



Deprem öncesi ve sonrası gözlenen beton ve donatı korozyonları ile kısa kolon hasarlarının incelenmesi

Varol KOÇ¹

Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü Kurupelit/ SAMSUN, kvarol@omu.edu.tr

(Dergiye gönderilme tarihi: 15 Ekim 2015, kabul tarihi 24 Aralık 2015)

Özet

Kolon uçlarındaki beton ve donatı korozyonu, genelde bodrum katlarda, bu çalışmada açıklanacak olan çeşitli nedenlerden ötürü bazen mevcut olan kısa kolonların olumsuz davranışını ilerletebilir. Bodrum katlarında kısa kolon yoksa bile, korozyon etkisiyle, zayıflamış kolonlar ya basınç göçmesinden ya da kısa kolon davranışına benzer şekilde ani kesme kırılmalarından göçebilmektedirler. Gerek daha çok bodrum kat kolonlarının etkilemeleri ve birlikte görülmeleri halinde daha büyük ve çabuk bir hasara neden olmaları, gerekse hasar oluşturma mekanizmalarındaki benzerlik açısından deprem sonrası araştırmalarda kısa kolon ve korozyon hasarlarını birlikte incelemenin ve mukayese etmenin önemi vardır. Bu nedenlerle bu çalışmada, çeşitli deprem öncesi ve sonrası yapılmış hasar tespit çalışmalarına dayanılarak korozyon ve kısa kolon hasar ve davranışları özetlenmeye çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Deprem, kısa kolon, beton korozyonu, donatı korozyonu, yapı davranışı

Investigation of observed before and after earthquake the corrosion of concrete and reinforcement with damage in a short column

Corrosion of concrete and reinforcement on column ends can improve of existing short column of negative behavior. Even if short columns in the basements, the effects of corrosion, the weakened columns can migrate from the collapse of pressure or the sudden shear failure similar to short column behavior. Short column and corrosion damage affects more than basement columns. If seen together they caused greater and rapid damage. There are also similarities in the mechanism to create damage. For these reasons there are important factors of the examination and comparison of short column and corrosion damage in earthquake research. In this study, corrosion and short column damage and behavior have been summarized based on a variety of pre- and post-earthquake damage assessment made.

Keywords: Earthquake, short column, concrete corrosion, reinforcement corrosion, structural behavior

1. Giriş

Yüksek maliyetlerle elde edilen yapılar, ekonomik ömrünü tamamlamadan maalesef korozyon nedeni ile kısa sürede taşıma kapasitesini yitirmektedir. Korozyon, atmosferin (açık hava, yağmur, kar, don, güneş), kimyasalların, deniz suyunun ve yağmur- zemin sularındaki sülfatın etkisi gibi etkenlerle, yapıda beton ve donatıların bozulmasıdır. Korozyonun başlaması ile hiç önlem alınmamış, bakım yapılmamışsa, bahsedilen ortam etkilerinin şiddetine bağlı olarak duruma göre 8- 10 yıl içinde bile bu elamanlar bütün taşıyıcı fonksiyonlarını yitirmektedirler. Korozyon etkisi tespit edilen yapıların kısa surede uygun bir şekilde onarılması ve bu etkilerden korunması ile ilgili yalıtım işlemlerinin yapılması gerekir. Ülkemizde genelde ne yazık ki, yapı ve can güvenliği açısından deprem kadar önemli olan beton-

donatı korozyonuna karşı pek bir önlem alınmadığı ve bu bağlamda beton kalitesine ve donatı pas paylarına yeteri kadar özen gösterilmediği bilinmektedir. Bu durumlarda korozyon nedeniyle donatı hacmi artmakta ancak taşıyıcı kesiti azalmakta ve hatta yok olmaktadır. Beton kalitesinin zayıf oluşu nedeniyle de donatının hacminin büyümesi sonucu, zaten az olan beton örtüsü parçalanmakta ve su basman seviyesi altındaki kısa kolonlar aniden düşey yer değiştirmeye uğrayarak yapıların göçmelerine neden olabilmektedir.

Betonarme bir yapı için en kötü çevre koşulları, zemin ve çevredeki aşırı tuz oranı, aşırı sıcaklık ve nem olarak özetlenebilir. Böyle bir çevre ile kötü inşaat uygulamaları ve zayıf beton imalatının etkileşimi sonucu, betonda karbonatlaşma ve sülfat tuzlarının betona hücumu ile donatıyı koruyucu pas payının

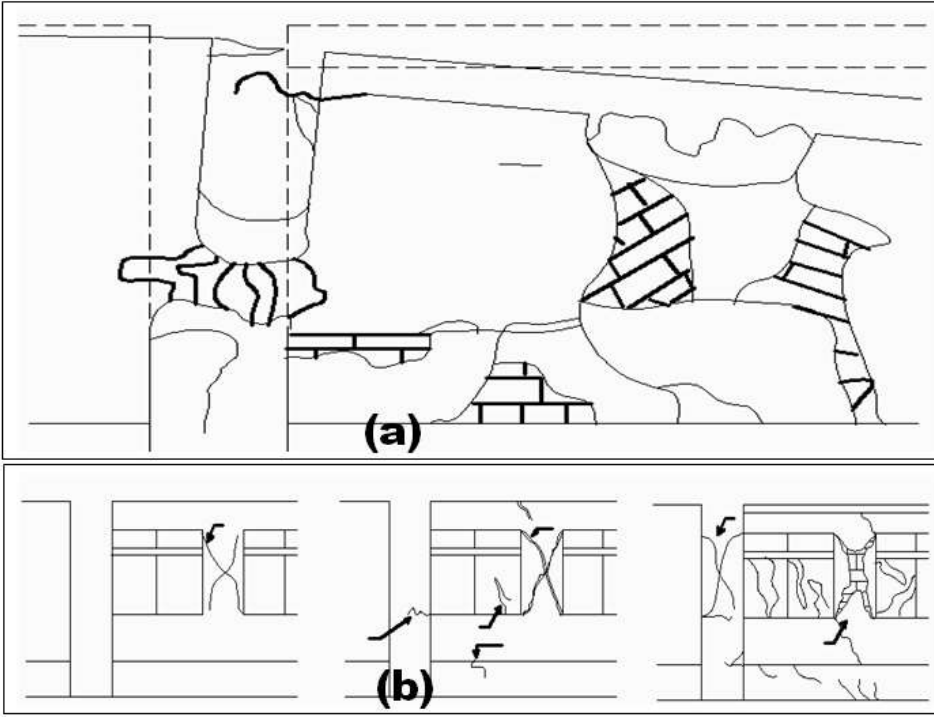
¹ 0542 210 86 76- 0362 312 19 19 - 10 76 kvarol@omu.edu.tr

ayrışması, klorun donatıya hücumu ve ortamdaki oksijenle birlikte donatının paslanması yani korozyon meydana gelmektedir. Kesitlerini kısmen veya tamamen kaybeden boyuna donatı ve etriyeler, yük taşıma özelliklerini kaybederek aniden burkulmakta ve betonarme bir yapının kısmen veya bütünüyle göçmesine neden olabilmektedir. Özellikle su basman seviyesi altında kalan kısa kolonların donatısının, korozyon nedeniyle nerdeyse yok olması, kesiti yetersiz hale gelen etriye ve boyuna donatının kötü kalitedeki betonu patlatarak aniden burkulması ile yapıda meydana gelen ani düşey yer değiştirme, yapının yıkılmasına neden olur. Yapı denetiminin ve kalite kontrolünün önemini burada özellikle vurgulamakta yarar vardır. Bu gün deprem bölgesinde bu sorunun en az deprem hasarları kadar önemli bir sorun olduğunu unutmamak gerekir. Korozyona ve ondan doğacak yapısal hasarlara karşı önlemlerin hızlı bir şekilde alınması şarttır.

Bilindiği üzere depreme dayanıklı yapı kavramının 3 sac ayağı vardır: Dayanım, süneklilik ve rijitlik. Ancak bu özelliklerin sürekliliğini sağlaması açısından bunlar kadar önemli diğer bir kavram da, dayanıklılık yani durabilitedir. Dayanıklılığı düşük yapı elemanları, hele taşıyıcı sistem elemanları iseler, su, nem, sıcaklık değişimi gibi dış etkilerden zarar görüp bozulma ve tüm istenen iyi özelliklerini kaybetme eğilimindedirler. Korozyon, bu özellik kaybının en büyük nedenidir. Bununla birlikte, korozyonun sadece donatıda geçerli olan bir bozulma olmadığını, en az onun kadar önemli olan, beton korozyonunun da önlenmesi gerektiğinin üzerinde durulması gerekir. Zira bilindiği üzere dayanımını almış betonun en büyük düşmanı sudur. Eğer beton, gerek hava sürükleyici ve/ve ya kimyasal-mineral katkılarla, gerekse usulüne uygun karıştırma, taşınma, yerleştirme ve düzeltme işlemleriyle, geçirimsiz, dış koşullara dayanıklı yani durabilite sahibi olamamışsa, hele sürekli nem ve suya maruz kalıyor, yapı elemanının olduğu yerde sağlıklı bir su yalıtımı ve drenajı yapılmıyorsa, beton korozyonu büyük önem kazanır. Zira agrega çatlaklarındaki ve/veya matristeki serbest su, iklimsel değişikliklerle donarak hacim büyütürken çatlakları genişletir, çözülürken gevşetir ve tersinir yüklemeye etkisi yaparak matrisin ve agreganın ufalanmasına neden olur. Ayrıca suya maruz kalındıkça, agrega ile çimento hamuru arasındaki aderans, tıpkı donatı korozyonunun donatı ile beton arasındaki aderansı bozması gibi bozulur. Betonun içten çürümesi, çatlaması, çatlaklara giren ve mevsimsel şartlarla donma çözülme yaparak hacmi azalıp genişleyen suyun betonu daha da çatlatması, agregayla çimento hamurunu iyice ayrıştırması, hatta agrega

tanelerini parçalaması nedenleriyle, durabilitesi düşük, dayanıksız beton, başlangıç dayanımı ne kadar yüksek olursa olsun, dayanımsız ve sonuçta elemanı göçmeye götürecek bir beton olmaya adaydır. Bu nedenle betonun üretim aşamasında ve bakımında beton korozyonunu engelleyici her türlü önlemin alınması şarttır.

Kısa kolon davranışına neden olan bir çok unsurdan bazıları ve sonuçları ise şu şekilde özetlenebilir: Eğer Şekil 1(a)' da görüldüğü gibi, kat yüksekliği boyunca, kolona bitişik olarak bölme duvarın bir kısmı örülmüş ve kolona komşu duvar alanının bir kısmı cam, vitrin, vb. nedenlerle boş bırakılmışsa, kolon, boyu boyunca duvarla komşu olduğu yüzeylerinden bölme duvar desteği alarak bir nevi ankastre kolon davranışı gösterecek ve sadece bölme duvarı desteği almayan uzunluğu boyunca serbest çalışacaktır. Bu durumda kolon çalışma boyu kısalmış olduğundan, boyun kesit alanına oranı olan narınlığı küçülmüş, yani kolon daha rijitleşmiş olacaktır. Özellikle deprem yatay kuvvetleri altında, yatay rijitliği büyük elemanlar daha çok deprem kuvvetini üstüne çekip karşı koyacağından, kolon, hesaplama tespit edilen kesit alanına göre alması gerekenden daha çok yüke maruz kalacaktır. Bunun sonucunda yatay yüklerin büyümesi nedeniyle, ankastre gibi davranmış olduğu uçtan aşırı kesme kuvvetlerine maruz kalarak, kesme kırılmasıyla göçme eğiliminde olacaktır. Bölme duvara komşu yüzeylerinin yanal ötelenmesinin sınırlandırılmış olması, kolonun boşta kalan yüzeylerinin yanal ötelenmesini artıracak, böylece tersinir deprem yükleri altında mafsallaşma geliştirmesi de kolaylaşacaktır. Tüm bu etkilerle, eğer kritik olan duvar boşluğu seviyesinde sargı donatısı kullanılmamış (etriye sıklaştırılması yapılmamış), donatı detaylandırmalarına dikkat edilmemiş, artan yanal yüklerin kolon yüzeylerinde oluşturacağı eğilme çekmelerini karşılayacak seviyede boyuna ana donatılar konulmamış, beton dayanımına ve sıkıştırılmasına dikkat edilmemişse, Şekil 1'a da görüldüğü üzere kolon betonu parçalanmaya, donatıları burkulmaya başlayacak, kolonun aşırı ötelenmesi ve boy kısalmasıyla sistem mekanizma ve göçme durumuna gelecektir. Benzer durum yine Şekil 1(a) ve (b)' de görülen, pencere aralarına örülmüş düşey- dar duvarlar için de geçerlidir. Şekil 1(b)' de görüldüğü gibi, çatlaklar önce bu tür duvarlarda gelişecek, pencere camları kırılacak, deprem yükleri altında en ileri bölme duvar hasarı olan diyagonal çatlak gelişimi ve duvar yarılmaları gözlenecek, depremin devam etmesiyle benzer hasarlar, betonarme elemanlarda, özellikle kısa kolonlarda da kendini gösterecektir.



Şekil 1. Kısa kolon davranışı hasarları (Bayülke (2011)).

2. Korozyon Mekanizması

Betonarme donatıları betonun yüksek alkali özellikte olmasından dolayı beton içinde korozyona uğramadan uzun süre dayanır. Alkali ortamlarda donatı yüzeyinde pasif bir oksit filmi oluşarak korozyon hızını azaltır. Diğer taraftan beton boşluklu yapıda olmasına rağmen geçirgenliği düşük bir malzemedir. Bu nedenle betonarme donatılarının korozyonuna neden olan bileşiklerin (oksijen, su ve klorür) çevreden beton içine girmesi ve donatıya kadar ulaşması güçleşir. Betonun özellikle kuru halde iken elektriksel iletkenliği de oldukça düşüktür. Bunun sonucu olarak betonarme donatılarının pratik olarak korozyona uğramayacağı söylenebilir (Doğan (2009)). Ancak betonarme donatının korozyonu ya betonarmenin yapım aşamasında beton içindeki birimlerden ya da betonarmenin servis aşamasındaki etkilerden veya birlikteki davranışlarından oluşur. Betonun porozitesi ve permeabilitesi ne derece az ise, beton içine penetre

olabilen klorür miktarı da o derece az olur ve dolayısı ile de korozyon oluşum hızı azalır. Betonun bu özellikleri başta su/çimento oranı olmak üzere, beton yapımında kullanılan agrega granülometrisine, çimento dozajına, betonun kalıp içinde sıkıştırılmasına ve dökümden sonraki ilk günlerde uygulanan kür koşullarına bağlıdır (Koç (2002)). Bu etkenler aynı zamanda betonun dayanıklılığını da etkileyen etkenler olduğundan bunların olumsuzlaşması, donatı korozyonu kadar beton korozyonunu da kolaylaştırır ve buna dayanarak donatı ile betonun korozyonuna neden olan etkenleri ve bunlara karşı alınacak önlemleri birlikte düşünmek yerinde olur. Donatı korozyonunda oluşan demir oksit büyük hacim genişmesi meydana getiren (hacim artışı %500'lere kadar ulaşabilir) sarı/kahve renkli içi boşluklu bir maddedir. Korozyona uğrayan bu donatı yüzeyinde meydana gelen hacim artışı (pas), çekme dayanımı düşük ve gevrek bir malzeme olan betonun çatlamasının ve parça atmasının önemli nedenlerinden biridir (Doğan (2009)) (Şekil 2).



Şekil 2. Korozyon sonucu pas payı betonu dökülmüş örnekler (Doğan (2009)).

Beton içine oksijen girişi iki yolla olabilir. Birincisi oksijen ile doymuş haldeki su beton içine penetre olurken oksijeni betonarme donatılarına kadar beraberinde taşır. Bu olay periyodik olarak ıslanan ve kuruyan deniz kenarında dalgalara maruz betonlarda etkili olarak yürür (Şekil 3). İkincisi hava doğrudan beton çatlak ve boşlukları içine dolarak oksijeni taşır. Eğer beton boşlukları su ile dolu değilse bu olay çok hızlı olarak gerçekleşir. Aksi halde oksijenin beton boşlukları içindeki suda çözünerek oradan betonarme donatılarına kadar çözelti içinde difüzyonunu gerektirir. Betonarme donatılarının korozyonu beton boşluklarının yarıya kadar su ile dolu olması halinde ya da zaman zaman ıslanıp kuruyan betonlarda maksimum değere ulaşır (Ün (2005)). Beton

içine oksijen difüzyon hızı su/çimento oranı yanında betonun rutubet derecesine (beton boşluklarının su ile doluluk derecesine) de bağlıdır. Beton kuru halde iken su eksikliğinden, beton su ile tam doymuş halde iken de oksijen eksikliğinden betonarme donatılarının korozyonu son derece yavaştır. En şiddetli korozyon olayı, periyodik olarak ıslanan ve kuruyan betonlarda görülür (Şekil 3). Diğer taraftan köprü ayakları gibi sürekli su altında kalan betonlarda da korozyon hızı son derece düşüktür. Bu durum su içinde çözülmüş halde olan oksijenin beton içinden difüzyonunu donatı yüzeyine kadar taşınmasının güçlüğünden ileri gelir. (Doğan (2009)).



Şekil 3. Deniz kenarında korozyona uğramış yapı örnekleri (Doğan (2009)).

Beton karışımında bulunan doğal kum, çakıl, karışım suyu ve çeşitli katkı maddeleri gibi bileşenler normal halde çok küçük konsantrasyonlarda klorür içerirler. Bu klorür betonarme demirlerinin korozyonuna neden olmaz. Klorür iyonunun zararlı etkisi ancak beton içinde % 0,2 den fazla (4,5 kg Cl-/m³) veya 1 m³ de yaklaşık olarak 0,7-1,2 kg dan fazla klorür bulunması halinde söz konusu olabilir. İkincisi ve pratikte daha sık rastlanılan beton sertleştikten sonra çevreden beton içine difüzyonlanan klorür iyonlarıdır. Klorür iyonunun çukur korozyonu oluşturması yukarıdaki zincirleme reaksiyonların dar bir bölgede yürümesi sonucu ortaya çıkar. Klorür iyonu ile kirlenmiş betonlar içinde çukur korozyonu olayına sıkça rastlanır. Çevreden beton içine difüzyonlanan klorür iyonlarının pasif halde bulunan betonarme demirleri üzerindeki pasif tabakayı bozarak korozyona neden olur. Korozyon sonucu çukur gittikçe büyüyerek metalin o noktadan kısa sürede delinmesine neden olur. Çukur tipi korozyon çok tehlikeli bir korozyondur (Doğan (2009)).

Yüksek alkali özelliği nedeniyle normal betonlar içinde betonarme demirleri pasif halde bulunur. Fakat herhangi bir nedenle beton pH derecesi düşerse pasiflik bozulur. Beton pH derecesinin düşmesine neden olan en önemli olay karbonasyon olayıdır. Karbonasyon, çevre atmosferden beton içine giren karbon dioksitin (veya SO_x, NO_x gibi diğer asit gazların) beton boşluklarında bulunan serbest kireç ile reaksiyona girmesi ile oluşur. Bu reaksiyon sonucu beton pH derecesi 9'a kadar düşebilir ve betonun pasifleştirme özelliği kaybolur (Koç (2002)). Karbonasyon olayı beton yüzeylerinde başlar ve zamanla parabolik olarak azalan bir hızla beton derinliklerine doğru ilerler. Penetrasyon hızı her şeyden önce betonun fiziksel özelliklerine bağlıdır. Yüksek kaliteli ve düşük poroziteli betonlarda karbonasyon etkisi çok azdır. Sıcak ve kuru (düşük relatif

rutubetli) ortamlarda bulunan betonlarda karbonasyon olayı daha etkilidir. Ancak penetrasyon hızı en kötü koşullarda bile ortalama 1 mm/yıl'dan daha azdır. Difüzyonla karbonasyon çok uzun bir işlemdir. 1 mm. beton kaplaması yaklaşık 1 yılda karbonatlaşır ve bunun hızı, karbonasyon madde miktarı, CO₂ difüzyon hızı, relatif nem oranı ve havadaki CO₂ oranı gibi birkaç parametre tarafından belirlenir. Beton üzerindeki çatlaklar karbondioksitin hızla ilerlemesine izin verir (Mokhtar ve ark. (2008)). Dış ortamdaki CO₂ konsantrasyonu, baca ve eksoz gazları ve endüstriyel kirlilik artıtkça karbonasyon oranı artar. Karbonasyon, beton içinde yüzeyden 10 cm'den derinlere kadar ulaşabilen bir bozulmadır (Koç ve Tuhta (2012)). Korozyona etki eden faktörler sayılamayacak kadar çoktur. Çimentonun ham maddesi bile korozyonda etkili parametrelerdendir. Bunlar kısaca şu şekilde gruplandırılabilir: 1-) Beton Kalitesi 2-) Çimento dozajı 3-) Su/çimento oranı 4-) Çimento Cinsi 5-) Beton pH'ı.

3. Korozyon Hasarları Ve Önlemleri

Ülkemiz genelinde bodrum kat düşey taşıyıcı elemanlarının beton ve donatılarının korozyonu, deprem kadar acil önlem alınması gereken önemli ve sık karşılaşılan bir olaydır. Zemin altı bölümünde kritik düşey taşıyıcı eleman uç noktalarından korozyona uğrayan yapılar, yavaş yavaş korozyonun betonda ve donatıda ilerlemesiyle, önlem alınmazsa, en çok 15-20 sene gibi bir zamanda mekanizma haline gelip, deprem olmasa bile ani gevrek kolon göçmeleriyle kısmen veya tamamen çökebilmektedir. Hele bölge, hem nemli ve yağışlı bir iklimle sahip, hem de 1. ya da 2. dereceden bir deprem bölgesi ise, küçük büyüklüklerdeki depremlerde dahi, zaten mekanizma haline yaklaşmış olan bu tür yapılar, az enerji tüketerek birden

göçebilmektedirler. Günümüz betonarme ve çelik yapılar, kendi zati ağırlıkları, servis ve sismik yüklere göre boyutlandırılır. Ancak yapılardaki deprem hasarları incelendiğinde, boyutlandırmada dikkate alınmayan korozyonun yapıların deprem hareketinden hasar görmesini önemli ölçüde artırdığı gözlenmiştir. Bu nedenle, korozyonun yapılardaki deprem hasarlarına etkisi ve oluşmaması için mevcut ve planlanan yapılarda alınması gereken önlemler irdelenmelidir. Deprem, yapıda korozyon oluşumuna iki aşamada devreye girmektedir. Birincisi magnitudü küçük olan depremlerde yapıda bulunan malzeme ve düzensizlikler sonucu oluşan kılcal çatlaklardan donatıya çeşitli elementlerin difüzyonunu kolaylaştırması sonucu korozyon oluşumuna sebep olmasıdır. Birde bu etkinin yapı ömrü boyunca defalarca olması yapıyı büyüklüğü küçük olan bir depremde bile yıkımına sebep olabilir. İkincisi daha önce herhangi bir şekilde donatısı korozyona uğramış yapılar olabilecek orta büyüklükteki bir depremde kullanılamayacak derecede hasar görebilmektedir. Deprem riski olan bölgelerdeki korozyon oluşumu yapının deprem bölgesinden dolayı göreceği sismik kuvveti artırmaktadır. (Doğan (2009)). Gerekli standartları taşımayan beton içindeki demirin 62 ayrı kimyasal reaksiyon tehlikesiyle karşı karşıyadır. Depremde hasar gören binaların yüzde 67'sinde korozyon görüldüğü ileri sürülmektedir (Koç (1998)). Büyük Marmara depremi sonrası yapılarda beton mukavemetinin çok zayıf olduğunun, zayıf betonun korozyon problemi yarattığının görüldüğü, korozyonun İstanbul'u depremden daha fazla tehdit eden bir konu olduğu, binalarda kullanılan demirlerin neredeyse eriyip bir iz halinde kaldığı belirtilmiştir (Koç (2012)).

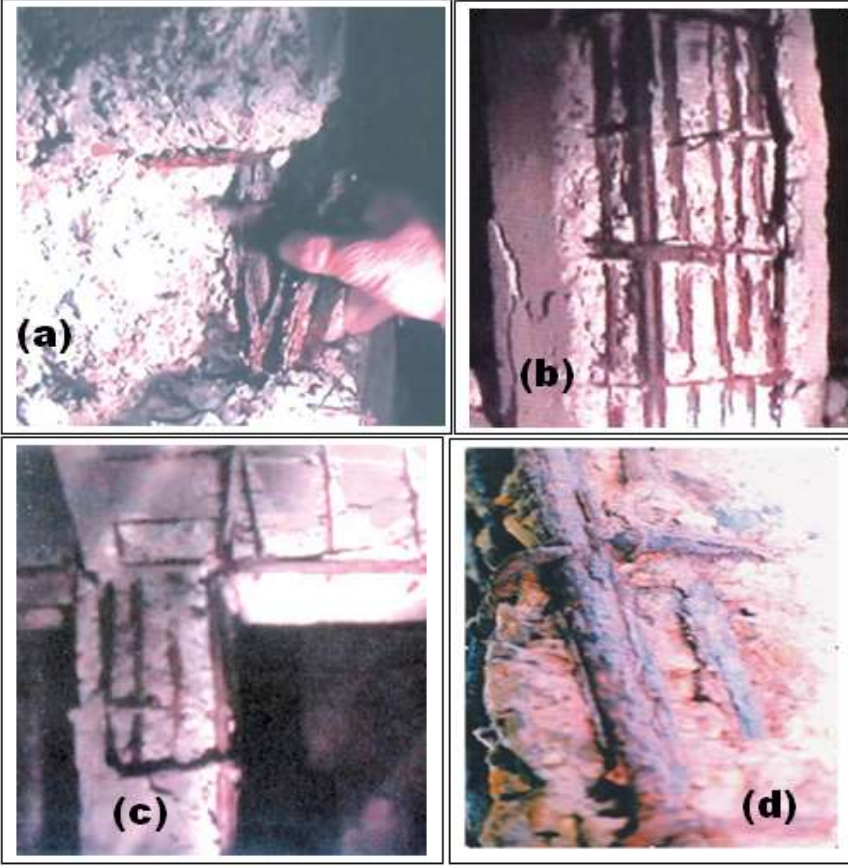
Özellikle bodrum katlardaki korozyon nedeniyle yapılar ciddi tehlike altına girer. Örneğin Şekil 4a' da, bodrum kat düşey donatı demirlerinin paslanması neticesinde demirlerin elle koparılacak duruma geldiği görülmektedir. Şekil 4b' de de, bodrum kat kolon düşey donatı demirlerinin rutubet etkisi altında paslanarak donatı kesit çaplarının paslanmak suretiyle zayıfladığı görülmektedir. Şekil 4c' de ise yine bodrum katta, kolon ve kiriş düğüm noktasında pas paylarının dökülerek donatıların korozyona uğramış hali gözükmemektedir. Şekil 4d' de de, bodrum kat kiriş demirlerinin üzerindeki pas paylarının rutubet etkisiyle döküldüğü ve boyuna donatıların çekme mukavemetini

kaybedecek derecede paslandığı görülmektedir. Bu tür korozyon hasarları sonucu, yapıya etkiyen yatay tersinir deprem kuvvetleri olmasa dahi yapı ciddi tehlike arz etmektedir. Bu tip yapılarda, mutlaka gerekli güçlendirmeler yapılarak tedbirler alınmalıdır. Şekil 5' de de korozyona uğramış çeşitli yapı elemanlarından örnekler verilmiştir.

İstanbul'un ilçelerinde korozyon ve beton dayanımı üzerine yapılan incelemelerde Çizelge 2'deki değerler bulunmuştur (Coşgun (2001)). Benzer şekilde, Eskişehirde, 17 Ağustos 1999 Büyük Marmara Depreminden sonra oluşmuş deprem hasarlarının incelenmesinde, deprem hasarlarında korozyonun etkili olduğu görülmüştür (Şekil 6) (Doğan (2009)). Ülkemizde tüm yerleşim bölgelerinde ortak olarak görülen korozyon nedenli kusurlardan bazılarını da, Urfa şehir merkezi binalarından alınan fotoğrafların verildiği Şekil 7'de görebiliriz. Şekil 7 a ve b' de gösterilen bodrum katta zeminden su çıkmakta ve çıkan su pompalar yardımıyla tahliye edilmektedir. Bodrum katta olan bu durum betonarme elemanlara zarar vermektedir. Kirişlerde beton kabuk dökülmüş ve açığa çıkan donatılar korozyona uğramıştır. Kolonlarda çok belirgin olarak rutubet olduğu görülmekte bu da kolon donatılarına zarar vermektedir. Bu bina yapılırken zemin etüdüne dikkat edilmediği ve zemini sulu zemin olmasına rağmen hiçbir tedbir alınmadığı açıkça görülmektedir. Tüm bodrum kat su almakta ve binanın yan tarafındaki rögar suları da bodrum duvarından içeri sızmaktadır; bunun içinde yalıtım tedbirleri alınmamıştır. Şekil 7 c ve d' de de, aynı binada meydana gelen çatlaklar görülmektedir. Bu çatlakların oluşma nedeni zeminin çok sulu olması ve binanın temelinin bu zemin yapısına göre projelendirilmemesinden dolayı binanın oturmasıdır. Binanın beton kalitesinin kötü olduğu betonun dökülmelerinden görülmektedir. Kolonlardaki etriyeler yetersizdir; ve beton dökülmesinden sonra açığa çıkan donatılar da korozyona uğramaktadır. Urfa şehir merkezi binalarının bir kısmında, dükkana çevrilen zemin katlarda veya bodrumda kolon ve kirişlerde su borusu, kanalizasyon borusu vs. amacıyla irili ufaklı, yer yer kiriş yüksekliğinin yaklaşık yarısı kadar delikler açıldığı tespit edilmiştir. Örneğin Şekil 7e' de, bodrum katta bir kirişte, etriyelerin açığa çıkarılarak pis su borularının monte edildiği, Şekil 7f' de bodrum kat kirişinin ortasından delinerek boru geçirildiği görülmektedir (Gümüşçü ve ark. (2004)).

Tablo 1. İstanbul'da incelenen betonarme binalarda belirlenen korozyon ve beton basınç dayanımlarının ilçelere göre dağılımı

İlçe	Toplam Bina	Korozyonun Belirlendiği Bina Sayısı	Yüzdesi (%)	Ortalama Basınç (N/mm ²)	Dayanımı
Avcılar	32	15	47	9.55	
Bahçelievler	24	13	54	10.6	
Bakırköy	14	6	43	13.8	
Büyükçekmece	6	2	33	9.2	
Küçükçekmece	10	5	50	8.8	
Kadıköy	14	8	57	11.3	



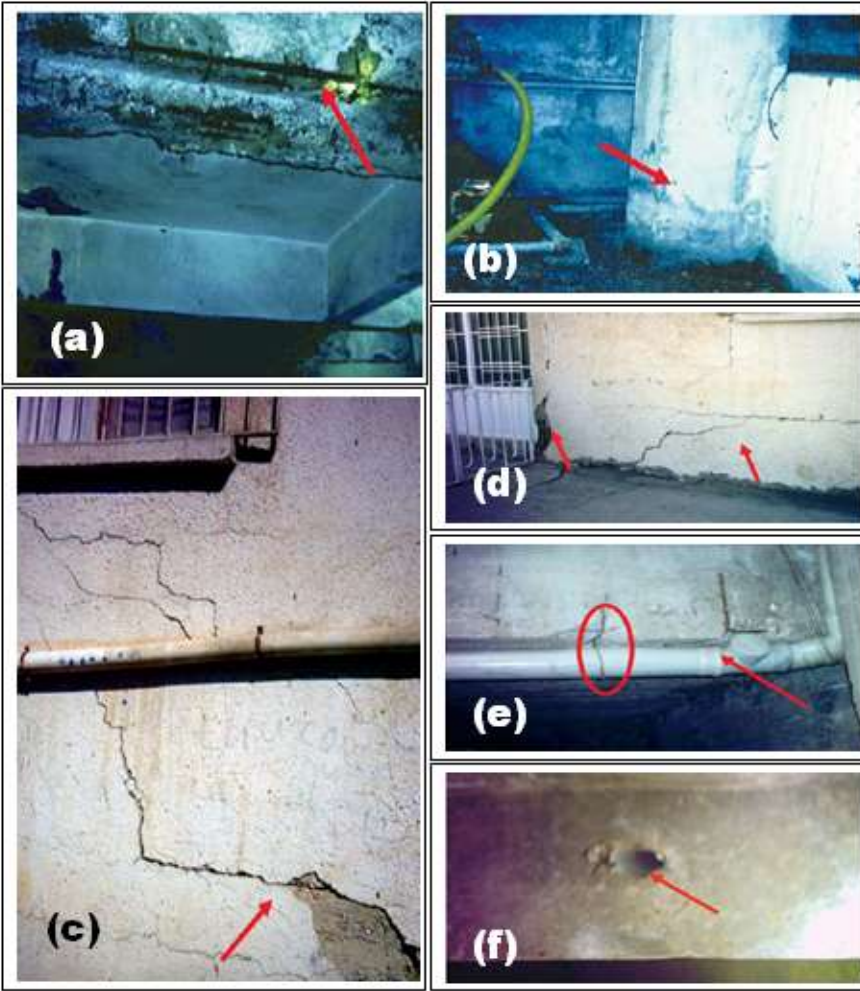
Şekil 4. Bodrum kat kolon- kiriş donatılarında korozyon örnekleri



Şekil 5. Korozyona uğramış yapı elemanları örnekleri (Doğan (2009)).



Şekil 6. 1999 İzmit depreminde Eskişehir’de hasar gören yapılarıdaki korozyonlar (Doğan (2009)).



Şekil 7. Korozyon nedeni kusur örnekleri ve sonuçları (Gümüşcü ve ark. (2004)).

Yalıtımsız yapıların çoğunda korozyon vardır. Yapılarda özellikle yeraltı suyu ve bodrum katlardaki rutubet, kolon paspayının dökülmesine ve kolon içerisindeki çeliğin paslanmasıyla oluşan kesit kaybına neden olur. Bu da yapıda çekme kuvvetini karşılayan çeliğin, görevini yapamamasına neden olur; bu durumda, yapıda hasar meydana gelmesi kaçınılmazdır. Çelik, paslanmak suretiyle korozyona uğrar ve mukavemetini kaybederek yapılarda hasara meydan verir. Bu nedenle çeliğin beton içerisinde paslanmasını önlemek için gerekli olan pas paylarının mutlaka bırakılması gerekmektedir. Ayrıca bodrum katlarda rutubet nedeni ile oluşacak paslanmayı önlemek için bodrum katlara mutlaka dışarıdan temel seviyesi altına kadar su yalıtımı yapılmalı ve sular drenaj ile uzaklaştırılmalıdır. Yine paslanmayı önlemek için çeliğin pası karşı koruyucu maddelerle kaplanarak ömrü artırılmalıdır. Bu önlemler, dolayısıyla binanın ömrünü de artıracaktır. Ayrıca bazı su veya atık su tesisatları usulüne uygun yapılmadığından, tesisatlarda su kaçaqları meydana gelmekte, bu su kaçağı da özellikle kolon, kiriş ve döşemelerde korozyona meydan vermektedir. Paslanan kolon ve kiriş donatı elemanları kesit kaybına uğramakta ve yapının taşıyıcılığını kaybetmesine neden olmaktadır. Bu nedenle yapılarda usulüne uygun su tesisatı ve yalıtımının yapılması zorunludur. Yapının ömrünü artırmak onun iyi korunması ile mümkündür. Mevcut yapıların bodrum katlarında havalandırma sağlanarak rutubet giderilmeli ve beton yüzeyi kimyasal etkilere karşı koruyucu boyalarla boyanmalıdır. Binalarda gerek dış gerekse de iç bölümlerde, özellikle de bodrum

katlarında, beton sıvasına dikkat edilmeli, yüzeyler sıvasız bırakılmamalı, yer yer oluşabilecek sıva dökülmeleri hemen tamir edilmelidir. Kalıp- donatı işçiliğindeki yanlışlıklarla donatının kayması ya da betonun pas payını dolduramaması gibi nedenler sonucu pas payının hatalı ve az yapılması veya yer yer yapılmaması; sonradan ortam etkileriyle pas payı betonunun dökülmesi v.b. nedenlerle donatılar kısmen de olsa dışarıda kalabilir. Bunlara kesinlikle dikkat edilmeli, hemen gerekli bakım ve tamir işleri yapılmalıdır. Binaların genel olarak bakımına özen gösterilmeli, tretuarsız bina bırakılmamalı, teretuarların da yeterli olmasına dikkat edilmeli, dış sıvalarına önem gösterilmeli, özellikle taşıyıcı sistem elemanları dışarıda su ve hava ile temas halinde bırakılmamalıdır. Bazı binalarda bodrum katlarda sağlık açısından hastalık bile yayacak durumda ağır koku ve nem olabilir. Binaların bazılarının kanalizasyon sorunu yüzünden atık su kısmen de olsa sürekli olarak zemine akabilir. Hatta bahçelerinin bataklık gibi olduğu bile tespit edilebilir (Gümüşcü ve ark. (2004)). Tüm bu olumsuzluklara hem insan hem de yapı sağlığı için kesinlikle izin verilmemelidir.

Betonun maruz kalacağı ortam etkilerine göre TS EN 206-1 den yararlanılarak çevresel etki sınıfı belirlenmeli, bu standarda ve bu standardın uygulamasına yönelik tamamlayıcı standart olan TS 13515' e dayanarak söz konusu duruma uygun beton üretilip kullanılmalıdır.

4. Kısa Kolon Davranışı ve Hasarları

Kısa kolon oluşumuna etki eden, duvar yüksekliği, çerçevede duvarda bırakılan düşey boşluklar, yetersiz kayma donatısı gibi pek çok parametreden bahsetmek mümkündür. Kolon kesme kuvvetinin, sadece çerçevenin göz önüne alındığı hesaplarda verilen değerlere göre 4-5 misli artabildiği ifade edilmiştir (Gürkan ve Wasti (1993)). Benzer şekilde, çerçevedeki duvarları göz önüne alarak yapılan tasarımdaki kolon kesme kuvvetlerinin, duvarları modellemeden hesaplanan kesme kuvvetlerine göre oldukça önemli oranda arttığı görülmüştür (Çağatay (2004)). Kısa kolonda oluşan kesme kuvveti kısa kolonun yüksekliği ile ters orantılıdır. Dolayısıyla, yükseklik ne kadar kısa ise oluşacak kesme kuvveti de o kadar fazla olacaktır. Kısa kolon yüksekliği, uygulamada aydınlatma amacıyla genellikle 40-50 cm kadar bırakılmaktadır (Çağatay (2007)). Deprem kuvvetleri nedeniyle oluşacak kesme kuvvetleri kısa kolonda yeterli önlemler alınmaz ise büyük hasarlara neden olmaktadır. Genellikle proje aşamasında duvarlar modelde yer almaz; yani, tasarım aşamasında, dolgu duvarların rijitliklerinin yapı davranışına katkısı dikkate alınmamaktadır. Ancak, bu elemanların sahip oldukları rijitliğin, yapıların gerek simetrik gerekse asimetrik plana sahip olması durumunda, deprem etkisi altında, yapı davranışını etkilemesi beklenmelidir (Güney ve Boduroğlu (2006)).

Kısa kolon hasarlarıyla yurdumuzda depremler sonrasında çok sık karşılaşılmaktadır. Bu da konuya gereken önemin verilmediğinin bir göstergesidir. 1992 Erzincan depreminde zemin katlarda kısa kolon etkisi yaratan iki ayrıntı ile karşılaşmıştır. Bunlardan biri zemin kat tavanına yakın bırakılan pencereler nedeniyle kolonlar arasında yer alan dış duvarlar, ikincisi giriş kapısı üstünde kat döşemesi altında oluşturulmuş lento veya hesaba katılmayan kirişlerdir (İTÜ (1992)). 1995 Dinar depreminde de kısa kolon sorunu hasarlarda etkili olmuştur. Çoğunluğu kolonlar arasına güçlü bir duvar yerleştirilmesi ve tepede bant pencere bırakılması sonucu oluşan kısa kolonların birçoğunda önemli hasar oluşmuştur. Şekil 8a' da bu hasarlara örnek olarak, Dinar Lisesi binasından bir fotoğraf verilmektedir. Dinar'ın en önemli sanayi tesisi olan 252 işyerini barındıran Küçük Sanayi Sitesi'nde de sitenin neredeyse tüm atölye blokları depremden hasar görmüştür. Betonarme bir tip projenin uygulandığı bloklarda temel hasar nedeni proje hatasıdır. Blokların içinde yapılan galeri katı kısa kolon oluşmasına neden olmuştur (Şekil 8b). Bu şekilde görülen hasar oldukça yaygındır. Üstelik bloklar son derece hafif bir çatı örtüsüne sahiptir. Sanayi Sitesindeki hasara rağmen üretimlerini sürdürmek isteyen bazı atölye sahipleri hasarlı kısa kolonları kendi yöntemleri ile çelik elemanlar kullanarak askıya alınmış, onarmaya çalışmışlardır (Şekil 8c). Ancak temele ve üstteki kirişlere gerekli bağlantılar yapılmadığından bu çelik elemanlar sadece bir miktar düşey yük alabilecek, yatay yüklere karşı ise herhangi bir dayanım sağlamayacaktır (ODTÜ(1995)).



Şekil 8. 1995 Dinar depreminde gözlenen kısa kolon hasarı örnekleri (ODTÜ(1995)).

17 Ağustos 1999 Marmara depremi sonrası da kısa kolon hasarlarına sıklıkla rastlanmıştır. Şekil 9a' daki fotoğrafta, büyük boşluklu, düşük rijitlikli zemin kat etkisinin, kat çıkmasının ve kısa kolon davranışının birlikte oluşturdukları ağır hasar görülmektedir. Şekil 9b' de gösterilen, Yalova'da Gölcük'e gidiş yönünde deniz kenarında kalan sitelerde oldukça sık rastlanan hasarın kaynağı da kısa kolon etkisidir. Giriş ya da bodrum katının yarım kat olarak inşa edilmesiyle cephelerde oluşan kısa kolonlar aşırı yüklenmeye maruz kalmışlar ve bunun sonucu olarak Şekil 9b' de görülen sahneler ortaya çıkmıştır. Yalova merkezinde stadyumun arkasından alınan bu görüntüde tüm siteyle birlikte resimde görülmeyen çevredeki diğer bazı binaların da aynı hasara uğramış olması ilginçtir (Karaesmen (1999)).

1999 Düzce depreminden sonra Bolu civarında çekilen Şekil 10' daki fotoğraflarda da dolgu ve perde duvarlarda bırakılan bant pencerelerin oluşturduğu kısa kolon davranışı görülmektedir (Özcebe (1999)). Fotoğraftaki binanın hem zemin kat seviyesinde hem de bodrum kat seviyesinde bant pencereler mevcuttur.

Genelde tasarımda göz önüne alınmayan bu tür oluşumlar; kolon-perde ve duvarlarda çok gevrek olan kesme kırılmasına yol açmaktadır. Kısa kolon oluşumu, büyük kanatlı binalar ve bitişik nizamalarda, yaygın olarak tercih edilen mimari ve taşıyıcı sistem tasarım ve uygulamalarından dolayı, depremler sonrası sürekli karşılaşılan bu tür hasarları doğurmaktadır. Şekil 11 a ve b' de görüldüğü üzere, genellikle sanayi türü yapılarda pencereler açmak ve ışıktan yararlanmak için dış duvarlarda boşluklar bırakılmaktadır, bu da kısa kolon hasarlarına yol açabilmektedir. Şekil 11(b)' den görüldüğü gibi dolgu duvarlar düzlemleri içinde yatay yüklere karşı son derece rijit bir yapı elemanı gibi davranabilmektedir. Şekil 11(b)' deki yapıda alt kattaki tüm dış kenardaki kolonlar ağır hasar görmüş, ancak duvarlarda hemen hiç bir hasar görülmemiştir (Çağatay (2007)). Benzer şekilde, aynı depremden, Düzce bir okulda gözlenen kısa kolon hasarları da örnek olarak sunulmuştur (Şekil 12).



Şekil 9. 17 Ağustos depremi sonrası görülen kısa kolon hasarı örnekleri (Karaesmen (1999))



Şekil 10. 1999 Düzce depremi sonrası görülen kısa kolon hasarı örneği (Özcebe (1999)).



Şekil 11. (a) Kısa kolon etkisi ile hasar gören bir yapı, Adapazarı depremi. (b) Kısa kolon etkisi ile hasar gören bir yapı, Ceyhan depremi (Çağatay (2007)).



Şekil 12. 1999 Düzce depreminden sonra bir okulda gözlenen kısa kolon hasarları (İrfanoğlu (2009)).

1 Mayıs 2003 Bingöl depreminden sonra da, daha önceki depremlerde de görüldüğü gibi, yine özellikle tip ya da benzer projeye yapılmış bir çok okul binasında yıkım ya da ağır hasarla karşılaşmıştır. Bunların çoğunda kısa kolon davranışının yıkım ve ağır hasara katkısı vardır. Şekil 13’de, bir okul binasının depremden önceki ve sonraki hali görünmektedir. İşaretlenmiş bölgelerden de anlaşılacağı üzere, binanın zemin katı üzerine

çökmesinde sağ taraftaki kısa kolon davranışlarının da etkisi olduğu düşünülebilir. Yine Şekil 13’ de benzer bir projeye sahip okul binasındaki kısa kolon hasarları sunulmuştur. Aynı şekilde, Bingöl depreminin, okul binalarında oluşturduğu kısa kolon hasarlarına iki örnek de Şekil 14’de verilmiştir.



Şekil 13. 1 Mayıs 2003 Bingöl depreminden sonra kısa kolon davranışının da etkisiyle hasar gören okul binaları (İrfanoğlu (2009)).



Şekil 14. 1 Mayıs 2003 Bingöl depreminden sonra okul binalarında gözlenen kısa kolon hasarları (İrfanoğlu (2009)).

23 Ekim 2011 tarihinde meydana gelen 7,2 Mw büyüklüğündeki Van depreminde de değişen pek bir şey olmamıştır. Yine kamu binalarında, bant pencereler nedeniyle kısa kolon hasarları gözlenmiştir. Örneğin Çevik Kuvvet Şube Müdürlüğü, MTA Doğu Anadolu Bölge Müdürlüğü (Şekil 15) gibi bazı kamu yapılarında ağır hasarlar oluşmuştur. Van depremi sonrası, çerçeve açıklarında örülen yarım duvarlar ile oluşturulmak istenen bant pencereler sonucu pencere yanı kolonlarında kısa kolon durumunun oluşmasına bir örnek de Şekil 16' de görülebilir. Bu depremden sonra, çoğu deprem sonrası hasarlarında da görüldüğü gibi, kısa kolon oluşumu tarzı

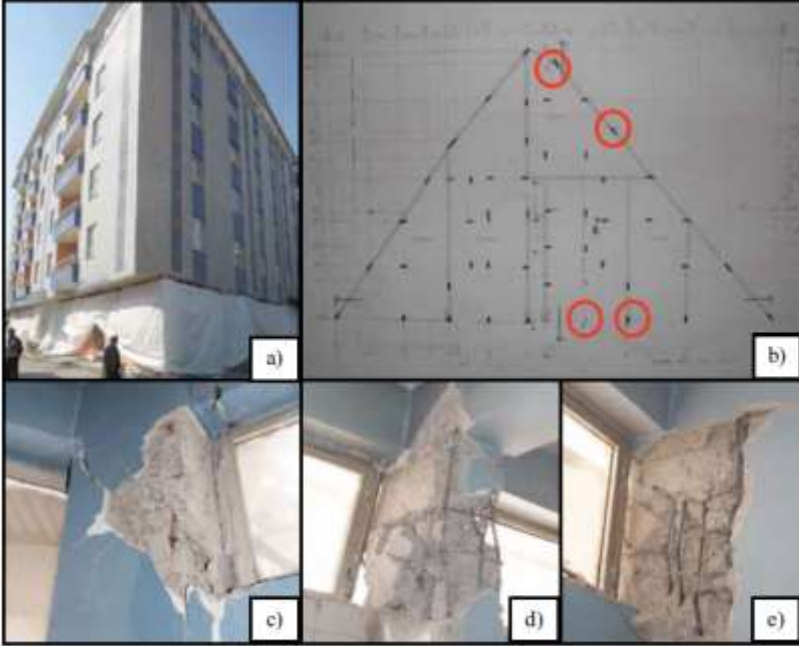
zayıflıklarla birlikte plan düzensizliği de binaların davranışını olumsuz etkilemiştir. Van' da plan alanı üçgen bir geometriye sahip olan 5 katlı yapının (Şekil 17 a, b), giriş katında bulunan ve kısa kolon tiplmesi içine giren dört kolonunda ağır yapısal hasar gözlenmiştir (Şekil 17 c, d, e). Hasarlı kolonlarda etriye kancalarının 90° olduğu, yeterli sargı etkisi sağlanamadığı ve etriyelerin kanca hizalarında açıldığı gözlemlenmiştir. Çerçeve düzensizliği de bulunan yapının tüm bu zayıflıklarına rağmen ayakta kalabilmesi; açıklıklarının kısa olması dolayısıyla göçen kolonlarındaki kuvvetlerin kolonlar arası yeniden dağılımıyla açıklanabilir (Yakut ve ark. (2011)).



Şekil 15. Van depreminden sonra kamu binalarında bant pencerelerin oluşturduğu kısa kolon hasarlarına örnekler (Alan ve ark. (2011)).



Şekil 16. Van depreminden sonra görülen pencere kenarı taşıyıcı ve fonksiyonel elemanlardaki kesme hasarı örnekleri (Bedirhanoğlu ve Önal (2011)).



Şekil 17. Van depremi sonrasında, plan düzensizliği ve kısa kolon oluşumu gözlenen ağır hasarlı bina (Yakut ve ark. (2011)).

5. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada özellikle ülkemizde çok sık görülen ve etkileri ve binalarda genellikle etkiledikleri bodrum kat bölgeleri açısından da benzer özellikler gösteren beton- donatı korozyonu ile kısa kolon davranışı birlikte ele alınarak literatürden örnekler verilip aşağıda sunulan bazı öneriler tartışmaya açılmak istenmiştir:

Korozyonun önlenmesi için beton kalitesine önem verilmeli, yapıda işçilik iyi denetlenmeli, pas payı yapının bulunduğu çevreye göre en az TS 500 değerlerinde tutulmalı ve gerekirse paslanmayı önleyici katkı maddeleri olarak donatıya ince bir tabaka halinde sürülen ve/ veya betona katılan katkı maddeleri kullanılmalı, beton geçirimsizliğini ve dolayısıyla dış etkilere karşı dayanıklılığını artırarak beton korozyonunu önleyen hava sürükleyici ve/ veya kimyasal- mineral katkıları kullanılmalıdır. Ancak kullanılan katkı maddelerinde klor olmamasına veya belirli değerlerin altında tutulmasına özen gösterilmeli ve bu değerler ilgili Türk Standartlarında açıkça belirtilmelidir. Su basman seviyesi altında zeminle temasta bulunan yapı elemanlarında gerekli yalıtımlar yapılmalı, en az BS 25 betonu kullanılmalı ve pas payı da en az 50 mm olmalıdır. Donatı korozyona karşı ince tabakalar halinde kimyasal maddelerle kaplanmalı, dolgu için kullanılacak malzemenin sülfat tuzları ve klor içermemesine özen gösterilmelidir. Donatının korozyonu binanın sadece bodrum katında ileri olmayan derecede tespit edilmişse, ayrıntılı bir güçlendirme projesine gidilmeyip, donatının üzerindeki pas tel fırça ile temizlenip, üzerine korozyon önleyen ve aderansı zedelemeyen bir tabaka sürüldükten sonra hazır tamir harcı uygulanmalıdır. Korozyon ilerlemiş ve donatının kesitinde önemli bir azalma meydana gelmişse, elemanın ayrıca onarılması gerekir. Eğer korozyon yalnız bodrum katta ileri derecede bulunuyorsa, taşıyıcı sistemin simetrisine dikkat ederek bodrum kat kolonlarının mantolanması yeterli olabilir. Bunun yanında korozyonun oluşmaması ve önlenmesi için gerekli tedbirler alınmalıdır (Celep (2010)). Diğer bazı hasarlarda olduğu gibi korozyonda çeşitli aşamalarında haber vermektedir. Bunun

için önemli yapı ve kesitlerde gözlemler yapılması sonucu hasarı önceden önlemek mümkün olabilir. Özellikle çelik köprü, yakıt tankları, silolar ve baraj yapıları gibi yapılar gözetim altında tutularak hasarın önüne geçilebilir.

Özellikle nemli ve yağışlı iklime sahip bölgelerde, bodrum kat kolon ve perdelerinin hem donatılarının ve hem de betonunun korozyona karşı korunması, yağmur sularının drene edilmesi ve binanın en azından zemin kat altı bölgelerinin su yalıtımının yapılması, depreme dayanıklı yapı tasarımı ve imalatı kadar önemli bir konudur. Yönetmeliklerde; **1.** Sismik etkinin yüksek olduğu bölgelerde (1. ve 2. derece) **2.** Rutubetin yüksek olduğu denizden 0-20-50-100 km iç kısımlarda (tespit sonucu) **3.** Deniz seviyesinden belli değerden yüksek olan belli dereceden soğuk bölgelerde **4.** Tüm yapıların bodrum kat/katlarında **5.** Bunların birkaçının birlikte bulunduğu durumlarda, pas payı, sıva, kaplama, beton ve çelik sınıfına göre bir düzenleme yapılmasının uygun olacağı, özellikle bölgesel rutubet durumlarına göre bir pas payı haritasının hazırlanması gereği, bir yapıdaki bodrum katı ile n. katı arasında rutubet farklarının olacağı düşünülerek pas payı haritasına bu bilgilerin de yansıtılmasının gerekliliği, mevcut yapılarda çevre suları ve bodrum kat rutubetinin kalıcı bir şekilde önlenmesinin zorunluluğu, acil sağlık (hastane), haberleşme (PTT), ulaşım (köprü) ve savunma (depo) yapılarının özellikle yapılarında ve kullanımında periyodik olarak korozyona karşı korunmalarının gerekliliği üzerinde durulmalıdır (Doğan (2009)).

Kısa kolon davranışının önlenmesine yönelik olarak da, kritik olan duvar boşluğu seviyesinde sargı donatısı kullanılması, donatı detaylandırmalarına dikkat edilmesi, beton dayanımına ve sıkıştırılmasına dikkat edilmesi gibi temel kriterler üzerinde durmak gerekir. Rijit hale getirilen kolondan dolayı artacak olan yatay yükler, kolon yüzeylerinde eğilme kaynaklı çekme etkilerini artıracığı için, bu etkileri karşılayacak düzeyde boyuna donatı konmalıdır. Bu ancak tasarımda da kolonun kısa olacağı dikkate alınarak hesapların yapılmasıyla gerçekleşir. Tasarımda ön görülmemiş yerlerde, sistemde kısa kolonların oluşmasına meydan vermemeli veya kısa kolonlar enine donatı ile usulünce

sarılmalı veya duvar ile kolon arasında boşluk bırakılmalı ya da kolonun bölme duvarı desteğinden mahrum kalan yüzeylerine çelik profil vb. elemanlarla diyagonal desteğe eşdeğer koruma sağlanarak yalıtım ve görünüm açısından da gerekli bölümler su yalıtımı ve alçıpan v.b. ile kapatılmalıdır. Tavsiye edilen öneriler, beton kalitesine ve durabilitesine de yönelik olduğundan hem beton- donatı korozyonunu sınırlandırmak hem de kısa kolon davranışını azaltmak amacıyla birlikte bir bütün olarak değerlendirilip uygulanmalıdır.

Deprem yönetmeliği 2007 yılında yenilendiğinde 1998 yılındaki yönetmelikte eksik olan mevcut yapıların deprem performansının incelenmesi konusu da yönetmeliğe dahil edilmiştir. Buna da bağlı olarak, kısa kolon ve beton- donatı korozyonu konusunda da yapıların gözden geçirilmesi büyük önem taşımaktadır.

Kaynaklar

- Alan, H., Bozkurt E., Çağlayan, D., Dirlik, K., Özkaymak, Ç., Sözbilir, H., Topal T., 2011. Van Depremleri (Tabanlı-Edremit) Raporu, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayın no:110, Kasım 2011
- Bayülke, N., 2001. Depreme dayanıklı betonarme ve yağma yapı tasarımı, İMO İzmir Şubesi Yayınları.
- Bedirhanoglu, İ. ve Önal, T., 2011. 23 Ekim 2011 Van Depremi Ön Değerlendirme Raporu, İMO Diyarbakır Şubesi, 01 Kasım 2011
- Celep, Z., 2010. Mevcut betonarme binaların deprem güvenliğinin belirlenmesi ve güçlendirilmesi Genel kurallar, İMO yayınları.
- Çağatay İ. H., 2004. Failure Of An Industrial Building During A Recent Earthquake In Turkey, Engineering Failure Analysis, 12, 497-507.
- Çağatay, İ. H., 2007. Binalarda kısa kolona etki eden parametrelerin incelenmesi, Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 16-20 Ekim 2007, syf. 229- 236, İstanbul
- Coşgun, T., 2001. İstanbulda Deprem Sonrası Yapılan İncelemelerde Karşılaşılan Korozyon Hasarı Üzerine Bir İnceleme, İÜ M.F, İnşaat Mühendisliği Bölümü.
- Doğan M., 2009. Betonarme yapılardaki Deprem Hasarlarına Korozyonun Etkisi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi Cilt:XXII, Sayı:1, syf. 147- 168.
- Gülkan P ve Wasti T, 1993. Çerçeve Dolgu Etkileşmesi: Lineer Olmayan Bir İrdeleme, Türkiye İnşaat Mühendisliği XII. Teknik Kongre Bildiriler Kitabı, Ankara, 39-52.
- Gümüşçü, M., Özcan, N., Kaya, N., 2004. Şanlıurfa'daki betonarme yapıların mevcut durumu, Türkiye Mühendislik Haberleri, 434-2004/6, syfa 41-48.
- Güney D ve Boduroğlu H, 2006. Deprem Etkisi Altındaki Simetrik Ve Asimetrik Yapıların, Lineer Olmayan Tepkilerine Dolgu Duvarlarının Katkısı, İtü Dergisi/D, Mühendislik, 5, 3, 2, 165-174.
- Irfanoglu, A., 2009. Performance of Template School Buildings during Earthquakes in Turkey and Peru, Journal of performance of constructed facilities, ASCE, pp. 5- 14, January/February 2009
- İTÜ Yapı ve Deprem Uygulama- Araştırma Merkezi, 1992. 13 Mart 1992 Erzincan depremi hakkında Rapor I, İstanbul.
- Karaesmen E., 1999. Kocaeli Depremi, Türkiye Mühendislik Haberleri, 403-1999.5, syf 22- 36.
- Koç,T., 1998. Betonarme Demirlerinin Korozyonu ve Katodik Korunması-II, Tudev İş Dünyası, Sayı 3 sayfa 1-12.

- Koç,T., 2002. Betonarme Demirlerin Korozyonu ve Katodik Korunması, 8. Uluslararası Korozyon Sempozyumu Bildiri Kitabı, Sayfa 413-437.
- Koç, V., 2012. Asma Katlı Kat Çıkmalı ve Asmolen Döşemeli Yapıların Depremsel Davranışı, Samsun İlinin Deprem Riski ve Alınabilecek Önlemler Sempozyumu, Samsun, syf 159-173.
- Koç, V., Tuhta, S., 2012. Depremler Sonrası Zemin Katlarda Görülen Çökmelerin İncelenmesi, Samsun İlinin Deprem Riski ve Alınabilecek Önlemler Sempozyumu, Samsun, syf 146- 158.
- Mokhtar K., Loche J-M., Friedmann H., Amiri O., Ammar A., 2008. Steel corrosion in Reinforced Concrete Report n°2-2 Concrete in marine environment”, LEPTAB. Université La Rochelle, Av. Michel Crépeau, F 17042 La Rochelle cedex 1 – France.
- ODTÜ İnş. Müh. Böl. Deprem Araştırma Merkezi, 1995. 1 Ekim 1995 Dinar Depremi Mühendislik Raporu, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Ankara Şubesi, Ankara.
- Özcebe, G., 1999. Ülkemizdeki depremlerden sonra gözlenen betonarme yapı hasarları, İnşaat Mühendisliği XV. Teknik Kongre, Deprem Özel Oturumu konuşmaları, Türkiye Mühendislik Haberleri, 404-1999.6, syfa 47-51.
- TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, 1998. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi, 85s, İzmir.
- TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, 2007. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, 166s, İstanbul.
- Ün, H., Malzeme Bilgisi, Ders notları, http://hun.pamukkale.edu.tr/ders_notlari/malzeme_bilgisi/Malzeme_ders1_giris.pdf
- Yakut A., Binici, B., Canbay E., Erberik, A., Sarıtaş, A., Aldemir, A., Demirel, İ., O., Erdil, B., Ay, Ö., Demirtaş, R., 2011. 23 Ekim 2011 Mw 7.2 Van Depremi Sismik ve Yapısal Hasara İlişkin Saha Gözlemleri, ODTÜ-İMO, Kasım 2011, Ankara