



BETONARME BİNALARIN DEPREM SONRASI ACİL HASAR DEĞERLENDİRMELERİ

İSA YÜKSEL*

Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Zonguldak

ÖZET

Betonarme binalarda deprem sonrası acil hasar değerlendirme ilkeleri tek başına bir bina için performans değerlendirme ilkelerinden oldukça farklıdır. Hasar tespiti ve özellikle kullanılabilirlik araştırmaları depremin hemen ardından gelen çok sayıda çağrı ile başlayıp kısa sürede ve genellikle acil bir durumda yapılması gereken bir iş olarak nitelendirilir. Bu işlemlerin hızlı bir şekilde elde edilen bilgiler ve bunların değerlendirilmesiyle sonuçlandırılması gerekir. Deprem sonrası ilk hasar tespit ve değerlendirmelerin bilinçli bir şekilde yapılması ve incelemeye konu bina hakkında verilen kararın uygunluğu söz konusu acil tespiti yapan yapı mühendisinin bilgi, beceri ve deneyimi ile doğru orantılıdır. Üstelik gözlenen hasarın iyi değerlendirilmesi, yapı performansının daha iyi anlaşılmasına ve uygun maliyetli bir iyileştirme tasarımı yapılmasına da yardım edecektir. Yapısal hasarların sınıflandırılması ve tek bir nedene dayandırılması çok zor ve bazen de olanaksızdır. Bu çalışmada, hasar sınıflandırmadaki zorluklara rağmen, yapısal hasarları sınıflandırmaya ve sık gözlenen yapısal hasar nedenlerini açıklamaya yönelik bir girişim yapılmıştır. Deprem sonrası acil hasar tespit ve kullanılabilirlik araştırmasının ilkeleri açıklanmıştır. Sık görülen yapısal hasarlar üzerinden bunları değerlendirme esasları açıklanmıştır. Ayrıca, bir deprem sonrasında acil inceleme ve araştırmaların sistematik bir şekilde yapılabilmesi için deprem öncesinden bazı organizasyonların yapılması gereği de vurgulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Betonarme bina; Birinci kademe değerlendirme; Deprem; Hasar tespiti.

POST-EARTHQUAKE EMERGENCY DAMAGE ASSESSMENTS OF REINFORCED CONCRETE BUILDINGS

ABSTRACT

Principles of post-earthquake emergency damage assessment of reinforced concrete structures are different than the principles of performance assessment for a single building. Damage assessment and especially usability surveys are characterised by a very large number of calls for inspection after the earthquake, by the need of providing answers in a short time and, more in general, by the emergency situation. They need to be carried out very quickly, based on information which can be immediately deduced and on their interpretation. Conscious evaluation of damage to structures after an earthquake is proportional to sound knowledge and experience of the structural engineer who observed and inspected the building. Furthermore, good assessment of observed damages will help a better understanding of building performance and a cost-efficient retrofit design. Classification of structural damages and to respond each of this only one cause is very difficult. In this paper, despite all the difficulties inherent in a damage classification, an attempt was made to categorize structural damages, and the reasons of structural damages encountered frequently were explained. Evaluation principles of emergency post-earthquake damage inspection and usability surveys were explained. Also, the needs of pre-earthquake organizations are stated in order to make emergency damage assessments systematically after an earthquake.

Keywords: Reinforced concrete building; Earthquake; Emergency assessment; Damage inspection.

*E- posta: yukselisa@yahoo.com

1. GİRİŞ

Deprem sonrasında yapılardaki hasarın hızlı ve gerçekçi bir biçimde belirlenmesi ve binaların kullanılabilirliğinin araştırılması, sorumlu ve yetkili kuruluşlar tarafından acilen yapılmak durumundadır. “Deprem Sonrası Acil Hasar Tespiti” diye adlandırılan bu işlemle, depremden hemen sonra artçı sarsıntıların devam ettiği süre içinde binaların güvenilirliğinin araştırılması ve tehlikeli olanların boşaltılması yoluyla, yöre insanının can güvenliğinin sağlanması amaçlanmaktadır [1].

Bir yapının kullanım süresi içinde ortaya çıkan herhangi bir durumun müsamaha (hoşgörü) sınırlarını geçmesi genel anlamda hasar olarak tanımlanmıştır [2]. Yapısal hasar ise, bir yapının veya yapı elemanının kullanımı sırasında standart veya tanımlanmış özelliklerini herhangi bir nedenden ötürü kısmen yitirmesi olarak tanımlanabilir. Betonarme binalarda yapısal hasar meydana getiren başlıca neden depremdir. Türkiye’deki yapı stoğunun da çok büyük bir kısmı betonarme çerçevelerden oluşmaktadır. Geçen yıllarda meydana gelen depremler bu tür yapıların, orta veya şiddetli bir deprem sonrasında birçok nedene bağlı olarak hasara uğradığını göstermiştir. Tasarım ve yapım sırasında gereken özen gösterilmemiş binaların hasar görme olasılığı depremin büyüklüğüne bağlı olarak değişmektedir [3]. Deprem güvenliği sağlanmış betonarme bir yapı yeterli dayanım, süneklik, ve rijitliğe sahip olmalıdır. Temelden itibaren yapı taşıyıcı sisteminin düzenlenmesi, malzeme dayanımı ve taşıyıcı elemanlarda donatı düzenlenmesindeki detaylara gösterilen hassasiyet gerekli dayanım, süneklik ve rijitliğin yapıya kazandırılması ile doğru orantılıdır.

Betonarme binalarda “deprem sonrası acil hasar tespiti”ni yapacak mühendisin depremden kaynaklanan hasar türleri, bunların her birinin sistem taşıma gücüne etkisi hakkında yeterli bilgi ve deneyim sahibi olması, yapı hakkında o anda verilecek kararı doğrudan etkileyecektir. Bu incelemelere göre, yapıların basitçe üç gruptan (kullanılabilir, kullanılamaz, yıkık) hangisine girdiğine karar verilerek buna ilişkin işaretleme yapılır. Kullanılabilir durumdaki yapılar hasarsız ya da az hasarlı yapılardır. Kullanılamaz durumdaki yapılar ise aldığı hasar nedeniyle o an için kullanılması sakıncalı görülen orta hasarlı yapılardır. Bu yapıların bir kısmı daha sonradan onarım-güçlendirmeye tabi tutularak “güvenlikle kullanılabilir” hale getirilebilir. Yıkık durumdaki yapıların ise arama-kurtarma çalışmaları sonunda enkazı kaldırılır.

Bu çalışmanın amacı deprem sonrası acil hasar tespiti için değerlendirme esaslarını ortaya koymak, acil hasar tespit çalışması yapacak kişilere kılavuz bilgiler vermektir. Betonarme binalarda deprem sonrası sıkça gözlenen bazı yapısal hasarın türleri, oluşum mekanizmaları, nedenleri ve sonuçları hakkında kısa bilgiler verilmiştir. Acil hasar tespiti sırasında özellikle dikkat edilmesi gereken hususlar geçmiş

depremlerde gözlenen hasarlar yardımıyla vurgulanmaya çalışılmıştır. Çalışmanın kapsamı yapı türlerinin çokluğu nedeniyle yalnızca betonarme binalar ile sınırlandırılmıştır.

2. ACİL DEPREM HASARI TESPİT ÇALIŞMALARI

Depremler tüm dünyada mühendislik yapılarına az veya çok hasar vermektedir. Oluşan bu hasarlar depremin büyüklüğüne, ülkenin veya depremden etkilenen bölgenin sosyo-ekonomik durumuna bağlı olarak değişmektedir. Türkiye’de yakın geçmişte yaşanan depremlerden sonra yapılan gözlem ve diğer araştırma sonuçlarına göre deprem hasar nedenleri üç gruba ayrılabilir [4–5]. Bunlar:

- Projelendirme hataları (yumuşak kat, yetersiz yanal rijitlik, kısa kolon, güçlü kiriş-zayıf kolon bağlantı türü, düşey ve yatay doğrultuda düzensizlik, vs.)
- Donatı işlenmesi ile ilgili hatalar (yetersiz sargılama, düğüm noktalarında yetersiz veya eksik donatı düzenlemeleri, yetersiz veya yanlış kenetlenme, vs.)
- Yapım hataları (kötü işçilik, denetim yetersizliği, düşük malzeme dayanımı, eksik veya yanlış etriye bağlantıları, yanlış düzenlenmiş kolon filizleri, vs.)

olarak sıralanabilir. Ayrıca, doğrudan zeminle ilgili sorunlar da pek çok yapısal hasarın nedeni olabilmektedir. Sıvılaşma, zeminde aşırı oturma ve kaymalar zeminden kaynaklanan hasar nedenlerine örnek olarak sayılabilir.

Mevcut binaların deprem etkisindeki davranışını değerlendirmek ve hasar tespitleri için birçok yöntem geliştirilmiştir. Japonya, İtalya, Türkiye, ABD gibi ülkelerde hasar tespit ve yapının kullanılabilirliğini değerlendirmeye yarayan formlar ve bunlara ait kılavuzlar bulunmaktadır. Örneğin, Japonya’da 1991 yılında yayınlanıp 2001 yılında revize edilen Deprem Sonrası Hasar değerlendirme ve Rehabilitasyon Kılavuzu [6] mevcuttur. Bu kılavuzun amacı deprem sonrası hasar tespiti yapan mühendisin ihtiyaç duyacağı rasyonel ölçütleri açıklamak, bunun teknik temellerini ortaya koymaktır [7]. ATC-20’ye göre bina en son değerlendirmede; hasarsız, az hasarlı, orta hasarlı veya ağır hasarlı olmak üzere 4 kategoriden birine sokulur. ATC-38’de de ATC-20’ye benzer, fakat daha gelişmiş bir tespit formu verilmiştir. Bu formlarda yapıyı tanımaya, yapısal ve yapısal olmayan hasarın tespiti, kullanılabilirliği hakkında görüş ve geoteknik hasarlar için ayrı bölümler verilmiştir [8,9]. Benzer bir form ve kılavuz İtalya’da da mevcuttur. Bunun da amacı Avrupa’da deprem sonrası binalarda hasar tespiti ve kullanılabilirliğe karar vermektir [10]. Kaliforniya’da okul binalarının deprem sonrası hasarlarını araştırmak için ATC-20 [9] ile uyumlu olarak hazırlanmış bir kılavuzda kısaca 3 adımla ifade edilebilecek bir yöntem verilmiştir [11] Bu

yönteme göre birinci adımda bina dış cepheden gözlenir, binanın taşıyıcı sistem cinsi tespit edilir, dış duvarlarda, kolon ve kirişlerde çatlaklar olup olmadığı, binanın gözle görülür derecede yanal öteleme yapmış olup olmadığı araştırılır. Bunun için gözlem yapmanın mümkün olduğu tüm cephelerden binayı gözlemek gerekir. İkinci adımda bina çevresinde geoteknik hasarlar olup olmadığı araştırılır. Bu kapsamda, binanın yakın çevresinde yer kaması, temel altında boşalma, zeminde çatlama kabarma veya çökmeler, yapı üzerine yıkılması muhtemel diğer bina veya kaya parçaları, heyelan ve benzeri tehlikelerin olup olmadığı araştırılır. Üçüncü aşama ise bina taşıyıcı sisteminin bina içine girilerek araştırılmasıdır. Bu aşamada kolon, kiriş, perde duvarlar, döşemeler, merdivenlerdeki hasar durumuna bakılır. Üçüncü aşamaya kadar güvensiz görülen binalara girilmemelidir.

Türkiye’de, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı tarafından hazırlattırılan "Mühendislik Hizmeti Görmüş Yapılar İçin Hasar Tespit Formu" bu anlamda bir örnek olarak gösterilebilir [1]. Bu form hasarın puanlanarak buradan toplam hasar puanının elde edilmesine dayanır. Puan tespitinde binanın en çok hasar gören katı dikkate alınmakta ve bu katta tespit edilen hasar tüm yapıya mal edilmektedir. Hasar düzeyi belirlenmesinde etken olan üç ana unsur ise, yapı ve yakın çevresinin geometrik durumu, yapının taşıyıcı sistem özelliği ve geometrisi ile yapıda meydana gelen şekil değiştirmelerdir [12]. Sübjektif değerlendirmelerden kaçınmak için, gözlenen hasar çeşitli başlıklar altında puanlandırılmakta ve sonuç olarak hesaplanan genel hasar puanına göre yapı hakkında "hasarsız", "az hasarlı", "orta hasarlı", "ağır hasarlı" şeklinde bir karar verilmektedir.

Mühendislikte problemlere yaklaşım, tıptaki yaklaşıma benzer. Soruna sağlıklı bir çözüm ortaya koyabilmek için önce tanı zorunludur [13]. Bu bakımdan önce gözlenen hasar nedenlerini iyi tanıyor olmak gerekir. Bu bağlamda, acil hasar tespiti yapacak ekiplerin oluşturulmasında ilgili idarenin bu duruma dikkat etmesi, ekibi konu hakkında yeterli donanıma sahip kişilerden oluşturması en uygun yoldur. Özel önem arz eden yapılar veya ilgili deprem yönetmeliğinde bina önem katsayısı (I) yüksek (1.3, 1.4 gibi) yapıların ise daha ayrıntılı ve gerektiğinde takviye edilmiş ekiplerce incelenmesi önerilir.

Deprem sonrası acil hasar tespit ve kullanılabilirlik değerlendirmelerinde esas amaç binada ana şoktan sonra oluşabilecek yapısal veya yapısal olmayan hasarlardan dolayı kullanıcıları korumaktır. Bunun için kullanıma uygun bulunmayan binalara işaretleme yapılarak kullanılması tümünden veya kısmen kısıtlanır. Ana şokta oluşmuş hasarlar varsa bunların ne mertebede olduğu, tehlike durumunu asıl performans değerlendirmesi yapıncaya kadar kabaca ortaya koymaktır [14]. Bu değerlendirmeler genellikle görsel muayene sonuçlarına dayanır. Acil hasar tespit ve kullanılabilirlik araştırmalarında, öncelikle yapıyı ayakta tutan düşey taşıyıcı elemanların deprem sonrası sahip oldukları dayanım, süneklik ve rijitlik

kapasitesilerini koruyup korumadıkları tahmin edilmelidir. Yapı içinden ve dışından yapılan görsel incelemeler temelde bu amaca yönelik olmalıdır. Bunun için, kolon ve betonarme perde duvar gibi elemanlarda tipik eğilme, kesme, burulma, burkulma türü hasar göstergeleri olup olmadığına bakılabilir. Taşıyıcı sistem elemanları ana şokta genel olarak elastik sınırlar içinde kalmışsa artçı şoklarla yıkılma olasılığının düşük olduğu kabul edilebilir. Ancak ilk şokta yapının genel görünümünü değiştirecek şekilde taşıyıcı sistemde hasar gözleniyorsa yapının kısmen veya tamamen yıkılabileceği göz önünde tutulmalıdır. İlk etapta bina taşıyıcı sisteminde dışarıdan gözle görünür büyük çatlaklar olup olmadığına, yapının bütününde veya belirli bir katında toplanmış vaziyette kırılmalar ya da aşırı yanal ötelenmelerin olup olmadığı tespit edilir. Bu tespit mümkün olması halinde dört cepheden yapılmalıdır. Bir kroki çizilerek veya çeşitli cephelerden fotoğraf çekilerek durum tespit edilebilir. Gözlenen çatlakların yeri, genişliği, kapsadığı alan, çatlayan elemanların türü, çatlakların yaygınlık düzeyi, yapının taşıyıcı sistemi ile temel sistemi hakkında toplanan bilgiler not edilir. Bina geometrisi ve deprem yönetmeliğinde tanımlanmış düzensizlik hallerinden biri veya birkaçının olup olmadığı araştırılmalıdır. Bütün bu verilerle, yapının göçme haline ne kadar yaklaştığı kabaca kestirilmeye çalışılır. Somut verilere dayanmayan tahminlerin önemli yanlışlara neden olabileceğinden bu tespitler sırasında olabildiğince somut veriler toplanmalı ve hızlı hareket edilmelidir. Unutulmamalıdır ki ilk incelemeden elde edilen bulgular sonradan yapılabilecek detaylı inceleme için de ön bilgi niteliğindedir. Bu yüzden, ilk incelemede elde edilen her türlü verinin daha sonra yapılabilecek onarım ve güçlendirme çalışmalarında değerlendirilebilmesi bakımından önceden hazırlanmış belirli formlarda toplanmasında yarar vardır. Objektif bir şekilde hasar düzeyini tespit edebilmek için doldurulacak tespit formlarında şu özellikler olmalıdır [15]:

- Form üzerine yapı ve hasarı ile ilgili bilgiler kolay ve hızlı işlenebilir olmalıdır.
- Hasar düzeyi önceden tanımlanmış kategorilerden biri olarak belirtilmelidir.
- Yapının kullanılabilirlik durumu açıkça belirtilmiş olmalıdır.
- Yapının yeri, mülkiyeti, temel tanımlayıcı özellikleri, taşıyıcı sistem özellikleri, yapının yaşı, zemine ait temel değerler gibi bilgiler bulunmalıdır.

Son yıllarda mevcut betonarme binaların deprem güvenliği değerlendirilmesi için geçerlilikleri tüm dünya tarafından kabul edilmiş olan bazı yöntemleri ülkemize kazandırmak, bunun yanı sıra yeni yöntemler geliştirmek için çalışmalar hızlanmıştır. ODTÜ bünyesinde yürütülen araştırma projeleri bu çalışmalara örnek gösterilebilir [16]. Geliştirilen kademeli değerlendirme yöntemlerinin birinci kademesi sokak taramasını içerir. Bu taramada kat adedi, yumuşak kat, ağır çıkmalar, işçilik düzeyi, kısa kolon, çarpışma etkisi gibi çeşitli yapı parametreleri değerlendirilerek sözkonusu yapı hakkında ikinci kademe

değerlendirmeye geçilip geçilmeyeceğine karar verilmektedir. Deprem sonrası acil hasar tespitleri sırasında yapılacak işlemler de bir bakıma bu sokak taramasına benzemektedir. Tespit ekibi yapının o andaki hasar durumuna göre yapı hakkında bir karar verecektir. Sokak taramasında dikkate alınan yapı parametreleri ve gözlenen hasarlar verilecek kararı belirleyen birer endeks olarak acil hasar tespit çalışmalarında da kullanılabilir.

3. BETONARME BİNALARDA SIK GÖRÜLEN DEPREM HASARLARI

Acil hasar tespit ve kullanılabilirlik araştırması yapacak personelin en azından sık gözlenen hasarları tanıması, bunların nedenleri ve oluşum mekanizmalarını bilmesi, yapı güvenliğini ne düzeyde etkileyebileceğini tahmin etmesi isabetli karar vermesine yardımcı olur. Bu nedenle, acil deprem hasar tespitleri sırasında sıkça gözlenen hasarlar sınıflandırılmaya çalışılarak özetlenmiştir.

3.1. Sıva Çatlakları

Sıva çatlakları hasarın başlangıç aşamasıdır. Bunlar ilk olarak çoğunlukla tesisat boruları üzerinde kendini gösterir. Daha sonra betonarme çerçeve ile dolgu duvar arasındaki görülür. Bu çatlaklar da ilk önce kirişle duvar arasında, sonra da kolonla duvar arasında açığa çıkar [17]. Eğer, yapıda gözlenen hasar yalnızca sıva çatlaklarından ibaret ise taşıyıcı sistemde hasar olmadığı kabul edilebilir.

3.2. Dolgu Duvarda Hasar

Sıva çatlaklarından sonra ikinci aşamada gözlenen hasar türü dolgu duvar hasarıdır. Bu tür hasar düşük dayanımlı malzemelerle örülmüş duvarlarda daha çabuk ortaya çıkar. Tuğla duvarlarda hasar tuğlanın cinsine göre değişkenlik gösterir. Taşıyıcı çerçeveden ayrılmaları takiben duvarda kısaca X-şeklinde tarif edilebilecek çatlak ve yer yer sıvada dökülmeler görülür (Şekil 1). Çatlak genişliği arttıkça duvardan parça kopmaları ve kırılıp dökülen parçalar olabilir. Dolgu duvarda meydana gelen hasar duvarın mesnetlenme şekline de bağlıdır. Örneğin, yüksekliği fazla olan dolgu duvarlarında duvarın üst tarafı yıkılabilir. Kapı pencere boşluklarının kenarlarında, altında ve/veya üstünde kırılmalar olabilir. Çerçeve tarafından tam olarak sarılmamış dolgu duvarlarında duvarın bir tarafa kayarak devrilmesi de mümkündür. Dolgu duvarlarda ileri düzeyde hasar gözleniyorsa yapının taşıyıcı sisteminde de hasar olması beklenmelidir.



Şekil 1. Tuğla duvarda hasara bir örnek.

3.3. Taşıyıcı Sistemde Hasarlar

Taşıyıcı sistemde görülen her türlü hasarın titizlikle gözlenmesi gerekir. Bu hasarlar yapının veya taşıyıcı elemanının taşıma gücünün azaldığına işaret eder. Söz konusu hasarlar, kolon, kiriş, betonarme perde duvar, birleşim yerleri, döşeme ve temel gibi ana elemanlarda ve sistemin bütününde gözlenen hasarlar olarak sınıflandırılıp incelenecektir.

3.3.1. Kolonda Hasar

Eğilme, kesme, burulma gibi etkilerin biri veya birkaçı aynı anda kolonda hasara neden olabilir. Bunlara ilaveten narin kolonlarda burkulmadan da söz edilebilir. Yön değiştiren eğilme momentleri ya da kesme kuvvetleri nedeniyle oluşan hasarlar en sık rastlanan türdür. Özellikle narin kolonlarda normal kuvvetle beraber etkiyen eğilme momentleri kolonun her iki yüzünde çatlama, ezilme ve örtü betonun parçalanarak dökülmesi şeklinde hasar meydana getirir. Birleşim yerlerinde ve kolon sargı bölgesinde yeterli sargı donatıları yoksa çekirdek betonu kolayca ezilip parçalanır, kolon boyuna donatıları burkulur. Böylece kolon, taşıması beklenen yükleri taşıyamaz hale gelir. Bu aşamada, kolonda boy kısalması da oluşabilir. Kolon uçlarında ileri düzeyde mafsallaşma varsa (etriyeler açılmış, beton parçalanarak kısmen dağılmış, boyuna donatılar açılıp bükülmüşse) kolonun eğilme ve kesme kuvveti taşıma gücü önemli ölçüde azalmış demektir. Bu haliyle, kolonun kesme kuvvetine yenilmesi mümkündür. Şekil 2’de kolonlarda sıkça gözlenen hasarlar için iki örnek gösterilmiştir. Çatlaklar ve kırılmalar yatayla yaklaşık olarak 45 derece açı yaparak kendini göstermiştir. Beton eğilme ve kayma gerilmeleri altında önce çatlayıp parçalanmış, basınca maruz kalan kısımlarda da ezilerek parçalanmıştır. Donatılar açığa çıkmış, burkulmuş, bağlantı yerleri açılmıştır.



Şekil 2. Kolonda iki adet örnek hasar [18].

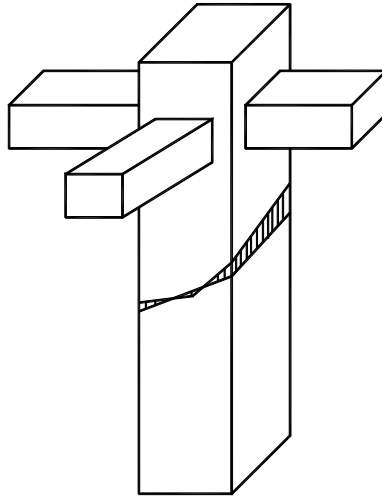
Kolonlarda çok tehlikeli kırılma nedenlerinden biri de “kısa kolon” oluşumudur (Şekil 3). Kolon serbest boyunun kısa olması nedeniyle yeter derecede yanal yer değiştirme yapamayan kolon çok büyük kesme kuvvetleri taşımaya zorlanır. Bu büyük kesme kuvvetleri de kesme kırılmasına neden olur. Dolayısıyla, kısa kolonda görülen çatlaklar kesme çatlakları türünde olacağından biçimsel olarak yukarıda açıklanan kesme çatlaklarına benzemektedir.



Şekil3. Bir kısa kolon hasarı [19].

Kolonlarda düşey yüklerden ötürü mevcut büyük eksenel yüke ek olarak deprem sırasında ortaya çıkan basınç gerilmeleri birleşerek betonun basınç altında ezilerek kırılmasına yol açabilir. Beton dayanımının düşük ve üstelik betonun kalıba iyi yerleştirilmemiş olduğu hallerde ise, basınç etkisi altında betonun ezilerek kırılması ihtimali daha yüksektir.

Kolonlarda gözlenebilecek bir diğer önemli hasar burulma çatlakları şeklinde ortaya çıkar. Bu tür kırılmalar da gevrek kırılma grubuna girmektedir. Burulmada kolonun birbirine komşu iki yüzünde diyagonal çekme çatlakları olurken diğer iki yüzünde diyagonal olarak betonda ezilmeler olur [17]. Bu oluşum burulma hasarının tanınması açısından tipik bir görüntü arz eder. Şekil 4’de kolonda tipik burulma çatlakları şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4. Kolonda burulma çatlakları [20].

3.3.2. Kirişte Hasar

Kirişlerde, genellikle eğilme ve kesme çatlakları görülmektedir. Kiriş mesnet momentlerine deprem sırasında eklenen tersinir momentlerle birlikte çok büyük bileşke momentleri ortaya çıkabilir. Eğilme momentlerinden ileri gelen çatlaklar çoğunlukla mesnetlerin üst yüzünde ve açıklıkta kesitin alt yüzünden üst yüzüne doğru eğilme çatlakları olarak kendini gösterir. Mesnet bölgesinde görülen kesme çatlakları moment çatlakları ile karıştırılmamalıdır. Kesme çatlakları kiriş uçlarında yaklaşık 45 derecelik bir açı ile kirişi alt yüzden üst yüze doğru keserken negatif momentten kaynaklanan çatlaklar kesit üst yüzüne yakın çekme bölgesinde oluşur. Beton dayanımı düşükse ve kesitte yeterli enine donatı yoksa kesme çatlakları kolayca kendini gösterir ve büyür. Şekil 5’de bir kirişte olabilecek eğik çekme çatlakları görülmektedir.

Çıkmalı kirişlerde görülen hasarlar da çok görülen hasarlardandır. Tersinir yükleme halinde konsol dibinde betonda oluşan çatlakların açılıp kapanması nedeniyle beton ezilir ve dökülür. Donatıda kalıcı şekil değiştirmeler görülür. Beton tamamen devreden çıkınca kesme kuvveti

donatının kama etkisi ile taşınır. Bu durumda kirişin moment ve kesme kuvveti taşıma gücü iyice azalmıştır.



Şekil 5. Kirişte tipik eğik çekme çatlakları.

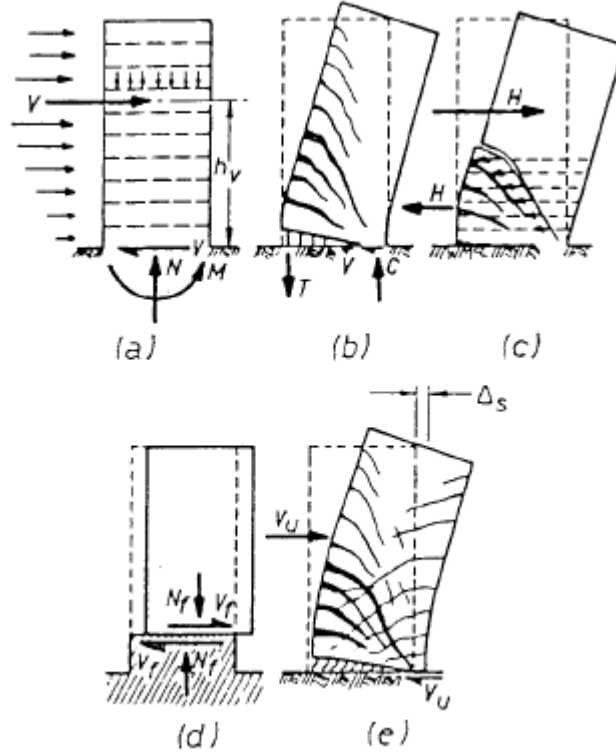
Saplama kirişlerin ana kirişte yarattığı hasar da sık karşılaşılan kiriş hasarlarından biridir. Bir kolon-kiriş düğüm noktası yakınında yer alan saplama kirişi ana kiriş üzerinde eğilme çatlama yol açar. Çünkü mesnet bölgesinde eğilme serbestliği kısıtlı olan ana kiriş tali kiriş tarafından bu noktada eğilmeye zorlanmaktadır ve hasara uğrama olasılığı yüksektir. Ana kirişte tali kirişten dolayı oluşan bir diğer çatlama nedeni de gerekli askı donatısının eksik olmasıdır. Şöyle ki, ana kirişe ortasından saplanan bir tali kiriş ana kirişe tekil yük etkisi yapar. Yük aktarma düzeni nedeniyle çekme bölgesine iletilen kuvvetlerin askı donatılarıyla basınç bölgesine aktarılmaları gerekir. Aksi halde tali kirişin ana kirişe saplandığı yerde kesme çatlakları görünümünde çatlaklar meydana gelir.

Perdeleri birbirine bağlayan kısa açıklıklı bağ kirişlerinin mesnet bölgelerinde X-şeklinde kayma çatlakları da perdeli sistemlerde görülen bir hasar türüdür. Bu durum kısa kolonlarda görülen çatlaklara benzetilebilir [3].

3.3.3. Perde Duvarda Hasar

Konsol perde duvarlarda eğilme göçmesi (Şekil 6b, 6e), kesme kuvveti göçmesi (Şekil 6c) ve toptan göçme (Şekil 6d) olmak üzere üç adet tipik göçme şekli mevcuttur [21, 22]. Bunlardan yalnız eğilme göçmesi sünek olup diğer ikisi gevrekçidir. Bu türlerin dışında temelde eğilme momentinin karşılanamamasından dolayı dördüncü bir tür olarak toptan göçme türünden de bahsedilebilir. Şekil 6'da konsol perdelerde olabilecek göçme şekilleri ve bu esnada olabilecek kırılmalar gösterilmiştir [22]. Perde duvarlarda gözlenen hasar türleri öncelikle yükseklik/genişlik oranına bağlı olarak ortaya çıkar. Kısa perdelerde (yükseklik < genişlik) kesme kuvveti etkisi baskındır. Gözlenen çatlaklar da bu oluşuma uygun olarak kesme kuvvetinden ortaya çıkar. Az-katlı perdeli yapılarda genellikle perde yüzeyinde

yatayla yaklaşık olarak 45 derece eğim yapan kesme çatlakları görülür. Çok katlı perdeli yapılarda, çoğunlukla alt katlardaki perdelerde eğilme çatlakları göze çarpar. Perdenin çekme gerilmesi alan tarafında geniş çekme çatlakları, basınç gerilmesi alan tarafında küçük basınç çatlakları ve betonda ezilmeler görülür.



Şekil 6. Konsol perde duvarlarda göçme şekilleri [22].

Perde yüzeyinde eğik çekme çatlakları, kesme çatlakları, moment çatlakları birbirinden kolayca ayrılabilir. Eğik çekme çatlakları perdeyi boydan boya bir X biçiminde keserken, eğilme momenti çatlakları perdeyi bir uçtan diğer uca birbiriyle paralel veya ona yakın kesen birkaç çatlak biçiminde görülür. Kesme ve basınç çatlakları birlikte oluşmuşsa, esas itibariyle eğik çekme çatlaklarına benzeyen, biraz daha yaygın, dallı budaklı bir görünüm sergiler.

Boşluklu perdelerde bağ kirişleri perdeler arasındaki bağı sağlarlar. Kısa kiriş gibi davranan bu kirişler büyük ankastrelik uç momentleri ve yüksek düzeyde kesme gerilmelerine maruz kalırlar. Bu elemanlarda kesme çatlakları oluşması beklenir. Bağ kirişlerinde donatı düzenlenmesinde birtakım hususlara özel önem verilmelidir. Çapraz yerleştirilen donatılar bağ kirişini sünek davranışa yöneltir. Derin kiriş gibi donatılmış bağ kirişlerinde hasar oluşumu daha kolay ve yıkıcıdır.

Perdeli çerçeve sistemlerde yatay yükleri taşıyan perdelerde kesme ve eğilme hasarı olurken kolonlar da bu hareketten payını alır. Perde ile kolonları bağlayan bağ kirişlerinde ve kolonlarda da hasar oluşması beklenir.

3.3.4. Döşemede Hasar

Döşeme hasarları, çoğunlukla büyük açıklıklarda aşırı sehim ve perdelerin dönmesiyle döşeme-perde birleşim yerlerinde görülen çatlaklar olarak ortaya çıkar. Önceden çeşitli nedenlerle oluşmuş küçük çatlakların deprem etkisiyle büyüyerek daha fazla gözle görülür hale gelmesi de döşemelerde sık karşılaşılan bir durumdur. Bunların dışında, konsol döşemelerde donatı yerleştirme hataları da mesnet bölgesinde ciddi çatlaklara ve göçmelere neden olabilmektedir. Döşeme boşluklarının köşelerinde, büyük tekil yük etkisi olan noktalarda da döşeme hasarları ortaya çıkabilir. Kirişsiz döşemelerde kolonla döşemenin birleştiği kısımlarda çatlamlar görülebilir. Çoğu kere döşeme hasarları taşıyıcı sistem güvenliği bakımından birinci dereceden önemli bir sorun olarak görülmemektedir. Fakat büyük çatlaklar kullanılabilirlik sınır durumu açısından sakınca doğurmaktadır.

3.3.5. Kolon-Kiriş Birleşim Yerinde Hasar

Birleşim yerlerinde, üstelik erken başlayan her türlü hasarı yapı güvenliği açısından dikkatlice incelemek gerekir. Elemanlar arasındaki iç kuvvet dağılımının engellenmesi, taşıyıcı eleman rijitliğinin azalması sonucunu doğurur. Kolon-kiriş birleşim yerinde meydana gelen hasarlar çoğunlukla yeter miktarda yanal donatı sıklaştırması yapılmamasından ya da kiriş boyuna donatılarının kolona tam bağlanamamasından ileri gelir. Şekil 7'de sargılama donatıları eksik bir birleşim yeri hasarı görülmektedir. Hasar; betonun yarılp dökülmesi, ileri derecede deformasyonlar şeklinde ortaya çıkmıştır. Birleşim yerinde oluşan hasarın çevresindeki diğer taşıyıcı elemanları da etkilemesi beklenir.



Şekil 7. Kolon-kiriş birleşim yerinde hasar [18].

Birleşim bölgesinde görülen hasar taşıyıcı sistem rijitliğini önemli ölçüde azalttığından sistemin yatay yüklere karşı dayanımı birdenbire düşebilir. Birleşim bölgesinde beton kalıba iyi yerleştirilmiş olmalı betonda boşluklar olmamalıdır. Kiriş ve kolon donatılarının bağlantılarına ve sürekliliğine dikkat edilmelidir. İyi düzenlenmiş birleşim bölgesinde, kiriş ucunda gerektiğinde plastik mafsallık oluşabilmelidir. Bu plastik mafsallarda büyük oranda enerji tüketilirken taşıma gücünde önemli bir azalma olmamalıdır.

3.3.6. Sistem Kusurlarından İleri Gelen Hasarlar

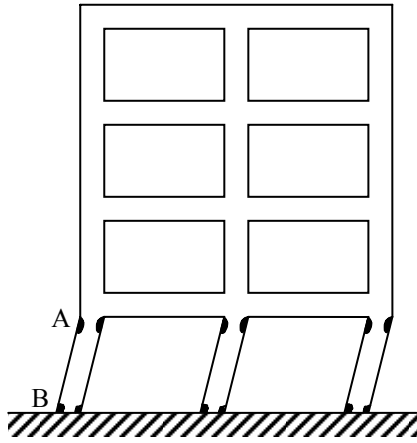
Başlangıçta taşıyıcı sistemin kusurlu teşkil edilmiş olması, zemine ve yapının gereklerine uygun temel sisteminin seçilememiş olması gibi nedenler binaların çökmesine veya hasar görmesine neden olan önemli faktörlerdendir [21].

Yapı sisteminin düzenli olması yapısal davranışın tahminini kolaylaştırmaktadır. Düzensiz sistemler için hesaplanan deprem etkileri büyütülerek karşılanmaya çalışılır. Fakat bu durum mevcut belirsizliği tümüyle ortadan kaldıramaz. Sistemin kütle merkezi ile rijitlik merkezi mümkün olduğunca aynı noktada çakıştırılmaya gayret edilmelidir. Rijitlik merkezi ile kütle merkezinin birbirinden çok uzak olması karşılanması zor burulma momentleri doğurur. Yapıda katlar arasında ani rijitlik değişimleri, birbirine dik iki doğrultu arasında uygun olmayan rijitlik dağılımları da ciddi hasar nedenleridir.

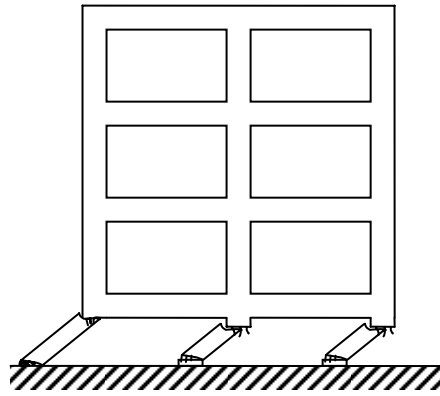
Sistem kusurlarından biri olan yumuşak kat; dayanımı ve rijitliği diğer katlara göre belirgin biçimde düşük olan kat olarak tanımlanabilir. Yapısal hasarlar büyük ölçüde bu katta toplanarak çoğunlukla binanın göçmesine yol açarlar. Göçme gerçekleşmemiş olsa bile hasar çok fazladır. Zemin katın yumuşak kat olması halinde önce bu kat kolonları kırılmakta ardından üst katlar bu katın üzerine yıkılmaktadır (Şekil 8,9). Genellikle cadde ve sokaklarda zemin katın ticari amaçlı kullanımı yaygın olduğundan birçok binada bu katlarda kat yüksekliği diğer katlardan daha büyüktür ve bölme duvarları da eksiktir. Sokak taraması sırasında bu ve benzeri yumuşak kat oluşumlarının tanınması zor değildir.

Taşıyıcı sistemde belirli bir deprem doğrultusu için her bir kolon-kiriş düğüm noktasına birleşen kolonların taşıma gücü momentlerinin toplamı, o düğüm noktasına birleşen kirişlerin taşıma gücü momentleri toplamından daha büyük olmalıdır. Bu ilkeye uygun olmayan tasarımlarda plastik mafsallar, öncelikle zayıf olan kolon kesitinde oluşmaya zorlanır ve deprem enerjisini kolonlardaki plastik mafsallar harcamaya zorlanırken sistem istenmeyen bir şekilde aniden göçer. Kat mekanizması biçiminde ortaya çıkan bu tür göçme halleri can kaybının da çok olmasında önemli bir nedendir. Oysa "güçlü kolon-zayıf

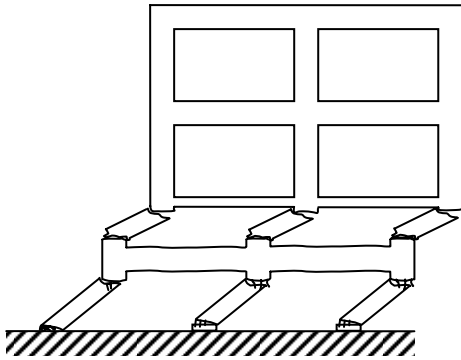
kiriş" ilkesi ile yapılan tasarımlarda öncelikle kiriş uçlarında plastik mafsall oluşması beklenir ve deprem enerjisinin önemli bir kısmı bu kiriş mafsallarında tüketilir. Plastik mafsalların öncelikle kiriş uçlarında oluşması sistemi sünek (düktil) davranışa götürür. Yapılarda yeterli süneklik kapasitesinin sağlanamaması hasar oluşumunda önemli bir etkidir. Oysa sünek davranış sayesinde komşu elemanlar arasında yük taşıma anlamında bir çeşit yardımlaşma olmaktadır. Eleman düzeyinde hasar çok olsa bile, sünek davranış sayesinde, katlar birbiri üzerine yıkılarak göçme yerine, yapı bir yöne doğru kaykılarak göçer. Bu tür göçme mekanizması kolon mekanizmasına kıyasla daha kabul edilebilir bir göçme halidir.



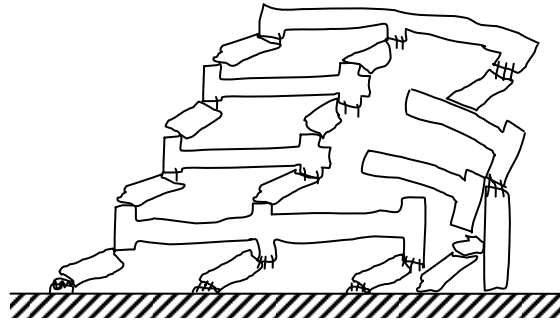
a) Zemin Kat Kolonlarının Uçlarında Mafsallaşma



b) Zemin Katın Göçmesi

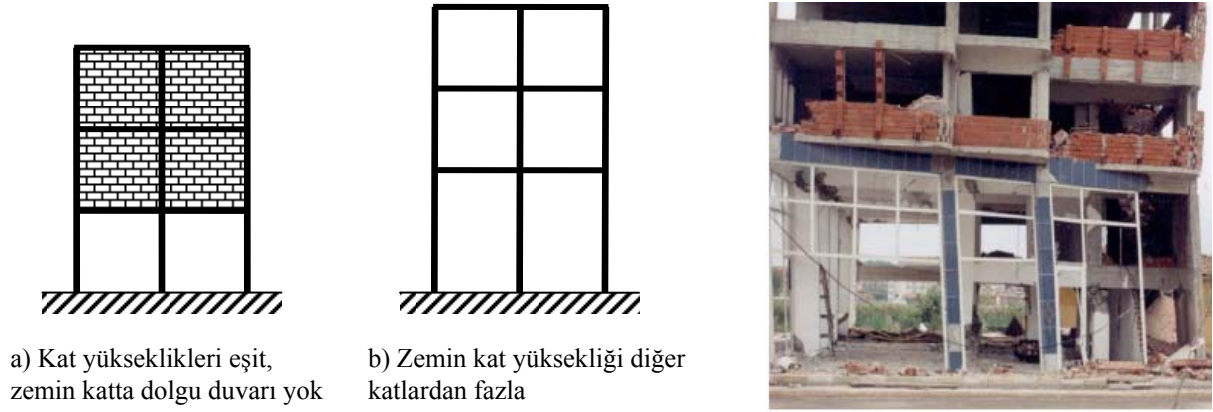


c) Alt Katların Çökmesi



d) Büyük Yanal Öteleme ile Üst Üste Yığılmış Katlar

Şekil 8. Zayıf kolon-güçlü kirişlere sahip bir çerçeve sisteminde olası göçmenin aşamaları.



a) Kat yükseklikleri eşit,
zemin katta dolgu duvarı yok

b) Zemin kat yüksekliği diğer
katlardan fazla

Şekil 9. Yumuşak kat halinin muhtemel nedenleri ve Adapazarı'ndan bir örnek.

4. İLK İNCELEME İÇİN ORGANİZASYON GEREĞİ

Deprem sonrası ilk incelemelerin düzenli, çerçevesi önceden belirlenmiş ölçütlere göre ve belirli bir ön-eğitimden geçirilmiş ekipler tarafından yapılmasında sayısız yarar vardır. Bu türlü bir hazırlığın deprem öncesinde yapılmış olması deprem sonrasında acil olarak yapılması gereken işlerin karmaşadan en az etkilenmiş biçimde daha hızlı ve sistemli yürütmesini yardımcı olur. Bunun için özellikle ve öncelikle büyük kentlerde afet öncesi hazırlıklar kapsamında organizasyonlar yapılmalıdır. Yerel yönetimler, valilik, bakanlık, mesleki kuruluş ve gönüllü dernekler koordinasyon içinde afet öncesi yapacakları ortak bir eylem planı ile mahalle/semte bazında ön inceleme ve tespit ekipleri oluşturulabilirler. Bu ekiplere kısa bir ön-eğitim verilerek her ekibin değerlendirmesini bu eğitimin ışığında yapması değerlendirmelerin birbiri ile uyum içinde ve sistematik bir şekilde yürütmesine yardımcı olacaktır. Ön eğitimlerde acil hasar tespit ve kullanılabilirlik araştırmalarında izlenecek hasar inceleme yöntemi, hasar raporlama, hasar düzeyleri, kullanılabilirliğe karar verme, sık gözlenen tipik hasar örnekleri, ekiplerin görev alanları, yetki ve sorumlulukları kapsamında bilgiler verilebilir. Bu tür bir ilk incelemenin normal şartlar altında bir yapının deprem güvenliğini değerlendirmeden farklı pek çok yönü vardır. Kısa süre içinde ve genellikle normal olmayan koşullar altında çok sayıda yapı incelenecektir. Bir deprem sonrası özellikle deprem sonrası acilen kullanılması gereken yapıların (valilik, kaymakamlık, hastane, belediye, itfaiye, arama-kurtarma ve ilk yardım kuruluşlarına ait tesisler vs.) köprüler, yollar ve diğer ulaştırma yapıları, önemli bina ve tesislerin böyle bir incelemeden öncelikle geçirilmesi çok önemlidir. Ardından veya eşzamanlı olarak sokak taramaları yoluyla iskana açık tüm binalarda acil hasar tespit ve kullanılabilirlik değerlendirmeleri yapılmalıdır. İtalya ve Japonya'da deprem hasarlı binaların hızlı değerlendirmesine ait benzeri uygulamalar yapılmıştır. İlk olarak 1980'de İtalya'da başlayıp 1995'de Japonya'da yapılan uygulamalarda depremden hasar gören binalar önceden eğitim verilmiş araştırmacılar tarafından

sistematik olarak taranmıştır [14]. Bu taramaların sonuçları o an için kullanıldığı gibi, gelecekte de kullanılabilir bir veritabanı oluşturmuştur.

5. SONUÇ

Depremlerin hemen ardından, acil hasar tespit ve yapıların kullanılabilirlik değerlendirmelerinin hızlıca yapılması gerekmektedir. Bu işlem organize ekipler tarafından olabildiğince objektif ölçütlerle yürütülmelidir. Bu tespit ve değerlendirmeleri yapan kişilerin isabetli karar vermeleri mal sahiplerinin can ve mal güvenliği açısından çok önemlidir. Bu görevi üstlenen mühendisin deprem sonrası acil hasar tespiti ile ilgili yeterli bilgi birikimi ve deneyimi olması isabetli karar vermesine yardımcı olacaktır. Bu çalışmada, deprem sonrası acil hasar tespit ve kullanılabilirlik değerlendirmelerinin ana ilkeleri ve yöntemleri açıklanmış, bu alandaki uygulamalara değinilmiştir. Acil hasar tespit ve kullanılabilirlik değerlendirmesi yapacak elemanlara yardımcı olmak üzere betonarme yapılarda sıkça gözlenen yapısal hasar türlerine yer verilmiştir. Bu hasarlar sınıflandırılmış, nedenleri, yapı güvenliğine etkileri eleman ve sistem bütünlüğü içinde ele alınmıştır. Depreme hazırlık çalışmaları ve bunun için yapılan organizasyonlar içinde; ilk tespitlerde görev alacakların isimleri, görev ve yetkilerinin önceden belirlenmesi, belirli bir ön eğitime tabi tutularak afet sonrası için hazırlanmaları da mutlaka yer almalıdır. Bu ekiplerin öncelikli görevleri deprem sonrası hemen kullanılması gereken önemli yapılar ile ulaşım tesislerinin (hastaneler, yerel ve merkezi yönetim binaları, itfaiye, su ve enerji tesisleri, köprüler, ana yollar, vs.) değerlendirilmesi olmalıdır.

KAYNAKLAR

1. P. Gülkan, A. Yakut, H. Sucuoğlu, M. S. Yüçemen, E. Çıtıpıtıoğlu, Mühendislik Hizmeti Görmüş Yapılar İçin Hasar Tespit Formu, Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi, ODTÜ, Ankara, (1994).
2. H. Demir, Betonarme Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi, Emlak Pazarlama Proje Yönetimi ve Servis A. Ş., İstanbul, (1999) 14.
3. Z. Celep, N. Kumbasar, Deprem Mühendisliğine Giriş Ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Beta Dağıtım, İstanbul, (2000) 480.
4. Ş. M. Üzümeri, T. Tankut, G. Özcebe, E. Atımtay, Uğur Ersoy Symposium on Structural Engineering, Middle East Technical University Department of Civil Engineering, Ankara, (1999) 413.
5. T. Tankut, Deprem Güvenli Konut Sempozyumu, Ankara, (1999) 87.
6. Guideline for Post-earthquake Damage Evaluation and Rehabilitation of RC Buildings, The Japan Building Disaster Prevention Association (JBDPA), (2001).

7. Y. Nakano, M. Maeda, H. Kuramoto, M. Murakami, 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, B.C., Canada, (2004) 124.
8. ATC-38 Postearthquake Building Performance Assessment Form Applied Technology Council, Redwood City, California, (2002).
9. ATC-20 Procedures for Postearthquake Safety Evaluation of Buildings', Applied Technology Council, Redwood City, California, (1989).
10. C. Baggio, A. Bernardini, R. Colozza, L. Corazza, M. Della Bela, G. Di Pasquale, M. Dolce, A. Goretti, A. Martinelli, G. Orsini, F. Papa, G. Zuccaro, Field Manual For Post-earthquake Damage And Safety Assessment And Short Term Countermeasures (AeDES), JRC Scientific and Technical Reports.
11. A. R. Ranous D. E. Bellet Post-Earthquake Damage Evaluation and Reporting Procedures, A Quidebook For California Schools, (1993).
12. M. Kömür M. Altan İTÜ dergisi/*d* mühendislik, 4 (2005) 43.
13. U. Ersoy, Deprem Güvenli Konut Sempozyumu, Ankara, (1999) 65.
14. <http://www.kenchiku-bosai.or.jp/english/index.html>, (2007).
15. G. G. Penelis, A. J. Kappos, Earthquake-Resistant Concrete Structures, E& FN SPON An Imprint of Chapman &Hall, London, (1997) 474.
16. G. Özcebe, Tübitak İçtag Ymaü İ574 Numaralı Araştırma Projesi Sonuç Raporu, (2004).
17. N. Bayülke, Depremler ve Depreme Dayanıklı Betonarme Yapılar, Teknik Yayınevi, Ankara, (1989) 75.
18. M. H. Arslan, H. H. Korkmaz, Engineering Failure Analysis 14 (2007) 1.
19. A. İlki Betonarme Yapılarda Riskler ve Risklerin Azaltılması, İMO İstanbul Şubesi Kurs notları.
20. N. Bayülke, Depremlerde Hasar Gören Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi, İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi, İzmir, (2001) 32.
21. R. J. Folic, Materials and Structures, 24 (1991) 286.
22. T. Paulay, M. J. N. Priestley, Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings, Wiley Interscience, New York, (1992) 389.