısal bütünlüğü sağlayacak şekilde bağlanmaması ve diyafram etkisini sağlayacak döşeme sisteminin bulunmayışı.

KAYNAKLAR

Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY), 2007, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı.